



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Systema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Monitoraggio frane in alta quota

Luca Cifeca Recinella

Paolo Frattini

Giovanni Crosta





Instabilità in ambiente montano

Cos'è un'instabilità?

Movimento o caduta di materiale roccioso o terreno sotto l'effetto della forza di gravità

Tipi di instabilità e per differenti materiali

Fenomeni influenzati da differenti fattori come il tipo di materiale, esposizione, quota che possono comportare differenti fenomeni come cadute, crolli e scivolamenti.

Material	ROCK	DEBRIS	EARTH
FALLS	Rock fall	Debris fall Scree Debris cone	Earth fall Colluvium Debris cone
TOPPLES	Rock topple	Debris topple Debris cone	Earth topple Debris cone
SLIDES	Rotational Single rotational slide (slump) Failure surface	Multiple rotational slide Crown Scarp Head Minor Scarp Toe	Successive rotational slides
	Translational (Planar) Rock slide	Debris slide	Earth slide
SPREADS	Cap rock Clay shale Thinning of beds Plane of décollement Competent substratum	Normal sub-horizontal structure Gullies Camber slope Dip and fault structure (planed off by erosion) e.g. cambering and valley bulging	Earth spread
FLOWS	Solifluction flows (Periglacial debris flows)	Debris flow	Earth flow (mud flow)
COMPLEX	e.g. Slump-earthflow with rockfall debris	e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

Classificazione di Cruden & Varnes



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Fenomeni in alta quota

In alta quota, dove prevalgono instabilità di materiale roccioso e ghiacci, si possono riscontrare altri tipi di movimenti di versante:

Rock Glacier



Rock Glacier a Gilpin Peak, Colorado – Bob Webster

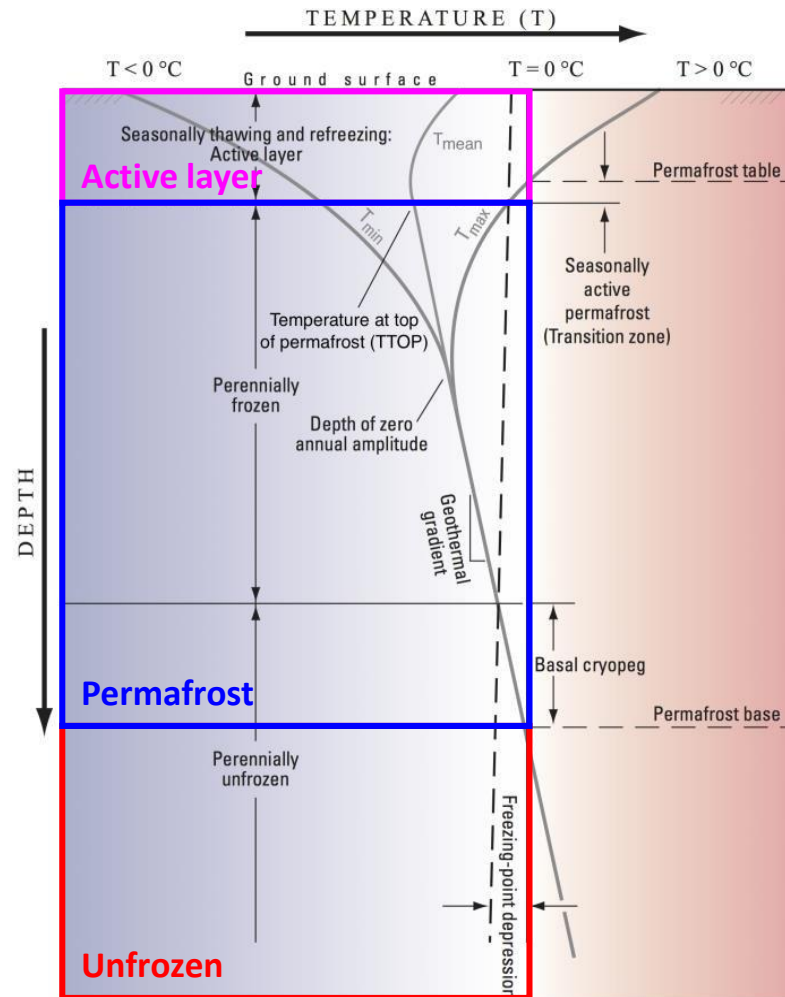
Crolli nei ghiacciai



Mt. Tasman, Southern Alps, New Zealand - Stefan Winkler



Il Permafrost



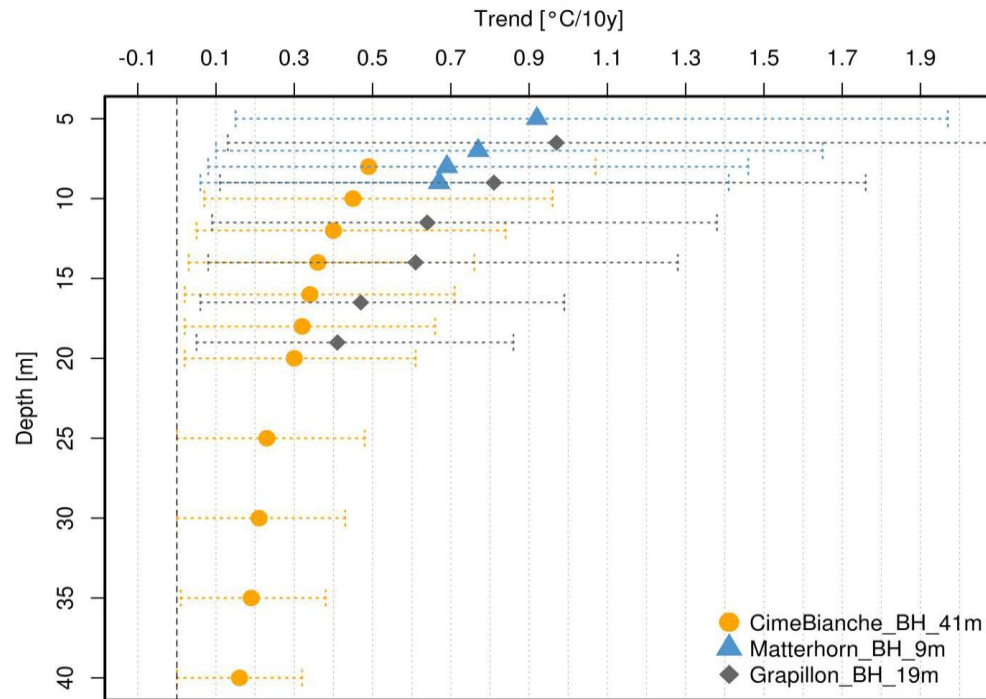
Materiale litosferico che rimane al di **sotto di 0°C** per almeno **due anni consecutivi**, quindi è considerato una **proprietà fisica** del materiale.

Classificazione in base alla continuità spaziale

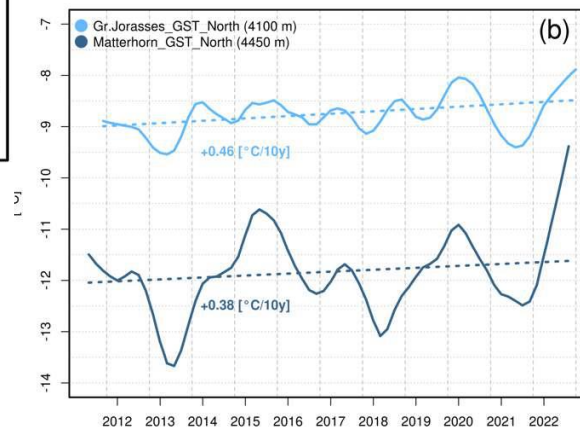
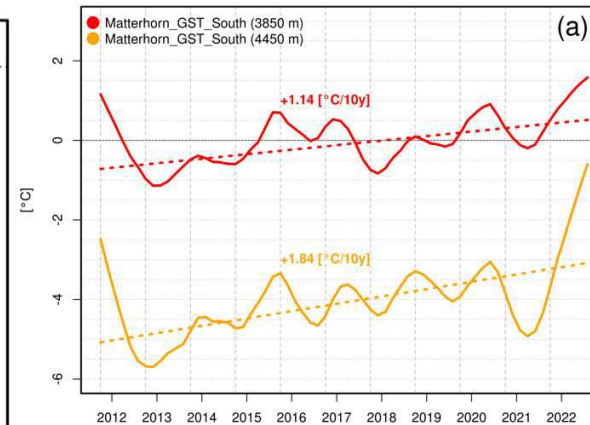
- Continuo
- Discontinuo
- Sporadico
- Isolato



Evidenze in letteratura dell'aumento delle temperature e delle rispettive conseguenze



Variation of the surface temperature of the rock vs depth in 3 different boreholes: Cime Bianche (Arancione, 3100 m a.s.l.), Matterhorn (blu, 3850 m a.s.l.) and Grapillon in the area of Mont Blanc (grigio, 3100 m a.s.l.)



Trend dell'aumento delle temperature superficiali su differenti versanti con esposizione SUD (a) e Nord (b) per il period 2012-2022

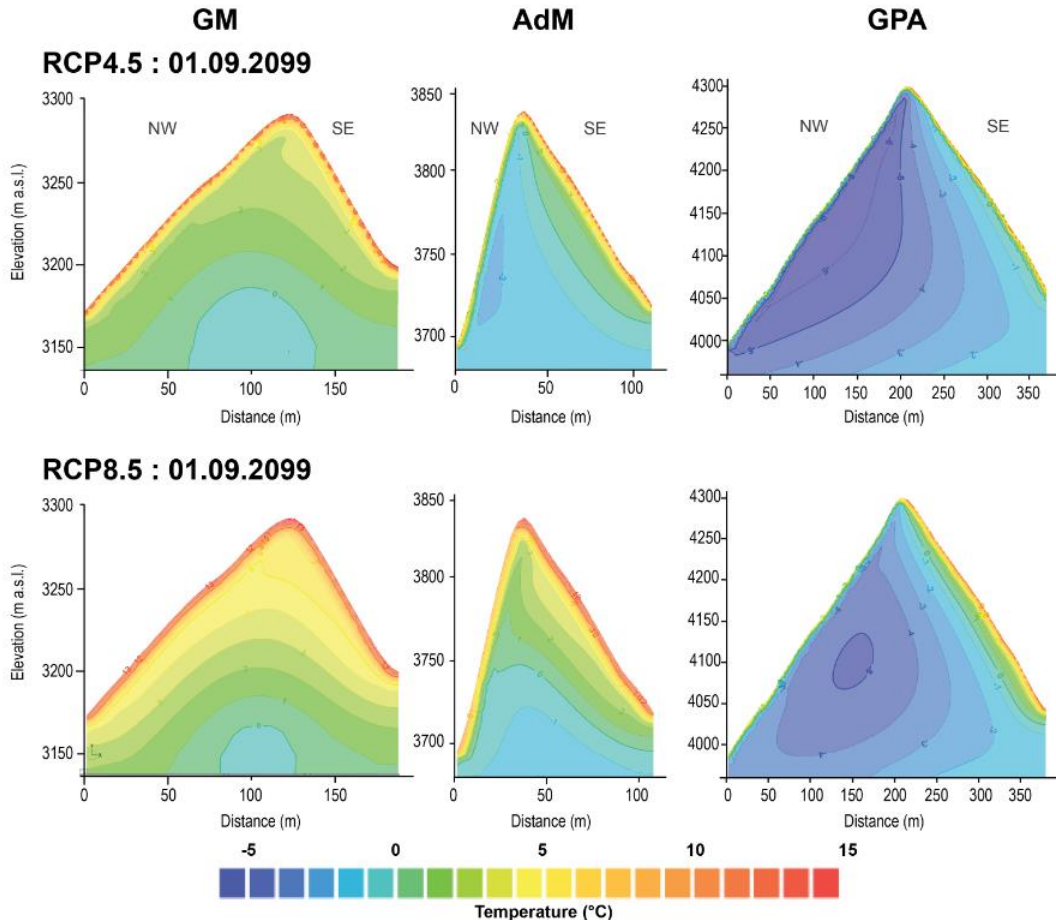


- **Monitoraggio termico**
- **Monitoraggio del permafrost con tecniche geofisiche**

Pogliotti et al. 2024



Simulazioni termiche in alta quota



Sezioni di temperatura delle pareti rocciose per tre siti nel massiccio del Mont-Blanc, secondo gli scenari RCP 4.5 e 8.5 (Aiguille des Grands Montets, Aiguille du Midi e Grand Pilier d'Angle) a fine secolo.

