

# MOUNTAIN RESEARCH

## Ricerca a supporto della gestione del rischio valanghe di neve bagnata e da slittamento in Valle d'Aosta

**Barbara Frigo,  
Bernardino Chiaia,  
Valerio De Biagi**

Politecnico di Torino,  
Dipartimento di Ingegneria Strutturale,  
Edile e Geotecnica, Torino

**Laura Dublanc,  
Michele Freppaz,  
Danilo Godone,  
Margherita Maggioni,  
Davide Viglietti**

NatRisk-DISAFA,  
Università degli Studi di Torino, Torino

**Elisabetta Ceaglio,  
Paola Dellavedova**  
Fondazione Montagna sicura,  
Courmayeur, Aosta

**Diego Franco, Alberto Godio**  
Politecnico di Torino,  
Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente,  
del Territorio e delle Infrastrutture, Torino

**Henri Grosjacques,  
Alessandro Prola,  
Franco Torretta,  
Arnoldo Welf**  
Monterosa s.p.a.,  
Gressoney-La-Trinité, Aosta

**Dario Tosi**  
Università della Valle d'Aosta -  
Université de la Vallée d'Aoste, Aosta

Gli autori fanno parte del Mountain Risk  
Research Team (MRR Team), Verrès, Aosta

Nel 2013, in Valle d'Aosta, nasce il Mountain Risk Research Team - MRR Team, Unità di Ricerca (UdR) giovane e multidisciplinare con anima tecnico-scientifica integrata a quella giuridico-sociale che opera nel campo dei rischi naturali in ambiente montano.

In particolare, l'unità di ricerca sta sviluppando il Progetto Operativo "Rischio, Ricerca e Innovazione" (R.R.I.) con l'obiettivo di sviluppare ed implementare strumenti per il monitoraggio e la previsione di valanghe di neve umida, nonché di sviluppare best practices per la loro gestione in termini di sicurezza e riduzione dei costi, anche sociali.

La ricerca si svolge nel territorio valdostano del comprensorio sciistico Monterosa Ski, laboratorio a cielo aperto del Team (Fig. 1).

L'articolo presenta il gruppo di ricerca e il suo ruolo di supporto all'innovazione tecnologica regionale e di ricerca a livello internazionale, per poi porre in evidenza le problematiche trattate all'interno del progetto R.R.I. di previsione, prevenzione e gestione di queste particolari tipologie di fenomeni valanghivi. Proseguendo con la descrizione dei tre obiettivi di progetto, si riporta una panoramica delle numerose attività sviluppate ed i primi risultati conseguiti. Tra questi, ampio spazio verrà dato alla presentazione dei siti sperimentali concepiti e realizzati grazie a questo progetto ed alle attività svolte grazie ad essi, fiori all'occhiello dell'UdR.

# RISK TEAM

A large, textured snowdrift in the foreground, with a mountain range in the background under a blue sky with clouds. The foreground is covered in dry, brown grass.

## IL GRUPPO DI RICERCA INTERDISCIPLINARE

L'Unità di Ricerca MRR Team nasce grazie al "Bando per la creazione e lo sviluppo di Unità di Ricerca" (D.G.R. 1988/2011 e s. m. i.), finanziamento messo a disposizione dai Programmi Operativi 2007-2013 del Fondo Sociale Europeo e del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale valdostano per creare una vivace e robusta collaborazione tra professionisti, ricercatori ed esperti con scopi occupazionali e di innovazione tecnologica. L'UdR si inserisce nel settore "Tecnologie per il monitoraggio del rischio e la sicurezza del territorio alpino", definendo metodologie, linee guida e tecnologie innovative di supporto a tecnici amministratori e responsabili del settore per una gestione condivisa dei rischi naturali in montagna.

Il Team è stato l'occasione per consolidare istituzionalmente una rete di eccellenze

locali che già da tempo collaborano insieme, quali i due Atenei regionali (l'Università della Valle d'Aosta - Université de la Vallée d'Aoste e il Politecnico di Torino), la Fondazione Montagna sicura, il Centro NatRisk del DISAFA di concerto con la Monterosa S.p.A., impresa valdostana che opera in uno dei settori più importanti per l'economia regionale (l'industria dello sci) e da sempre attenta sostenitrice dell'innovazione tecnologica.

