Esempi di modellistica applicata agli slush flows

Ing. Massimiliano Barbolini

Università degli Studi di Pavia - DICAR

Flow-Ing Srl

FLOW-ING s.r.l.
Engineering Natural Hazards

Torino, 20 novembre 2025

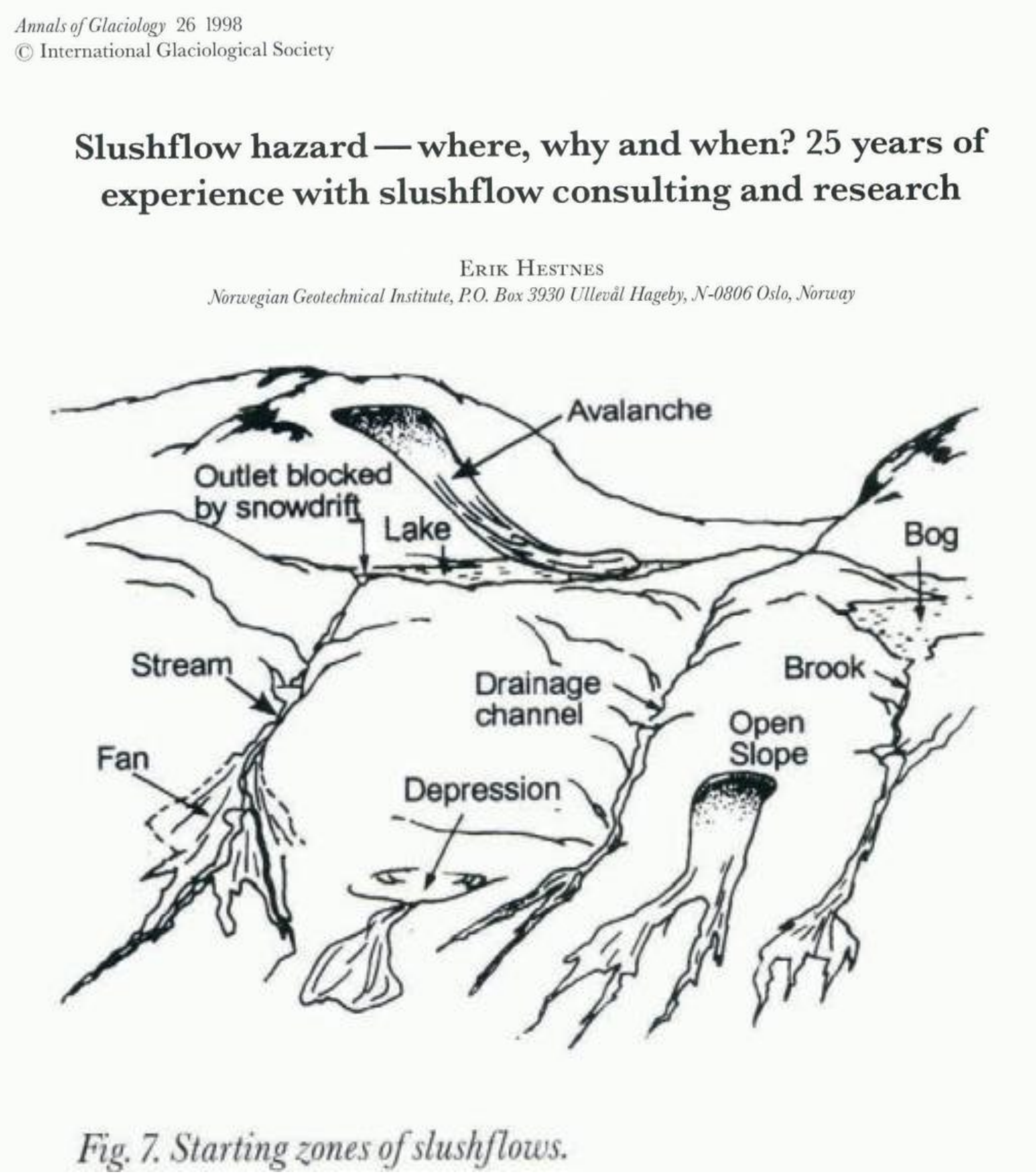
Cos'è uno slush flow

- Uno slush flow può essere considerato un caso estremo di valanga radente di neve bagnata → presenta pertanto alcune caratteristiche analoghe a tale tipologia di valanghe (capacità di <u>propagarsi anche su pendenze modeste</u>, <u>velocità più contenute dei fenomeni con neve asciutta</u>)

- La caratteristica principale, accanto al moto di tipo radente, è l'elevata concentrazione volumetrica di acqua liquida (C_w>>15%), da cui deriva <u>l'elevata densità</u> dell'ammasso in movimento

- Sono fenomeni maggiormente frequenti alle latitudini Nord (artico) rispetto agli ambiti alpini (Norvegia, Islanda, Russia – Penisola di Kola, USA – Alaska)


0°

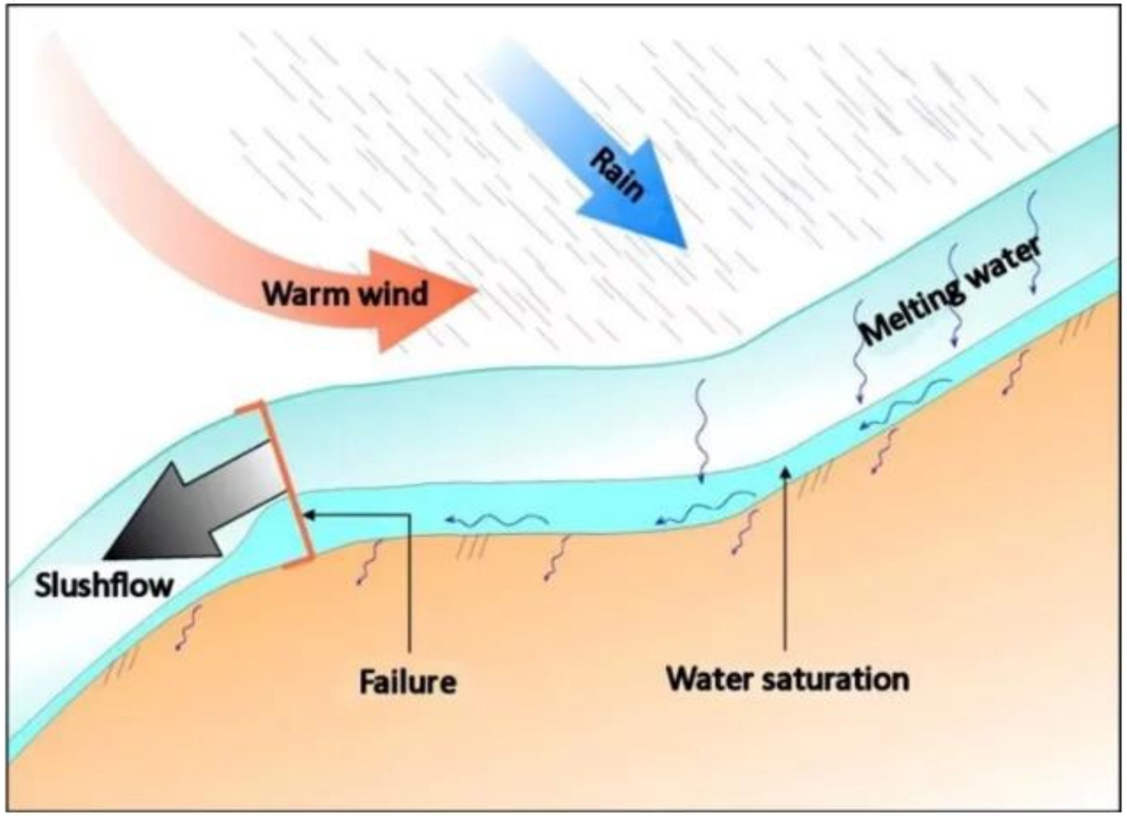

Annals of Glaciology 26 1998

Slushflow hazard — where, why and when? 25 years of experience with slushflow consulting and research

Erik Hestnes
Norwegian Geotechnical Institute, P.O. Box 3930 Ullevål Hageby, N-0806 Oslo, Norway

Fig. 7. Starting zones of slushflows.