Questi diagrammi mostrano le temperature di superficie e profondità (in blu le temperature negative). E' prevista una degradazione del permafrost quasi completa a Grands Montets (GM) le cui temperature superficiali sono ampiamente superiori a 0°C in entrambi gli scenari.

La temperatura dell'Aiguille du Midi (AdM) e al Grand Pilier d'Angle (GPA) dipendono fortemente dallo scenario utilizzato.

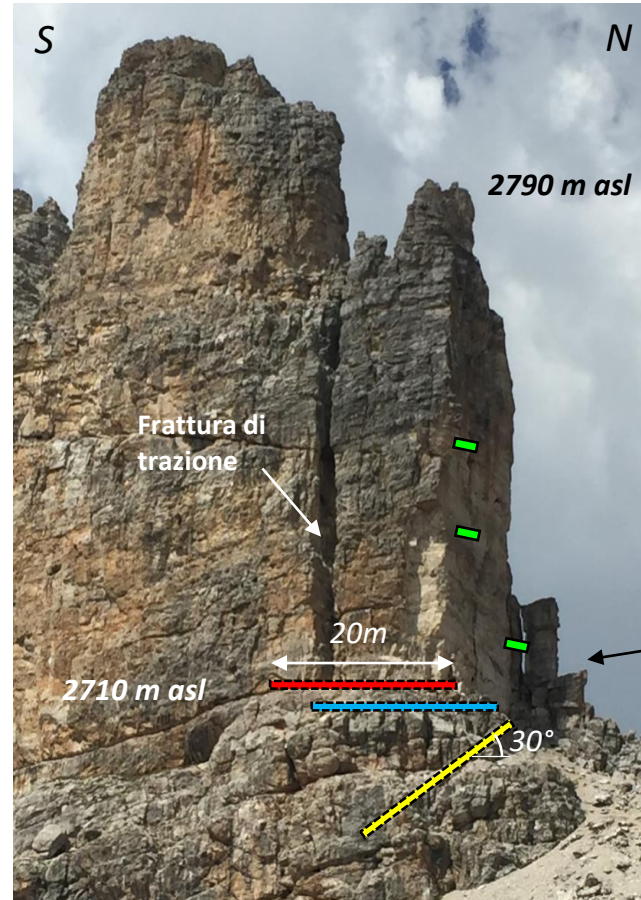
Magnin et al., 2017



caso studio: Sas Da Lech, Gruppo del Sella (BZ)

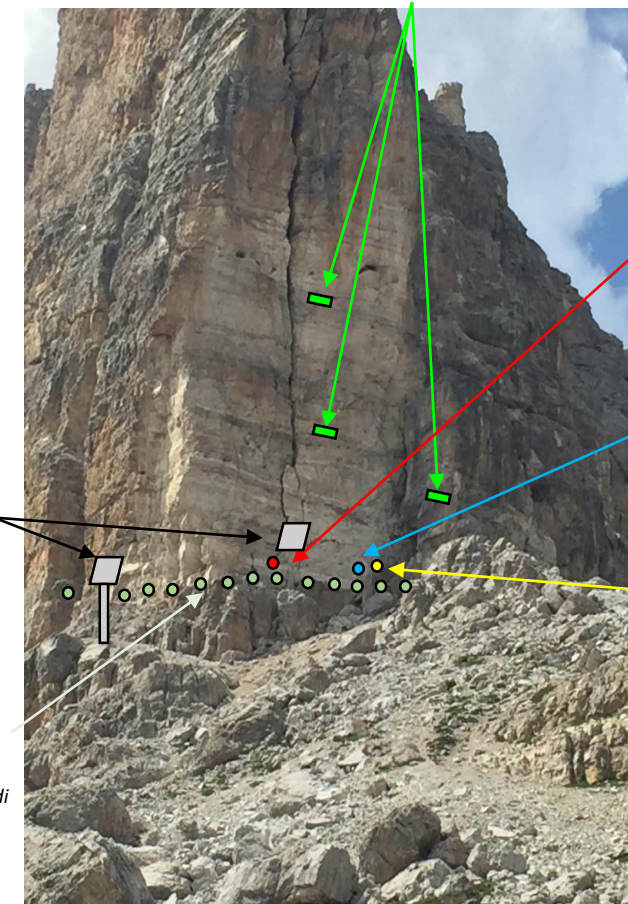
- Pilastro in dolomia potenzialmente instabile con un crollo recente avvenuto nel 2019
- Quota ca. 2700 – 2800 m s.l.m., altezza del pilastro circa 80 m
- Elementi a rischio: area UNESCO Dolomiti, rifugio e sentiero che porta a Cima Pisciadù.

Sito GEOSCIENCES



Fori (Provincia di Bozano)

Elettrodi (Provincia di Bozano)



Foro orizzontale
90 mm, 21 m
(inclin.estens., T, AE)

Catena termometrica
90 mm, 21 m

Foro inclinato
90 mm, 21 m
(inclin.estens., T, AE)



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



caso studio: Sas Da Lech, Gruppo del Sella (BZ)

- Pilastro in dolomia potenzialmente instabile con un crollo recente avvenuto nel 2019
- Quota ca. 2700 – 2800 m s.l.m., altezza del pilastro circa 80 m
- Elementi a rischio: area UNESCO Dolomiti, rifugio e sentiero che porta a Cima Pisciadù.

Sito GEOSCIENCES



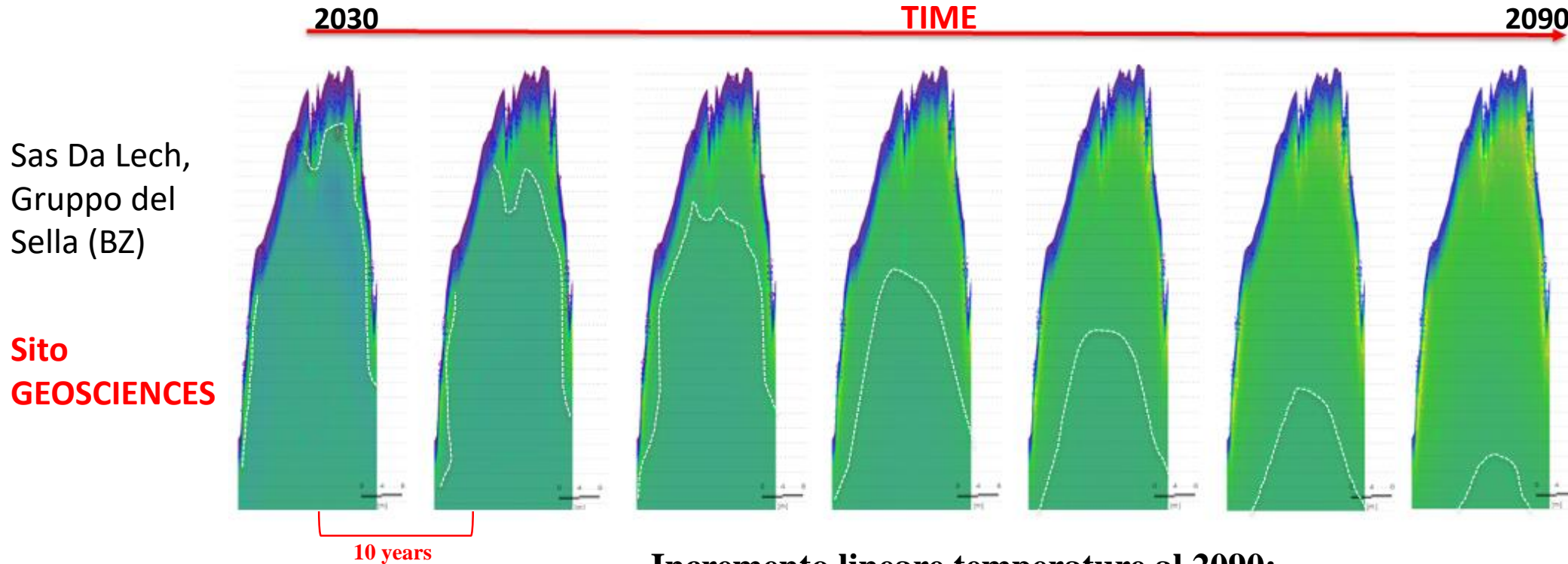
Catena termometrica
Intervalli 0,25-4 m





Simulazioni termiche in alta quota

Simulazioni tramite codici di calcolo che permettono di stimare l'evoluzione futura delle temperature e/o gli sforzi e spostamenti ad esso collegate



Incremento lineare temperature al 2090:

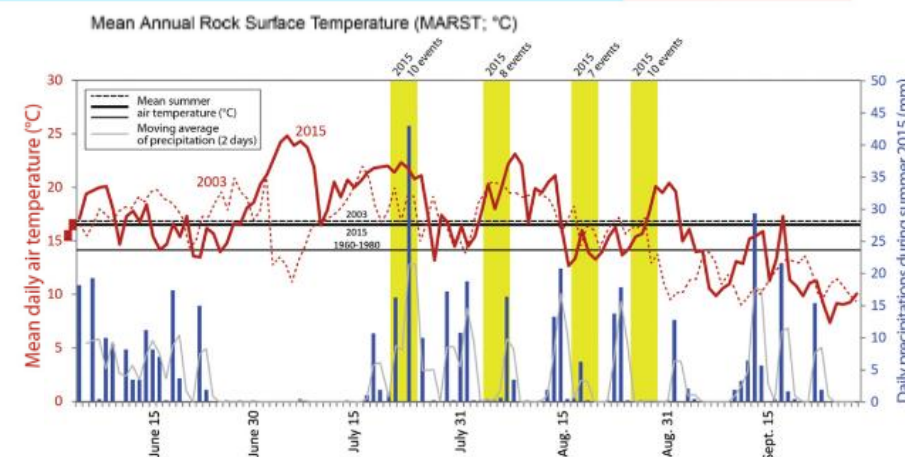
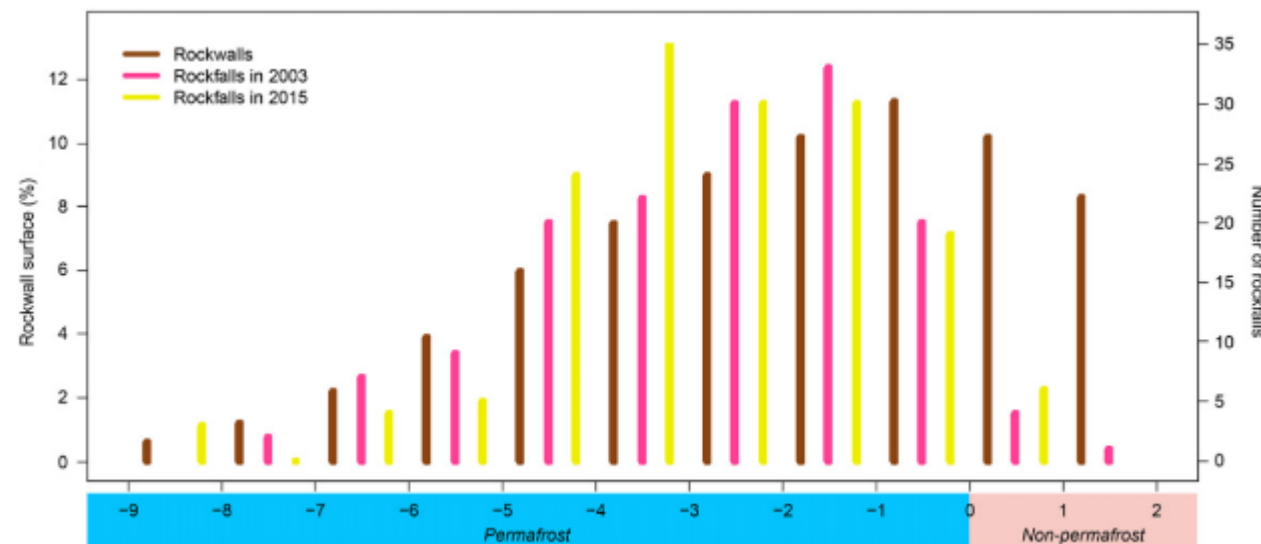
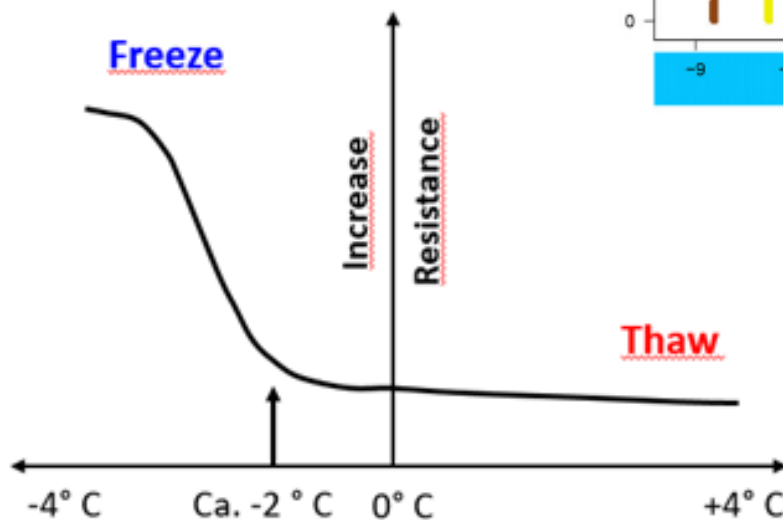
$\Delta T \rightarrow$ Inverno: **2.66°C** Autunno: **2.76°C** Estate: **3.36°C** Primavera: **2.23°C**

Cause dell'aumento dei fenomeni di instabilità in alta quota

La principale causa attribuita all'aumento dei fenomeni di instabilità è il cambiamento climatico, nello specifico l'aumento delle temperature medie in alta quota che comportano l'innalzamento dello **zero termico** a quote via via maggiori con conseguente **degradazione del permafrost**, che comporta una diminuzione nelle caratteristiche meccaniche del materiale.