La supervisione delle attività del Team spetta al "Dipartimento programmazione, difesa del suolo e risorse idriche" (Assessorato opere pubbliche, difesa del suolo e edilizia residenziale pubblica) della Regione autonoma Valle d'Aosta, attento sia ai risultati immediatamente fruibili per il monitoraggio alpino, sia all'accrescimento delle competenze tecnico-scientifiche regionali che contribuiscono a rendere la Valle d'Aosta un punto di riferimento

per la gestione operativa dei rischi in ambiente montano.

## IL PROGETTO DI RICERCA

Le valanghe di neve bagnata (*wet-snow avalanches*) insieme alle *glide-snow avalanches*, ovvero le valanghe da slittamento del manto nevoso (Jones et al., 2004; Mitterer and Schweizer, 2012), rappresentano attualmente uno dei maggiori fattori di incertezza nelle attività di previsione valanghe, a causa della difficoltà nel prevederne il distacco e le dimensioni (Fig. 2) (Peitzsch et al., 2012).

Inoltre, a seguito del cambiamento climatico in atto che potrebbe portare a manti nevosi più umidi e ad un generale aumento del contenuto d'acqua nel substrato (Lazar and Williams, 2008), la frequenza di questo tipo di valanghe potrebbe aumentare, sebbene ad oggi nessun trend chiaro sia stato ancora identificato.

Le valanghe da slittamento, tipicamente di fondo, si generano a seguito di fenomeni di *snow gliding* (lento scivolamento verso valle del manto nevoso influenzato dalla rugosità del substrato e dal contenuto d'acqua all'interfaccia neve/ suolo) e sono spesso precedute dalla formazione di evidenti fessurazioni nel manto nevoso, le *glide cracks* o "bocche di balena" (Fig. 3). L'elevato potenziale distruttivo causato dall'ampio volume di neve coinvolto, la forte pressione d'impatto che può svilupparsi su edifici, foreste, infrastrutture, e la difficoltà nel gestire il problema con i comuni sistemi di distacco artificiale - le valanghe da slittamento e le valanghe bagnate non reagiscono positivamente alle tradizionali misure di distacco programmato - pongono questo tipo di fenomeno all'attenzione di coloro che sono chiamati a gestire il rischio valanghe, sia nell'ambito delle pubbliche amministrazioni, sia dei comprensori sciistici.

I temi di ricerca affrontati dal Team nel progetto R.R.I. (Ricerca, Rischio e Innovazione) rispecchiano queste necessità, circoscritte ad una limitata porzione di territorio (il comprensorio sciistico), mirando allo sviluppo di strumenti per il mo-

Fig. 1 - Il comprensorio Monterosa Ski ai piedi del Monte Rosa. In evidenza la posizione dei siti sperimentali.



Fig. 2 - Valanghe di neve bagnata e da slittamento.



monitoraggio e la previsione delle valanghe di neve bagnata e da slittamento, e alla definizione di procedure atte a ridurre i costi ed a migliorare le procedure di gestione estive ed invernali delle piste da sci all'interno del Monterosa Ski. Questi si possono riassumere in una serie di proposte gestionali innovative riferite a queste tipologie di valanghe al fine di:

- individuare i valori soglia dei parametri meteorologici, nivologici e pedologici predisponenti il verificarsi di tali fenomeni, monitorati grazie a tecnologie innovative;
- supportare i tecnici durante la messa in sicurezza di un comprensorio sciistico, implementando il Piano di Intervento per il Distacco Artificiale di Valanghe (PIDAV) grazie a proposte innovative di distacco artificiale anche con riferimento all'analisi costi/benefici delle misure di protezione;
- supportare i tecnici nelle attività di realizzazione e manutenzione delle piste da sci in periodo estivo con particolare attenzione alle pratiche per ridurre la vulnerabilità dei suoli all'erosione.

Fulcro strategico del progetto sono l'individuazione ed il monitoraggio di indicatori ambientali, scelti al fine della comprensione dei meccanismi di formazione e distacco delle valanghe di neve bagnata e per scivolamento, nonché della loro previsione. L'attenzione è stata volta al monitoraggio della formazione di *glide cracks* e della loro evoluzione - al fine di una migliore comprensione del ruolo dell'acqua libera all'interfaccia neve/suolo come fattore principale che caratterizza il processo di scivolamento - unitamente alla realizzazione dei siti sperimentali di monitoraggio. Ciò ha comportato inoltre la concezione, lo sviluppo e la relativa validazione di sensoristica innovativa dedicata (per es. per la misura della densità e del contenuto volumetrico d'acqua nel manto nevoso) e testata durante l'inverno 2013/14, primo inverno di progetto. Sulla base di informazioni storiche raccolte dal personale del comprensorio, sono stati individuati tre siti sperimentali nel comune di Gres-



Fig. 3 - Formazione di glide cracks.