La differenza più significativa rispetto alle valanghe di neve è la possibilità degli SF di originarsi anche su pendii a ridotta pendenza (<< 28-30 deg, fino a 5-10 deg)



Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 24, 1185–1201, 2024
https://doi.org/10.5194/nhess-24-1185-2024

Natural Hazards and Earth System Sciences
Open Access

A regional early warning for slushflow hazard

Monica Sund, Heidi A. Grønsten, and Siv Å. Seljesæter
Norwegian Water Resources and Energy Directorate, 0301 Oslo, Norway

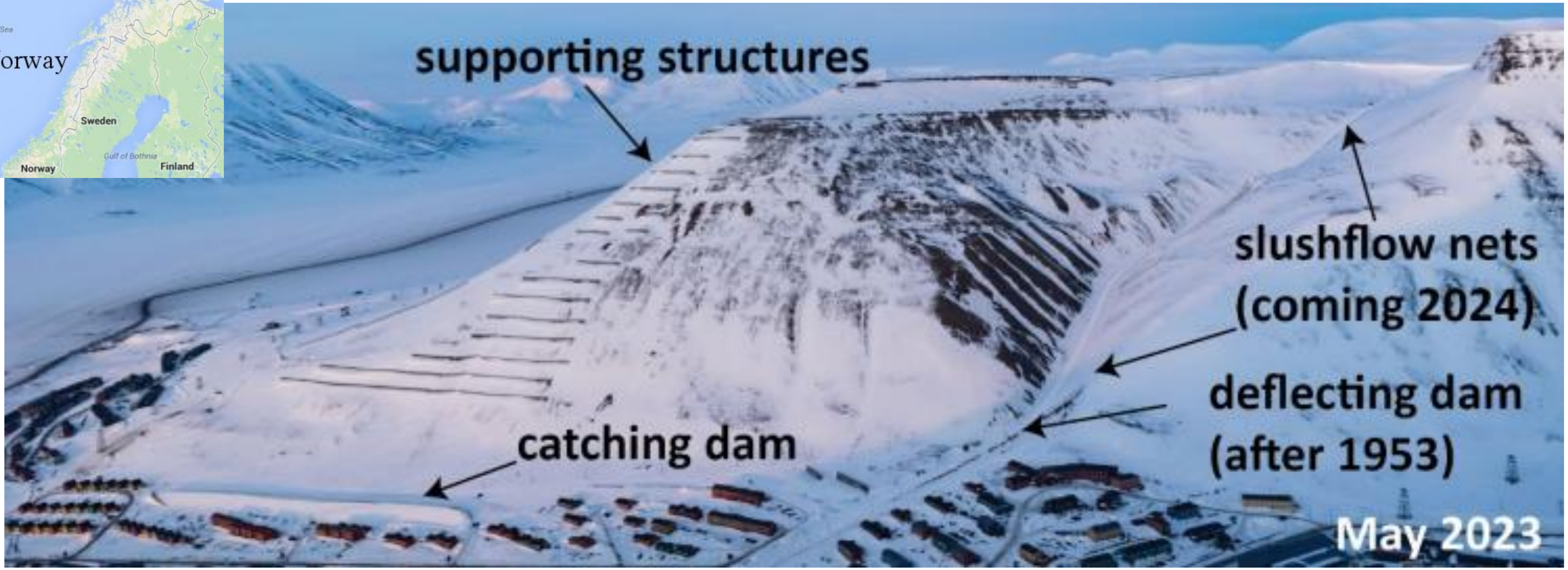
Correspondence: Monica Sund (mosu@nve.no)

Received: 13 June 2023 – Discussion started: 18 July 2023
Revised: 22 January 2024 – Accepted: 8 February 2024 – Published: 3 April 2024

ESEMPIO DI SLUSH FLOW PATH & OCCURRENCE

Figure 1. Example of a slushflow path and runout, close to Krossbu, Jotunheimen, southern Norway, 19 May 2013. It released at the outlet of a lake and eroded the ground. It is not uncommon that slushflows initiate in sunny weather due to snowmelt only. (Photo credit: Kjell Nyøygard.)

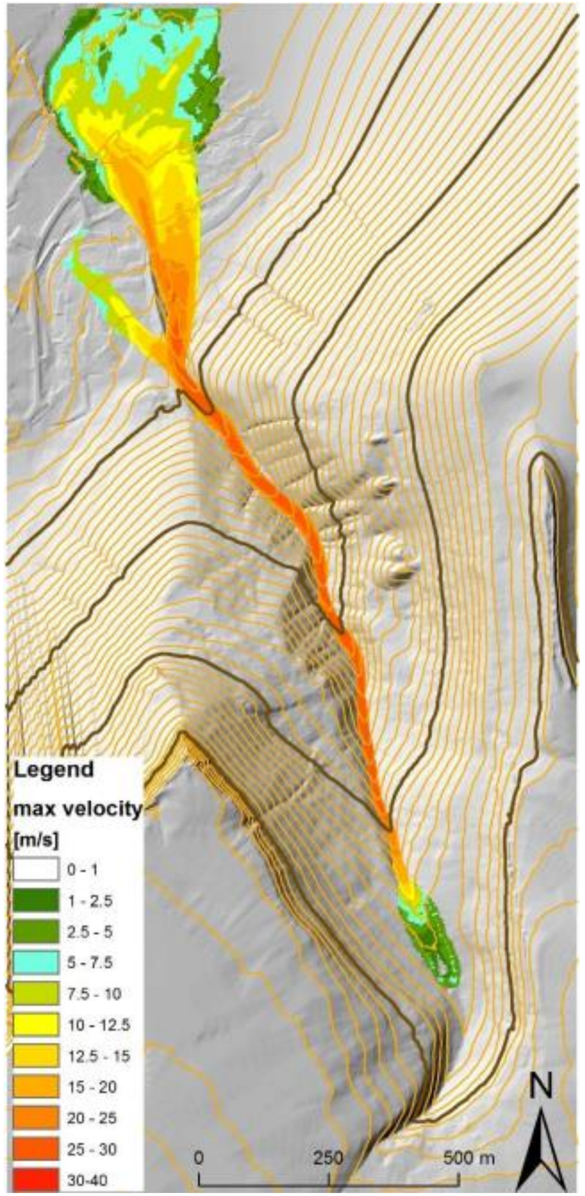
SLUSH HAZARD AT LONGYEARBYEN, SVALBARD



Optimizing Mitigation Measures against Slush Flows by Means of Numerical Modelling-A Case Study Longyearbyen , Svalbard