Monitoraggio instabilità



Ravanel et al., 2017

Esempi di fenomeni di instabilità in roccia all'interno della catena alpina

Carè Alto 3100 m asl 16/6/2018



Antelao 3263 m asl 22/11/2013



Cima Lastei 2846 m asl 7/7/2016



Sassolungo 2600 m asl 31/8/2023





Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



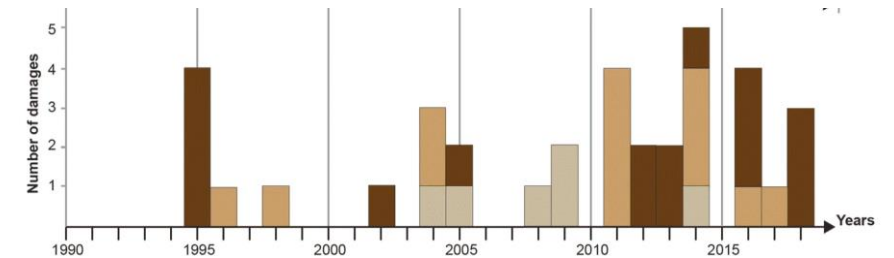
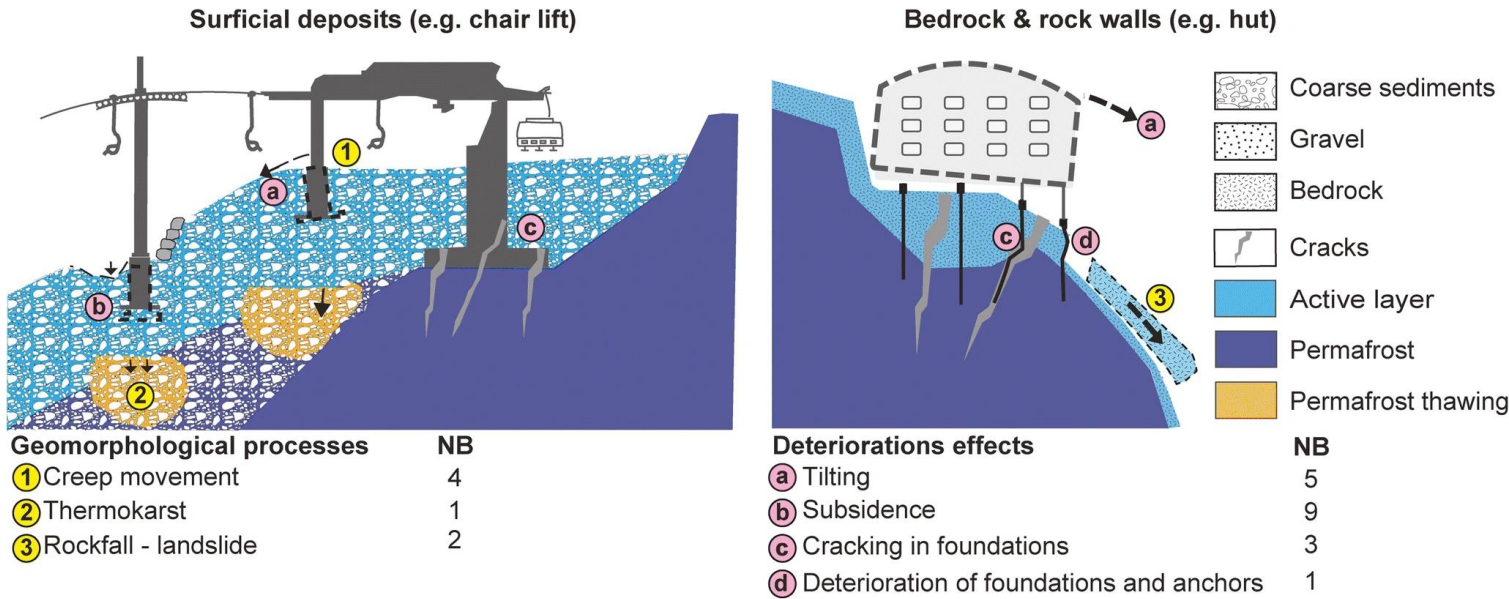
Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



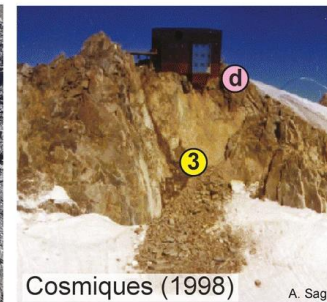
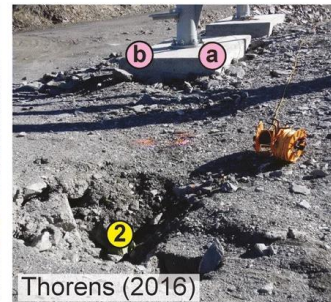
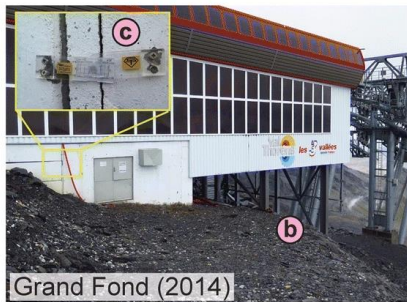
ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



Instabilità delle strutture in alta quota



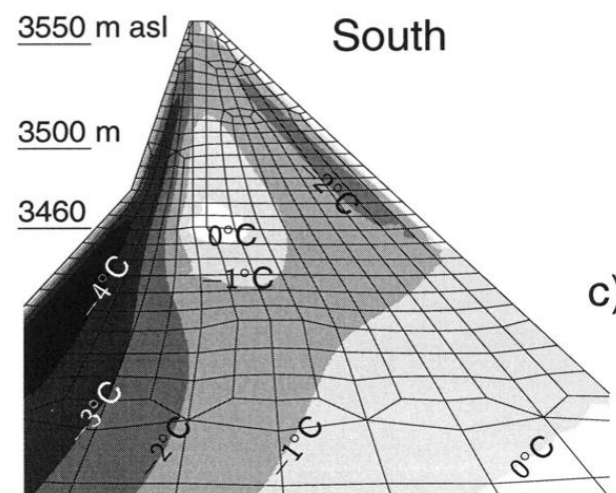
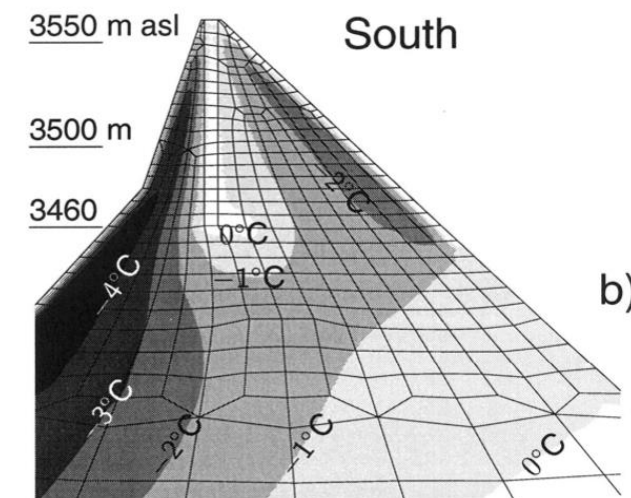
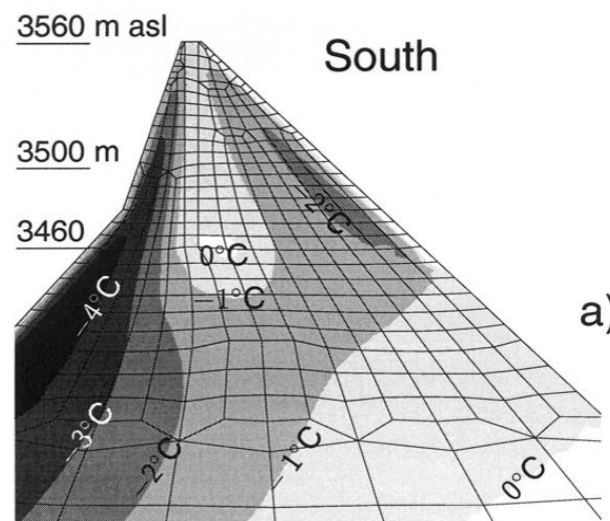
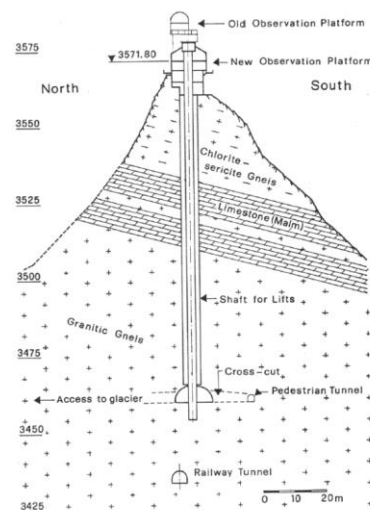
La degradazione del permafrost comporta in maniera indiretta anche instabilità alle strutture turistiche presenti in alta quota



Monitoraggio strutturale

Duvillard et al. 2019

Instabilità delle strutture in alta quota



Analisi termiche 3D per il caso dell'osservatorio Sphinx

Wagmann e Keusen, 1998



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sfide e problematiche per le instabilità in roccia in alta montagna

*Morfologie
acclivi*



Difficoltà nel raggiungere l'area

Difficoltà nel trasporto e installazione della strumentazione

*Presenza di strutture
e percorsi turistici*



Problemi di sicurezza per condizioni di lavoro e pericolo caduta massi

Sicurezza per turisti

Instabilità in alta quota

*Condizioni meteo
estreme*



Finestre temporali di lavoro limitate

Strumenti specifici per condizioni estreme



MONITORAGGIO TERMICO: catena termometrica



Strumentazione che permette la **misura della temperatura** all'interno di un corpo a **differenti profondità**.



