

REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DI VERCELLI



UNIONE MONTANA
VALSESIA



CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA E ARTIGIANATO
E AGRICOLTURA



COMUNE DI ALAGNA
VALSESIA



COMUNE DI SCOPELLO



MONTEROSA 2000 S.p.A.

COMPLETAMENTO DEL SISTEMA SCIISTICO DELLA VALSESIA

AGGIORNAMENTO DELL'ACCORDO DI PROGRAMMA
SIGLATO IL 14 NOVEMBRE 2006

TITOLO ELABORATO

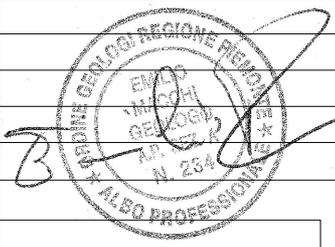
ACCORDO DI PROGRAMMA

Realizzazione invaso artificiale a cielo aperto per impianto
di innevamento programmato in località Mullero
Progetto Esecutivo
Relazione nivologica

ELABORATO n° 2.4	SCALA	DATA GIUGNO 2019	REDATTO	Giugno 2019	M. Maggioni E. Levera
			CONTROLLATO	Giugno 2019	M. Maggioni E. Levera
			APPROVATO	Giugno 2019	C. Francione
NOME FILE	2.4 Relazione nivologica				
REVISIONE N°	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE E RIFERIMENTI DOCUMENTI SOSTITUTIVI			
	Giugno 2019	Emissione			
Dott.sa Margherita MAGGIONI, Ph.D. SLF Davos (CH)					

Prof. Nicola Capparoni

ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PROVINCIA VERCELLI
arch. Pier Augusto Donna Bianco
n° 2801



ORDINE DEI GEOLOGI
Regione Autonoma Valle d'Aosta
ORDRE DES GEOLOGUES
Région Autonome de la Vallée d'Aoste

Dr. LEVERA Elena
Via Albo n° 50
Elena Levera

PROPONENTE



MONTEROSA 2000 S.p.A.
FRAZIONE BONDA, 19
13021 ALAGNA VALSESIA (VC)

PROGETTISTA

MONTEROSA 2000 S.p.A.
FRAZIONE BONDA, 19
13021 ALAGNA VALSESIA (VC)



ECOPLAN
SOCIETA' DI INGEGNERIA
& ARCHITETTURA AMBIENTALE
10154 TORINO Via S. Botticelli, 57

Ing. Claudio Francione

Arch. Pier Augusto Donna Bianco
Dott. geologo Emilio Macchi
Dott. Nat. Massimo Forneri

Dott.ssa geologo E. Levera
Dott.ssa M. Maggioni

*Comune di Alagna Valsesia
Provincia di Vercelli*

Relazione nivologica

Oggetto: *Realizzazione invaso artificiale a cielo aperto per
impianto di innevamento programmato in località
Mullero*

Committente: *Monterosa 2000 S.p.A.*

ottobre 2018

Dott. Geol. LEVERA ELENA
Tel. 339-3587939
e-mail: elenalevera@gmail.com
C. F. LVRLNE79H47A326A
P. I. 01070140072

Dr.ssa MARGHERITA MAGGIONI, Ph.D. SLF Davos
Tel. 333-7427381
e-mail: margherita.maggioni@unito.it
C. F. MGGMGH73R69F205V

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	2
3. METODOLOGIA DI STUDIO	4
4. RIFERIMENTI NORMATIVI E DOCUMENTALI	4
5. INQUADRAMENTO DELL'AREA VALANGHIVA	5
ASPETTI MORFOLOGICI E VEGETAZIONALI	7
DATI STORICI.....	9
OPERE DI DIFESA.....	10
6. DINAMICA VALANGHIVA.....	10
7. ASPETTI CLIMATICI E NIVOLOGICI.....	13
8. SIMULAZIONI DI DINAMICA DELLE VALANGHE	14
Parametri di input.....	14
Output.....	17
9. INTERAZIONE VALANGA – INVASO ARTIFICIALE	25
10. CONCLUSIONI	28

1. PREMESSA

Su incarico della Monterosa 2000 S.p.A. è stato svolto uno studio nivologico relativamente al progetto per l'attuazione di un invaso artificiale nel comune di Alagna Valsesia (VC) in località Mullero, al servizio degli impianti di innevamento programmato e con funzione anche di riserva d'acqua. In particolare, il presente studio è volto a valutare gli effetti di potenziali valanghe che potrebbero interferire con l'invaso in progetto. Lo scopo specifico del lavoro è l'individuazione della soluzione progettuale atta ad evitare che valanghe con tempo di ritorno pari a 100 anni (vedi Linee Guida AINEVA) entrino all'interno dell'invaso provocando quindi un innalzamento del livello dell'acqua ed un'onda di piena che potrebbe esondare dallo stesso.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame si colloca nella Valle d'Olen, valle tributaria di destra orografica rispetto al torrente Sesia, all'interno del comprensorio sciistico Monterosa Ski, gestito sul lato piemontese dalla Monterosa 2000 S.p.A.. In particolare, l'invaso in progetto è previsto alla base delle creste di Cimalegna, in località Mullero, ad una quota di 2150 m s.l.m. circa, nelle vicinanze della pista denominata Mullero (Fig.1).



Fig. 1. Visione generale della zona oggetto di studio, con evidenziato in blu l'invaso artificiale in progetto.

3. METODOLOGIA DI STUDIO

Al fine della redazione della presente relazione sono state svolte le seguenti attività:

- visione della Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (CLPV);
- raccolta dei dati storici presso il Catasto Valanghe (SIVA, ARPA Piemonte);
- interviste a persone conoscitrici del luogo;
- sopralluoghi in sito al fine di valutare nel complesso, dal punto di vista morfologico e vegetazionale, la situazione valanghiva ed al fine di individuare i fenomeni valanghivi che potenzialmente interferiscono con l'invaso in progetto;
- analisi ortofoto;
- esecuzione della simulazione relativa alla frazione radente dell'unico fenomeno valanghivo individuato come potenzialmente interferente con l'invaso in progetto utilizzando il software AVAL-1D, sviluppato dal WSL-SLF di Davos (Christen et al, 2002).

4. RIFERIMENTI NORMATIVI E DOCUMENTALI

Al fine della redazione della presente relazione sono stati utilizzati i seguenti documenti e dati:

- Barbolini, M., Natale, L., Tecilla, G., Cordola, M. (2005). Linee guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe, AINEVA;
- Documentazione del Catasto Regionale Valanghe (SIVA dell'ARPA Piemonte);
- Fotogrammetria e CTR al 10.000 dell'area;
- Fotografie estive ed invernali dell'area;
- Modello digitale del terreno a 5 m;
- Informazioni fornite verbalmente da persone locali;
- Dati di altezza di neve al suolo registrati alla stazione nivometeorologica automatica di Bocchetta delle Pisse (2410 m s.l.m.) – serie storica 1988 – 2017;
- Barbolini, M. (2007). Definizione dei valori di progetto di parametri nivometrici standard per la prevenzione del rischio valanghivo sul territorio valdostano. Regione Autonoma Valle d'Aosta (aggiornamento agosto 2013);
- Christen, M., Bartelt, P., Gruber, U. (2002). AVAL-1D: an avalanche dynamics program for the practice. In T. E. B. of the Organizing Committee for INTRAPREVENT 2002 (Ed.), Congress publication, Volume 2, pp. 715–725. International Research Society INTERPRAEVENT for the Pacific Rim;

- SLF (1999). Neue Berechnungsmethoden in der Lawengefahrenkartierung. Davos, Switzerland: Eidg. Institut fuer Schnee- und Lawinenforschung;
- Egli, T. (2005). Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren. Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen (Hrsg.), Bern;
- Johannesson, T., Gauer, P., Issler, D., Lied, K. (2009). The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments. EU SATZIE Project, European Communities.

5. INQUADRAMENTO DELL'AREA VALANGHIVA

In base alla carta di localizzazione probabile delle valanghe – CLPV – del Piemonte (vedi SIVA, ARPA Piemonte), ad analisi morfologiche della zona ed alle informazioni reperite sul luogo, è stato individuato un solo fenomeno valanghivo potenzialmente insistente sull'invaso artificiale in progetto. Si tratta nello specifico della valanga denominata "Bocchetta Pisse" (Fig. 2 e 3).

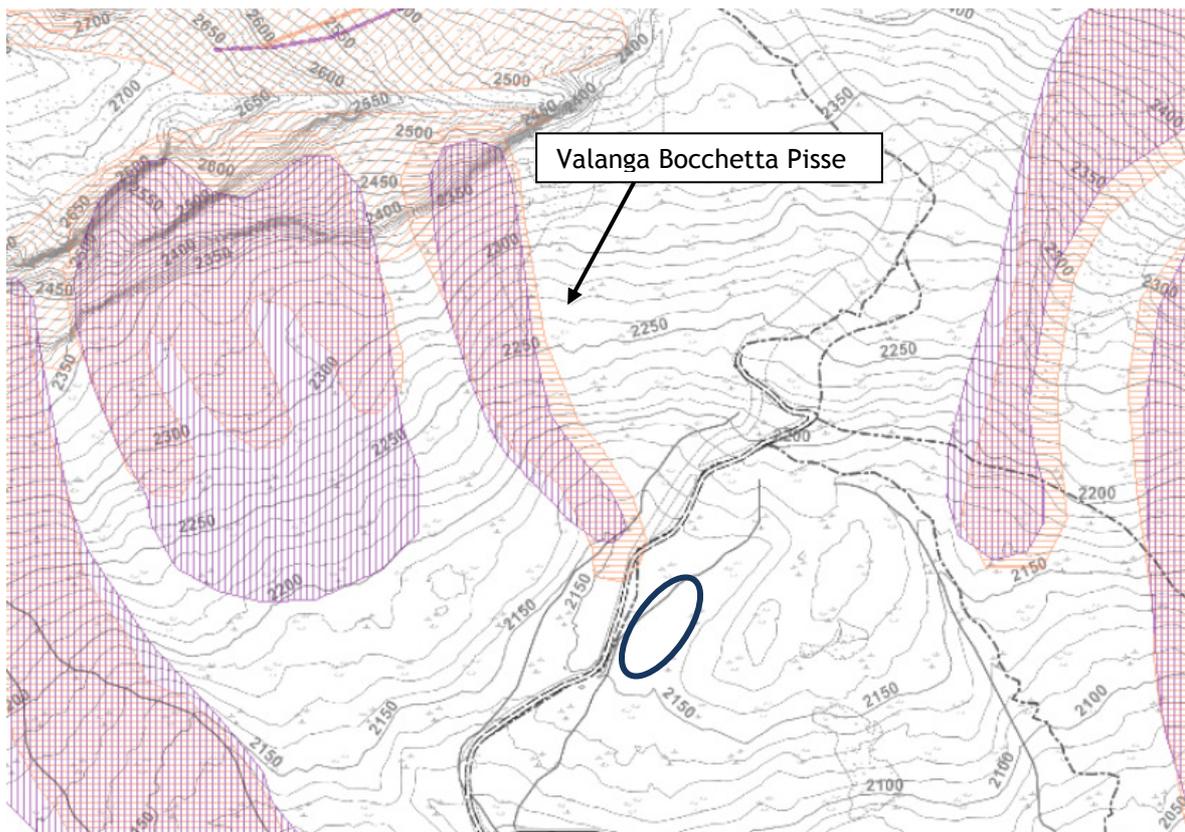


Fig. 2. Estratto dalla Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (SIVA, ARPA Piemonte). Il cerchio blu evidenzia la posizione dell'invaso in progetto.



SIVA: SISTEMA INFORMATIVO VALANGHE Scheda di Caratterizzazione del Sito Valanghivo

sito Bocchetta Pisse - località Valle d'Olen , Alagna (Vercelli)

Bacino Idrografico:	Sesia	Sezione CTR:	071110
Quota massima di distacco (m s.l.m.):	2450	Quota minima di arresto (m s.l.m.):	2150
Dislivello (m):	300	Lunghezza reale (m):	550
Sito valanghivo n°	61_A_VC	Sito ASTV	
Tavola cartografica	Valle Sesia: Alagna	Tavola ASTV	
Modalità di acquisizione	Terreno e archivio	Frequenza	Ogni 1 - 10 anni
ZONA DI DISTACCO		ZONA DI SCORRIMENTO	
Ubicazione	Zona delle creste	Profilo	Rettilineo
Morfologia	Pendio aperto	Andamento planimetrico	Curvilineo
Inclinazione media	55	Morfologia	Impluvio
Esposizione media	Sud	Inclinazione media	30
Substrato	• Roccia affiorante	Substrato	• Roccia affiorante • Detrito di falda (ghiaione)
ZONA DI ARRESTO		OPERE DI DIFESA	
Luogo di arresto	• Alla base del versante	Tipologia	• Assenti
Note		Note	
DANNI POTENZIALI		DANNI ACCERTATI	
	• Piste scistiche	Non presenti	
EVENTI NOTI		INFORMAZIONI AGGIUNTIVE	
dicembre 2008	• Nessun danno	Mod.7 Aineva	Non presenti
		Note generali	
FOTO		FONTI	
Non presenti		Non presenti	
Rilevatore	Leonoris Chiara	Data primo rilevamento	2000

Fig. 3. Scheda relativa alla valanga "Bocchetta Pisse" estratta dal SIVA.

ASPETTI MORFOLOGICI E VEGETAZIONALI

La valanga "Bocchetta Pisse" si sviluppa lungo il versante meridionale della Cresta di Cimalegna, a partire dal settore più orientale della stessa, per un dislivello complessivo di circa 350 m (Fig. 4).



Fig. 4. Vista complessiva del bacino valanghivo.

Per la valanga in esame si individuano due diverse zone di distacco (Fig. 5): una in corrispondenza della zona caratterizzata da cotica erbosa a monte delle balze rocciose (quota 2500 m s.l.m. circa e acclività media 40°) ed una seconda lungo il pendio detritico parzialmente rivegetato da cotica erbosa al piede delle stesse balze rocciose (quota 2350 m s.l.m. e acclività media 35°).



Fig. 5. Vista della parte alta del bacino valanghivo con indicate le due aree di distacco.

Per quanto riguarda la zona di scorrimento, la valanga si sviluppa lungo versante aperto caratterizzato da settori con detrito nudo e rugosità piuttosto elevata che si alternano a settori parzialmente rivegetati da cotica erbosa. Nel complesso, la parte intermedia e bassa del percorso valanghivo risultano caratterizzate da una morfologia irregolare data dalle presenza di forme legate al modellamento glaciale.