P. Gauer • Published 2014 • Environmental Science, Engineering

Spitsbergen is usually related to cold climate and harsh weather conditions. In recent years, mild weather in mid-winter has become more frequent, and likewise have slushflows. The latest slushflow incident occurred in Vannledningsdalen January 2012. Longyearbyen Community Council asked NGI for a review of existing mitigation measures, and for a proposal of a revision or extension to fulfill new building regulations. The RAMMS model from SLF/WSL was chosen to simulate the slushflow. The slushflow was first simulated for the existing terrain and input parameters were optimized by comparison with selected known slushflows events. We found the parameters μ=0.05 and [illegible]=5000 [m/s 2] to give reasonable run-out. These parameters were then used in simulations with a modified terrain including the revised mitigation measures. We consider that the use of RAMMS gives valuable indication on how the slushflow might behave along the path, what flow thickness and speed can be expected as well as to indicate possible deficiencies in the proposed design of the mitigation measures. Collapse



THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF SLUSH-FLOW NETS IN VANNLEDNINGSDALEN LONGYEARBYEN SVALBARD

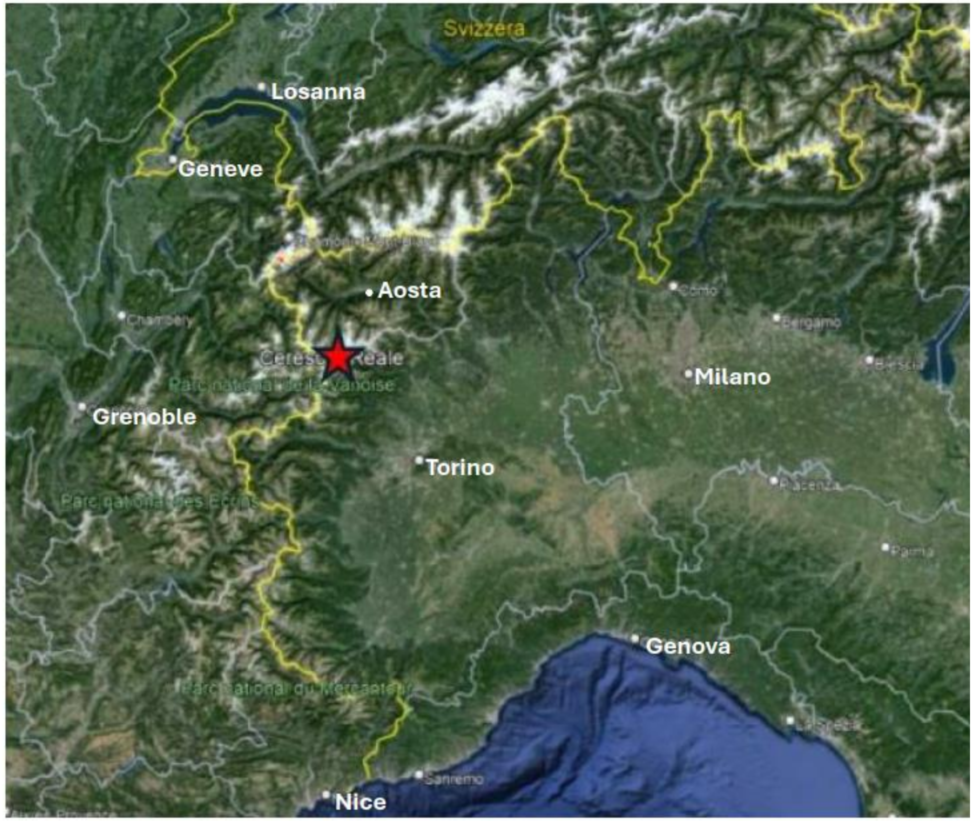
Arni Jonsson[1]*, Nadine Feiger[2], Inger Lise Solli[3], Marit Bratland Pedersen[3], Mathias Klotz[5], Anders Ringheim[4], Stian Bue Kanstad[1], Jan-André Jansen[1], Oddmund Sletten[5]

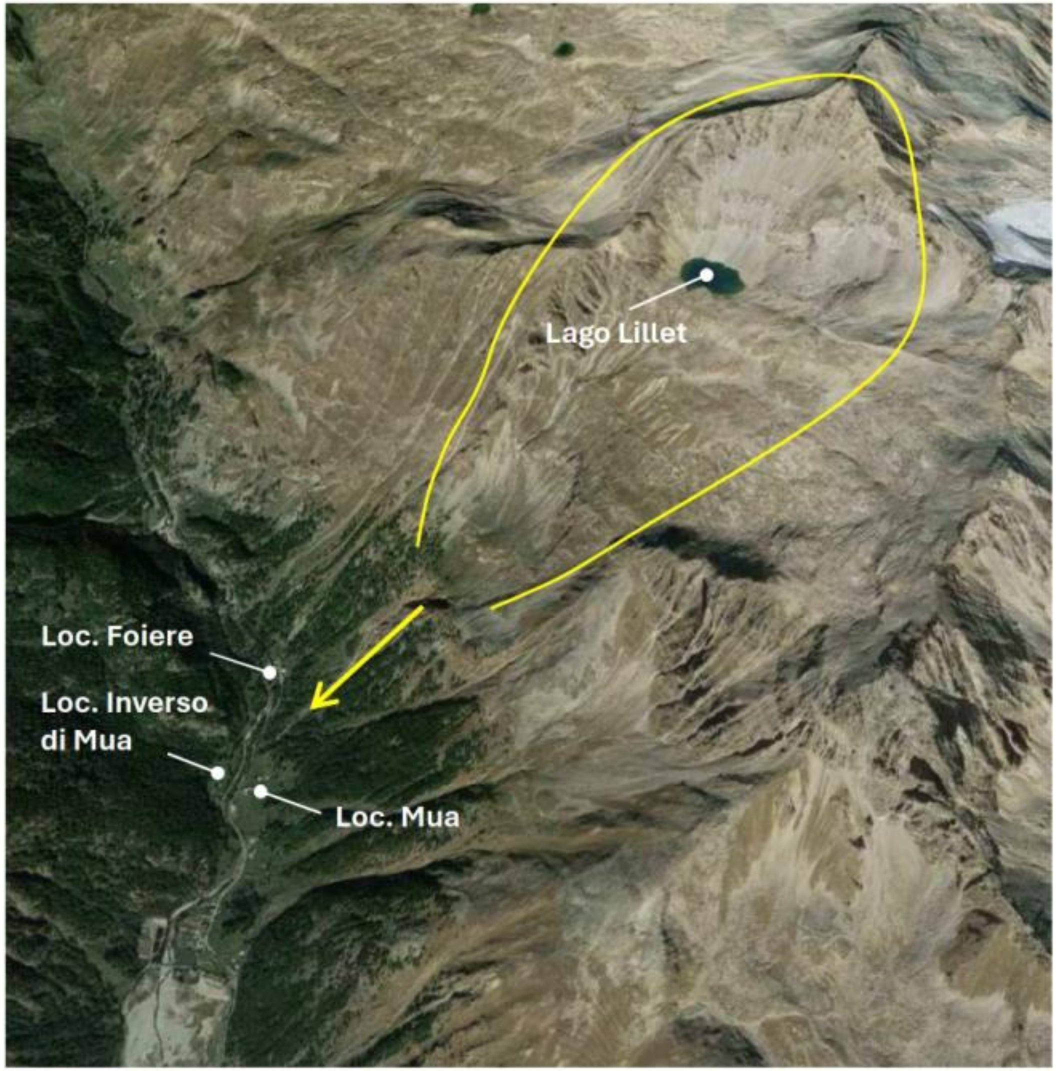
[1] *The Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE), Oslo, Norway*
[2] *Geobrugg AG, Romanshorn, Switzerland*
[3] *Rambøll Norge AS, Trondheim, Norway*
[4] *SNSK Longyearbyen, Svalbard, Norway*
[5] *DS Entreprenør AS, Kråkerøy, Norway*