Esempio spaziatura catena termometrica

N. sensore	Distanza (cm)	Spaziatura (cm)	N. sensore	Distanza (cm)	Spaziatura (cm)
1	23	23	9	348	100
2	73	50	10	448	100
3	98	25	11	548	100
4	123	25	12	648	100
5	148	25	13	848	200
6	198	50	14	1148	300
7	248	50	15	1448	300
8	298	50	16	1848	400

Memoria Flash da 8 MByte: fino a 1.000.000 di valori
 Registrazione fino a 50 canali
 Alimentazione: 12 V (consumo massimo di impulsi 1200 mA, inattività 20 uA) tramite connettore via cavo
 Memoria non volatile da 2048kB (fino a 500.000 valori di misura)
 Alimentazione: Batteria al litio da 1,5 Volt
 Elemento sensore: Sensore di temperatura al platino (1/3 DIN B)
 Custodia del sensore: acciaio inox, DIN 1.4571
 Dimensioni del sensore: 75,0 x 8,0 mm
 Precisione:
 ±0,05 °C da -20 a +25 °C
 ±0,1 °C da -30 a +40 °C
 ±0,25 °C da -40 a +85 °C
 Risoluzione: 0.0001°C

Specifiche tecniche sistema di monitoraggio GEOSCIENCE



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca

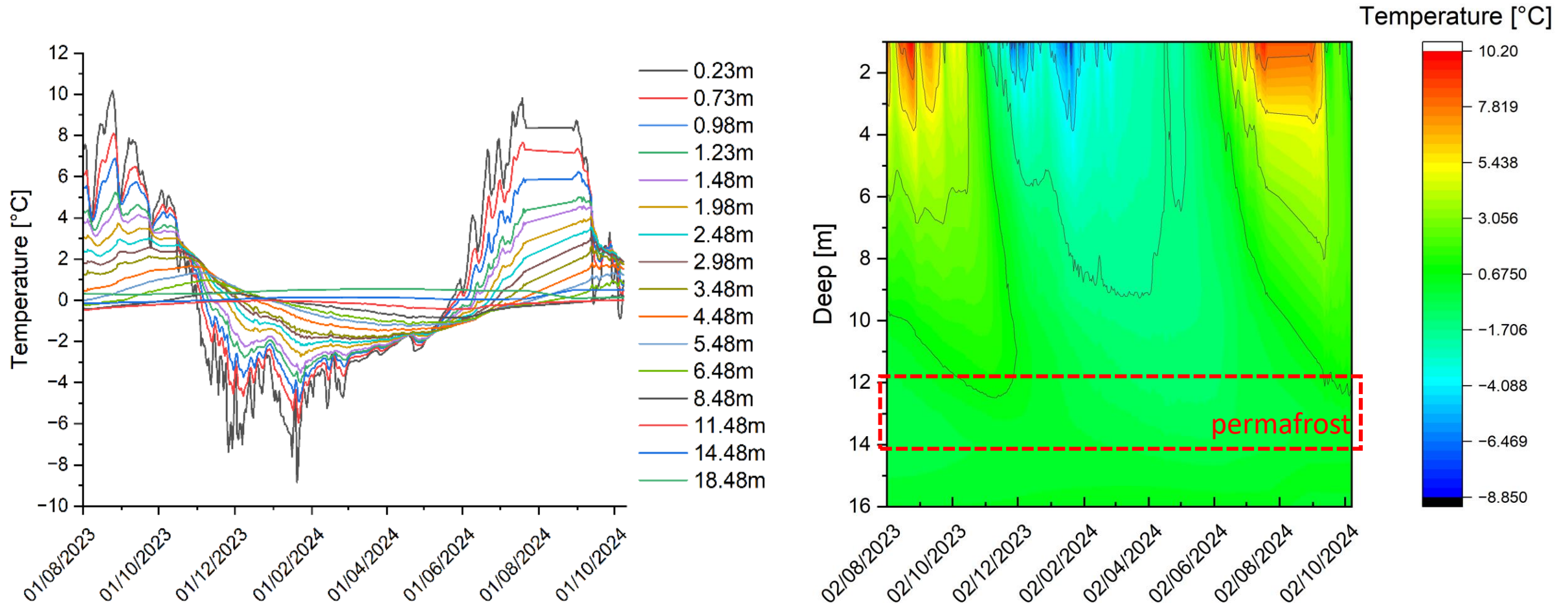


Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



catena termometrica – caso studio: Sas Da Lech, Gruppo del Sella (BZ)





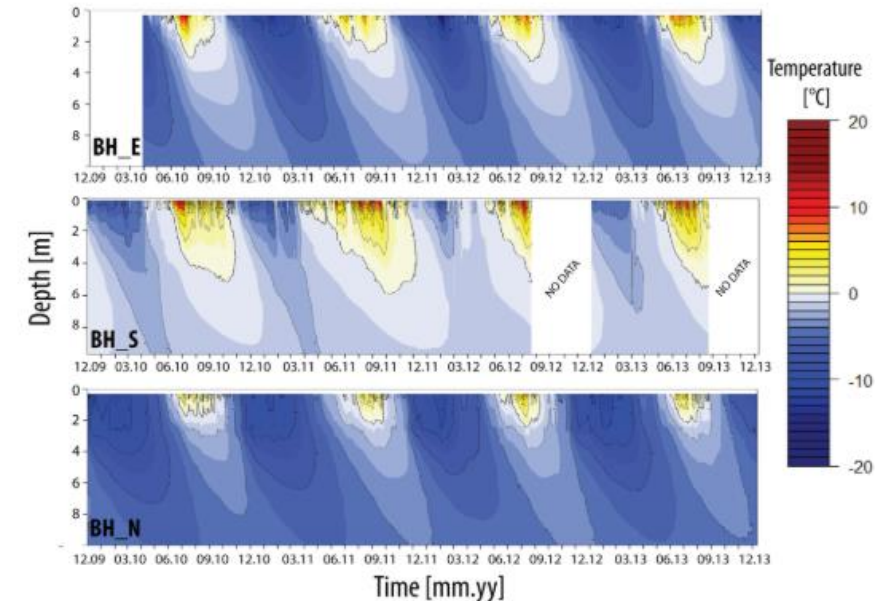
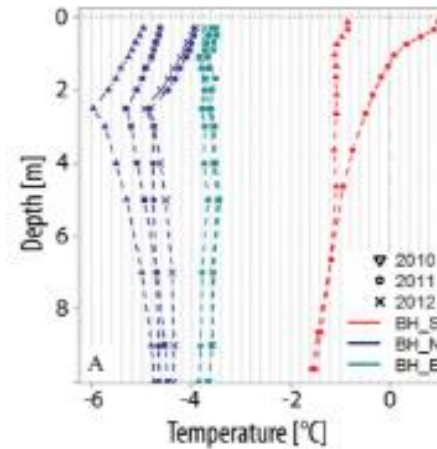
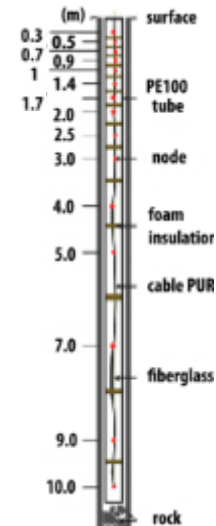
catena termometrica – caso studio: Aiguille du Midi (Mont Blanc Massif)

- *Massiccio granitico posto a NW del Massiccio del Monte Bianco*
- *Formato da 3 cime: Piton Nord, Piton Sud e Piton Centrale fino a quota 3842m s.l.m.*
- *Presenza di una cabinovia con arrivo nella cima Nord e infrastruttura turistica collegata al cima centrale per vista panoramica*



Foto S.Gruber e P.Deline

8 sensori superficiali: 3 con misura a **10 cm** e 5 con misure a **3,10,30,55 cm**
3 catene termometriche con sensori a **0.3,0.5,0.7,0.9,1.1,1.4,1.7,2,2.5,3,4,5,7,9,10 m**



Magnin et al 2015



MONITORAGGIO TERMICO e INSTABILITA': sonde multiparametriche

Sistema di monitoraggio di **più parametri** (deformazioni, spostamenti e temperature) in **continuo** e in **tempo reale** al fine di osservare le condizioni di stabilità del versante e/o struttura.

Lo strumento è composto da elementi modulari in acciaio inox contenenti i sensori di acquisizione legati tra loro attraverso cavi elettrici e con lunghezza unitaria di 1 metro. La colonna nel complesso è resa solidale all'oggetto da monitorare e presenta 2/3 gradi di libertà al fine di deformarsi insieme all'oggetto stesso.



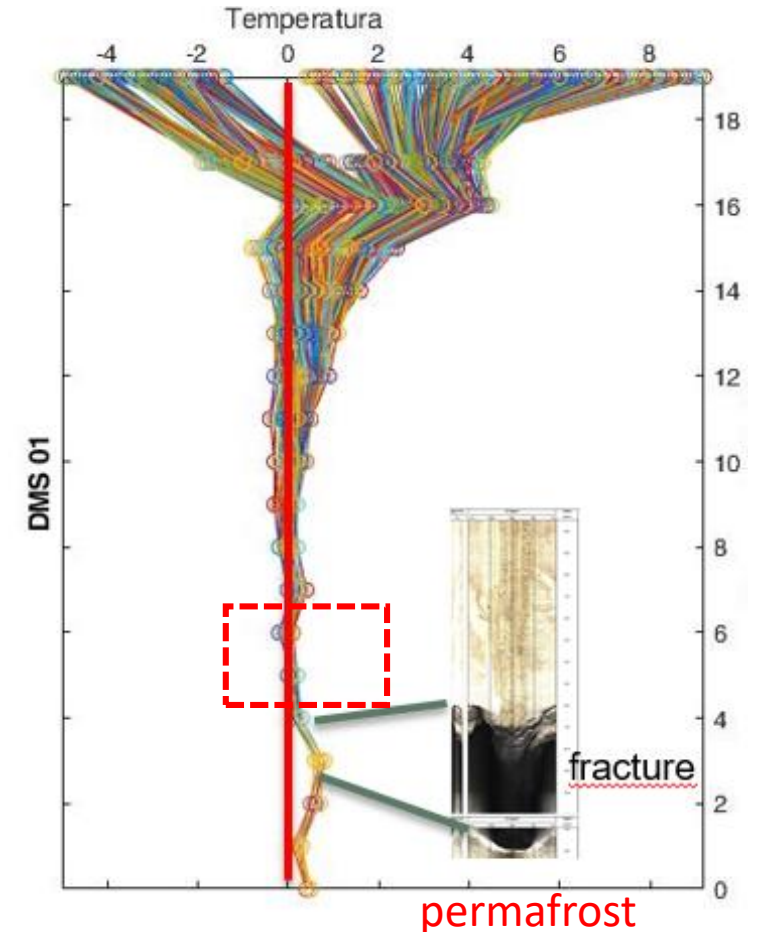
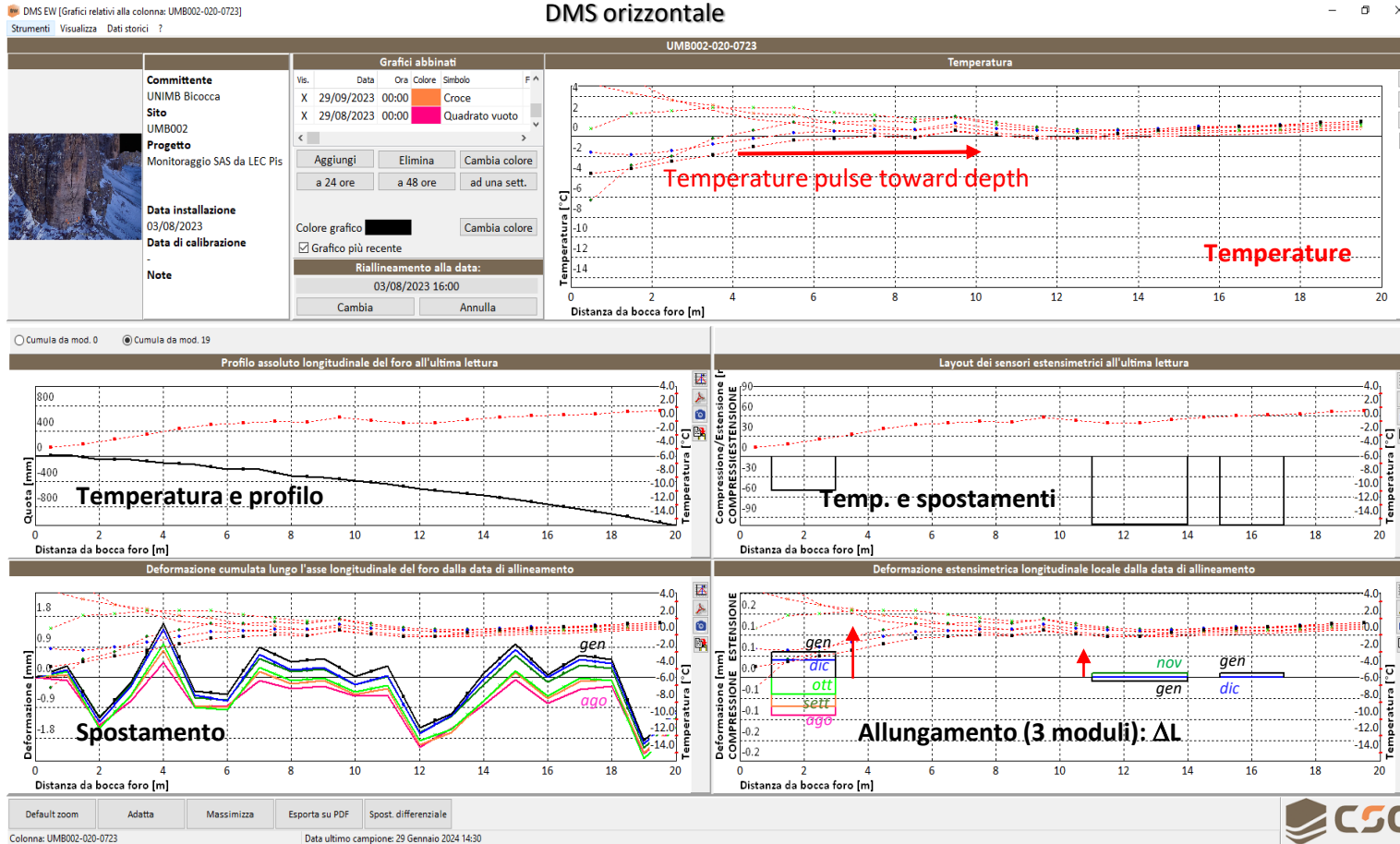
Unità DMS® Ground IAET: moduli rigidi L=1 m