La zona di arresto si individua al piede del versante, in prossimità della pista Mullero ove l'originaria morfologia è stata in parte rimodellata dall'intervento antropico. Lungo il lato destro della pista si rileva la presenza di un cordone, con depressione lato monte, che nel caso di valanghe di tipo primaverile caratterizzate da neve umida potrebbe incanalare parte delle masse nevose. Tuttavia, sulla base delle informazioni reperite, generalmente l'andamento della valanga è piuttosto rettilineo e tende ad arrestarsi poco a monte od in corrispondenza della pista di sci (Fig. 6).

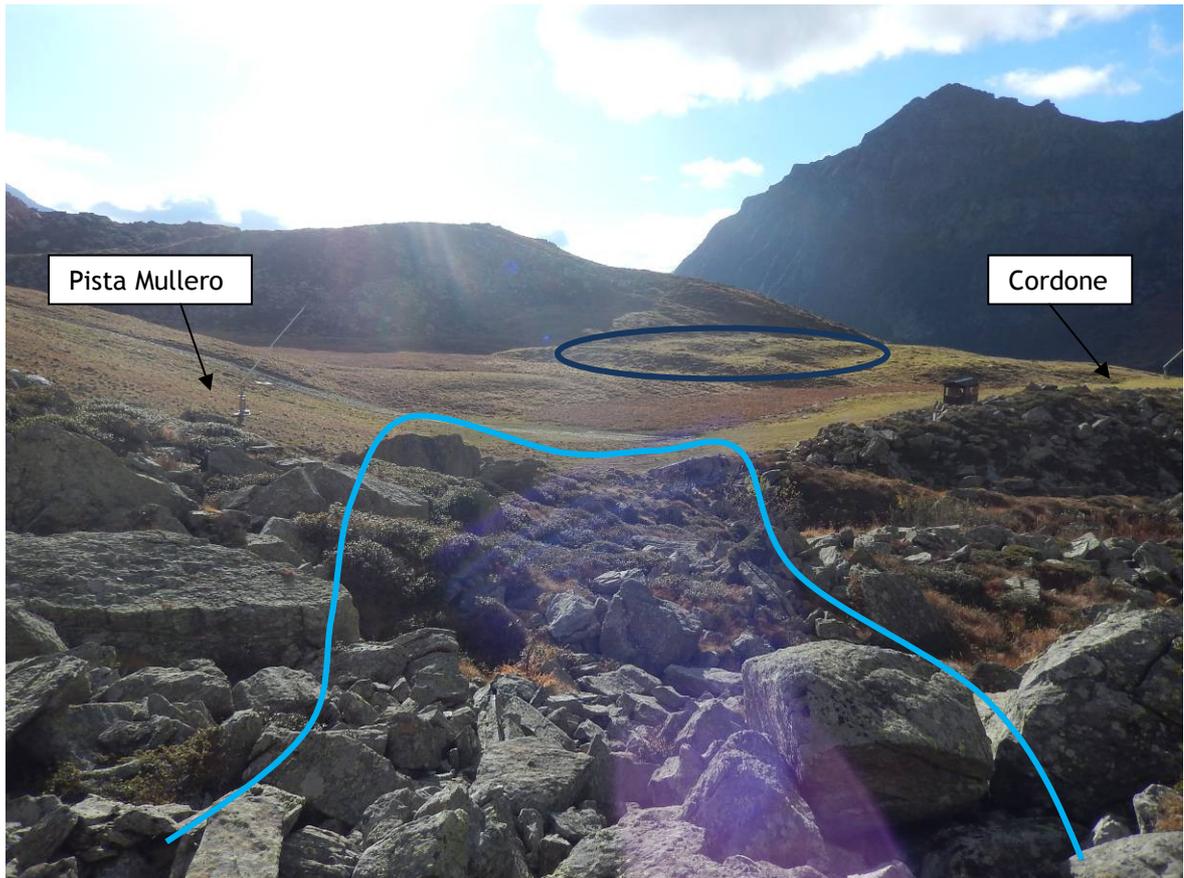


Fig. 6. Vista da monte della zona di arresto della valanga. In blu l'area ove è prevista la realizzazione dell'invaso artificiale.

DATI STORICI

Per la valanga in esame sono disponibili pochi dati storici relativamente a eventi avvenuti in passato; la perimetrazione della valanga a disposizione è quella della CLPV (Fig. 2). Nella scheda del Catasto Valanghe (SIVA) (vedi Fig. 3) è riportato un solo evento, ovvero quello avvenuto nel dicembre 2008. Tale evento è risultato essere uno dei più significativi. Dalle interviste svolte, è emerso che in tale occasione la valanga si è distaccata a partire dal settore prativo a monte delle balze rocciose innescando poi nel suo percorso anche il settore a valle delle stesse.

In base alle informazioni reperite, in generale, lungo il bacino in esame il manto nevoso tende, per l'esposizione meridionale, a stabilizzarsi velocemente e per tale ragione le valanghe non si verificano frequentemente. I fenomeni si arrestano generalmente al piede del versante, senza invadere la pista Mullero. Anche la stazione di partenze del vecchio impianto di risalita, realizzato nel 1967, seppur localizzato in posizione leggermente

defilata rispetto alla principale direttrice di flusso, non risulta mai essere stata raggiunta da fenomeni valanghivi (Fig. 7).



Fig. 7. Vista della vecchia stazione di partenza dell'impianto di risalita ormai smantellato.

OPERE DI DIFESA

Per il bacino valanghivo in esame non risultano presenti opere di difesa né di tipo attivo né di tipo passivo.

Si evidenzia, tuttavia, che nell'ambito del comprensorio sciistico vengono talvolta messe in atto, in caso di nevicate eccezionali, delle misure di tipo gestionale che prevedono il distacco artificiale della valanga.

6. DINAMICA VALANGHIVA

Ai fini del presente studio è stato preso come riferimento l'evento di dicembre 2008 che in base alle informazioni reperite risulta essere, oltre che l'unico documentato, il più significativo.

Per la simulazione di dinamica valanghiva sono state quindi prese in considerazione due aree di distacco, una a monte ed una a valle delle balze rocciose, come avvenuto appunto nel dicembre 2008. Il solo distacco a valle delle balze rocciose sembrerebbe essere il più frequente, tuttavia, il distacco di entrambe le aree sembra generare fenomeni di maggior magnitudo.

La potenziale area di distacco più a monte risulta essere in realtà più estesa rispetto a quanto considerato nella simulazione. Tuttavia, per la morfologia di tale area, solo la porzione più orientale della stessa confluisce lungo il percorso valanghivo individuato. La porzione più occidentale alimenta, invece, un fenomeno valanghivo che non interessa l'invaso in progetto e che scorre immediatamente a ovest della dorsale che delimita lateralmente la valanga Bocchetta Pisse.

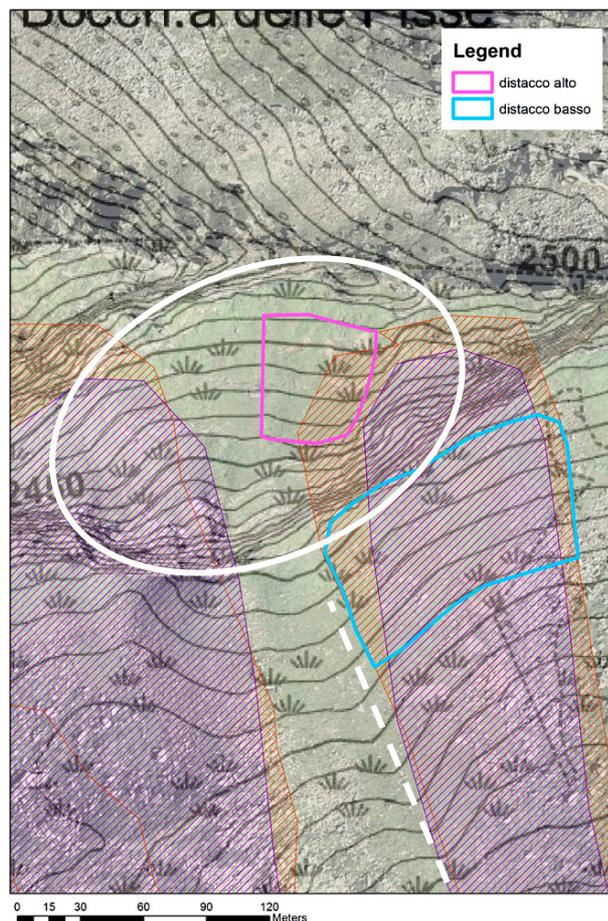


Fig. 8. Zoom sulle potenziali aree di distacco: le linee rosa ed azzurre mostrano le aree di distacco considerate nella simulazione (vedi anche Fig. 10); con le campiture tratteggiate viola ed arancione viene mostrata la CLPV. Il bacino evidenziato in bianco è tutto potenzialmente valanghivo ma a valle delle balze rocciose si divide in flussi divergenti rispetto la dorsale longitudinale evidenziata con la linea bianca tratteggiata.

Alla base del pendio, intorno a quota 2150 m s.l.m., dove la valanga può potenzialmente allargarsi, sono state individuate tre diverse direttrici di flusso che rappresentano le diverse direzioni che la valanga potrebbe prendere una volta raggiunto il piede del versante.

Nell'ambito del presente studio è stato scelto di procedere con le simulazioni di dinamica valanghiva per la sola componente radente della valanga. Infatti, pur non escludendo anche lo sviluppo di fenomeni di tipo nubiforme, si ritiene che l'azione della componente nubiforme sia ininfluyente rispetto all'invaso in progetto.

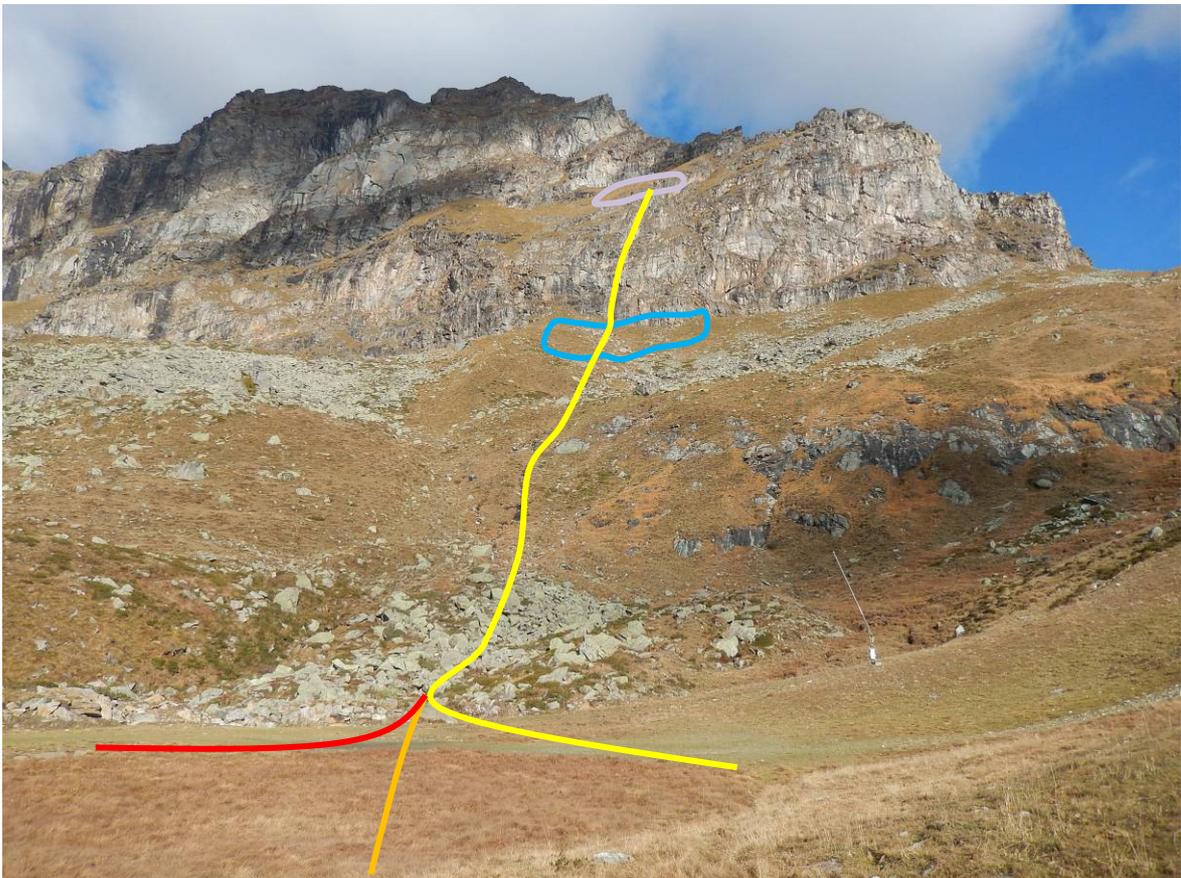


Fig. 9. Vista complessiva del bacino in esame con evidenziate le due aree di distacco e il profilo della valanga. In prossimità della zona di arresto sono stati individuate tre principali direttrici di flusso relative alle diverse direzioni che la valanga può prendere.

7. ASPETTI CLIMATICI E NIVOLOGICI

Per quanto riguarda gli aspetti climatici, nella presente relazione sono stati presi in particolare considerazione gli aspetti nivologici al fine di valutare i parametri nivometrici che caratterizzano l'area in esame, in particolare l'altezza del manto nevoso al suolo (HS) e l'incremento dell'altezza del manto nevoso su tre giorni consecutivi di precipitazione nevosa (DH3gg).

Tali parametri, infatti, e nello specifico DH3gg, sono necessari per determinare l'altezza di neve al distacco da utilizzare tra i parametri di input delle simulazioni di dinamica delle valanghe.

Al fine di determinare tali valori sono stati analizzati i dati di altezza di neve al suolo registrati dalla stazione nivometeorologica automatica di Bocchetta delle Pisse (2410 m s.l.m.) (serie storica 1990-2017). Nell'Allegato 1 si riporta il grafico risultante dalla statistica di Gumbel applicata ai dati di Bocchetta delle Pisse, da cui si ricavano i valori massimi di HS e DH3gg per differenti periodi di ritorno, in particolare per $T = 100$ anni (tempo di ritorno da considerare per simulare valanghe estreme, come da Linee Guida AINEVA). Vista la brevità della serie storica, l'estrapolazione su $T = 100$ anni è in qualche modo limitata. Da tale grafico, per $T = 100$ anni, l'altezza di neve al suolo (alla quota della stazione) vale $HS = 483$ cm e l'incremento di neve al suolo su tre giorni consecutivi vale $DH3gg = 214$ cm.