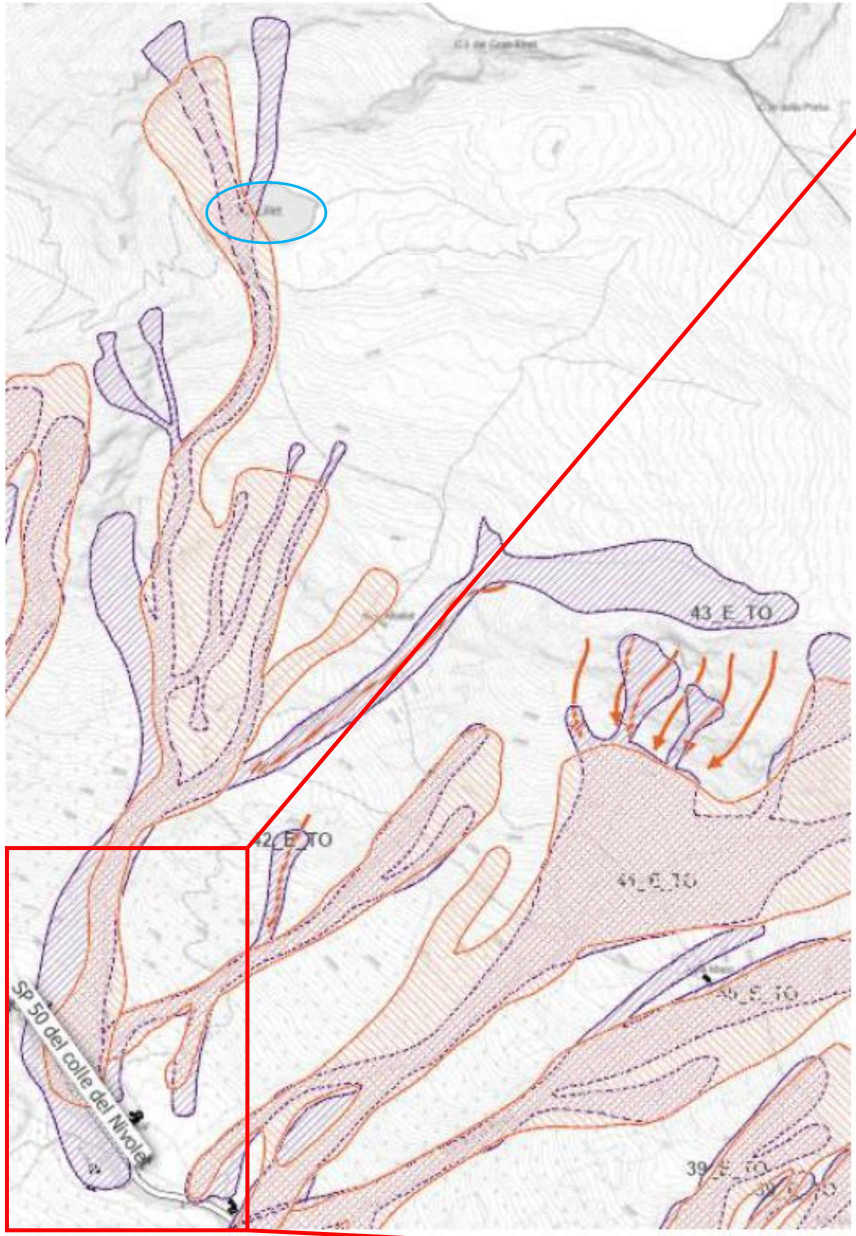
Figure 7 shows installation of 7 m high posts at net 13 on 19th of August 2024. The horizontal ropes and retaining ropes are connected to the Flexheads/anchors but the work on the ring net is still under way. The photo also shows how fractured and loose the Svalbard rock and soil is. Photo: Arni Jonsson.

Figure 1 shows Vannledningsdalen and the planned sites for 14 slush-flow nets (highlighted in yellow-green) overlaid on a 3D point cloud model. Fig.: HNIT Verkfræðistofa.

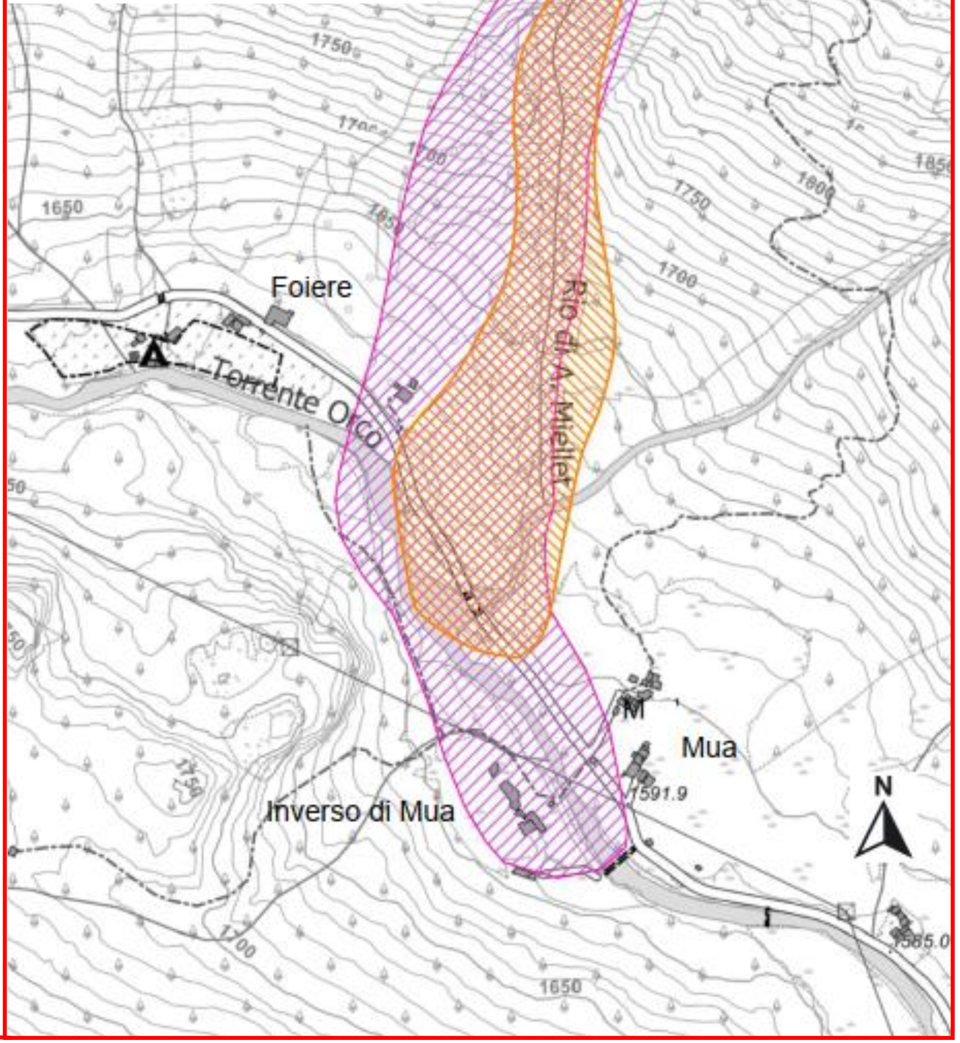
La valanga "Lago Lillet"
Comune di Ceresole Reale (TO)
n. 43-E-TO del SIVA







Dati cartografici
Fonte «SIVA»



Dati Storico-archivistici

<u>SIVA</u>:
"Nel 1972 una parte cadde nel lago Lillet, causandone lo straripamento, giunta a valle distrusse una casa ad Inverso di Mua"

<u>Archivio "Capello»</u>:
"Un ramo cadde nel lago rompendo lo strato di ghiaccio, provocandone lo straripamento, poi si incanalò nel Rio Pisson roccioso e poi boscoso. Superò la strada e si depositò in parte nell'Orco ed in parte presso Foiera"

Dati Storico-archivistici → **SIVA** →

↓

CAPELLO

↓

32. VALANGA DEL LAGO LILLET.

Località. - Si staccò sul fianco sinistro dell'Orco, in vicinanza di Foiera. Tavv. 41 III NE (Colle del Nivolet) e 41 II NO (Ceresole).