- sensore inclinometrico biassiale digitale (range di misura $\pm 10^\circ$, ripetibilità $\pm 0,002^\circ$),
- sensore accelerometrico 3 assi: range di misura $\pm 2g$
- trasduttore di spostamento lineare: range di misura 0-100 mm, risoluzione 0.01 mm
- sensore di temperatura PT 1000: range - $50^\circ/+130^\circ C$, risoluzione 0,1°
- interfaccia digitale RS485 e custodia inox AISI 304 meccanica DMS PLUS per uso esterno.
- Alimentazione pannelli solari – batterie di accumulo

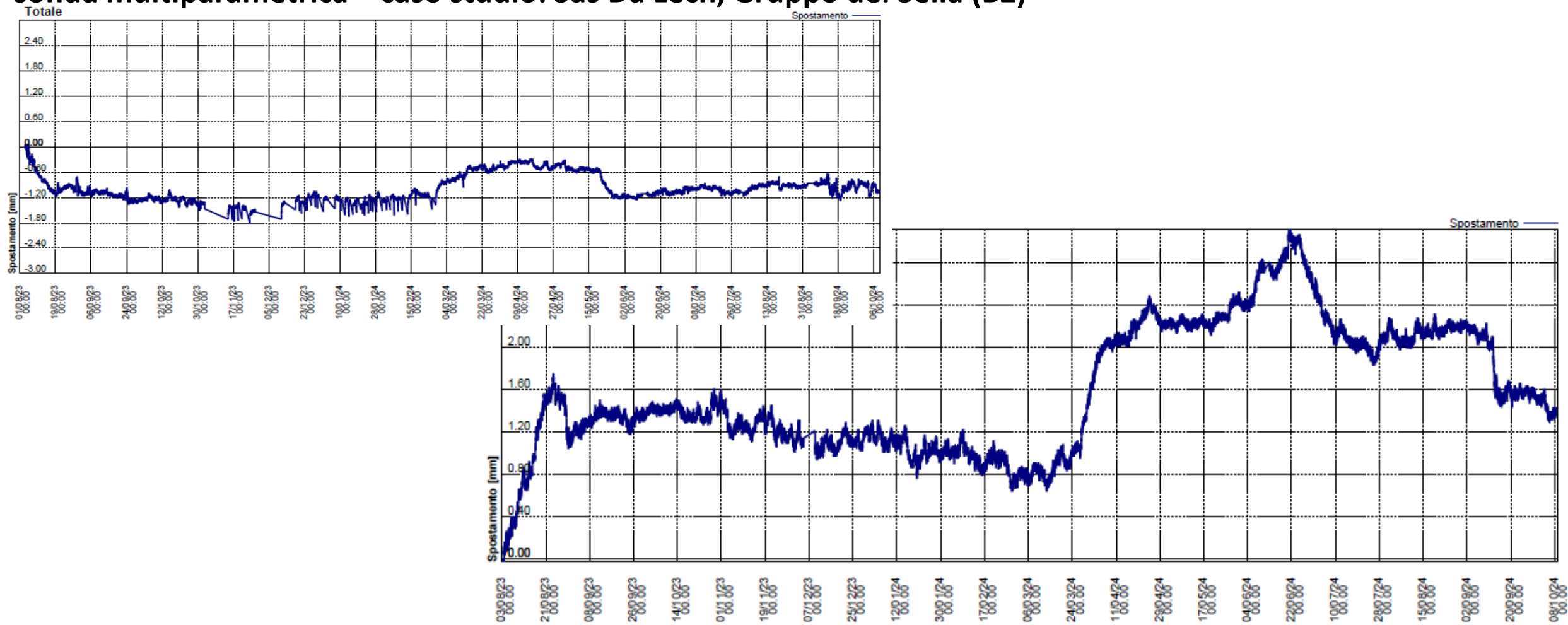
Specifiche tecniche sistema di monitoraggio GEOSCIENCE



sonda multiparametrica – caso studio: Sas Da Lech, Gruppo del Sella (BZ)



sonda multiparametrica – caso studio: Sas Da Lech, Gruppo del Sella (BZ)





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



MONITORAGGIO STRUTTURALE: estensimetri e fessurimetri

Strumento utilizzato per la misura della **deformazione** dell'oggetto su cui è stato installato. Registra l'**espansione (+)** e **contrazione (-)**

Gli estensimetri sfruttano il principio della variazione della resistenza elettrica di un materiale deformabile.

Di solito sono costituiti da un sottile filo o nastro di materiale resistivo applicato sulla superficie del materiale in cui si vuole misurare la deformazione.

Quando il materiale si deforma, la lunghezza del filo cambia, causando una variazione nella sua resistenza elettrica, che viene quindi misurata per determinare la quantità di deformazione.

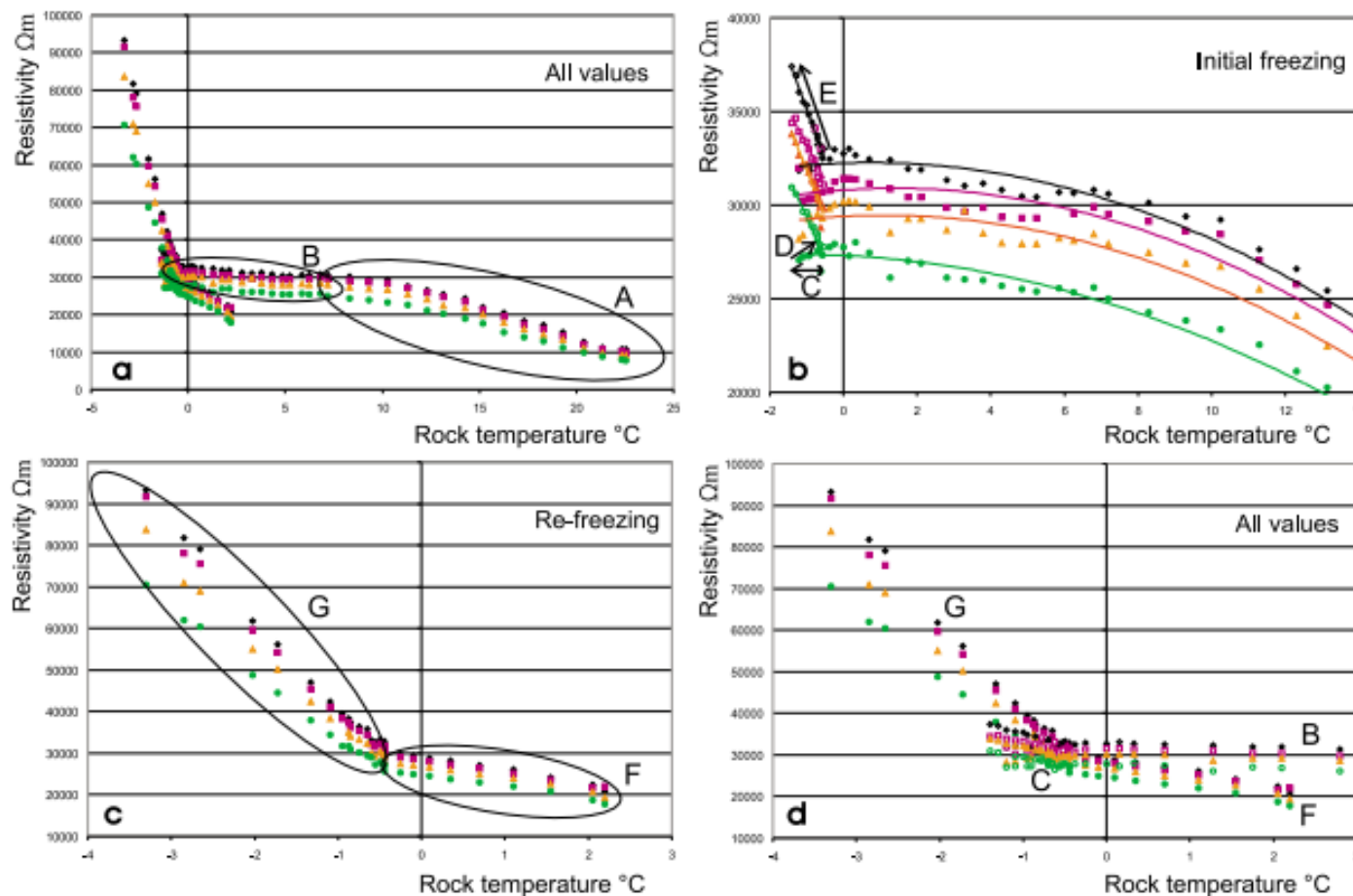


MONITORAGGIO DEL PERMAFROST CON TECNICHE GEOFISICHE

*I metodi geofisici forniscono informazioni sulle **proprietà fisiche del sottosuolo** e sulla **distribuzione spaziale** di queste proprietà e, per deduzione, sulla **struttura del sottosuolo** (C.Kneisel,2008)*

METODO GEOFISICO	TIPO DI PROVA	PROPRIETA' FISICA	ATTIVO/PASSIVO	FINALITÀ
Metodi elettrici - elettromagnetici	Potenziali spontanei	Polarizzazione elettrica	P	Conoscitiva
	Resistività	Resistività elettrica	A	Conoscitiva
	Polarizzazione indotta	Resistività, Caricabilità	A	Conoscitiva
	Ground Penetrating Radar	Conduttività, Cost. Dielettrica	A	Conoscitiva
Metodi dei campi di potenziale	Gravimetria	Densità	P	Conoscitiva
	Magnetometria	Suscettività magnetica	P	Conoscitiva
Metodi Sismici	Sismica a Rifrazione	Moduli Elastici, Densità	A	Conoscitiva
	Sismica a Riflessione	Moduli Elastici, Densità	A	Conoscitiva
	Micro tremori	frequenze di risonanza dei terreni	P	Conoscitiva

ERT: Relazione resistività elettrica e temperatura



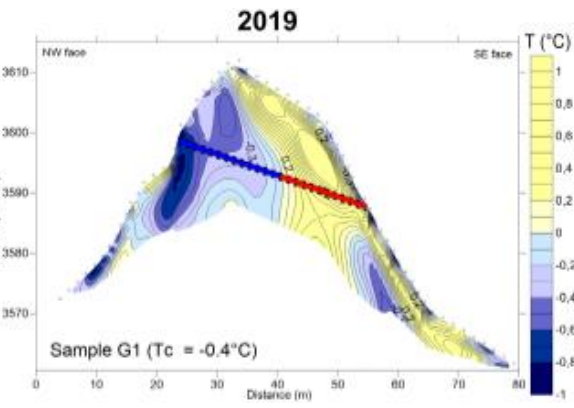
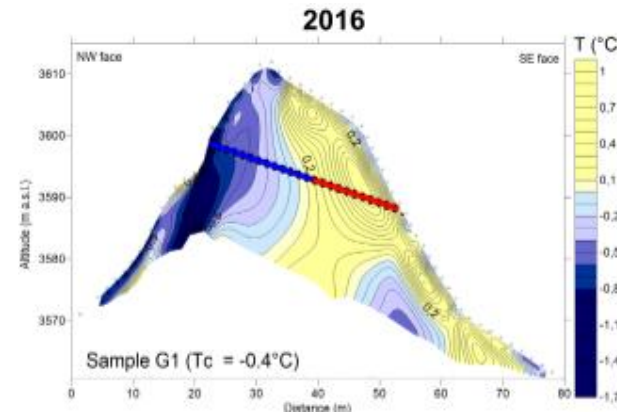
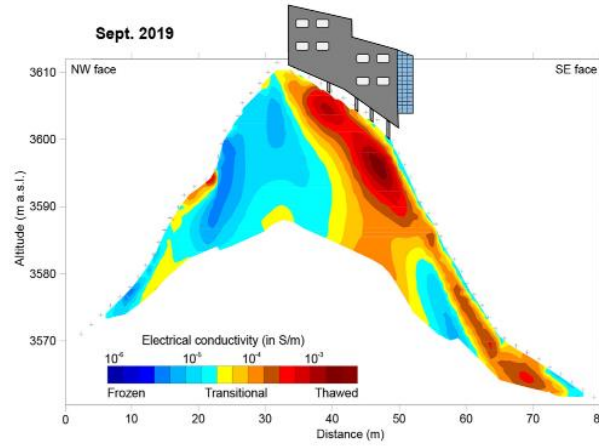
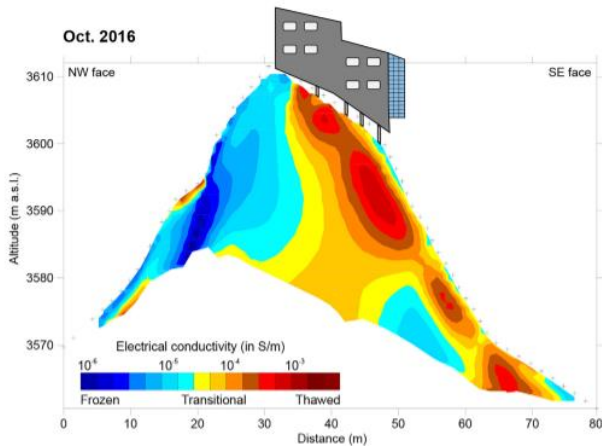
Calibrazione in laboratorio del calcare Wetterstein del sito di studio di Kammstollen. Tutte le traiettorie misurate indicano un punto di snodo distinto al punto di congelamento di equilibrio a 30 kΩm e -0,5°C.