Per questo motivo, si è fatto riferimento anche al lavoro svolto in Regione Valle d'Aosta dall'Ing. Barbolini (Barbolini, 2007 e 2013), che ha elaborato statisticamente a livello regionale i dati di tutte le stazioni automatiche presenti sul territorio. La zona oggetto del presente studio è limitrofa alla Valle del Lys, dove sono presenti serie storiche quasi centennali.

Nella tabella sottostante si riportano, per tempi di ritorno pari a 100 anni, i valori massimi di HS (altezza del manto nevoso al suolo) e di DH3gg (incremento di altezza del manto nevoso su tre giorni consecutivi) alla quota della stazione di Bocchetta delle Pisse (2400 m s.l.m.), alla quota media delle due zone di distacco della valanga oggetto di simulazioni di dinamica (2500 e 2350 m s.l.m.) e alla quota dell'invaso artificiale in progetto (2150 m s.l.m.), ricavate da Barbolini (2007 e 2013) per il territorio del comune di Gressoney-La-Trinité.

Quota (m s.l.m.)	HS (cm)	DH3gg (cm)
2500	514	253
2400	492	244
2350	480	240
2150	435	221

Ai fini della determinazione dell'altezza di neve al distacco, sulla base della direzione dei venti dominanti e dell'esposizione del pendio, oltre che sulla base di informazioni fornite da persone conoscitrici del luogo, si è considerato anche un apporto aggiuntivo di neve dato dal trasporto eolico pari a 30 cm, solo per la zona di distacco più alta, più esposta in caso di venti da Nord.

8. SIMULAZIONI DI DINAMICA DELLE VALANGHE

Il software AVAL-1D è stato utilizzato per simulare l'evento di progetto come suggerito dalle Linee Guida AINEVA (i.e. tempo di ritorno pari a 100 anni), solo di tipo radente.

AVAL-1D è il programma di dinamica delle valanghe sviluppato dall'Istituto Federale per lo Studio della Neve e delle Valanghe (SLF) di Davos in grado di calcolare distanze di arresto, velocità e pressioni per valanghe radenti e nubiformi.

AVAL-1D include due moduli di calcolo indipendenti l'uno dall'altro: FL-1D per valanghe radenti e SL-1D per valanghe nubiformi, entrambi programmati in C. Le equazioni differenziali utilizzate per la descrizione del moto della valanga, in questo modello continuo, sono simili alle equazioni che governano il moto dei fluidi incomprimibili. In particolare, sono utilizzate la legge di conservazione della massa e la legge di conservazione della quantità di moto.

Parametri di input

Il *profilo di simulazione* viene mostrato in figura 10, mentre i punti del profilo possono essere visionati nei files di input al modello (vedi Allegato 2). Nella parte finale del percorso valanghivo sono stati considerati tre profili (nord, centro e sud in Fig. 10), al fine di determinare gli output lungo i tre differenti percorsi che potenzialmente la valanga potrebbe seguire (vedi paragrafo 7) incidendo quindi su differenti porzioni dell'invaso di innevamento.

La *zona di distacco* sopra la falesia si estende da 2510 a 2460 m s.l.m. con una pendenza media di 40°, mentre quella sotto le balze rocciose si estende da 2360 a 2310 m s.l.m. con una pendenza media di 35° (Fig. 10).

Lo *spessore di distacco* è stato determinato sulla base delle indicazioni fornite da Barbolini (2007 e 2013). Tale documento, come anche le Linee Guida AINEVA e di altri paesi europei, suggerisce di considerare come spessore di distacco il valore di aumento del manto nevoso su tre giorni consecutivi (DH3gg), corretto dal fattore di pendenza. Per la zona oggetto di studio sono state utilizzate le statistiche elaborate da Barbolini (2007 e 2013) sui dati delle stazioni nivometeorologiche automatiche della limitrofa alta Valle del Lys in Valle d'Aosta, con particolare riferimento al comune di Gressoney-La-Trinité. Per la zona di distacco alta, ad una quota media di 2500 m s.l.m. ed una pendenza media di 40°, considerando anche un apporto aggiuntivo di neve (30 cm) dovuta al trasporto eolico, lo spessore di distacco risulta di 149 cm. Per la zona di distacco bassa, ad una quota media di 2350 m s.l.m. ed una pendenza media di 35°, lo spessore di distacco risulta 151 cm. Per il distacco basso non è stato considerato un apporto di neve aggiuntivo dovuto al trasporto eolico, vista la posizione riparata di questa zona di distacco, non favorevole ad accumuli eolici.

Il *volume di distacco* risulta quindi pari a circa 20000 m³ collocando la valanga nella classe "piccole dimensioni".

I *coefficienti di attrito dinamico* utilizzati sono stati determinati per una valanga con T = 100 anni interpolando i valori consigliati dal SLF per valanghe con T = 30 e 300 anni e possono essere visionati nel file di input alla simulazione (vedi allegati).

Lungo il percorso della valanga sono stati inseriti tre *monitoring points* in corrispondenza dei bordi della pista ("pista 1" - lato monte e "pista 2" - lato valle) e del paramento dell'invaso artificiale ("bordo lago"), al fine valutare i relativi output e di determinare quindi la migliore soluzione progettuale per proteggere l'infrastruttura in progetto.

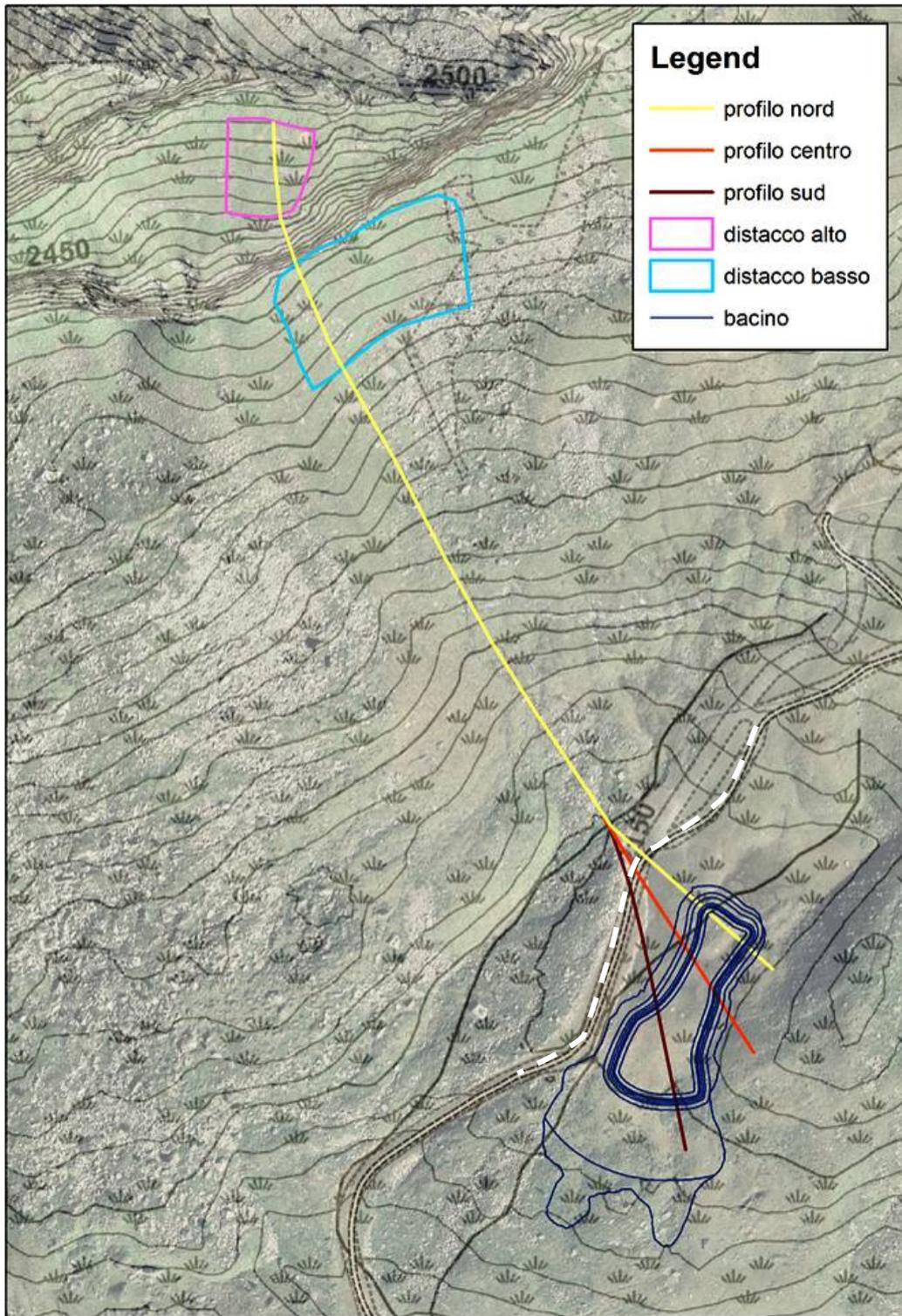


Fig. 10. Profili ed aree di distacco utilizzati per la simulazione della valanga radente. In blu viene riportato l'invaso artificiale in progetto; in bianco tratteggiato la pista da sci.

Output

Le simulazioni lungo i tre profili considerati nella zona di arresto calcolano che la valanga si fermi sul pianoro a quota 2151 m s.l.m. poco oltre la pista da sci. Per tutte le simulazioni il più della massa si ferma prima della pista da sci.

Si riportano gli output di massima altezza di flusso, massima velocità e massima pressione d’impatto lungo tutto il percorso valanghivo per i tre profili considerati nelle figure 11-19.

I valori massimi degli output di altezza di flusso, velocità e pressione delle simulazioni nei tre *monitoring points* sono riportati nella tabella seguente, mentre le figure 20-22 riportano l’andamento nel tempo delle tre variabili dinamiche.

	pista1 nord	pista1 centro	pista1 sud	pista2 nord	pista2 centro	pista2 sud	bordo lago nord	bordo lago centro	bordo lago sud
altezza flusso (m)	2.8	2.7	2.2	2.2	1.7	1.25	0.9	0.37	0
velocità (m/s)	9.2	8.5	7.1	7.4	5.9	4	1.9	0.1	0.1
pressione (kPa)	25.3	21.5	15.2	16.5	10.6	4.7	1	0	0

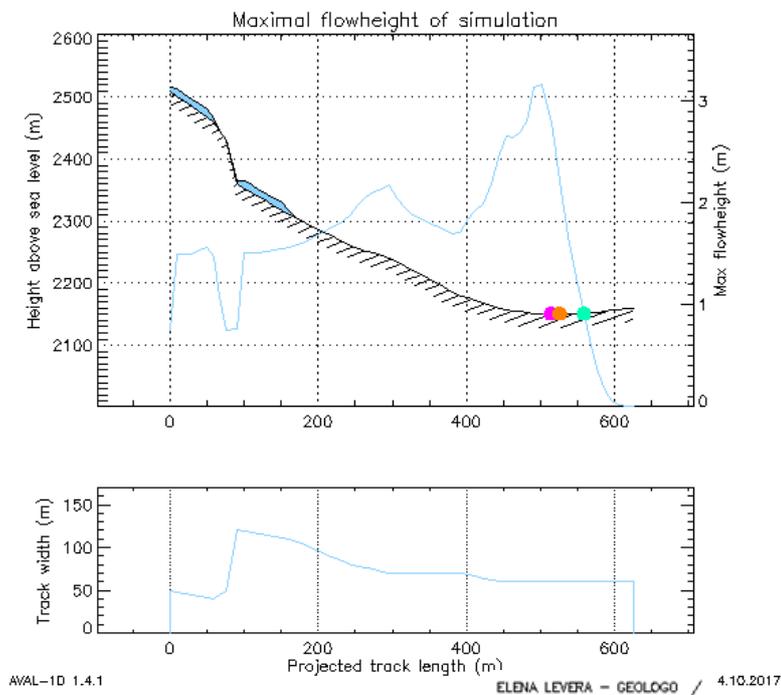


Fig. 11. Massima altezza di flusso lungo tutto il profilo nord (Fig. 10); i punti evidenziano i monitoring points: in verde acqua il paramento dell’invaso in progetto.

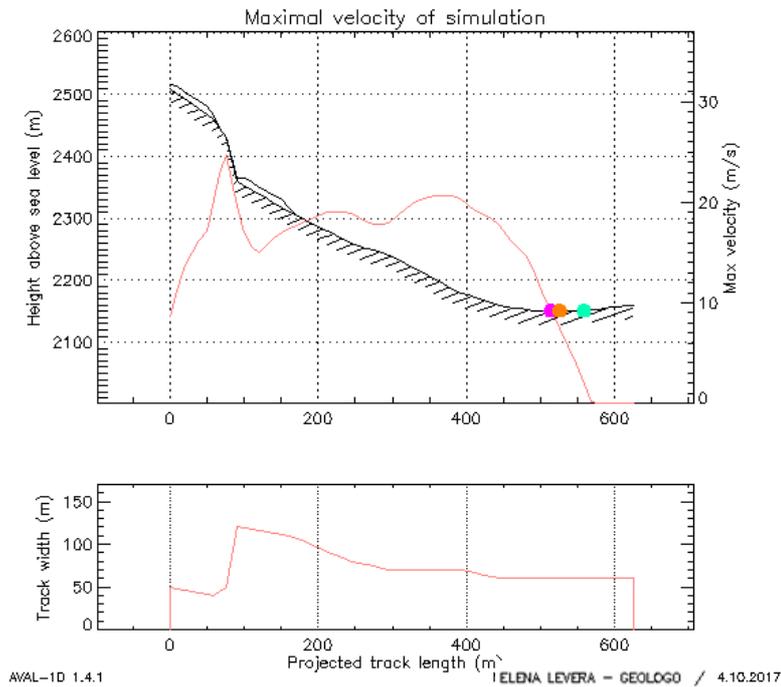


Fig. 12. Massima velocità lungo tutto il profilo nord (Fig. 10); i punti evidenziano i monitoring points: in verde acqua il paramento dell'invaso in progetto.