Fig. 4 - Localizzazione dei siti sperimentali Pista Nera (a destra della foto) e St Anna I (a sinistra della foto).

soney-La-Trinité (AO):

- 1) Pista Nera - zona di distacco di una valanga per scivolamento (Gressoney-la-Trinité, 2230 m s.l.m., ESE, 40°) posta a monte dell'omonima pista da sci (Fig. 4);
- 2) Sant'Anna I - zona di distacco di una valanga da slittamento (Gressoney-la-Trinité, 2120 m s.l.m., E, 36°) posta a valle della stazione di arrivo della funivia per Sant'Anna (Fig. 4);
- 3) Sant'Anna II - zona in piano, posta a monte della stazione di arrivo della funivia per Sant'Anna (Gressoney-la-Trinité, 2170 m s.l.m., 360°, in piano), nei pressi dei campi neve AINEVA MOD 1 (gestito da personale del comprensorio sciistico) e MOD 4 (gestito da personale del Corpo Forestale Valdostano), allestito per il test di strumentazione innovativa (Fig. 5).

La strumentazione installata nei siti Pista Nera e Sant'Anna I comprende *glide-snow shoes* (piccoli slittini in alluminio collegati ad un potenziometro in grado di rilevarne lo spostamento), sensori di temperatura (T107) e contenuto volumetrico d'acqua (WCR CS616) posti nel suolo (a profondità di: 5 e 15 cm) e nello strato basale del manto nevoso.

I sensori sono collegati a *datalogger* (Campbell CR1000) collocati in posizioni sicure al di fuori delle zone di distacco delle valanghe, raggiungibili in sicurezza durante l'inverno e forniti di doppia alimentazione (batteria e pannello solare). Il sito Pista Nera è inoltre monitorato da una webcam (per gentile concessione del Consorzio Turistico Gressoney Monte Rosa) con lo scopo di registrare e trasmettere immagini relative ai movimenti del manto nevoso, permettendo così la

Fig. 5 - Localizzazione del sito St Anna II.



Fig. 6 - Kit per rilievi nivologici e sonda portatile WCR CS616.



Fig. 7 - Localizzazione del sito Pista Larici.



verifica delle condizioni del sito anche da remoto.

Il sito sperimentale Sant'Anna II è invece dedicato al test dei sensori elettromagnetici WCR - *Water Content Reflectometer* (e.g. Kovacs et al., 1995) per le misure di densità e umidità della neve, variabili chiave per i fenomeni di scivolamento. Accoppiati alle sonde WCR CS616 poste nel suolo e a 20 cm nella neve, sono stati installati sensori low cost (*iButton*®) per la misura in continuo di temperatura e umidità della neve.

Contestualmente sono stati collocati dei sensori per la misura dello SWE (*Snow Water Equivalent*) e della densità del manto nevoso: 5 celle di carico, di 2 differenti case costruttrici, installate in appositi involucri in acciaio inox, collocate in aree di prova con superficie di 4÷5 m<sup>2</sup>, secondo una disposizione casuale. Tutta la strumentazione è stata collegata ad un *datalogger* alimentato mediante un pannello fotovoltaico con batteria tampone per il funzionamento in continuo. A corredo di questa sensoristica, si trova installato un dispositivo georadar con antenna avente frequenza principale di 900 MHz; l'antenna è stata disposta al suolo con radiazione verso l'alto in modo da monitorare lo spessore e la stratificazione del manto nevoso. A cadenza settimanale, si effettuano misure di caratterizzazione del manto nevoso associate a misure di contenuto volumetrico in acqua tramite utilizzo di un riflettometro portatile (sensore WCR CS616 – Fig. 6).