Krautblatter et al, 2010



ERT – caso studio: Lower Cosmiques ridge (Mont Blanc Massif)

- Cima all'interno del Massiccio del Monte Bianco nel lato Francia a SSW dell'Aiguille du Midi
- Massiccio cristallino con cima a quota 3613m s.l.m.
- Presenza di un Rifugio colpito da una frana nel 1998 causandone una parziale instabilità
- 3 Campagne di acquisizioni geofisiche : 2 ERT (Resistività elettrica) nel 2016 e 2019 e 1 IP (Polarizzazione indotta) nel 2019
- Passaggio da valori di conduttività a Temperatura attraverso relazione empirica

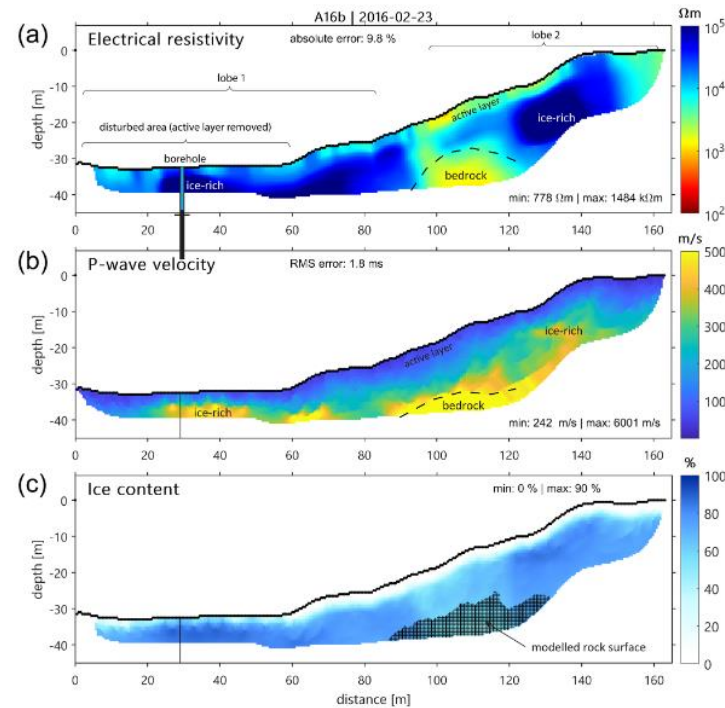
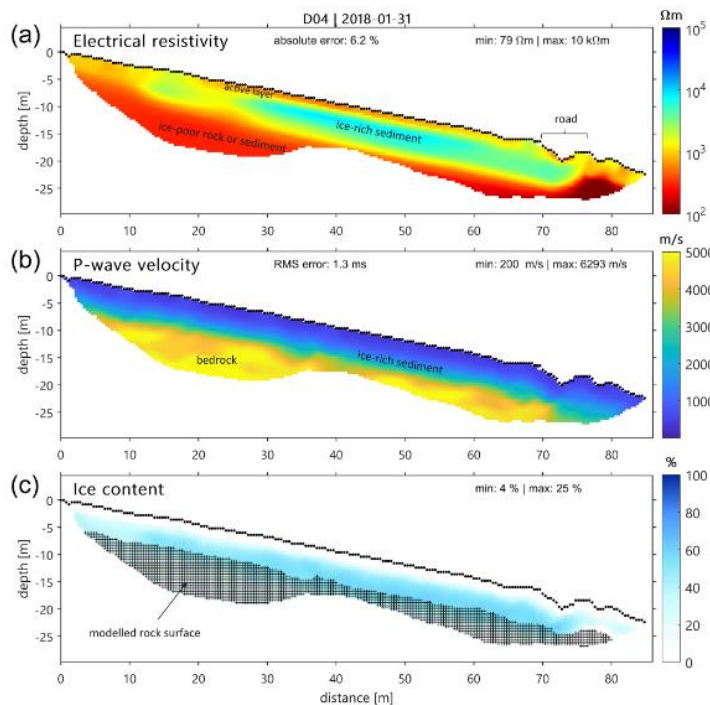


Duvillard, 2020



ERT + SISMICA A RIFRAZIONE – caso studio: Choapa rock glacier (Chile)

- *Sito di rock glacier in Cile*
- *Aquisizione di tomografia ETT e sismica a rifrazione*
- *Passaggio da valori di conduttività a Temperatura attraverso relazione empirica*
- *Presenza di ghiaccio associata a incremento di velocità delle onde P*



La combinazione di ERT e sismica a rifrazione offre un vantaggio nell'interpretazione del bedrock rispetto alle zone ricche di ghiaccio.

Hilbich et al, 2022



MONITORAGGIO tramite TELERILEVAMENTO (*remote sensing*)

METODO GEOFISICO	TIPO DI PROVA	PROPRIETA' FISICA	ATTIVO/PASSIVO	FINALITÀ
Da terra	Fotogrammetria	Luce visibile	P	Conoscitiva
	TLS (Terrestrial Laser Scanner)	Raggio laser	A	Conoscitiva
	Ground-Based Radar	Onde radar	A	Conoscitiva/Allertamento
	GNSS	Segnale GNSS	P	Conoscitiva
	Radar Doppler	Onde radar	A	Conoscitiva/Allertamento
	Termografia	Infrarosso termico	P	Conoscitiva
	Stazione Totale	Raggio laser o infrarosso	A	Conoscitivo/Allertamento
Da aereo/elicottero/drone	Fotogrammetria	Luce visibile	P	Conoscitiva
	ALSM (Airborne Laser Swath Mapping)	Raggio laser	A	Conoscitiva
Da satellite	InSAR	Onde radar	A	Conoscitiva/Allertamento
	ottico	Luce visibile	P	Conoscitiva
	termico	Infrarosso termico	P	Conoscitiva



FOTOGRAMMETRIA

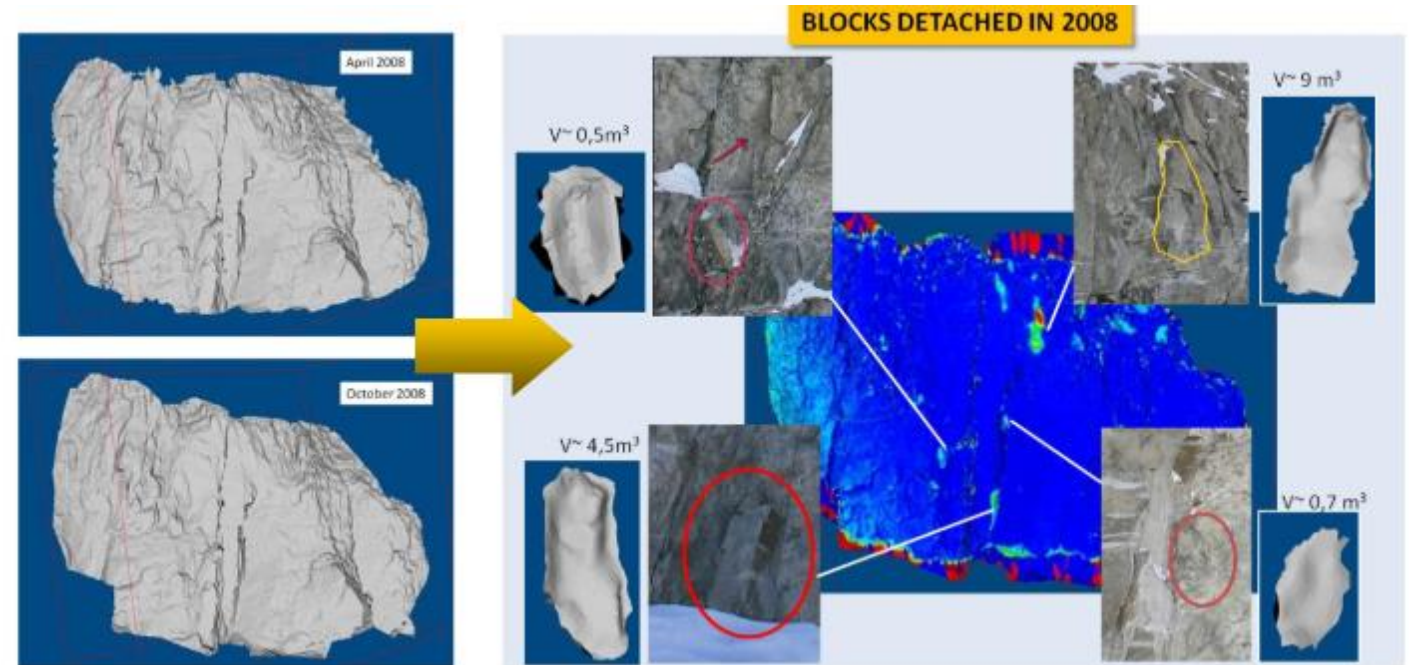
*Tecnica basata sulla restituzione stereo o multi-immagine in blocco di **immagini sovrapposte** acquisite tramite **telecamere digitali calibrate**; attraverso equazioni ed algoritmi si ha la possibilità di ricreare un **modello 3D** dalla sovrapposizioni delle immagini.*

Vantaggi e Risultati

- Modello 3D accurato
- Identificazione e quantificazione dei movimenti di materiale
- Analisi geomeccaniche e strutturali
- Studio di aree difficilmente accessibili
- Alta ripetibilità dell'acquisizione