Descrizione sommaria. - Scese da un costone roccioso del versante SO del M. Percia, roccioni ad O, presso il lago Lillet. Un ramo cadde nel lago rompendo lo strato di ghiaccio, provocandone lo straripamento, poi si incanalò nel rio Pisson roccioso e poi boscoso. Superò la strada e si depositò in parte nell'Orco ed in parte presso Foiera. Esposizione S. *Dati metrici* - Nel 1972: traiettoria m 2100, fronte m 150, superficie mq 35.000 (C. Forestale).

Periodicità - Durata - Effetti. - Periodica irregolare. Cade solo ogni 15-20 anni. Osservata il 20-2-1972 (ore 10). La neve durò sino ad aprile e lasciò residui detritici, tronchi e ceppaie. Scorticò i pascoli. Asportò linee elettriche per 250 m. Ostruì la strada per il Colle Nivolet.

Fonti delle notizie. - C. Forestale (Locana) - Bazzarone (informaz.).

Cartografia. - Atlante, tavole n. 3 (Nivolet) e n. 4 (Ceresole).

SIVA: SISTEMA INFORMATIVO VALANGHE
Scheda di Caratterizzazione del Sito Valanghivo

sito Lago Lillet - località Mua, Ceresole Reale (TO)

Bacino Idrografico:	Orco	**Sezione CTR:**	112110
Quota massima di distacco (m s.l.m.):	3200	**Quota minima di arresto (m s.l.m.):**	1600
Dislivello (m):	1600	**Lunghezza reale (m):**	2600
Sito valanghivo n°	43_E_TO	**Sito ASTV**	32_4
Tavola cartografica	Valle Orco: Ceresole Reale, Noasca	**Tavola ASTV**	Ceresole Reale
Modalità di acquisizione	Terreno e archivio	**Frequenza**	Periodica (ogni 2-30 anni)

ZONA DI DISTACCO		ZONA DI SCORRIMENTO	
Ubicazione	Zona delle creste	**Profilo**	A balze
Morfologia	Dato non rilevato	**Andamento planimetrico**	Confluenza di canali
Inclinazione media	45	**Morfologia**	Impluvio
Esposizione media	Sud	**Inclinazione media**	40
Substrato	• Roccia affiorante	**Substrato**	• Roccia affiorante • Canale in bosco di conifere • Pascolo con rocce affioranti

ZONA DI ARRESTO		OPERE DI DIFESA	
Luogo di arresto	• Nel corso d`acqua • Nel fondovalle	**Tipologia**	• Assenti
Note		**Note**	

DANNI POTENZIALI	DANNI ACCERTATI
• Rotabili • Fabbricati civili	• Rotabili • Fabbricati civili

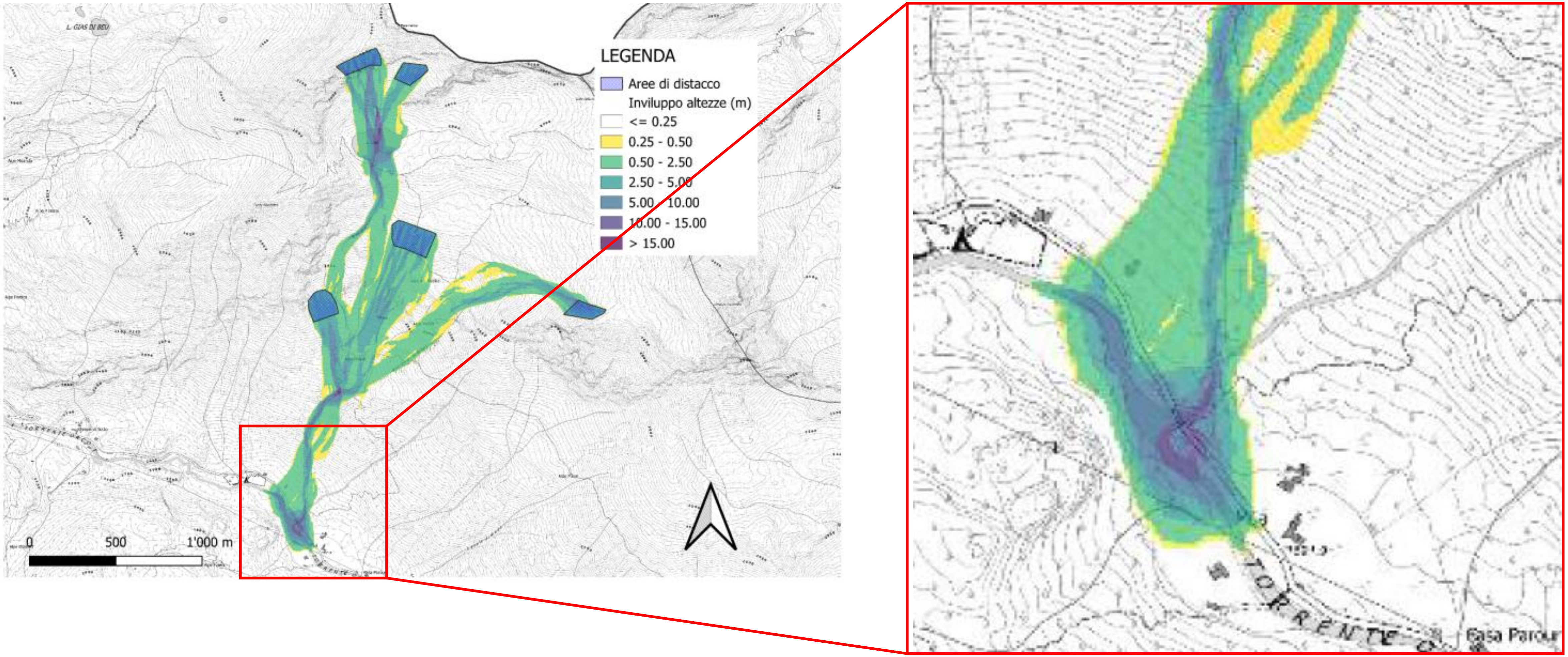
EVENTI NOTI		INFORMAZIONI AGGIUNTIVE	
1972 febbraio 20	• Fabbricati civili	**Mod.7 Aineva**	Non presenti
2008 dicembre 16	• Nessun danno	**Note generali**	Nel 1972 una parte cadde nel lago Lillet, causandone lo straripamento, giunta a valle distrusse una casa ad Inverso di Mua.