Particolare è il quarto sito sperimentale Pista Larici, localizzato nella zona a monte dell'omonima pista da sci in Ayas (2100 m s.l.m., ONO), dedicato al secondo obiettivo di progetto (proposte di sistemi innovativi di bonifica di manti nevosi umidi). In questo tratto di pista particolarmente problematico dal punto di vista gestionale per l'interferenza di valanghe di neve bagnata, soprattutto in condizioni primaverili (Fig. 7), sono state individuate due aree rappresentative di distacchi spontanei ed indotti di valanghe di neve bagnata, in cui sono stati installati i sensori di temperatura e umidità (*iButton*®)

all'interfaccia neve/ suolo e nel suolo, e dove si caratterizza settimanalmente il manto nevoso con misure del contenuto volumetrico in acqua grazie alla sonda portatile WCR CS616. In queste situazioni particolarmente critiche per la gestione della sicurezza piste, soprattutto in periodo primaverile (aumenti repentini di temperatura, eventi di pioggia su neve,...), si realizzano più profili nivologici durante l'arco della giornata, ponendo attenzione alla crescente umidificazione del manto nevoso, per il confronto con l'eventuale attività valanghiva, spontanea o provocata dal personale del comprensorio. Forte interesse scientifico ai fini del distacco di valanghe di neve umida è l'utilizzo innovativo delle sonde WCR CS616 testate nei vari siti sperimentali del Team. Non essendo nate come strumenti di misura in neve, la calibrazione di queste sonde è stata realizzata presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture del Politecnico di Torino verificando la sensibilità delle misure di permittività elettrica alla temperatura soprattutto in prossimità della variazione di stato dell'acqua in camera termostattizzata e calibrandone la risposta in funzione di densità della neve, stimata in sito attraverso un confronto diretto tra misure di densità gravimetriche e misure con dispositivo WCR portatile. È ben noto come, ad oggi, non esistano misure di protezione sia fisse (attive e non) che temporanee con una efficacia pari a quella per le valanghe di neve asciutta. Ne sono esempio le tecniche tradizionali di distacco artificiale (con esplosivo o miscele gassose) che, operate su manti nevosi umidi o bagnati, non producono effetti positivi. Per confermare scientificamente questa intuizione, il progetto ha previsto un'importante raccolta dati (svolta all'interno del comprensorio di Monterosa Ski) e creazione di un relativo database organizzato riferito alle attività di bonifica con diversi sistemi di distacco artificiale al fine di valutarne l'efficacia su manti nevosi umidi. Una prima valutazione basata sulle osservazioni ed esperimenti per distacchi indotti su manto

nevoso umido durante il primo inverno di progetto mostra una scarsa efficacia sia dei sistemi a gas sia dell'esplosivo, proprio a causa della maggiore attenuazione del potere dirompente degli stessi. Misure alternative esistono purtroppo esclusivamente solo teoricamente: ne è esempio il suggerimento di Bartelt et al. (2012) che prevede l'utilizzo di esplosivo sullo *stauchwall* (zona di compressione alla base del lastrone già fratturato a monte). Proprio per questo si stanno prototipando metodi alternativi per il distacco provocato mediante tecniche meccaniche e di incremento di carico sul manto nevoso testando anche l'uso di esplosivi non-detonanti (Frigo et al., 2013). Riguardo le difese passive, si sta valutando l'efficacia di frangi flusso sperimentali installate proprio in sito Pista Larici nell'estate del 2013. Lo scopo di queste opere è quello di rallentare l'eventuale scorrimento di masse nevose umide fluidificate in movimento (Fig. 8). L'efficacia e l'efficienza di queste

opere di difesa fisse è stata inizialmente testata nel corso della stagione invernale 2013/2014, durante la quale non si sono però verificati distacchi di dimensioni importanti.

Tra le poche misure di protezione efficaci rimane la naturale presenza di bosco con caratteristiche specifiche. Il fattore determinante che controlla la capacità protettiva delle foreste montane e influenza direttamente la probabilità di distacco in foresta è la struttura forestale in termini di copertura, densità degli alberi, dimensione e distribuzione dei gap in combinazione con la topografia. Le condizioni forestali (struttura e composizione) che riducono la possibilità di distacco includono una copertura superiore > 30%, l'assenza di radure (*gap*) > 25m in lunghezza, e un aumento dell'asperità del suolo associata alla presenza di alberi in piedi o caduti che eccedono la profondità del manto nevoso (Teich et al., 2012; Viglietti et al., 2010).