Svantaggi

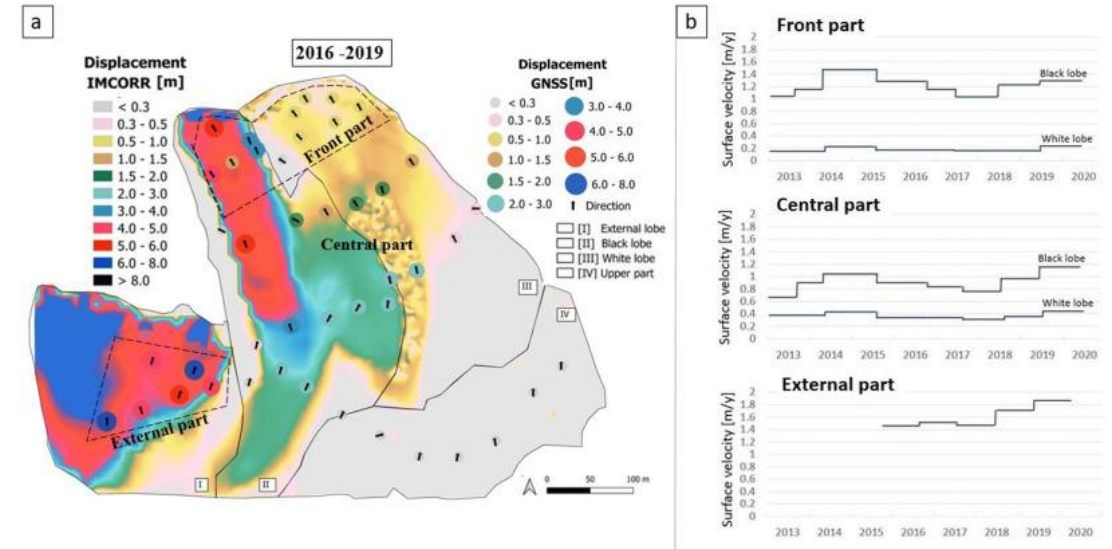
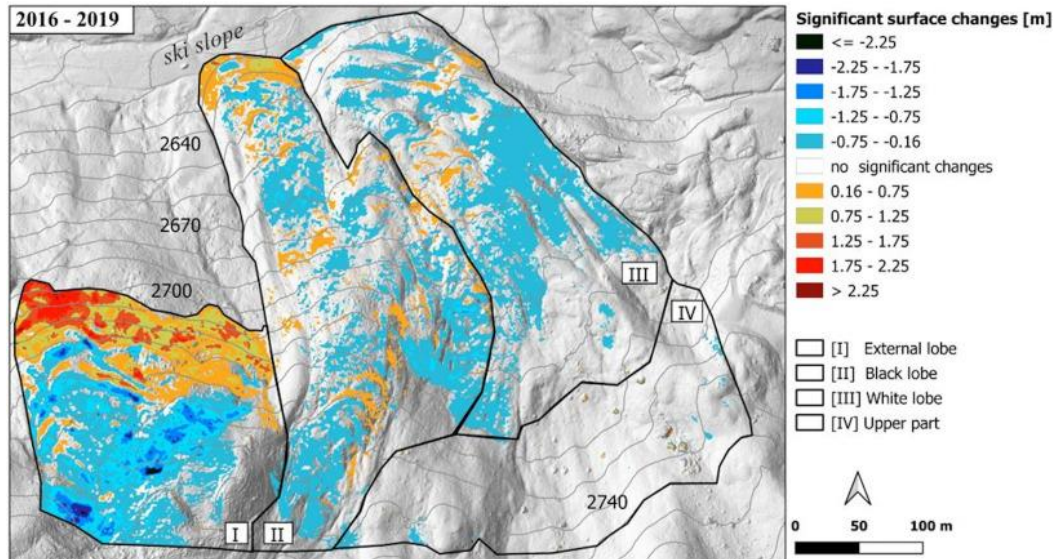
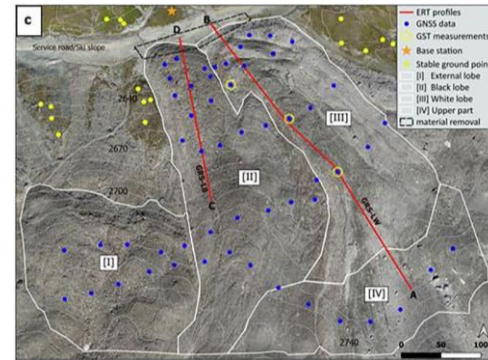
- Processamento dati lungo e complesso
- Condizioni climatiche buone necessarie
- Risoluzione e precisione influenzati sia dalla geometria dell'area che dall'esperienza dell'operatore





FOTOGRAMMETRIA

- *Rock glacier di Gran Sometta (Valle d'Aosta, Italia)*
- *Nuvole di punti e ortomosaici ad alta risoluzione generati da rilievi UAV*
- *velocità del flusso del rock glacier è aumentata dal 2012 al 2015 e dal 2018 al 2020*



La cinematica del permafrost è influenzata dal regime termico e dalla struttura interna.

Bearzot et al, 2022



TERRESTRIAL LASER SCANNER

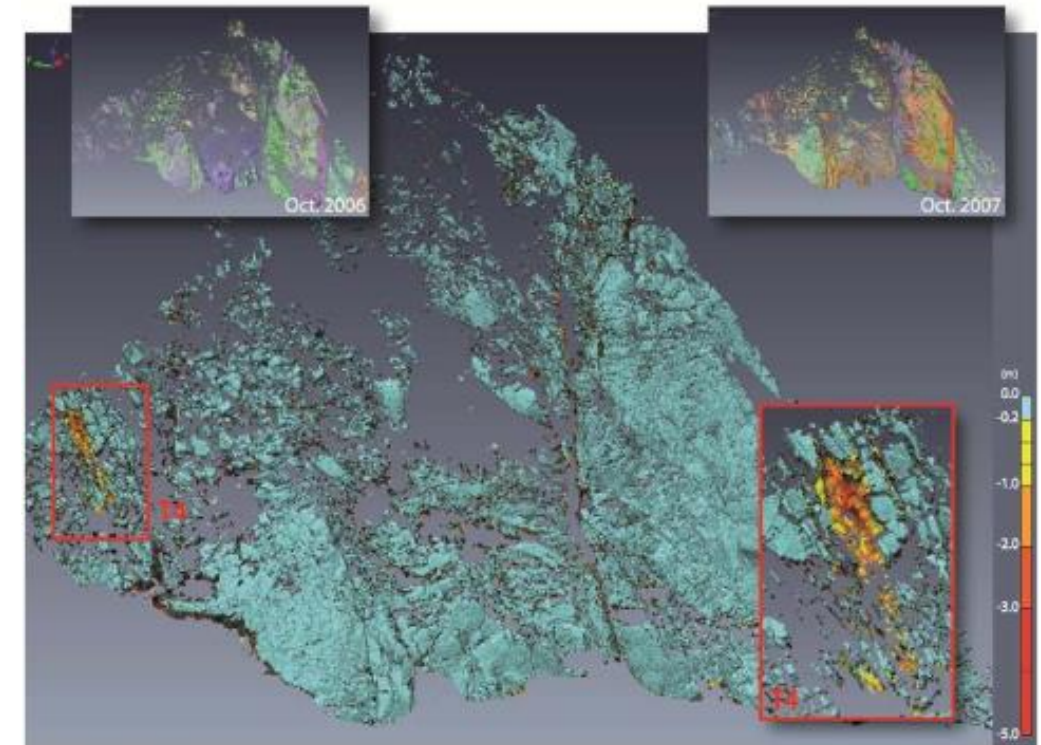
*Tecnica basata sulla **trasmissione/ricezione** di segnali di **luce infrarossa** ad alta precisione temporale e bassa dispersione. Il tempo di volo del raggio laser permette di identificare e quantificare distanze a precisione centimetrica: **nuvole di punti** per modelli 3D molto dense.*

Vantaggi e Risultati

- Modello 3D accurato
- Identificazione e quantificazione dei movimenti di materiale
- Analisi geomeccaniche e strutturali
- Alta ripetibilità dell'acquisizione
- Dati disponibili quasi in tempo reale

Svantaggi

- Processamento dati lungo e complesso
- Condizioni climatiche buone necessarie
- Risoluzione e precisione influenzati sia dalla geometria dell'area che dall'esperienza dell'operatore
- Peso strumento e logistica nel portarlo





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



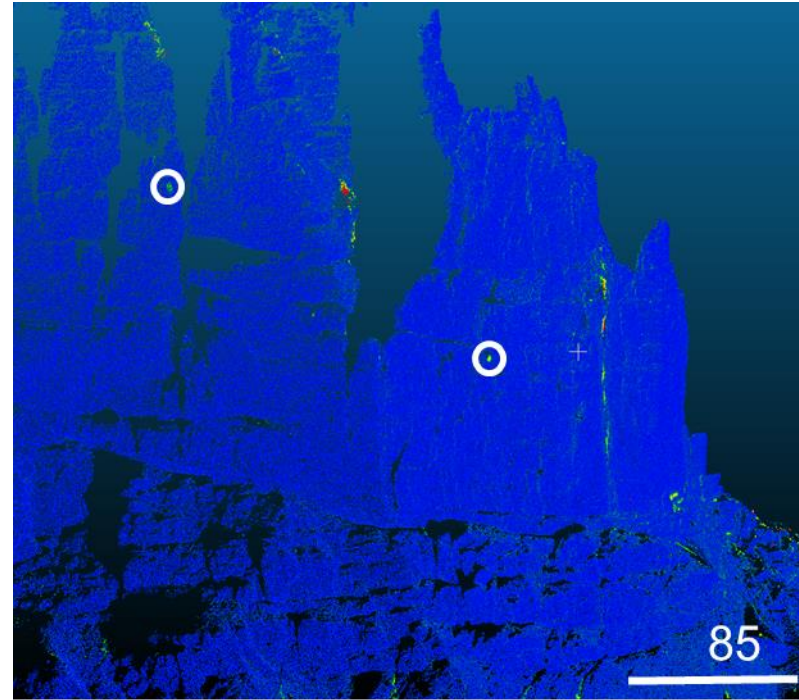
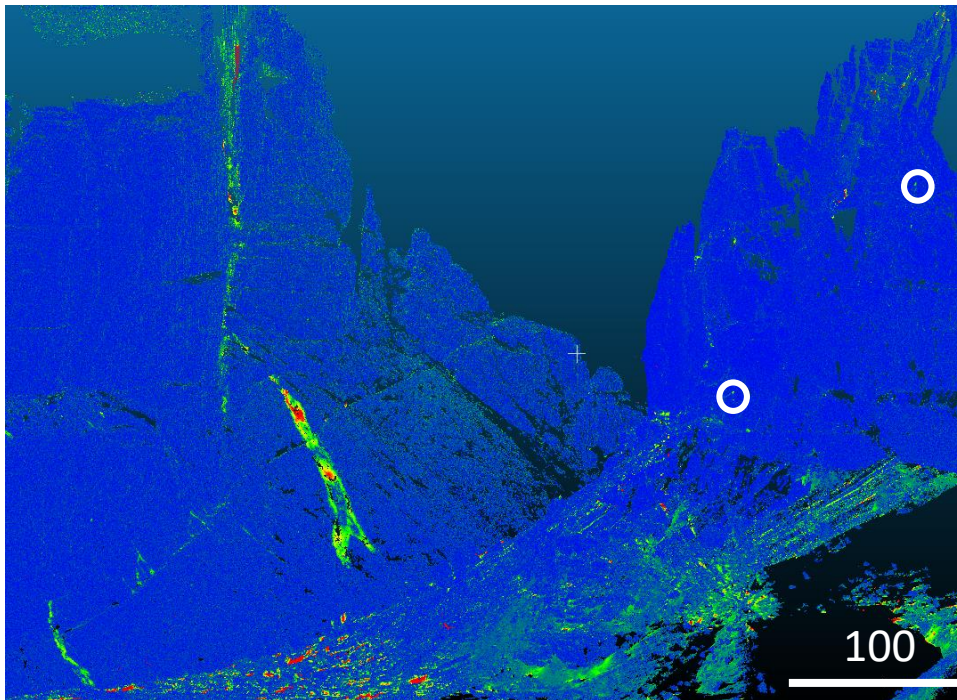
Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



TERRESTRIAL LASER SCANNER – caso studio: Sas Da Lech, Gruppo del Sella (BZ)



Laser Scanner Terrestre
Riegl VZ 1000:
*ottobre 2022,
agosto e ottobre 2023*



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

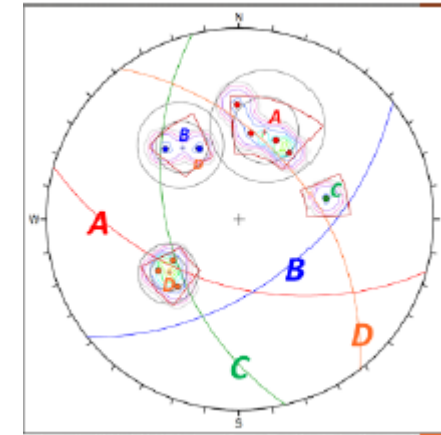
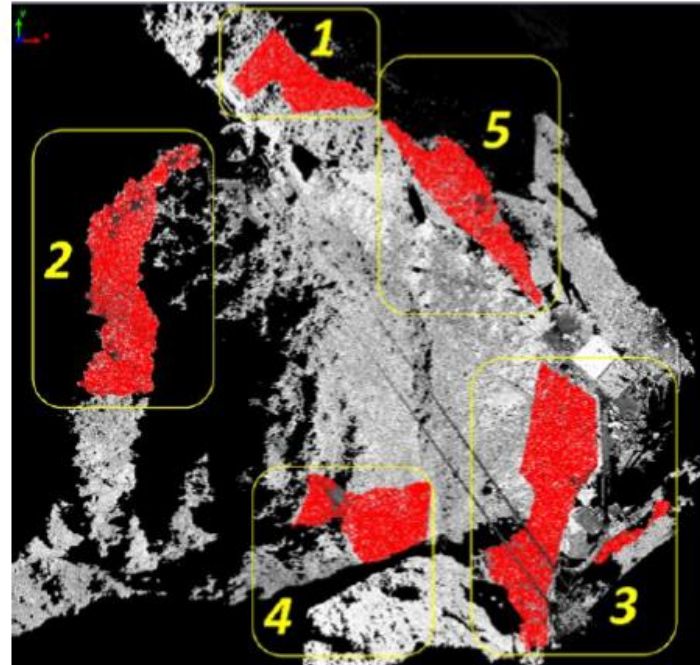
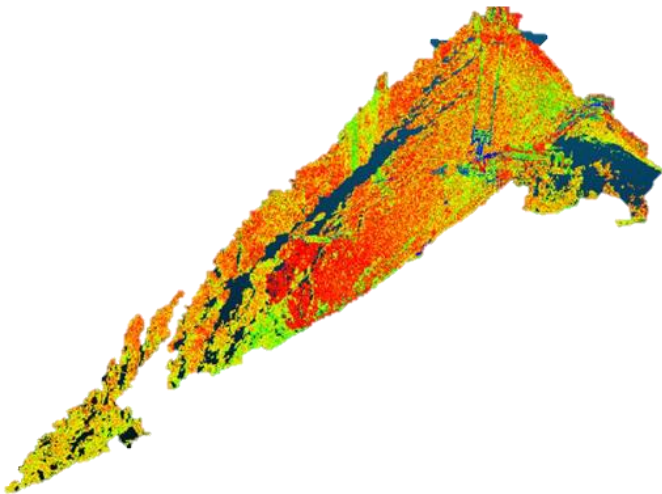