FOTO	FONTI
Non presenti	Non presenti

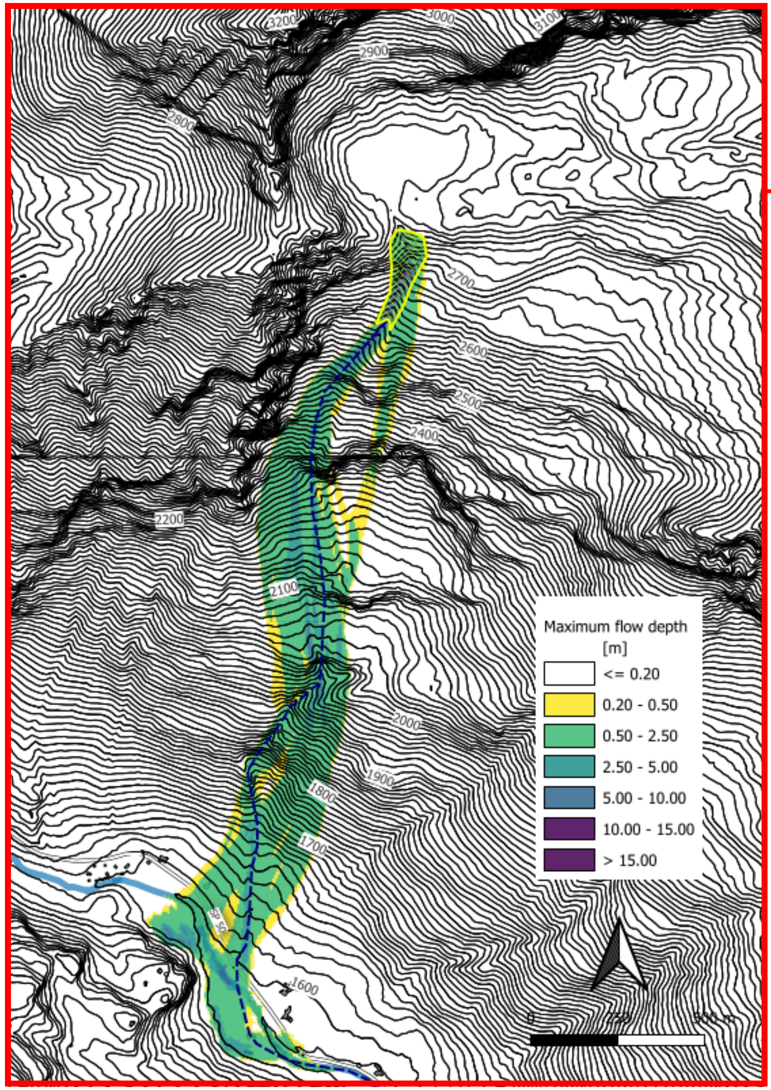
Rilevatore	Matteo BRAGALLINI [UNITO]	**Data primo rilevamento**	1998-07
Autore aggiornamento	dr.ssa Maria Cristina PROLA [ARPAP]	**Data aggiornamento**	2009

Evento valanghivi di tipo denso a carattere eccezionale – T=300 anni

Modello – RAMMS::Avalanche



MODELLAZIONE EVENTO TIPO SLUSH-FLOW



Modello – RAMMS::Avalanche con parametrizzazione «ad hoc»

μ=0.05
ξ=5000 (m/s^2)

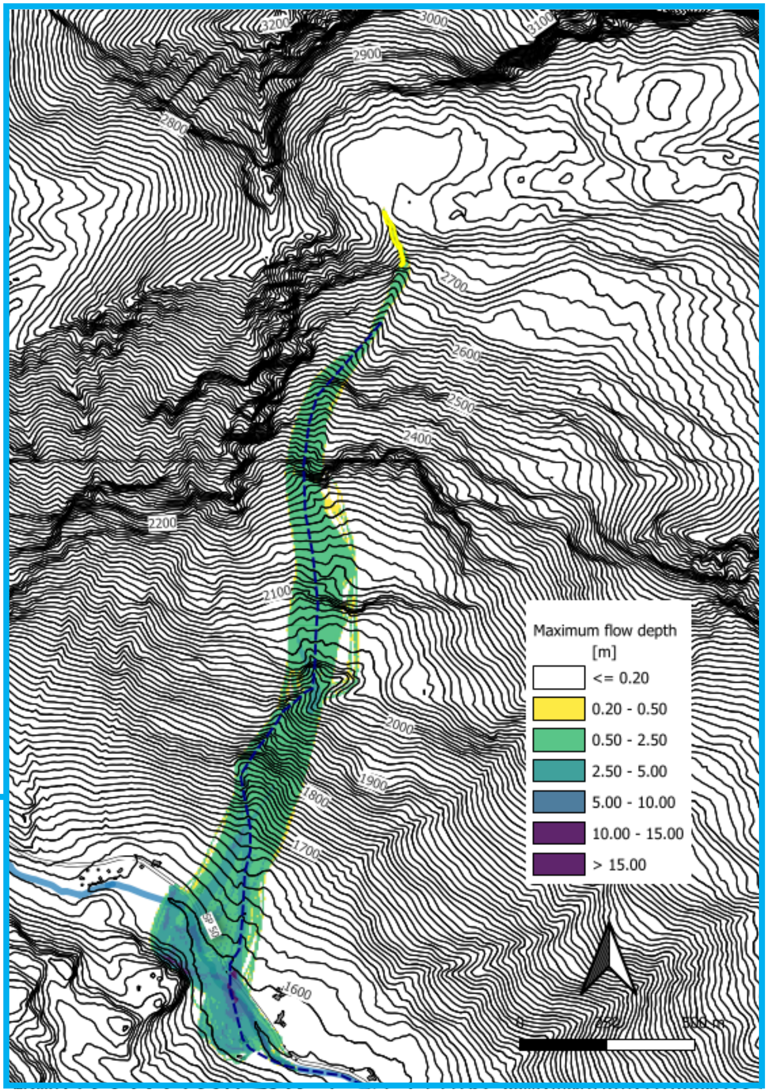
(Rif. Jónsson and Gauer, 2014)

Modello – SAMOS-AT Modified

$$(\sigma_{xz},\sigma_{yz}) = \frac{u}{\|u\|}\left[3M_B\frac{\|u\|}{h} + 1{,}5\,\tau_y + \mu\,\sigma_{zz}\right]$$

Coulomb friction μ=0.1
Shear strength τ_y=100Pa
Bingham viscosity M_B= 5 Pa·s
Max. erodible mass: 300 kg/m^2

(Rif. Barbolini et al., 2024)