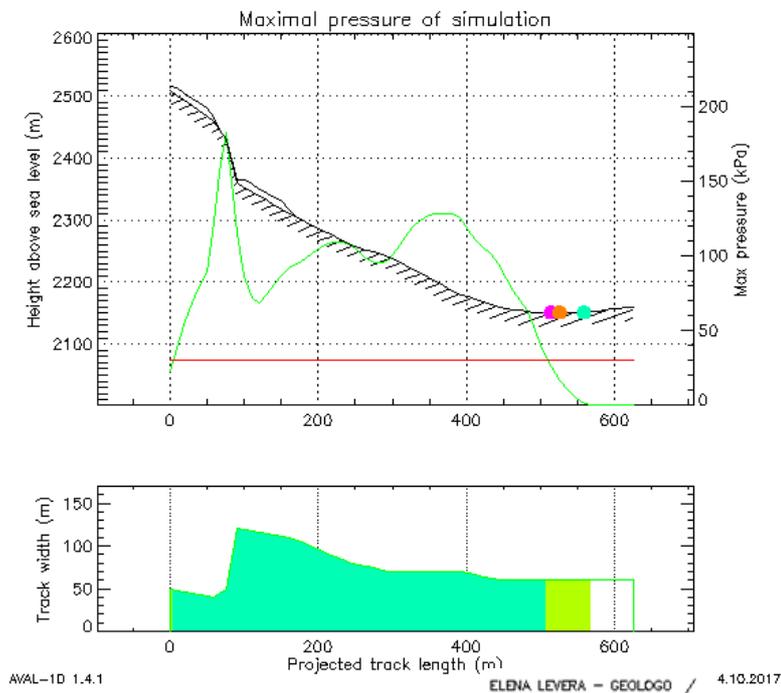


Fig. 13. Massima pressione d'impatto lungo tutto il profilo nord (Fig. 10); i punti evidenziano i monitoring points: in verde acqua il paramento dell'invaso in progetto.

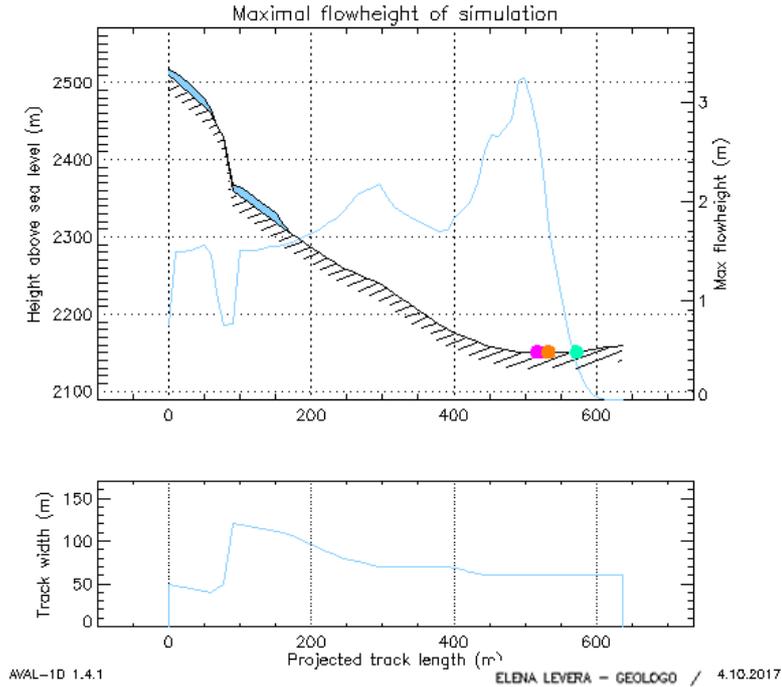


Fig. 14. Massima altezza di flusso lungo tutto il profilo centro (Fig. 10); i punti evidenziano i monitoring points: in verde acqua il paramento dell'invaso in progetto.

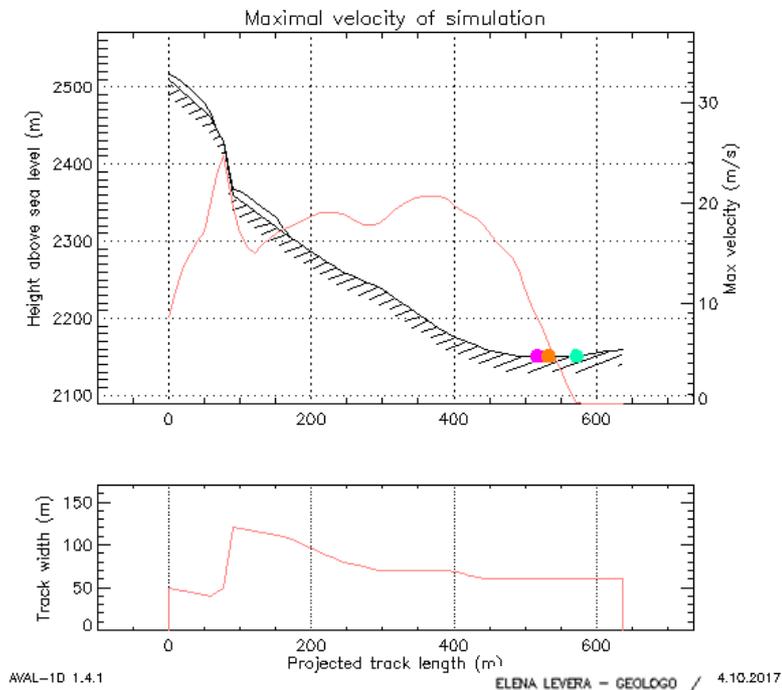


Fig. 15. Massima velocità lungo tutto il profilo centro (Fig. 10); i punti evidenziano i monitoring points: in verde acqua il paramento dell'invaso in progetto.

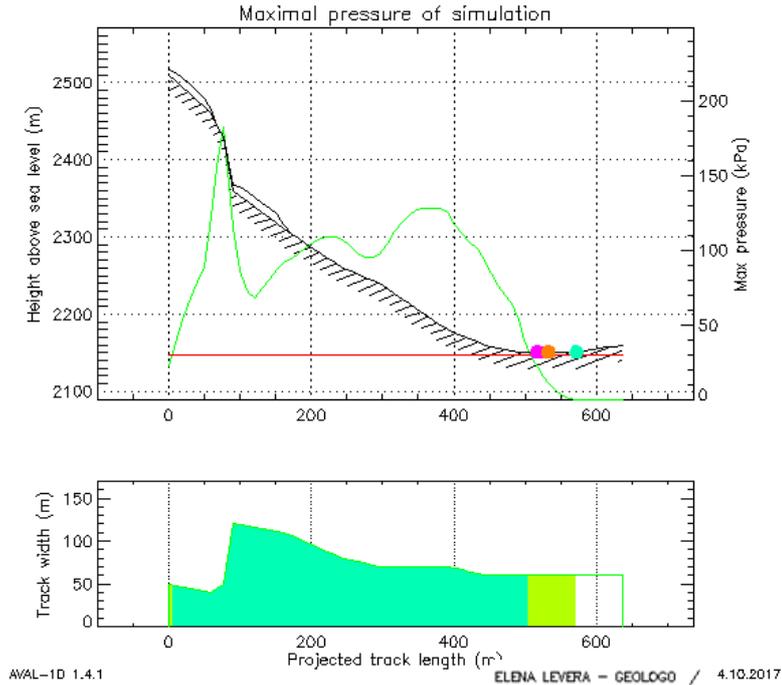


Fig. 16. Massima pressione d’impatto lungo tutto il profilo centro (Fig. 10); i punti evidenziano i monitoring points: in verde acqua il paramento dell’invaso in progetto.

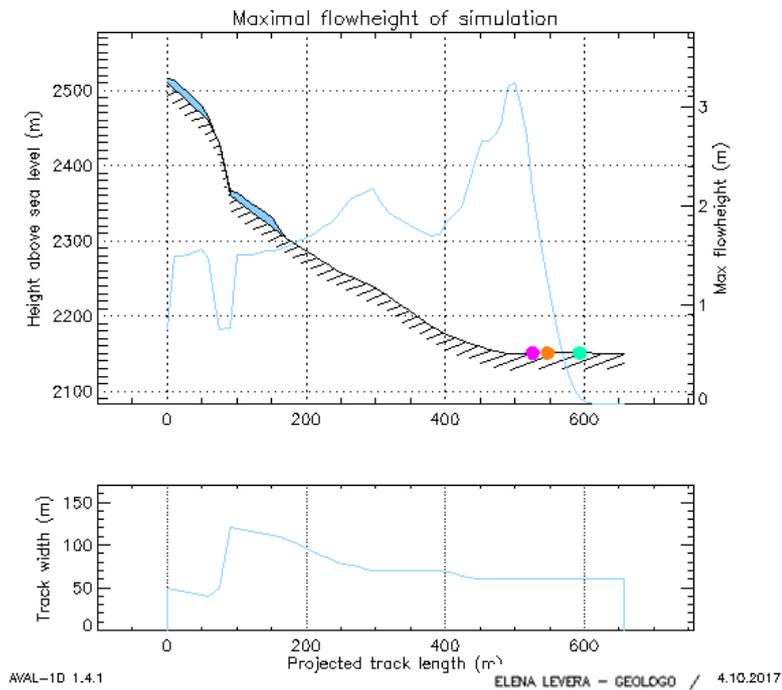


Fig. 14. Massima altezza di flusso lungo tutto il profilo sud (Fig. 10); i punti evidenziano i monitoring points: in verde acqua il paramento dell’invaso in progetto.

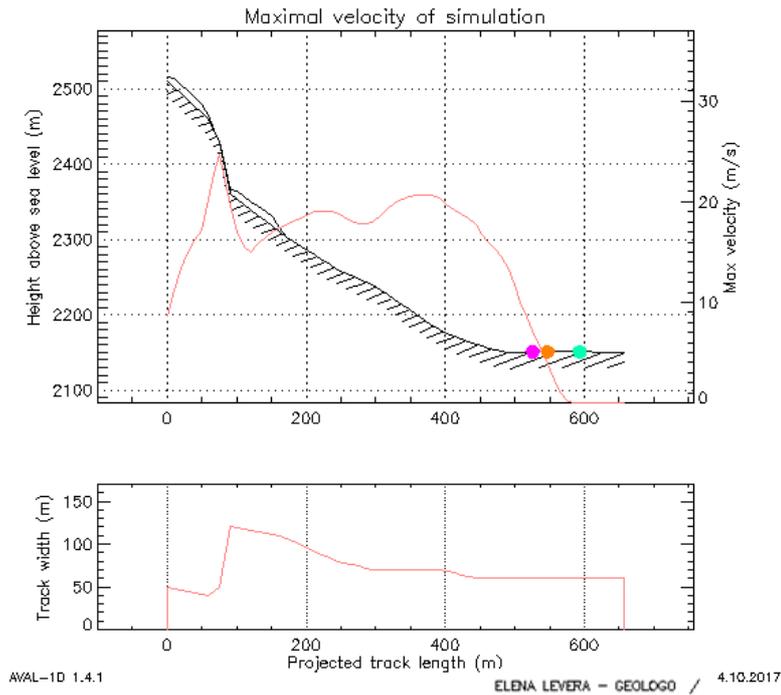


Fig. 17. Massima velocità lungo tutto il profilo sud (Fig. 10); i punti evidenziano i monitoring points: in verde acqua il paramento dell'invaso in progetto.

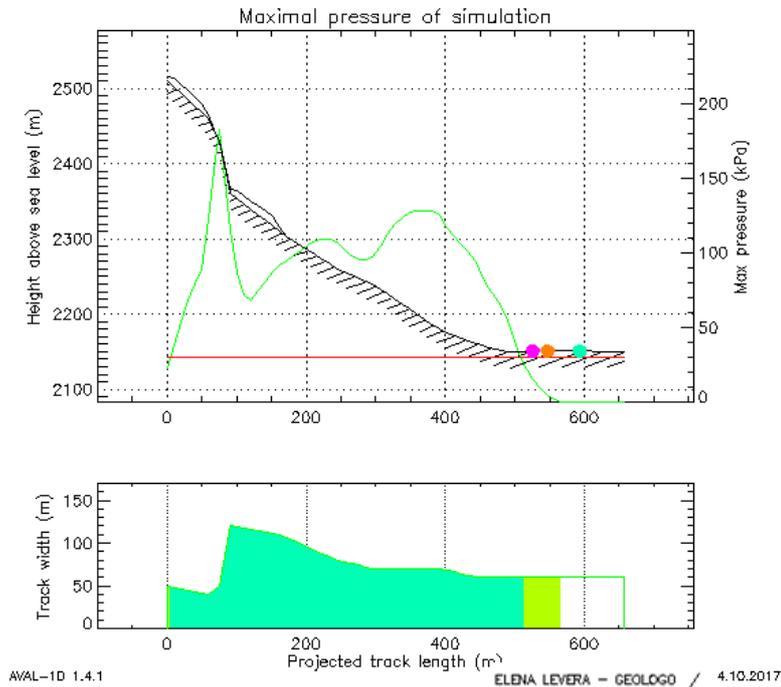


Fig. 16. Massima pressione d'impatto lungo tutto il profilo sud (Fig. 10); i punti evidenziano i monitoring points: in verde acqua il paramento dell'invaso in progetto.