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



TERRESTRIAL LASER SCANNER – caso studio: Punta Helbronner (Monte Bianco)

- *Massiccio granitico all'interno del Massiccio del Monte Bianco al confine tra Italia e Francia*
- *Topografia Ripida, quota ca 3600 m s.l.m.*
- *Importanza economica e turistica*





GBInSAR (Ground Based Interferometric Synthetic Aperture Radar)

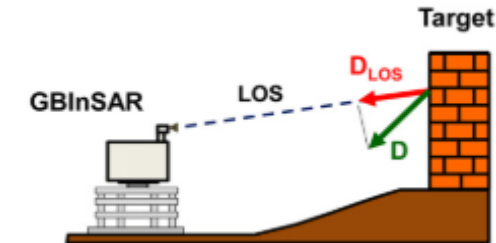
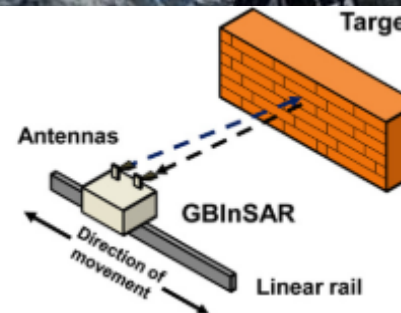
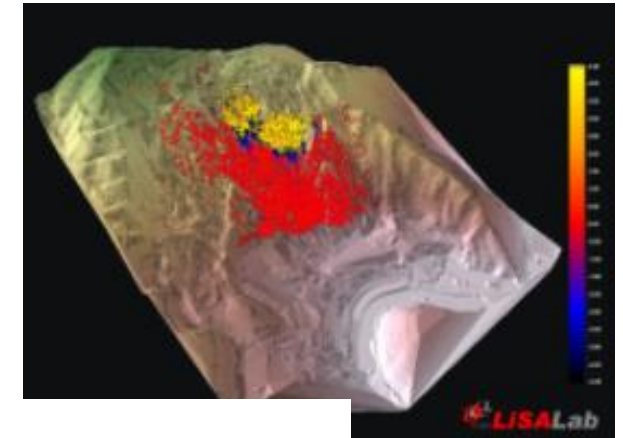
*Tecnica che utilizza **antenne radar** montate a terra che permettono di valutare i **cambiamenti nella distanza** tra l'antenna stessa e la superficie investigata nel **tempo**. Tecnica usata principalmente per movimenti a **piccola scala** (singolo versante o strutture).*

Vantaggi

- Alta risoluzione spaziale e temporale
- Installazione dello strumento semplice
- Sensibilità a movimenti verticali e orizzontali
- Alta ripetibilità dell'acquisizione
- Continuità nell'acquisizione

Svantaggi

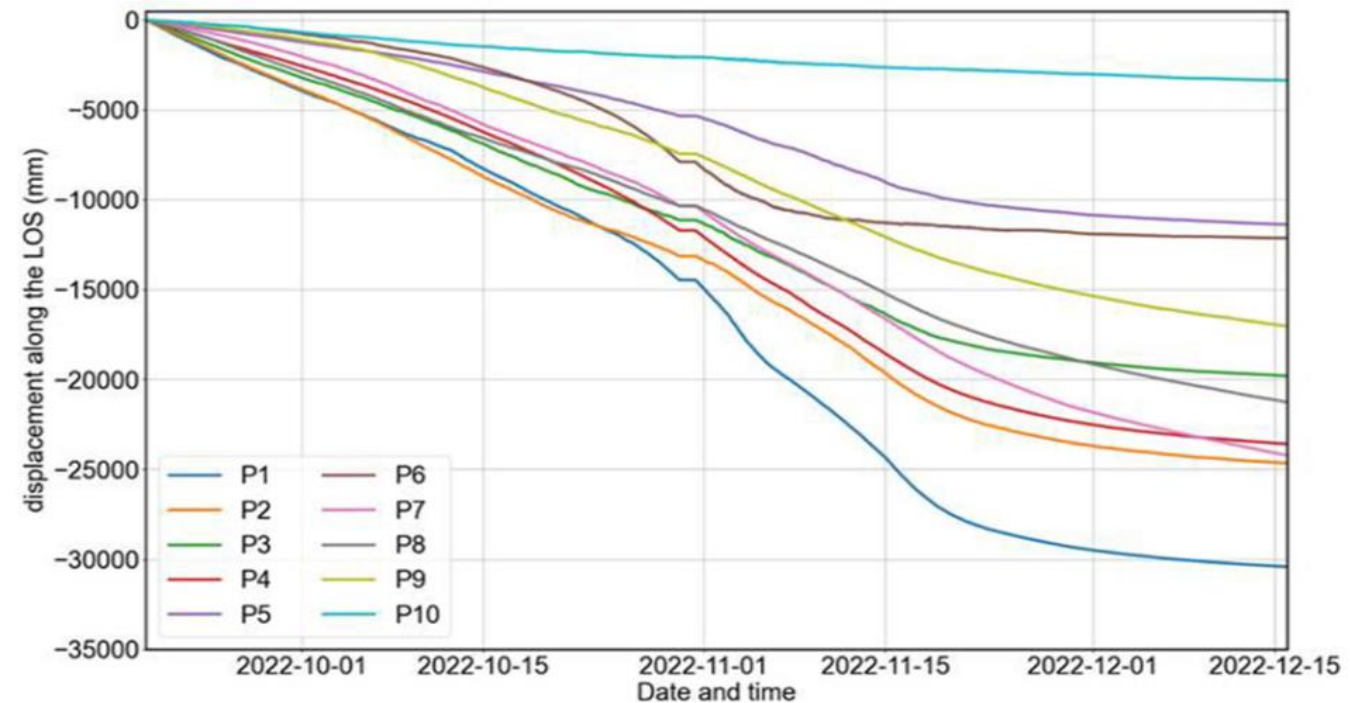
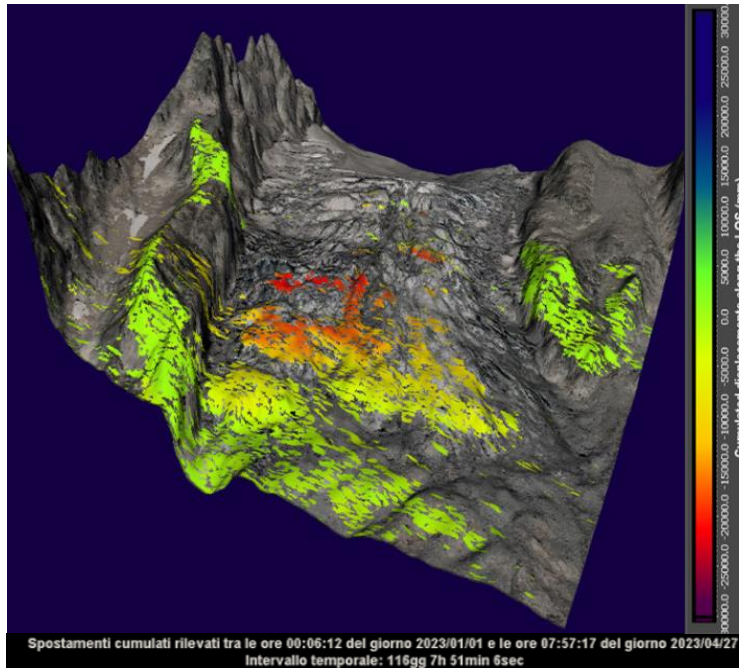
- Raggio di copertura piccolo
- Elevati costi di installazione e manutenzione
- Limitazioni Meteorologiche
- Ostacoli nel campo visivo dello strumento





GBInSAR – caso studio: Planpincieux Glacier, Courmayeur (Ao)

- Ghiacciaio sospeso posto sui versanti meridionali delle Grandes Jorasses (Monte Bianco)
- Copre un'area di 1km² circa e ha una quota compresa tra i 2640 e i 3680 m s.l.m.
- Pendenza di circa 30°
- Negli ultimi anni sempre più frequenti fenomeni di instabilità



<https://www.lisalab.com>

- Bearzot, F., Garzonio, R., Di Mauro, B., Colombo, R., Cremonese, E., Crosta, G. B., ... & Rossini, M. (2022). Kinematics of an Alpine rock glacier from multi-temporal UAV surveys and GNSS data. *Geomorphology*, 402, 108116.
- Curtaz (2012) Permafrost long-term monitoring network, P6 Permafrost and Natural Hazards Action 6.1 Method sheet Terrestrial photogrammetry (TP)
- Duvillard, P. A., Magnin, F., Revil, A., Legay, A., Ravanel, L., Abdulsamad, F., & Coperey, A. (2021). Temperature distribution in a permafrost-affected rock ridge from conductivity and induced polarization tomography. *Geophysical Journal International*, 225(2), 1207-1221.
- Duvillard, P. A., Ravanel, L., Marcer, M., & Schoeneich, P. (2019). Recent evolution of damage to infrastructure on permafrost in the French Alps. *Regional Environmental Change*, 19, 1281-1293.
- Hilbich, C., Hauck, C., Mollaret, C., Wainstein, P., & Arenson, L. U. (2022). Towards accurate quantification of ice content in permafrost of the Central Andes—Part 1: Geophysics-based estimates from three different regions. *The Cryosphere*, 16(5), 1845-1872.
- Krautblatter, M., Verleysdonk, S., Flores-Orozco, A., & Kemna, A. (2010). Temperature-calibrated imaging of seasonal changes in permafrost rock walls by quantitative electrical resistivity tomography (Zugspitze, German/Austrian Alps). *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 115(F2).
- Magnin, F., Deline, P., Ravanel, L., Noetzli, J., & Pogliotti, P. (2015). Thermal characteristics of permafrost in the steep alpine rock walls of the Aiguille du Midi (Mont Blanc Massif, 3842 m asl). *The Cryosphere*, 9(1), 109-121.
- Magnin, F., Josnin, J. Y., Ravanel, L., Pergaud, J., Pohl, B., & Deline, P. (2017). Modelling rock wall permafrost degradation in the Mont Blanc massif from the LIA to the end of the 21st century. *The Cryosphere*, 11(4), 1813-1834.
- Pogliotti, P., Cremonese, E., & Cella, U. M. D. (2023). Warming Permafrost in the Western Alps: A Further Evidence of Elevation Dependent Warming?. *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, (111-2).
- Ravanel, L., Magnin, F., & Deline, P. (2017). Impacts of the 2003 and 2015 summer heatwaves on permafrost-affected rock-walls in the Mont Blanc massif. *Science of the Total Environment*, 609, 132-143.
- Ravanel (2012) Permafrost long-term monitoring network WP6 Permafrost and Natural Hazards Action 6.1 Method sheet Terrestrial Laser Scanning (TLS)

PNRR "GeoSciences IR" - Missione 4 "Istruzione e Ricerca" - Componente 2 "Dalla ricerca all'impresa"
Linea di investimento 3.1 "Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione"
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU. CUP: I53C22000800006





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Disclaimer

L'Autore/gli Autori è/sono pienamente responsabile/i di tutti i contenuti inseriti nella presentazione. I contenuti di questa presentazione (testo, grafica, immagini e altri materiali) non violano i diritti di terzi e sono nella piena e libera disponibilità, avendo acquisito da ogni eventuale terzo avente diritto su di essi espressa autorizzazione alla pubblicazione; pertanto saranno utilizzati per le finalità strettamente connesse al progetto GeoSciencesIR.