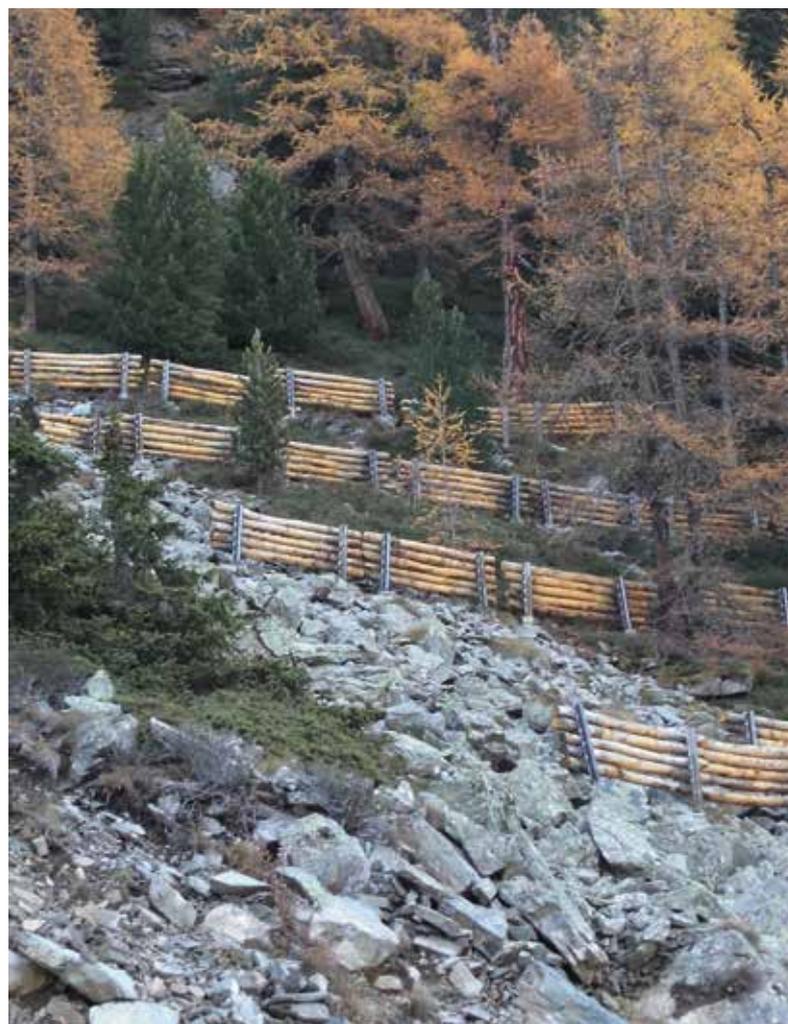


Fig. 8 - Le opere frangi flusso installate nell'estate 2013 presso il sito Pista Larici.



Fig. 9 - In prossimità del tracciato la vegetazione stenta a svilupparsi.

Fig. 10 - Strato basale del manto nevoso rilevato presso il sito St Anna I a seguito dell'evento di valanghe da slittamento del 24 novembre 2013.



Alla valutazione di efficacia/efficienza delle varie metodologie per la messa in sicurezza del comprensorio sono seguite le analisi costi/benefici dei diversi metodi di bonifica dei pendii soggetti a valanga, con un confronto tra sistemi di distacco artificiale, protezioni alternative testate (tra cui la gestione selvicolturale e la chiusura temporanea di parti di comprensorio sciistico). È stata svolta, in particolare, l'analisi di "quanto costa una

valanga" sia per il comprensorio sciistico Monterosa Ski sia per la comunità durante il primo week-end di febbraio 2014, in cui venne chiusa la SR 44 della Valle del Lys per pericolo valanghe (Segor et al., 2014). La tematica delle misure di prevenzione del rischio valanghe è anche trattata da un punto di vista giuridico/economico. La legge regionale vigente, infatti, attribuisce al gestore delle piste da sci l'onere di garantire l'agibilità e la manutenzione

delle piste. Più in generale, i fenomeni valanghivi interessano la sicurezza delle zone dedicate all'attività sportiva, così come aree connesse e strumentali, quali piste di collegamento, linee e strutture di impianti a fune, strade di collegamento e fabbricati, dedicati a attività commerciali o amministrative, inseriti nel comprensorio sciistico. Sempre nel contesto dell'analisi costi/benefici, il Team affronta il tema ponendo in luce i diversi profili di responsabilità del gestore degli impianti e degli attori pubblici di governo del territorio, per individuare il soggetto che debba assumere l'onere dei possibili interventi al fine della sicurezza delle aree interessate connesse o inserite in comprensorio sciistico.

Sulla base di tale analisi, lo studio intende valutare, anche sulla base di dati di natura economica e di considerazioni sui limiti giuridici, nonché di vincoli di bilancio e di libertà di azione dei soggetti pubblici coinvolti, quali tipologie di costi e di interventi possano apparire più utili e meno gravosi per i gestori delle piste da sci.