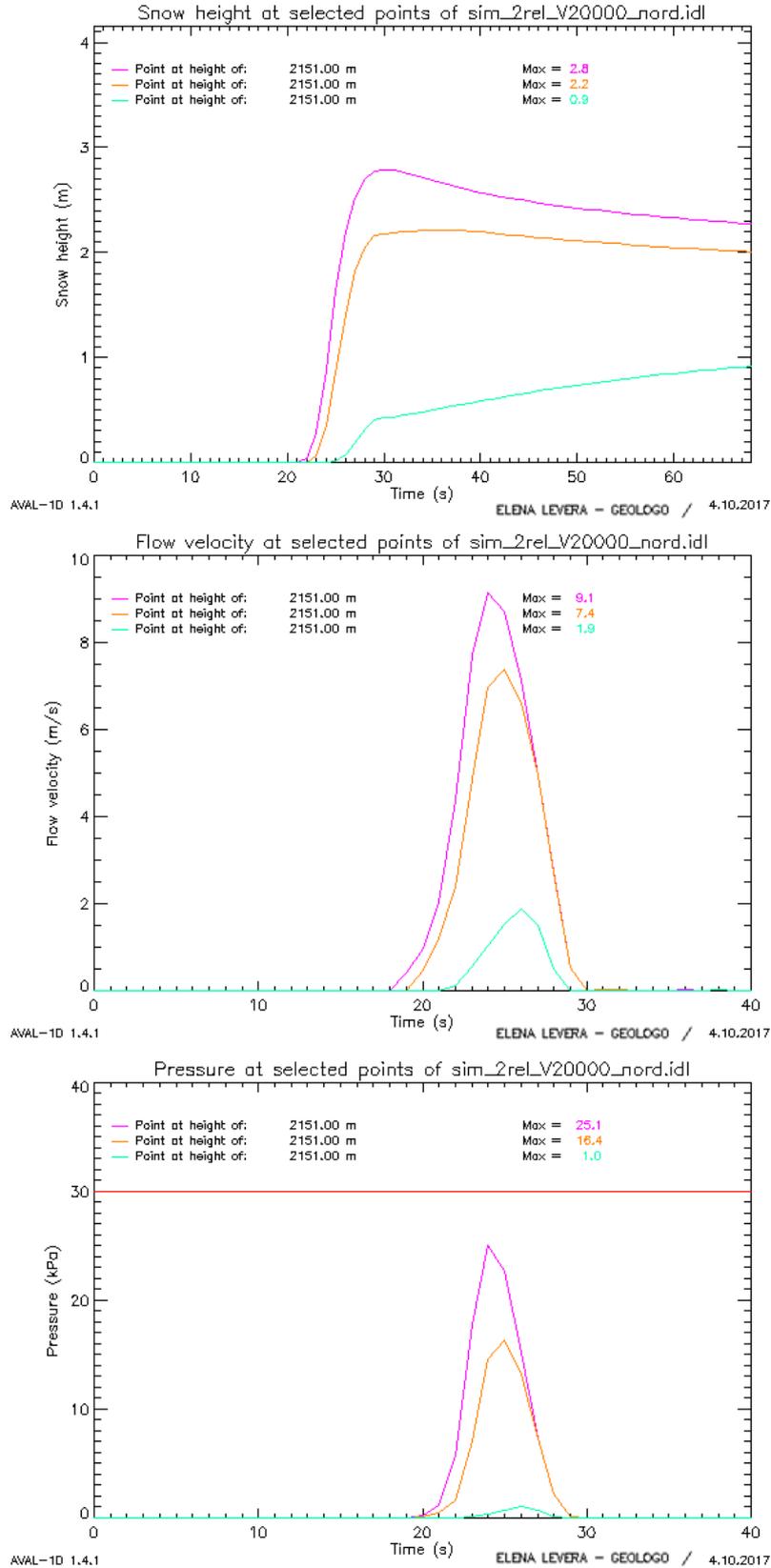


Fig. 20 Andamento nel tempo dell'altezza di flusso, della velocità e della pressione di impatto nei tre monitoring points lungo il profilo nord. Il bordo dell'invaso è rappresentato in verde acqua.

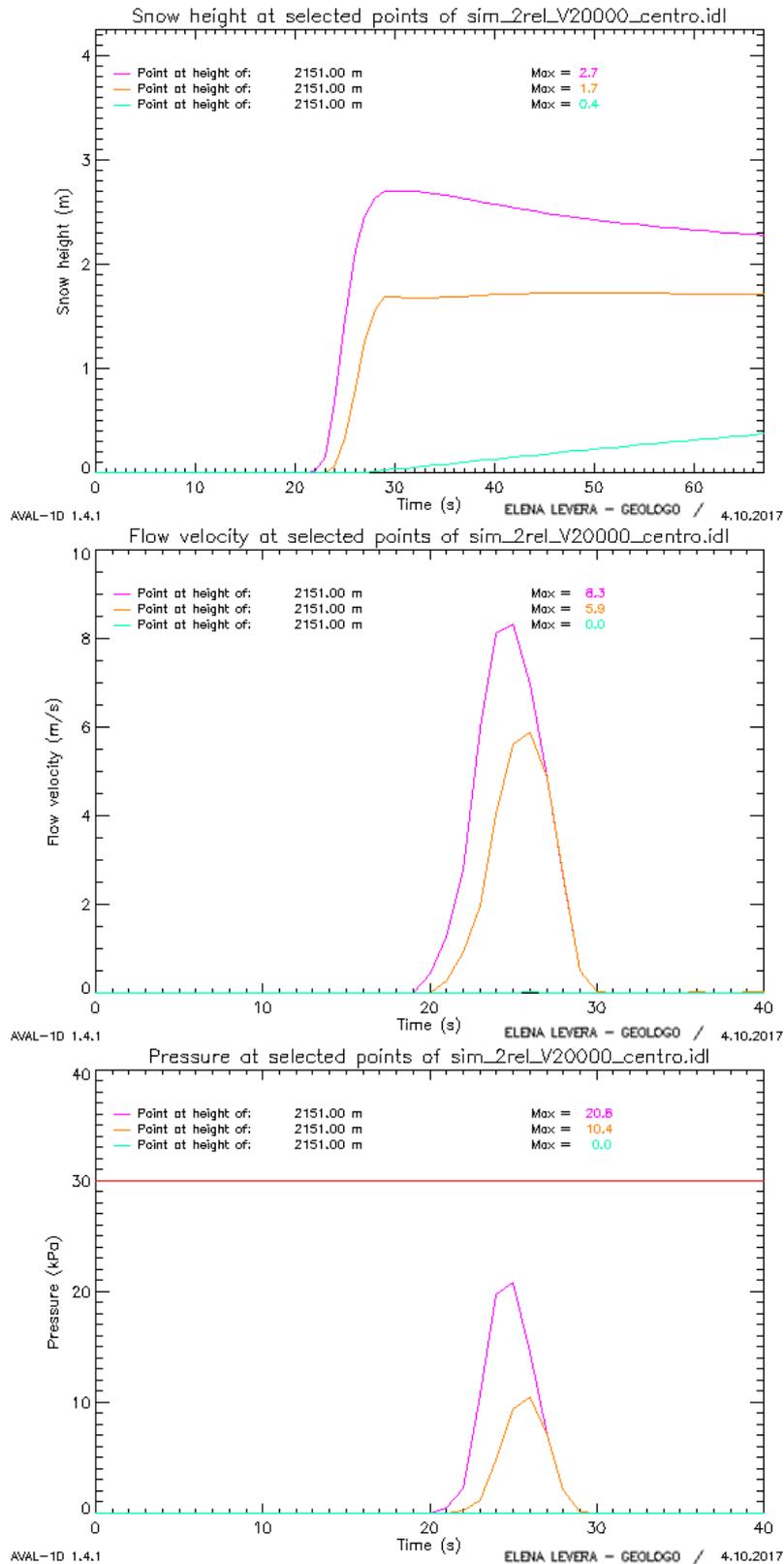


Fig. 21. Andamento nel tempo dell'altezza di flusso, della velocità e della pressione di impatto nei tre monitoring points lungo il profilo centro. Il bordo dell'invaso è rappresentato in verde acqua.

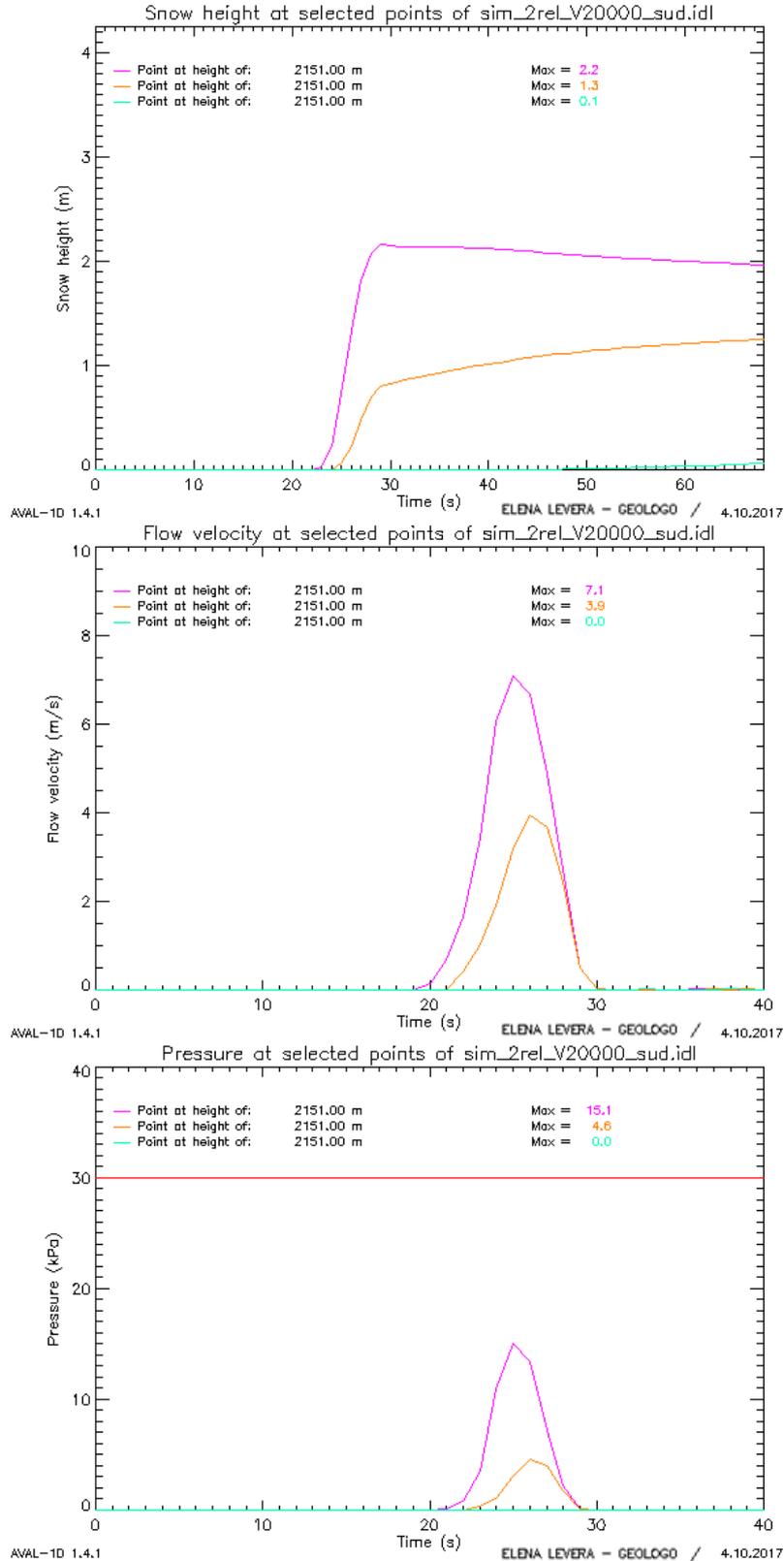


Fig. 22. Andamento nel tempo dell'altezza di flusso, della velocità e della pressione di impatto nei tre monitoring points lungo il profilo sud. Il bordo dell'invaso è rappresentato in verde acqua.

9. INTERAZIONE VALANGA – INVASO ARTIFICIALE

I risultati delle simulazioni portano ad individuare come soluzione progettuale per la protezione dell'invaso in progetto l'intervento diretto sul paramento dello stesso, anziché eventuali opere passive localizzate a monte.

L'invaso artificiale in progetto si trova a quota 2151 m s.l.m. circa e presenta il lato nord-ovest esposto perpendicolarmente al flusso valanghivo ed il lato nord-est parallelo allo stesso (Fig. 23).

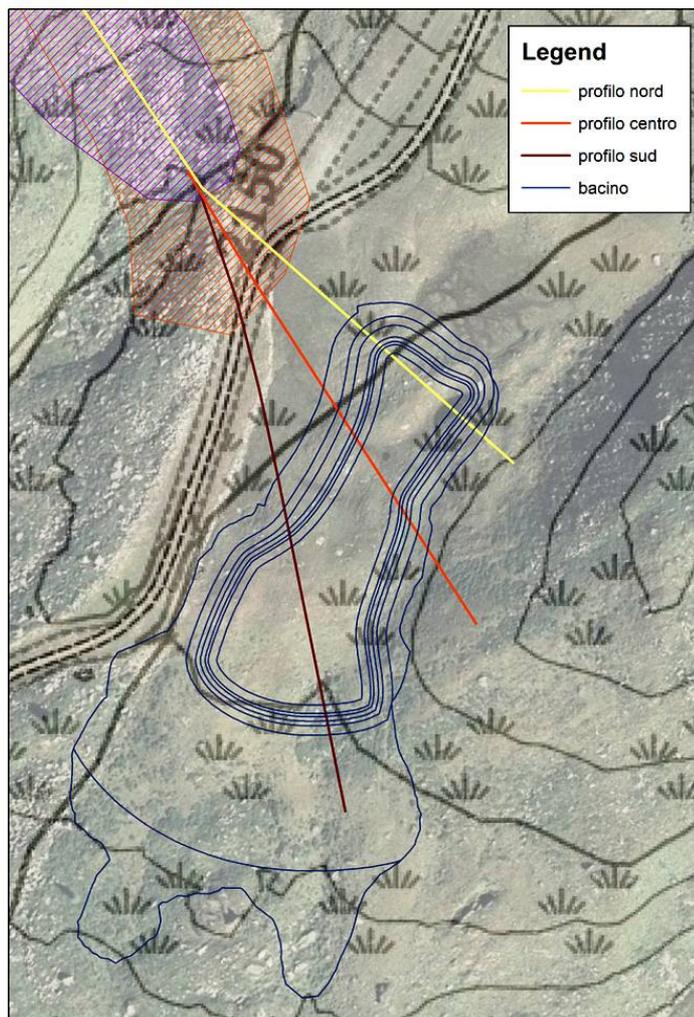


Fig. 23. Interazione valanga/invaso artificiale: il profilo nord (di riferimento) impatta perpendicolarmente sul lato NO e parallelamente al lato NE.

Per l'analisi dell'interazione tra la valanga ed i paramenti dell'invaso artificiale esposti sono stati utilizzati i valori di altezza di flusso, velocità e pressione d'impatto ricavati dalla

simulazione svolta lungo il profilo nord, risultato essere il più gravoso, facendo riferimento alle Linee Guida esistenti.