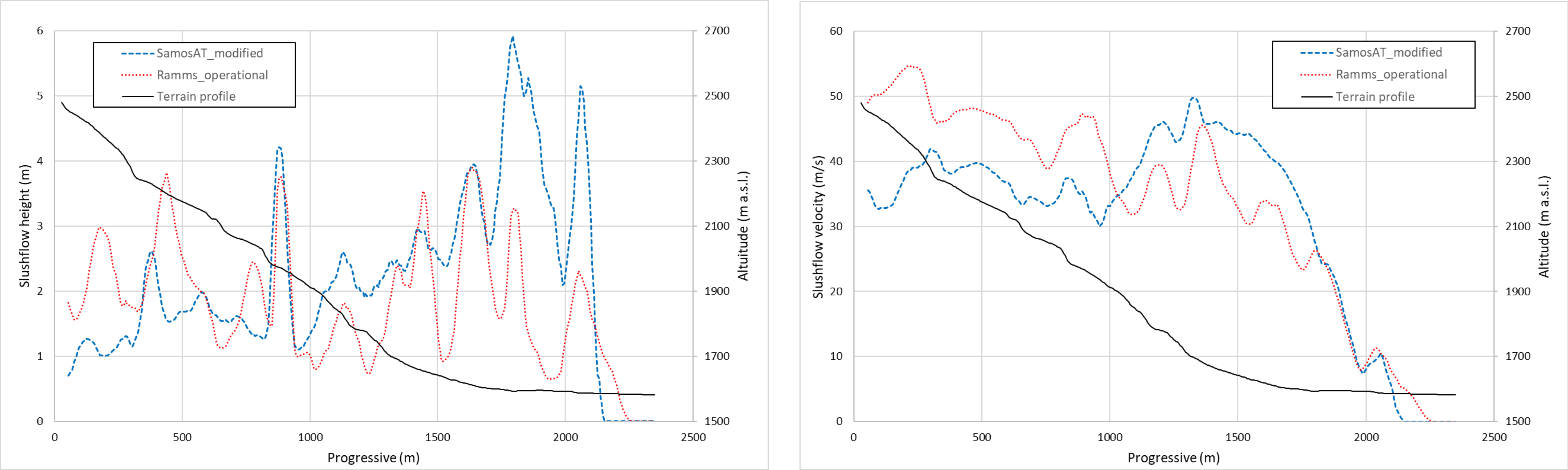
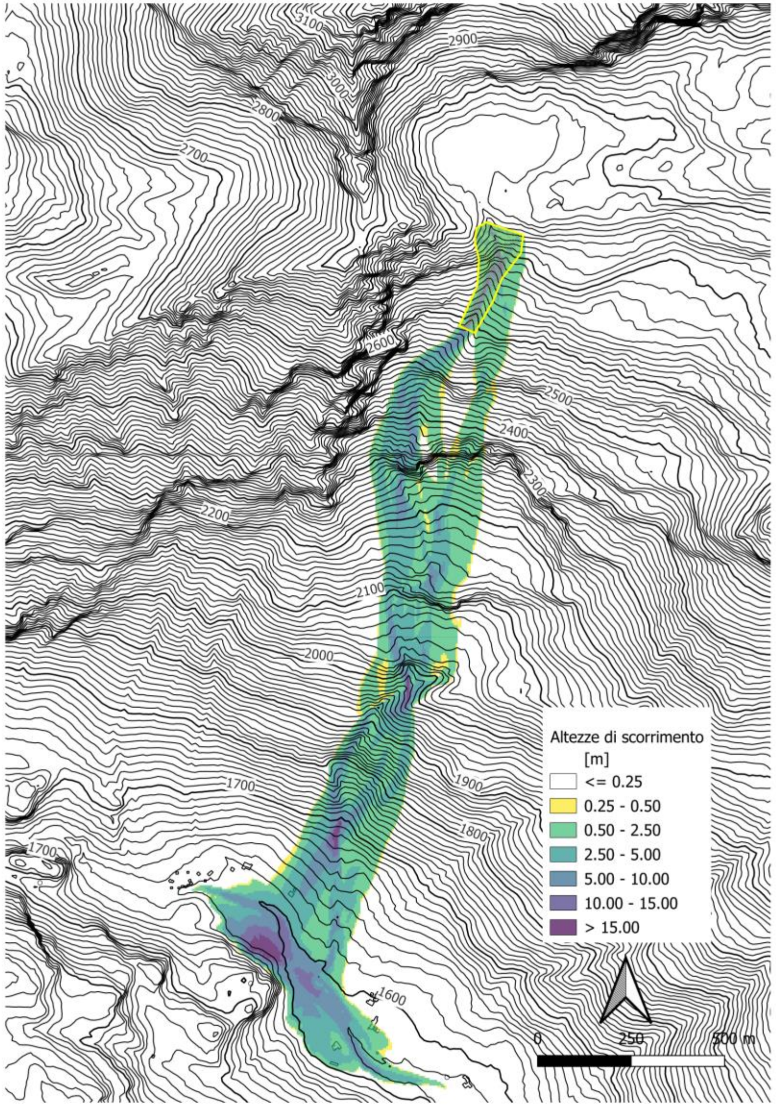
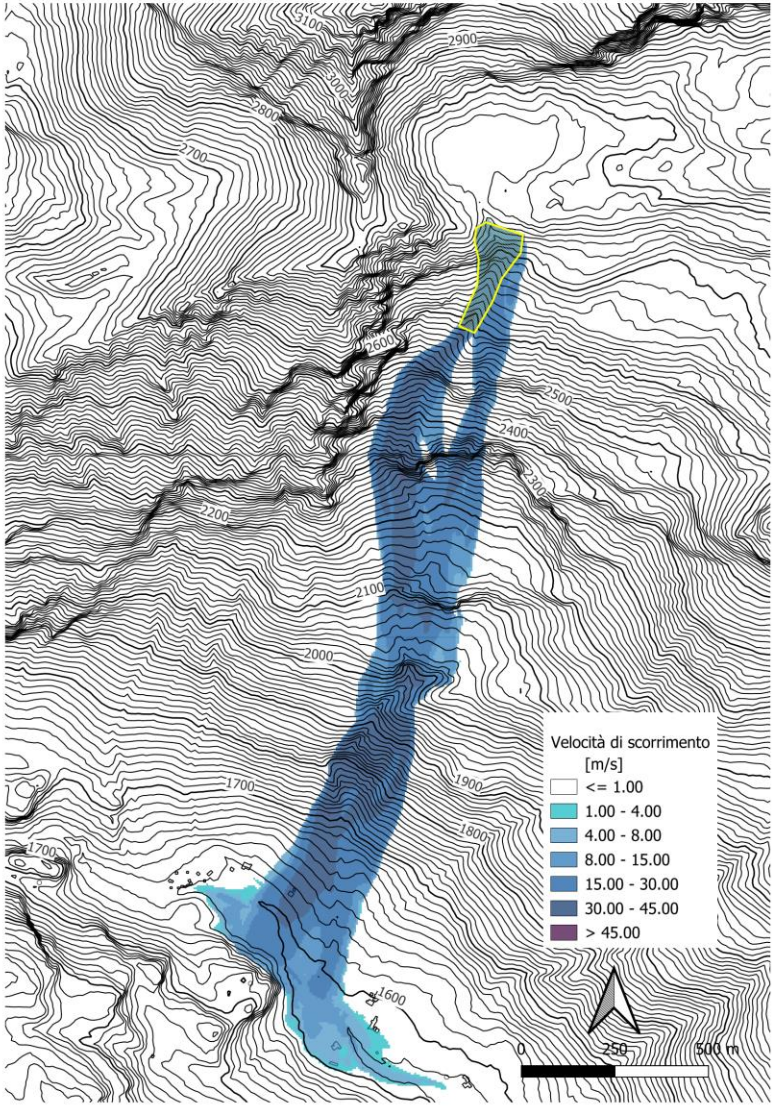


Figure 6: Comparison of slushflow simulation: maximum flow heights obtained with Ramms::operational (top-left) and Samos-AT (top-right). Lower pictures show the comparison of calculated slushflow height and velocity along the green profile of Figure 5, indicated with a dashed line in the top figures.