La prevenzione del rischio valanghe in comprensorio è sviluppata analizzando la vulnerabilità degli elementi propria di uno ski resort: tipicamente le caratteristiche tecniche dei tracciati (pendenza, dislivello, lunghezza e larghezza), dell'innevamento naturale/artificiale e della battitura.

In tal senso, il Team sta sviluppando un modello per la gestione dei flussi di sciatori basato su un approccio a "rete". Considerate le connessioni tra le diverse parti del comprensorio sciistico, ossia i punti di partenza e di arrivo degli impianti di risalita, le biforcazioni tra le piste di sci, il modello è in grado di stimare il flusso di persone sulla base di variabili che tengono in considerazione le capacità sciistiche degli sciatori (De Biagi et al., 2013).

Sito sperimentale consacrato a quest'analisi di vulnerabilità e del conseguente rischio in pista è il piccolo ma rappresentativo distaccamento di Monterosa Ski in Antagnod (Val d'Ayas) (Fig. 1).

La ricerca dell'UdR continua anche sulla vulnerabilità dei suoli nelle piste da sci,

strettamente legata alle forti modifiche effettuate nelle aree montane nel corso degli ultimi decenni, necessarie a soddisfare la crescente domanda turistica legata agli sport invernali. In generale, la costruzione e gestione delle piste da sci ha un forte impatto sulle caratteristiche del suolo a quote elevate, influenzandone le proprietà chimiche e fisiche. Alterando significativamente la naturale forma del terreno nelle piste da sci, il suolo presenta generalmente un ridotto contenuto di sostanza organica ed una struttura debolmente sviluppata, fattori che concorrono ad incrementare la vulnerabilità ai processi erosivi (Freppaz et al., 2013). Anche le attività di battitura del manto nevoso effettuate in periodo invernale possono alterare le condizioni del suolo (es. riduzione della temperatura del suolo per effetto dell'aumento della densità del manto nevoso), con effetti sullo sviluppo della vegetazione e sui processi chimico-fisici del suolo (Fig. 9) (Rixen, 2013). Va da sé che una corretta realizzazione e gestione dei suoli nelle piste da sci sia fondamentale per ridurre i fenomeni erosivi e il potenziale innesco di fenomeni di dissesto superficiale.

L'adeguata preparazione del suolo prima degli inerbimenti e la sua corretta gestione negli anni successivi rappresentano fattori fondamentali per garantire la

funzionalità delle piste da sci, riducendo la necessità di interventi straordinari ad esempio nel caso di precipitazioni intense nel periodo estivo, agevolando nello stesso tempo la gestione invernale dei tracciati.

In relazione a ciò, l'UdR ha eseguito nel periodo estivo una serie di campionamenti lungo alcuni tracciati del comprensorio sciistico Monterosa Ski, nonché nei siti di monitoraggio Sant'Anna I e Pista Nera. I campioni di suolo sono stati prelevati nell'orizzonte organo-minerale, nei primi 10 cm di suolo. In ogni sito di campionamento (una dozzina in totale) sono stati prelevati 2 campioni di suolo, uno in corrispondenza del tracciato della pista e uno nelle immediate vicinanze, in zone non disturbate da azioni meccaniche di preparazione e livellamento del tracciato. Le analisi in laboratorio si sono concentrate in particolare sulla determinazione della vulnerabilità all'erosione mediante valutazione della stabilità degli aggregati ad umido (WAS Index) e di alcune proprietà chimiche (carbonio organico e azoto totale) e fisiche del suolo (tessitura reale).

## IL PRIMO INVERNO DI PROGETTO

Nel corso dell'inverno 2013-2014, nei siti strumentati per il monitoraggio dei processi di *snow gliding*, Pista Nera e

Sant'Anna I, sono state osservate tre *glide-snow avalanches*, registrate con successo dai movimenti degli slittini tramite datalogger (Frigo et al., 2014).

I primi due eventi si sono verificati a seguito delle intense nevicate registrate tra il 19 e il 22 novembre 2013, che hanno portato più di 1 m di neve fresca nei siti. Nel sito Pista Nera la valanga si è distaccata alle h 23.06 del 21 novembre durante l'apice della nevicata, mentre nel sito Sant'Anna I l'evento si è verificato al termine della nevicata, alle h 18.35 del 24 novembre a seguito della prima giornata soleggiata e calda registrata dopo le nevicate.