Per la valutazione dell'altezza utile dei paramenti affinché la valanga non li superi entrando nell'invaso si è fatto riferimento alle Linee Guida europee "The design of avalanches protection dams – Recent practical & theoretical developments" (Joahnnesson et al., 2009), mentre per quanto riguarda le pressioni di impatto si è fatto riferimento alle normative svizzere (Egli, 2005).

ALTEZZA del PARAMENTO

Il Paramento NO dell'invaso in progetto è esposto perpendicolarmente alla direzione del flusso valanghivo (profilo nord). La quota media del piano campagna circostante l'invaso lato nord-ovest è pari a 2151 m s.l.m..

Jòahnnesson et al. (2009) suggeriscono di dimensionare l'altezza di una diga di contenimento considerando come nella sua interazione con una valanga si possano verificare o un flusso supercritico od uno shock. Bisogna quindi esaminare entrambi i casi e dimensionare la diga tenendo conto del caso peggiore.

In particolare, l'altezza H di una diga, misurata perpendicolarmente al terreno, deve essere almeno uguale alla somma dell'altezza di risalita della valanga lungo il paramento di monte della diga, h_r , e dell'altezza di neve al suolo a monte della diga, h_s :

$$H = h_r + h_s$$

dove $h_r = \max(H_{cr} + h_{cr}, h_2)$ con

H_{cr} altezza critica della diga

h_{cr} altezza di flusso critica

h_2 altezza di flusso in seguito all'impatto contro la diga.

$H_{cr} + h_{cr}$ viene calcolato con la seguente formula:

$$H_{cr} + h_{cr} = \frac{h_1}{k} + \frac{(u_1 \sin \varphi)^2}{2g \cos \psi} k^2 (1 - k^{-2} (\text{Fr} \sin \varphi)^{-4/3})$$

dove

u_1 velocità di flusso della valanga indisturbata

h_1 altezza di flusso della valanga indisturbata

φ angolo di deviazione della diga ($\varphi = 90^\circ$ per dighe di contenimento)

ψ inclinazione del pendio

k fattore di riduzione della componente perpendicolare della velocità all'inizio dell'impatto contro la diga, che vale

$$k = 0.75 \text{ for } \alpha > 60^\circ, \quad k = 0.75 + 0.1(60^\circ - \alpha)/30^\circ \text{ for } 30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$$

con α inclinazione del paramento di monte

$$Fr = \frac{u_1}{\sqrt{g \cos(\psi) h_1}}$$

h_2 è lo spessore del flusso a seguito dello shock che si è formato nel flusso stesso contro la diga e viene calcolato come:

$$h_2/h_1 = (2\sqrt{(6Fr_\perp^2 + 4) \cos \delta} + 1)/3$$

con δ (compressione durante l'impatto di un corpo solido contro un muro) che vale

$$\delta = \frac{1}{3} \left(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{9Fr_\perp^2 - 8}{Fr_\perp \sqrt{27(16 + 13Fr_\perp^2 + 8Fr_\perp^4)}} \right) \right)$$

e Fr_\perp componente perpendicolare del *Froude number*, calcolata come $Fr_\perp = Fr \sin \varphi$

Nel caso in esame, considerando i seguenti parametri:

- inclinazione media del pendio a monte del rilevato pari a 0° ;
- inclinazione del paramento di monte rispetto al pendio pari a 33° per cui k vale 0.84;
- $\varphi = 90^\circ$ angolo di deviazione;
- altezza di flusso H_{flux} pari a 0.90 m;
- velocità di flusso u_1 pari a 1.9 m/s;
- altezza massima di neve al suolo $h_s = 4.35$ m

si ricavano $H_{cr} + h_{cr} = 0.87$ m e $h_2 = 1.55$ m.

L'altezza del paramento NO dell'invaso dovrà quindi essere pari a $H = h_r + h_s = \max(0.87, 1.55) + 4.35 = 5.90$ m. Tale altezza dovrà essere mantenuta cautelativamente per una lunghezza pari ad almeno 50 m a partire dallo spigolo NO verso sud-est, avendo considerato una larghezza di flusso pari a 60 m centrata simmetricamente sul profilo nord.

Anche il paramento SE, esposto parallelamente al flusso, dovrà mantenere un'altezza di 5.90 m su tutta la lunghezza.

PRESSIONE d'IMPATTO

Per la valanga radente, la pressione di impatto, in base a Egli (2005) vale:

$P = 1/2 * C_d * \rho * v^2$ dove C_d è pari a 2 per ostacoli di grandi dimensioni (intese rispetto al flusso valanghivo), come nel caso in esame. Il valore da utilizzare nei calcoli è l'output in uscita di FL-1D, che già considera un impatto su ostacoli di grandi dimensioni. In caso di prospetti inclinati di un angolo α rispetto alla direzione prevalente del flusso, la pressione normale di impatto vale $P = P * \text{sen}^2(\alpha)$.

Questo valore di pressione è uniforme sull'intero spessore della valanga.

L'azione tangente o di taglio vale:

$P_{\text{taglio}} = \mu * P$ dove μ è il coefficiente di attrito preso pari a 0,4 per attrito tra neve e superfici ruvide, scabrose e P è la pressione di riferimento normale alla superficie considerata.

Nel caso in esame, il paramento NO del bacino artificiale è perpendicolare alla direttrice di flusso valanghiva. Sul paramento NE (parallelo al flusso) si considera un angolo α di incidenza pari a 20°, come suggerito dalle normative svizzere. Gli altri paramenti non risultano interessati dal flusso valanghivo.

Il paramento NO dovrà resistere ad una pressione d'impatto normale pari a $P = 1$ kPa. Il paramento NE dovrà resistere ad una pressione d'impatto normale pari a $P = 1 * \text{sen}^2(20) = 0.12$ kPa e di taglio pari a $P_{\text{taglio}} = 0.05$ kPa.

10. CONCLUSIONI

La finalità dello studio è stata analizzare l'interazione tra la valanga "Bocchetta Pisse" con l'invaso artificiale in progetto per l'innevamento programmato, al fine di individuare la soluzione progettuale atta ad evitare che una valanga con tempo di ritorno pari a 100 anni (vedi Linee Guida AINEVA) vi entri all'interno.

Dai dati storici non risulta che alcuna valanga abbia mai oltrepassato la pista da sci denominata Mullero. Tuttavia, la valanga di progetto ($T = 100$ anni) si spinge fino a ridosso del paramento dell'invaso, con velocità molto contenute, in quanto ormai già in fase di deposito.

Per tale ragione, si è optato per la protezione diretta dell'invaso, mediante idoneo dimensionamento del paramento, rispetto ad eventuali altre opere di difesa passiva da

realizzarsi più a monte (per es. un rilevato di protezione a monte della pista da sci sfruttando anche la morfologia del luogo).

I paramenti dell'invaso esposti alla valanga, al fine di evitarne il superamento da parte del flusso valanghivo, sono pertanto stati dimensionati così come indicato nel paragrafo 9.

Si sottolinea come il dimensionamento dei paramenti dell'invaso risulti a favore di sicurezza, in quanto nel presente studio sono stati considerati tempi di ritorno pari a 100 anni sia per i parametri di dinamica della valanga (DH3gg, parametri dinamici di AVAL-1D) sia per l'altezza massima di neve al suolo (HS_max) alla quota dell'invaso. Infatti, la probabilità ($P = 1/T$) che si distacchi una valanga con tempo di ritorno $T = 100$ anni contemporaneamente alla presenza di una altezza di neve al suolo con $T = 100$ anni, risulta essere molto bassa, determinando dunque un tempo di ritorno complessivo molto maggiore di 100 anni, seppure i due eventi (la magnitudo della valanga e l'altezza di neve al suolo) siano solo parzialmente indipendenti. Anche le Linee Guida europee (Joannesson et al., 2009) riportano come la distribuzione statistica degli eventi valanghivi e dell'altezza di neve al suolo siano eventi parzialmente indipendenti, cosicché valanghe estreme con alti periodi di ritorno potrebbero avvenire quando l'altezza di neve al suolo è pari a valori corrispondenti a tempi di ritorno minori. Dunque, le Linee Guida europee riportano come, per il dimensionamento di una diga, l'associazione di valanghe estreme (con $T = 100$ anni in Italia) ad un'altezza di neve al suolo con tempi di ritorno inferiori sia appropriata.

Se le due variabili DH3gg e HS_max fossero completamente indipendenti, la probabilità di una loro contemporaneità sarebbe $1/T_{DH3gg} * 1/T_{HS_max} = 1/100 * 1/100 = 10^{-4}$.

Essendo molto complesso, e oltre lo scopo del presente lavoro, determinare la relazione statistica tra le due variabili, si è cercato comunque di valutare la loro relazione plottando i valori di DH3gg e di HS_max registrati nei circa 30 anni di misura della stazione di Bocchetta delle Pisse. La figura 24 mostra il grafico, da cui si evince la non correlazione tra le due variabili ($R^2 = 0.16$).

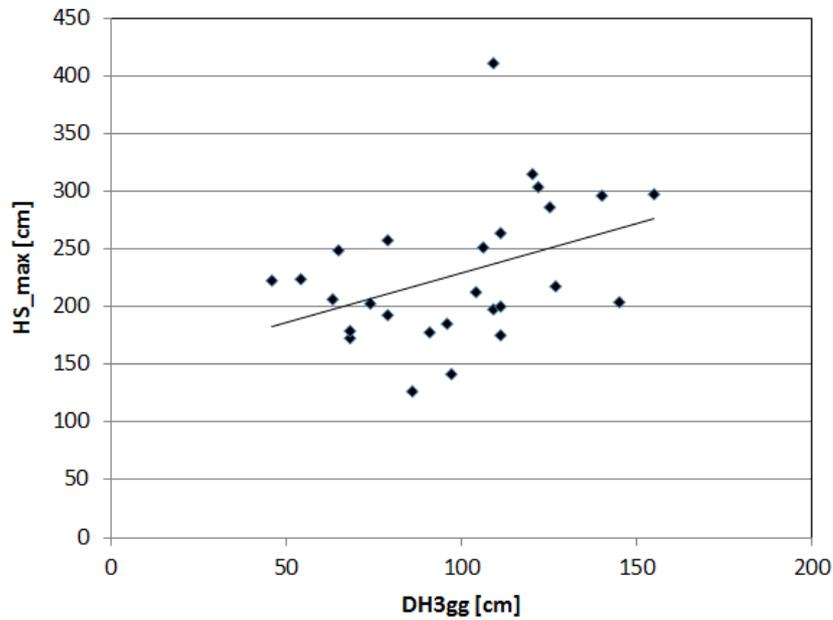


Fig. 24. Plot dei valori di DH3gg e HS_max nei 28 anni di misura della stazione automatica di Bocchetta delle Pisse.

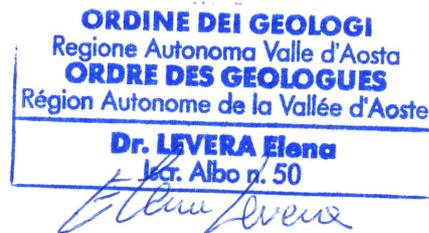
Le considerazioni sopra riportate supportano ulteriormente il fatto di aver dimensionato a favore di sicurezza il paramento dell'invaso.

In seguito a una specifica prescrizione emersa nella Determinazione di esclusione dalla fase di VIA del progetto, è stata presa in considerazione l'ipotesi e l'eventualità che si possa verificare un secondo evento calamitoso successivo al primo. Viste le considerazioni sin qui effettuate circa la già bassa probabilità che si distacchi una valanga con $T = 100$ anni contemporaneamente alla presenza di una altezza di neve al suolo con $T = 100$ anni, si è dunque ritenuto che il dimensionamento del bacino sia da considerarsi corretto in termini di sicurezza intrinseca con riferimento al primo evento valanghivo simulato (quindi con tempo di ritorno centennale sia per la modellazione della valanga che per l'altezza di neve al suolo). Pare invece del tutto lecito considerare che eventi successivi al primo, benché del tutto improbabili con riferimento ai tempi di ritorno di progetto, possano essere presi in considerazioni con misure gestionali che sono contenute e dettagliate nel P.S.V. adeguatamente predisposto.

Ottobre 2018

i tecnici

Dott. Geol. Elena LEVERA



Dott.sa Margherita MAGGIONI, Ph.D. SLF Davos (CH)

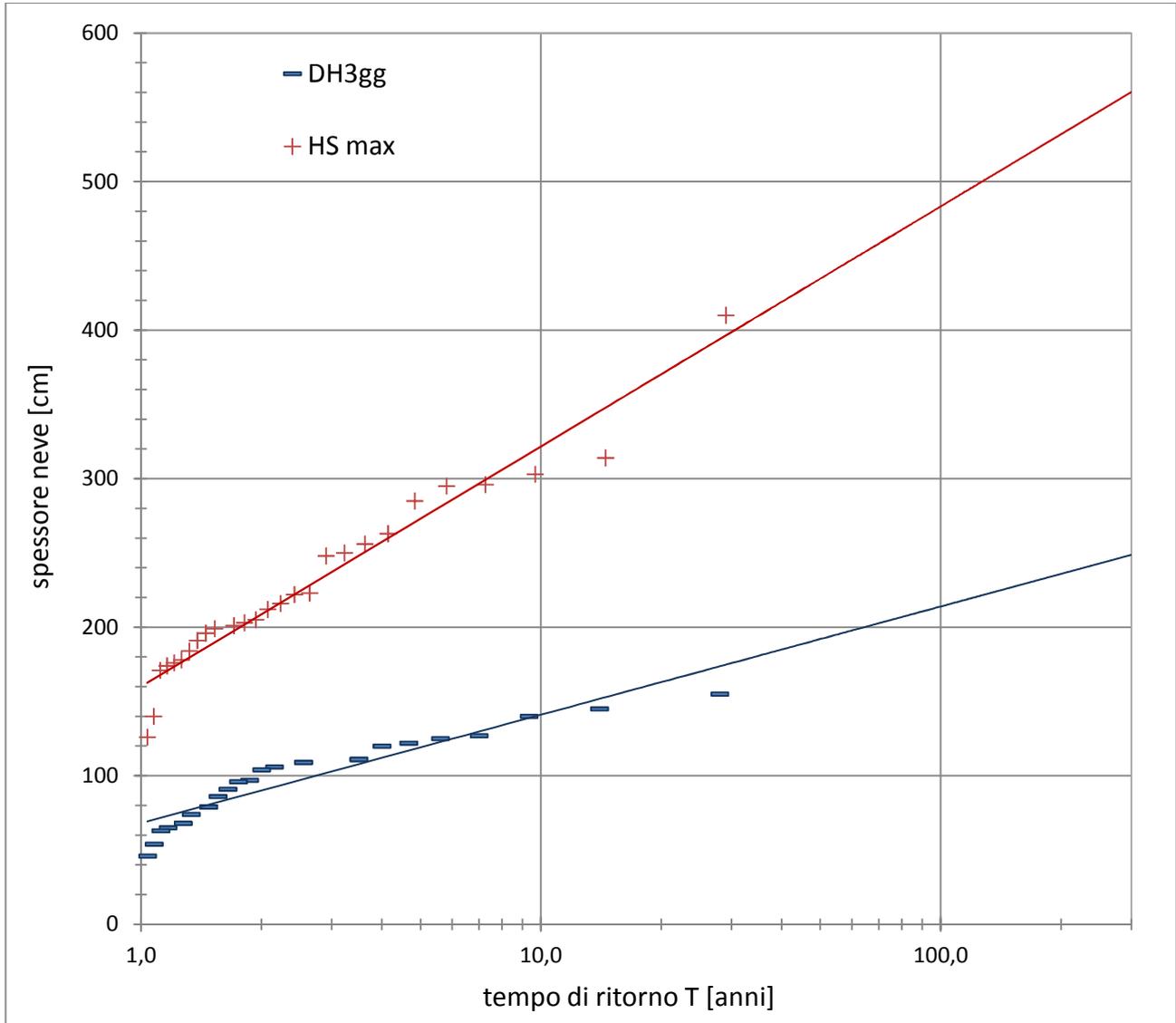
Margherita Maggioni

Allegati e parti integranti della presente relazione:

- Allegato 1. Diagramma di Gumbel per Bocchetta delle Pisse
- Allegato 2. Input files delle simulazioni lungo i tre profili (nord, centro e sud)
- Allegato 3. Log files delle simulazioni

Allegato 1

Diagramma di Gumbel per Bocchetta delle Pisse (2410 m s.l.m.) (serie 1990-2017, 28 anni)



```

                Allegato 2 - sim_2rel_v20000_centro.txt
# AVAL-1D INPUT FILE
# SLF-PROGRAM FOR ONE-DIMENSIONAL AVALANCHE SIMULATIONS
# VERSION 1.3, Mai 2003
# =====
#
# | NAME AND INFORMATION
#
Track_Name
Run_Name
#
INFO-----
-----INFO
#
# | DENSE FLOW GLOBAL PARAMETERS
#
Elem_Size                10.0
Dump_Interval            1.0
Max_Time                  300
Return_Period             300
Red_Blue_Limit           30.0
Blue_White_Limit         0.3
Rho                       300
Lambda                   2.5
Time_Step                 0.0050
Endmark x                 -9999.900
Endmark y                 -9999.900
Friction Category        Klein
#
# | POWDER SNOW GLOBAL PARAMETERS
#
Elem_Size                10.0
Dump_Interval            1.0
Max_Time                  100
Region                   Nordalpen
Return_Period             30
Max_Dev                   5.0
Susp_Rate                 1.00
Cell_Cut                  10.00
#
Air_Density               1.0
Particle_Density          917.0
Gravity                   9.81
Fluid_Viscosity           1.7e-05
Settling_Velo             1.0
#
C_mu                      0.09
C1_eps                    1.44
C2_eps                    1.92
C3_eps                    0.8
Sigma_c                   1.0
Sigma_k                   1.0
Sigma_eps                 1.3
#
Velo_Prof_Coeff_0         1.4
Velo_Prof_Coeff_1         0.0
Velo_Prof_Coeff_2         -1.4
#

```

Allegato 2 - sim_2rel_v20000_centro.txt

```

Conc_Prof_Coeff_0      1.3333
Conc_Prof_Coeff_1     -0.66667
Conc_Prof_Coeff_2      0.0
#
Turb_Prof_Coeff_0     1.0
Turb_Prof_Coeff_1     0.0
Turb_Prof_Coeff_2     0.0
#
Diss_Prof_Coeff_0     1.0
Diss_Prof_Coeff_1     0.0
Diss_Prof_Coeff_2     0.0
#
Threshold_Factor      10.0
Alpha                  0.02
Beta_0                 0.02
Beta_1                 0.5
Beta_2                 1.0
Beta_3                 1.2
Beta_4                 1.0
# Gamma_1 = PROF_VEL_0
# Gamma_2 = PROF_CONC_0
Gamma_3                 2.0
Gamma_4                 3.0
#
Max_Time_Step          0.2
Min_Salt_Height        0.1
Min_Salt_Velo          0.1
Max_Salt_Density       100.0
Min_Susp_Height        0.1
Min_Susp_Velo          0.1
Min_Susp_Turb          1.0e-06
Min_Susp_Dissip        1.0e-04
Courant_Nr             0.85
Relaxation_Factor     0.7
#
Min_Salt_Mass_Flux     10.0
Min_Salt_Mom_Flux     10.0
Min_Susp_Mass_Flux    10.0
Min_Susp_Mom_Flux     10.0
#
| COORDINATES
#
Number_of_Points      15
#
# No          X          Y          Z          W          Alpha1
#   Beta1     Alpha2     Beta2
0   414471.000  5080600.000  2510.000  50.000  0.000
   0.000      0.000      0.000
1   414475.000  5080541.000  2460.000  40.000  0.000
   0.000      0.000      0.000
2   414480.000  5080525.000  2430.000  50.000  0.000
   0.000      0.000      0.000
3   414485.000  5080512.000  2360.000  120.000 0.000
   0.000      0.000      0.000
4   414513.000  5080446.000  2310.000  110.000 0.000
   0.000      0.000      0.000
5   414553.000  5080374.000  2260.000  80.000  0.000
   0.000      0.000      0.000

```

```

Allegato 2 - sim_2rel_v20000_centro.txt
6 414577.000 5080328.000 2240.000 70.000 0.000
0.000 0.000 0.000
7 414607.000 5080273.000 2200.000 70.000 0.000
0.000 0.000 0.000
8 414624.000 5080245.000 2180.000 70.000 0.000
0.000 0.000 0.000
9 414653.000 5080201.000 2160.000 60.000 0.000
0.000 0.000 0.000
10 414678.000 5080162.000 2150.000 60.000 0.000
0.000 0.000 0.000
11 414692.000 5080138.000 2151.000 60.000 0.000
0.000 0.000 0.000
12 414700.000 5080125.000 2151.000 60.000 0.000
0.000 0.000 0.000
13 414721.000 5080092.000 2151.000 60.000 0.000
0.000 0.000 0.000
14 414756.000 5080038.000 2160.000 60.000 0.000
0.000 0.000 0.000
#
#
# | MONITORING POINTS
#
Monitoring Points 3
# Node Nr. Name Obs V Obs H
11 pista 1 0.0 0.0
12 pista 2 0.0 0.0
13 bordo lago 0.0 0.0
#
# | DENSE FLOW LOCAL PARAMETERS
#
# No Mu Xi h Rel Canal slope Dist vel
0 0.307 1278 1.4900 1 0 40.2 77.4 0.00
1 0.307 1278 0.0000 0 0 60.8 34.4 0.00
2 0.307 1278 0.0000 0 0 78.7 71.4 0.00
3 0.307 1278 1.5100 1 0 34.9 87.4 0.00
4 0.307 1278 0.0000 0 0 31.3 96.4 0.00
5 0.307 1278 0.0000 0 0 21.1 55.6 0.00
6 0.307 1278 0.0000 0 0 32.6 74.3 0.00
7 0.307 1278 0.0000 0 0 31.4 38.4 0.00
8 0.307 1278 0.0000 0 0 20.8 56.4 0.00
9 0.307 1278 0.0000 0 0 12.2 47.4 0.00
10 0.307 1278 0.0000 0 0 -2.1 27.8 0.00
11 0.307 1278 0.0000 0 0 0.0 15.3 0.00
12 0.307 1278 0.0000 0 0 0.0 39.1 0.00
13 0.307 1278 0.0000 0 0 -8.0 65.0 0.00
#
# | POWDER SNOW LOCAL PARAMETERS
#
# No Rough Erodi EroH EroRho saltH saltV saltD SuspH SuspV
SuspD Turbulent Dissipat
0 0.01 0.50 0.00 150.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
1 0.01 0.50 0.00 150.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
2 0.01 0.50 0.00 150.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
3 0.01 0.50 0.00 150.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006

```

```
Allegato 2 - sim_2rel_v20000_centro.txt
 4  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 5  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 6  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 7  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 8  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 9  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
10  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
11  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
12  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
13  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
14  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
#
# END OF AVAL-1D INPUT FILE
# =====
```

Allegato 2 - sim_2rel_v20000_nord.txt

AVAL-1D INPUT FILE
SLF-PROGRAM FOR ONE-DIMENSIONAL AVALANCHE SIMULATIONS
VERSION 1.3, Mai 2003

=====
#

| NAME AND INFORMATION

Track_Name
Run_Name

INFO-----

-----INFO

| DENSE FLOW GLOBAL PARAMETERS

Elem_Size 10.0
Dump_Interval 1.0
Max_Time 300
Return_Period 300
Red_Blue_Limit 30.0
Blue_White_Limit 0.3
Rho 300
Lambda 2.5
Time_Step 0.0050
Endmark x 414778.000
Endmark y 5080072.000
Friction Category Klein

| POWDER SNOW GLOBAL PARAMETERS

Elem_Size 10.0
Dump_Interval 1.0
Max_Time 100
Region Nordalpen
Return_Period 30
Max_Dev 5.0
Susp_Rate 1.00
Cell_Cut 10.00

Air_Density 1.0
Particle_Density 917.0
Gravity 9.81
Fluid_Viscosity 1.7e-05
Settling_Velo 1.0

C_mu 0.09
C1_eps 1.44
C2_eps 1.92
C3_eps 0.8
Sigma_c 1.0
Sigma_k 1.0
Sigma_eps 1.3

Velo_Prof_Coeff_0 1.4
Velo_Prof_Coeff_1 0.0
Velo_Prof_Coeff_2 -1.4

#

Allegato 2 - sim_2rel_v20000_nord.txt

```

Conc_Prof_Coeff_0      1.3333
Conc_Prof_Coeff_1     -0.66667
Conc_Prof_Coeff_2      0.0
#
Turb_Prof_Coeff_0      1.0
Turb_Prof_Coeff_1      0.0
Turb_Prof_Coeff_2      0.0
#
Diss_Prof_Coeff_0      1.0
Diss_Prof_Coeff_1      0.0
Diss_Prof_Coeff_2      0.0
#
Threshold_Factor      10.0
Alpha                   0.02
Beta_0                  0.02
Beta_1                  0.5
Beta_2                  1.0
Beta_3                  1.2
Beta_4                  1.0
# Gamma_1 = PROF_VEL_0
# Gamma_2 = PROF_CONC_0
Gamma_3                 2.0
Gamma_4                 3.0
#
Max_Time_Step          0.2
Min_Salt_Height        0.1
Min_Salt_Velo          0.1
Max_Salt_Density       100.0
Min_Susp_Height        0.1
Min_Susp_Velo          0.1
Min_Susp_Turb          1.0e-06
Min_Susp_Dissip        1.0e-04
Courant_Nr             0.85
Relaxation_Factor      0.7
#
Min_Salt_Mass_Flux     10.0
Min_Salt_Mom_Flux     10.0
Min_Susp_Mass_Flux    10.0
Min_Susp_Mom_Flux     10.0
#
| COORDINATES
#
Number_of_Points      15
#
# No      X      Y      Z      W      Alpha1
#   Beta1  Alpha2  Beta2
0   414471.000  5080600.000  2510.000  50.000  0.000
   0.000  0.000  0.000
1   414475.000  5080541.000  2460.000  40.000  0.000
   0.000  0.000  0.000
2   414480.000  5080525.000  2430.000  50.000  0.000
   0.000  0.000  0.000
3   414485.000  5080512.000  2360.000  120.000  0.000
   0.000  0.000  0.000
4   414513.000  5080446.000  2310.000  110.000  0.000
   0.000  0.000  0.000
5   414553.000  5080374.000  2260.000  80.000  0.000
   0.000  0.000  0.000

```

Allegato 2 - sim_2rel_v20000_nord.txt

6	414577.000	5080328.000	2240.000	70.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
7	414607.000	5080273.000	2200.000	70.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
8	414624.000	5080245.000	2180.000	70.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
9	414653.000	5080201.000	2160.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
10	414678.000	5080162.000	2150.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
11	414696.000	5080146.000	2151.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
12	414705.000	5080138.000	2151.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
13	414728.000	5080115.000	2151.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
14	414778.000	5080072.000	2160.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		

#

#

| MONITORING POINTS

#

Monitoring Points

3

Node Nr.