MODELLAZIONE EVENTO TIPO SLUSH-FLOW

Modello – RAMMS::Extended





EXTENDED	DTM UTILIZZATO	RIS.	AREA DI DISTACCO	V
Nome file		*m*	*Nome shapefile*	*mc*
SIM_SLUSHFLOW_EXT_07	DTM_5M_EPSG32633	5	CERESOLE_REALE_release_area_slushflow	72'336.8

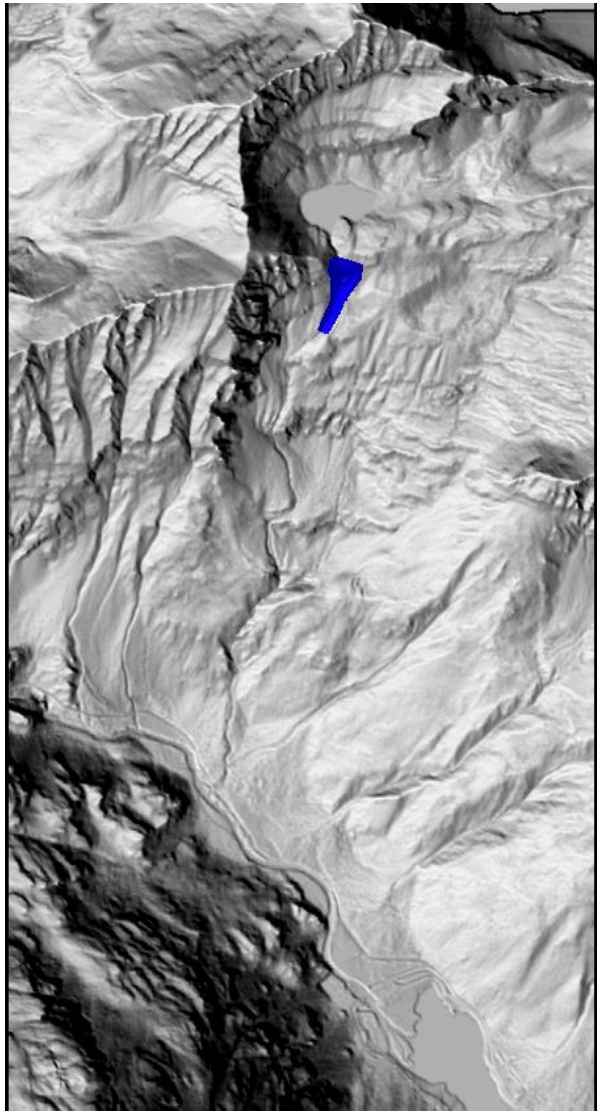
TEMPO DI RITORNO	HD	COES.	AVAL. DIM	DUMP STEPS	END TIME
anni	*m*	*Pa*		*s*	
300	2.5	0	LARGE	5	500

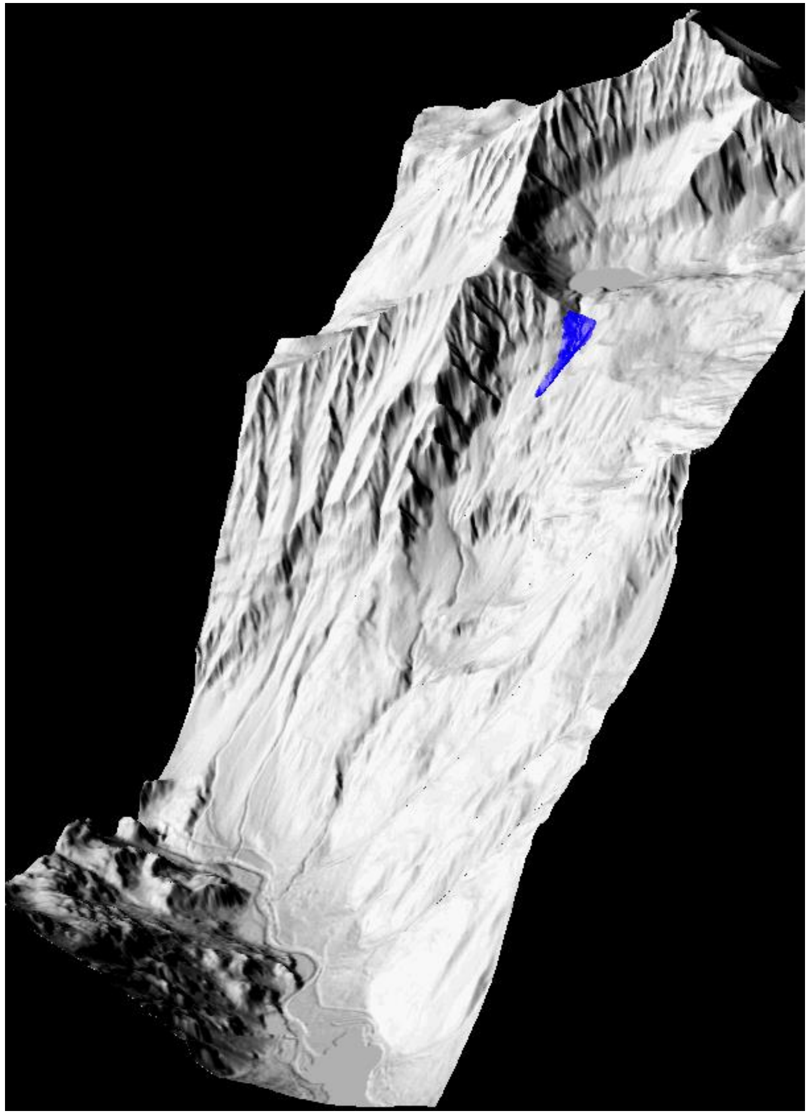
SNOWCOVER MENU							
altitude		*delta d*	*T.*	*delta t*	*water*	*delta w*	*Erosion depth*
m		*m/100m*	*°C*	*°C/100m*	*%*	*%/100*	*m*
2750		*0.05*	*-1*	*0.40*	*1*	*0*	*2.5*
No snow steepness	*Front splash*	*Yield stress*	*No snow altitude*	*Rel. density*	*Erosion density*	*Deposition density*	*Erosion mode*
deg		*Pa*	*m s.l.m.*				
60	*0*	*300*	*0*	*250*	*250*	*450*	*CONSTANT*

POWDER/WET MENU								
generate	*mu wet*	*dry wet transition*	*Air temp [°]*	*cloud drag*	*cliff factor*	*turbul air entr*	*Enable turb*	*beta powder*
%		*mm*						
3	*0.05*	*2.0*	*-1.00*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*

MODELLAZIONE EVENTO TIPO SLUSH-FLOW

Modello – RAMMS::Extended





SLUSH-FLOW: Bibliografia essenziale

Bozhinskiy, A.N., Nazarov, A. N. Dynamics of two layer slushflows. Proceeding of the Conference “25 Years of Snow Avalanche Research”, Voss, Norway 12-16 May 1998, NGI Publication No. 203, 74–78, 1998.

Gauer, P. Numerical modeling of a slush flow event, in: Proceedings of the International Snow Science Workshop Jackson Hole, Wyoming, 19-24 September 2004, 39–43, 2004.

Hestnes, E. A contribution to the prediction of slush avalanches, Annals of Glaciology, 6, 1–4, 1985.

Hestnes, E. Slushflow hazard – where, why and when? 25 years of experience with slushflow consulting and research, Annals of Glaciology, 26, 370–376, 1998.

Hestnes H. and Kristensen K. The diversities of large slushflows illustrated by selected cases. Proceedings ISSW 2010

Jónsson, Á. and Gauer, P. Optimizing Mitigation Measures against Slush Flows by Means of Numerical Modelling. A Case Study Longyearbyen, Svalbard. In: Extended Abstracts of the Interpravent, Nara, Japan, 25-28 November 2014, 727–732, 2014.

Jónsson, Á. Et al. The design and construction of slush-flow nets in Vannledningsdalen Longyearbyen Svalbard, Proceedings, International Snow Science Workshop, Tromsø, Norway, 2024

Onesti, L. and Hestnes, E. Slush-flow questionnaire, Annals of Glaciology, 13, 226–230, 1989.

Sund M., Grønsten H.A. and Seljesæter S.Å. A regional early warning for slushflow hazard. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 24, 1185–1201, 2024

Svendsen SP, Gjermundsen EF, Sund M, Anjar J. Slushflows: Large discrepancy between reported and actual incidents. Journal of Glaciology 71, 1–12, 2025