Particolarmente interessante il rilevamento di uno strato basale nel manto nevoso intriso d'acqua e di soluzione di suolo, risalite per capillarità nel manto nevoso più freddo ed asciutto (Fig. 10).

Una prima analisi dei dati mostra una relazione diretta tra i movimenti più intensi del manto nevoso e l'umidità del suolo, come già rilevato da Ceaglio et al. (2012) (Fig. 11).

Il terzo evento si è verificato il 18 marzo 2014 alle h 14.00 nel sito Pista Nera a seguito di un prolungato periodo di bel tempo (assenza di nevicate dal 5 marzo), dell'aumento delle temperature dell'aria e dell'assestamento del manto nevoso (Fig. 12).

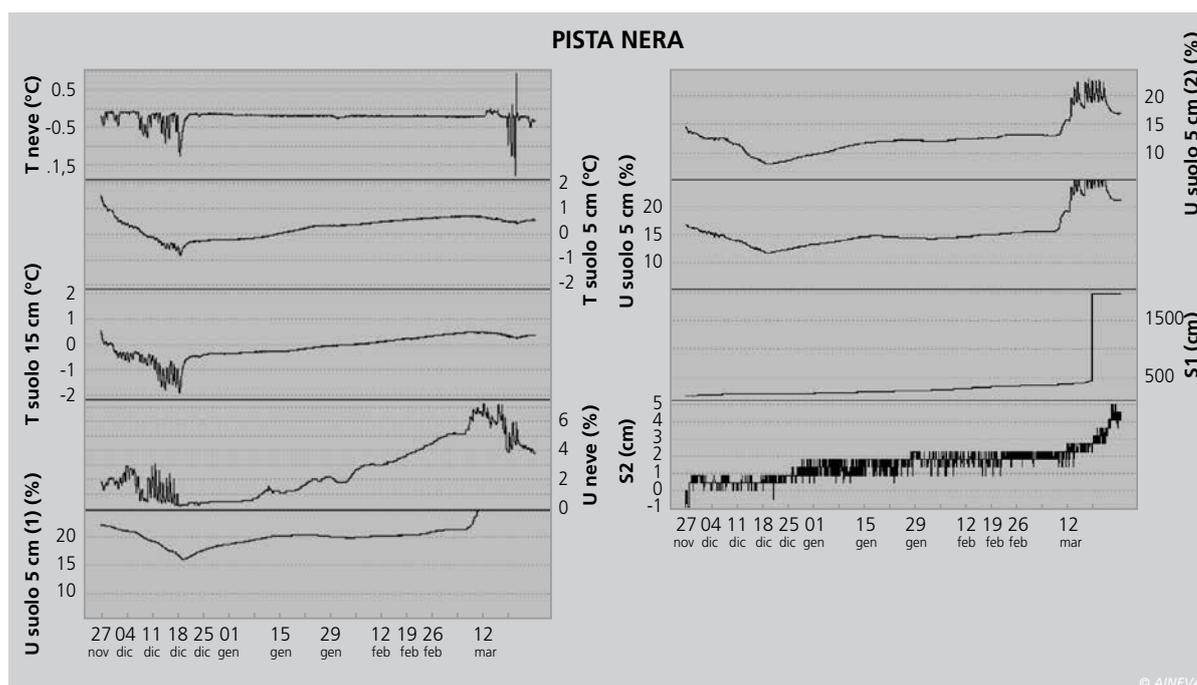


Fig. 11 - Andamento della temperatura (T), del contenuto in acqua (U) nel suolo e nella neve e spostamento degli slittini (S1-S2) nel sito Pista Nera nel corso della stagione invernale 2013/2014.

Grazie ai diversi dati relativi ai profili nivologici associati alle misure di contenuto volumetrico d'acqua raccolti presso Sant'Anna II e Pista Larici, è stato possibile testare ed ulteriormente sviluppare la strumentazione innovativa per il monitoraggio dell'umidità della neve.

Si è infatti potuto appurare come l'utilizzo di sensoristica nata per altri scopi, come le sonde WCR CS616 e gli *iButton*, sia efficace anche per il manto nevoso, seppur alcune criticità debbano essere ancora risolte. Ne è esempio la prima curva di calibrazione (ora in fase di validazione)

della sonda WCR CS616 per la stima del contenuto in acqua e della densità della neve, parametro questo ad oggi non misurabile in continuo.