Name

Obs V

Obs H

11

pista 1

0.0

0.0

12

pista 2

0.0

0.0

13

bordo lago

0.0

0.0

#

| DENSE FLOW LOCAL PARAMETERS

#

#

No	Mu	Xi	h	Rel	Canal	slope	Dist	vel
0	0.307	1278	1.4900	1	0	40.2	77.4	0.00
1	0.307	1278	0.0000	0	0	60.8	34.4	0.00
2	0.307	1278	0.0000	0	0	78.7	71.4	0.00
3	0.307	1278	1.5100	1	0	34.9	87.4	0.00
4	0.307	1278	0.0000	0	0	31.3	96.4	0.00
5	0.307	1278	0.0000	0	0	21.1	55.6	0.00
6	0.307	1278	0.0000	0	0	32.6	74.3	0.00
7	0.307	1278	0.0000	0	0	31.4	38.4	0.00
8	0.307	1278	0.0000	0	0	20.8	56.4	0.00
9	0.307	1278	0.0000	0	0	12.2	47.4	0.00
10	0.307	1278	0.0000	0	0	-2.4	24.1	0.00
11	0.307	1278	0.0000	0	0	0.0	12.0	0.00
12	0.307	1278	0.0000	0	0	0.0	32.5	0.00
13	0.307	1278	0.0000	0	0	-7.8	66.6	0.00

#

| POWDER SNOW LOCAL PARAMETERS

#

No	Rough	Erodi	EroH	EroRho	SalTH	SalTV	SalTD	SuspH	SuspV
SuspD	Turbulent	Dissipat							
0	0.01	0.50	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.00e-002	1.00e-006							
1	0.01	0.50	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.00e-002	1.00e-006							
2	0.01	0.50	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.00e-002	1.00e-006							
3	0.01	0.50	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.00e-002	1.00e-006							

```
Allegato 2 - sim_2rel_v20000_nord.txt
 4  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 5  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 6  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 7  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 8  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 9  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
10  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
11  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
12  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
13  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
14  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
#
# END OF AVAL-1D INPUT FILE
# =====
```

Allegato 2 - sim_2rel_v20000_sud.txt

AVAL-1D INPUT FILE
SLF-PROGRAM FOR ONE-DIMENSIONAL AVALANCHE SIMULATIONS
VERSION 1.3, Mai 2003

=====
#

| NAME AND INFORMATION

Track_Name
Run_Name

INFO-----

-----INFO

| DENSE FLOW GLOBAL PARAMETERS

Elem_Size 10.0
Dump_Interval 1.0
Max_Time 300
Return_Period 300
Red_Blue_Limit 30.0
Blue_White_Limit 0.3
Rho 300
Lambda 2.5
Time_Step 0.0050
Endmark x -9999.900
Endmark y -9999.900
Friction Category Klein

| POWDER SNOW GLOBAL PARAMETERS

Elem_Size 10.0
Dump_Interval 1.0
Max_Time 100
Region Nordalpen
Return_Period 30
Max_Dev 5.0
Susp_Rate 1.00
Cell_Cut 10.00

Air_Density 1.0
Particle_Density 917.0
Gravity 9.81
Fluid_Viscosity 1.7e-05
Settling_Velo 1.0

C_mu 0.09
C1_eps 1.44
C2_eps 1.92
C3_eps 0.8
Sigma_c 1.0
Sigma_k 1.0
Sigma_eps 1.3

Velo_Prof_Coeff_0 1.4
Velo_Prof_Coeff_1 0.0
Velo_Prof_Coeff_2 -1.4

#

Allegato 2 - sim_2rel_v20000_sud.txt

```

Conc_Prof_Coeff_0      1.3333
Conc_Prof_Coeff_1     -0.66667
Conc_Prof_Coeff_2      0.0
#
Turb_Prof_Coeff_0      1.0
Turb_Prof_Coeff_1      0.0
Turb_Prof_Coeff_2      0.0
#
Diss_Prof_Coeff_0      1.0
Diss_Prof_Coeff_1      0.0
Diss_Prof_Coeff_2      0.0
#
Threshold_Factor      10.0
Alpha                  0.02
Beta_0                 0.02
Beta_1                 0.5
Beta_2                 1.0
Beta_3                 1.2
Beta_4                 1.0
# Gamma_1 = PROF_VEL_0
# Gamma_2 = PROF_CONC_0
Gamma_3                 2.0
Gamma_4                 3.0
#
Max_Time_Step          0.2
Min_Salt_Height        0.1
Min_Salt_Velo          0.1
Max_Salt_Density       100.0
Min_Susp_Height        0.1
Min_Susp_Velo          0.1
Min_Susp_Turb          1.0e-06
Min_Susp_Dissip        1.0e-04
Courant_Nr             0.85
Relaxation_Factor      0.7
#
Min_Salt_Mass_Flux     10.0
Min_Salt_Mom_Flux      10.0
Min_Susp_Mass_Flux     10.0
Min_Susp_Mom_Flux      10.0
#
| COORDINATES
#
Number_of_Points       15
#
# No      X      Y      Z      W      Alpha1
#   Beta1  Alpha2  Beta2
0   414471.000  5080600.000  2510.000  50.000  0.000
   0.000  0.000  0.000
1   414475.000  5080541.000  2460.000  40.000  0.000
   0.000  0.000  0.000
2   414480.000  5080525.000  2430.000  50.000  0.000
   0.000  0.000  0.000
3   414485.000  5080512.000  2360.000  120.000  0.000
   0.000  0.000  0.000
4   414513.000  5080446.000  2310.000  110.000  0.000
   0.000  0.000  0.000
5   414553.000  5080374.000  2260.000  80.000  0.000
   0.000  0.000  0.000

```

Allegato 2 - sim_2rel_v20000_sud.txt

6	414577.000	5080328.000	2240.000	70.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
7	414607.000	5080273.000	2200.000	70.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
8	414624.000	5080245.000	2180.000	70.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
9	414653.000	5080201.000	2160.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
10	414678.000	5080162.000	2150.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
11	414690.000	5080128.000	2151.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
12	414695.000	5080107.000	2151.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
13	414706.000	5080062.000	2151.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		
14	414718.000	5080000.000	2150.000	60.000	0.000
	0.000	0.000	0.000		

| MONITORING POINTS
#

Monitoring Points 3

# Node Nr.	Name	Obs V	Obs H
11	pista 1	0.0	0.0
12	pista 2	0.0	0.0
13	bordo lago	0.0	0.0

| DENSE FLOW LOCAL PARAMETERS
#

# No	Mu	Xi	h	Rel	Canal	slope	Dist	vel
0	0.307	1278	1.4900	1	0	40.2	77.4	0.00
1	0.307	1278	0.0000	0	0	60.8	34.4	0.00
2	0.307	1278	0.0000	0	0	78.7	71.4	0.00
3	0.307	1278	1.5100	1	0	34.9	87.4	0.00
4	0.307	1278	0.0000	0	0	31.3	96.4	0.00
5	0.307	1278	0.0000	0	0	21.1	55.6	0.00
6	0.307	1278	0.0000	0	0	32.6	74.3	0.00
7	0.307	1278	0.0000	0	0	31.4	38.4	0.00
8	0.307	1278	0.0000	0	0	20.8	56.4	0.00
9	0.307	1278	0.0000	0	0	12.2	47.4	0.00
10	0.307	1278	0.0000	0	0	-1.6	36.1	0.00
11	0.307	1278	0.0000	0	0	0.0	21.6	0.00
12	0.307	1278	0.0000	0	0	0.0	46.3	0.00
13	0.307	1278	0.0000	0	0	0.9	63.2	0.00

| POWDER SNOW LOCAL PARAMETERS
#

# No	Rough	Erodi	EroH	EroRho	SalTh	SalTv	SalTD	SuspH	SuspV
SuspD	Turbulent	Dissipat							
0	0.01	0.50	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.00e-002	1.00e-006							
1	0.01	0.50	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.00e-002	1.00e-006							
2	0.01	0.50	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.00e-002	1.00e-006							
3	0.01	0.50	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.00e-002	1.00e-006							

```
Allegato 2 - sim_2rel_v20000_sud.txt
 4  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 5  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 6  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 7  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 8  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
 9  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
10  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
11  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
12  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
13  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
14  0.01  0.50  0.00 150.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00 1.00e-002 1.00e-006
#
# END OF AVAL-1D INPUT FILE
# =====
```

Allegato 3 - LOG files delle simulazioni

AVAL-1D Log File: sim_2rel_V20000_nord.ava

Output results:

Reason for end of calculation

Simulation stopped due to low mass flux!!

Time (s)	68.00
Mass flux limit (m ³ /s)	9

General simulation parameters

Calculated return period (years)	300
Overall max velocity (m/s)	24.68
Overall max height (m)	3.16
Total volume in system (m ³)	23084
Minimal mass flux condition (m ³ /s)	9
Total mass in system (t)	6925
Mass error in system	1.118442e-003

Parametric description of runout zone

Maximal depth at the last simulation step (m)	2.54
Position of Maximal Depth	
a) projected avalanche length (m)	480.93
b) altitude above sea level (m a.s.l.)	2152.00
Mean mass position (half of the mass above/below this position)	
a) projected avalanche length (m)	462.40
b) altitude above sea level (m a.s.l.)	2156.00
Projected length considered for mean deposition depth calculation (+/- one standard deviation from mean mass position)	
from (m)	412.26
to (m)	514.28
Mean deposition depth (m)	2.29

Distances and heights in avalanche track

Limit between high and low pressure zone (kPa)	30.00
Limit defining end of low pressure zone (kPa)	0.30
Distance begin of starting zone - end of high pressure zone (m)	514.00
Distance begin of starting zone - end of low pressure zone (m)	568.00
Distance end of high pressure zone - end of low pressure zone (m)	54.00
Height above sea level of end of high pressure zone (m)	2151.00
Height above sea level of end of low pressure zone (m)	2152.29

---> Control value of length of the avalanche (m) 625.00

Monitoring points

pista 1:

Max velocity (m/s) 9.18

Max flowheight (m) 2.79

pista 2:

Max velocity (m/s) 7.42

Max flowheight (m) 2.22

bordo lago:

Max velocity (m/s) 1.87

Max flowheight (m) 0.91

Distance pista 1: - end of high pressure zone (m) 0

Distance pista 1: - end of low pressure zone (m) 54

Distance pista 2: - end of high pressure zone (m) -12

Distance pista 2: - end of low pressure zone (m) 42

Distance bordo lago: - end of high pressure zone (m) -45

Distance bordo lago: - end of low pressure zone (m) 9

Summary of comparison

Subject	Simulated values	Control values	Percentage
Avalanche length (m)	568	625	9.12
Flow velocity points (m/s)			
pista 1:	9.18	0.00	100.00
pista 2:	7.42	0.00	100.00
bordo lago:	1.87	0.00	100.00
Flow height points (m)			
pista 1:	2.79	0.00	100.00
pista 2:	2.22	0.00	100.00
bordo lago:	0.91	0.00	100.00

AVAL-1D Log File: sim 2rel V20000 centro.ava

Output results:

Reason for end of calculation

Simulation stopped due to low mass flux!!

Time (s)	67.00
Mass flux limit (m ³ /s)	9

General simulation parameters

Calculated return period (years)	300
Overall max velocity (m/s)	24.68
Overall max height (m)	3.25
Total volume in system (m ³)	23083
Minimal mass flux condition (m ³ /s)	9
Total mass in system (t)	6925
Mass error in system	6.995124e-006

Parametric description of runout zone

Maximal depth at the last simulation step (m)	2.63
Position of Maximal Depth	
a) projected avalanche length (m)	480.93
b) altitude above sea level (m a.s.l.)	2152.00
Mean mass position (half of the mass above/below this position)	
a) projected avalanche length (m)	471.67
b) altitude above sea level (m a.s.l.)	2154.00
Projected length considered for mean deposition depth calculation (+/- one standard deviation from mean mass position)	
from (m)	422.80
to (m)	517.98
Mean deposition depth (m)	2.44

Distances and heights in avalanche track

Limit between high and low pressure zone (kPa)	30.00
Limit defining end of low pressure zone (kPa)	0.30
Distance begin of starting zone - end of high pressure zone (m)	509.00
Distance begin of starting zone - end of low pressure zone (m)	572.00
Distance end of high pressure zone - end of low pressure zone (m)	64.00
Height above sea level of end of high pressure zone (m)	2150.67
Height above sea level of end of low pressure zone (m)	2151.00
---> Control value of length of the avalanche (m)	637.00

Monitoring points

pista 1:

Max velocity (m/s)	8.47
Max flowheight (m)	2.70

pista 2:

Max velocity (m/s)	5.93
Max flowheight (m)	1.73

bordo lago:

Max velocity (m/s)	0.11
Max flowheight (m)	0.37

Distance pista 1: - end of high pressure zone (m) -9

Distance pista 1: - end of low pressure zone (m) 54

Distance pista 2: - end of high pressure zone (m) -25

Distance pista 2: - end of low pressure zone (m) 39

Distance bordo lago: - end of high pressure zone (m) -64

Distance bordo lago: - end of low pressure zone (m) 0

Summary of comparison

Subject	Simulated values	Control values	Percentage
Avalanche length (m)	572	637	10.20
Flow velocity points (m/s)			
pista 1:	8.47	0.00	100.00
pista 2:	5.93	0.00	100.00
bordo lago:	0.11	0.00	100.00
Flow height points (m)			
pista 1:	2.70	0.00	100.00
pista 2:	1.73	0.00	100.00
bordo lago:	0.37	0.00	100.00

AVAL-1D Log File: sim 2rel V20000 sud.ava

Output results:

Reason for end of calculation

Simulation stopped due to low mass flux!!

Time (s)	68.00
Mass flux limit (m ³ /s)	9

General simulation parameters

Calculated return period (years)	300
Overall max velocity (m/s)	24.68
Overall max height (m)	3.25
Total volume in system (m ³)	23083
Minimal mass flux condition (m ³ /s)	9
Total mass in system (t)	6925
Mass error in system	-6.348533e-009

Parametric description of runout zone

Maximal depth at the last simulation step (m)	2.60
Position of Maximal Depth	
a) projected avalanche length (m)	480.93
b) altitude above sea level (m a.s.l.)	2152.00
Mean mass position (half of the mass above/below this position)	
a) projected avalanche length (m)	471.67
b) altitude above sea level (m a.s.l.)	2154.00
Projected length considered for mean deposition depth calculation (+/- one standard deviation from mean mass position)	
from (m)	422.80
to (m)	517.24
Mean deposition depth (m)	2.42

Distances and heights in avalanche track

Limit between high and low pressure zone (kPa)	30.00
Limit defining end of low pressure zone (kPa)	0.30
Distance begin of starting zone - end of high pressure zone (m)	517.00
Distance begin of starting zone - end of low pressure zone (m)	566.00
Distance end of high pressure zone - end of low pressure zone (m)	49.00
Height above sea level of end of high pressure zone (m)	2150.75
Height above sea level of end of low pressure zone (m)	2151.00
---> Control value of length of the avalanche (m)	657.00

Monitoring points

pista 1:

Max velocity (m/s)	7.12
Max flowheight (m)	2.16

pista 2:

Max velocity (m/s)	3.96
Max flowheight (m)	1.25

bordo lago:

Max velocity (m/s)	0.02
Max flowheight (m)	0.06

Distance pista 1: - end of high pressure zone (m) -9

Distance pista 1: - end of low pressure zone (m) 40

Distance pista 2: - end of high pressure zone (m) -31

Distance pista 2: - end of low pressure zone (m) 19

Distance bordo lago: - end of high pressure zone (m) -77

Distance bordo lago: - end of low pressure zone (m) -28

Summary of comparison

Subject	Simulated values	Control values	Percentage
Avalanche length (m)	566	657	13.85
Flow velocity points (m/s)			
pista 1:	7.12	0.00	100.00
pista 2:	3.96	0.00	100.00
bordo lago:	0.02	0.00	100.00
Flow height points (m)			
pista 1:	2.16	0.00	100.00
pista 2:	1.25	0.00	100.00
bordo lago:	0.06	0.00	100.00