Per quanto riguarda la valutazione della presenza e dello stato del bosco al limite di piste/tracciati e del suo effetto come protezione antivalanga, non si hanno informazioni dirette, in quanto durante il primo anno di attività (inverno 2013/2014) non si sono verificati eventi valanghivi in bosco meritevoli di rilievo. Tuttavia, si è proceduto ad un'analisi in ambiente GIS delle aree boscate a bordo pista e di quelle potenzialmente soggette a fenomeni valanghivi al fine di individuare quelle ritenute rappresentative ovvero potenzialmente valanghive qualora il bosco non espletasse la sua funzione protettiva. Nell'autunno 2014, sono state condotte indagini in campo (Fig. 13) mirate alla determinazione di alcuni parametri (e.g., composizione, densità e stato di salute del bosco) e simulazioni con il software RAMMS-modulo valanghe (WSL-SLF) per verificare la potenziale massima estensione valanghiva in assenza di una sufficiente copertura forestale e la relativa interferenza con le piste (Fig.14).

Relativamente ai suoli nelle piste da sci, le prime analisi rivelano come questi presentino elevate percentuali di scheletro e pietrosità superficiale, e ridotta potenza, stimata tra i 20 e i 40 cm per la piste localizzate a quota inferiore, e spessori ancora inferiori alle quote più elevate.

La dotazione di sostanza organica è risultata maggiore nelle aree indisturbate rispetto alle piste da sci, in cui il contenuto medio di carbonio organico è risultato compresa fra 0,3 e 1,5%.

La perdita di aggregati per setacciatura ad umido nelle piste da sci è risultata inversamente correlata al contenuto di carbonio organico, ad evidenziare come anche modesti apporti di sostanza organica possano significativamente ridurre l'erodibilità di queste superfici.

## CONCLUSIONI

Il Progetto Operativo "R.R.I.-Rischio, Ricerca e Innovazione" del MRR Team sta

Fig. 12 - 18 marzo 2014: valanghe da slittamento registrate nel sito sperimentale Pista Nera.



Fig. 13 - Foresta di protezione a bordo pista.



svolgendo attività importanti al fine di una migliore comprensione di fenomeni, quali le valanghe bagnate e da slittamento, sempre più frequenti in un contesto di cambiamento climatico.

Tali fenomeni sono argomento di ricerca molto attuali, come dimostrato dal crescente numero di lavori scientifici disponibili in letteratura. La peculiarità del progetto R.R.I. risiede nella forte collaborazione tra ricerca e operatività, con lo scopo di trasferire la conoscenza teorica dei ricercatori in strumenti pratici di gestione del rischio per i tecnici. Si sottolinea come il progetto sia nato da una esigenza pratica dei gestori alla sicurezza di un comprensorio sciistico che, nella loro attività quotidiana, hanno evidenziato un aumento di eventi valanghivi di neve bagnata e da slittamento. Il contributo della ricerca mira a fornire misure e strumenti adeguati per poter affrontare tale problematica in maniera efficiente ed efficace. Parallelamente all'analisi della fattibilità tecnica delle diverse misure, l'estensivo lavoro di analisi dei costi/benefici delle diverse misure di protezione, con particolare riferimento alle valanghe di neve bagnata e/o da slittamento, risulta di fondamentale importanza al fine di una corretta scelta gestionale da parte del personale del comprensorio sciistico. Nello specifico, questo primo anno di attività ha confermato una forte operatività del Team, frutto della sua professionalità e conoscenza scientifica/tecnologica interdisciplinare, carta vincente per affrontare

a 360 gradi la problematica della gestione dei rischi naturali.

In particolare, le analisi dei dati raccolti durante l'inverno 2013/14 hanno l'intento di individuare i valori di soglia dei fattori predisponenti il fenomeno dello *snow gliding* insieme ad un valido sistema di allertamento dedicato alla gestione della sicurezza in pista. Una nuova raccolta dati è attiva durante la stagione invernale 2014/2015. La metodologia di analisi, i metodi e le procedure che saranno identificati per la gestione del rischio delle valanghe di neve umida e da slittamento nel comprensorio della Monterosa Ski, saranno le basi per il servizio di previsione, prevenzione e gestione di questo pericolo anche in altri ambienti antropizzati, come strade e villaggi.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'Assessorato attività produttive, energia e politiche del lavoro della Regione autonoma Valle d'Aosta, la struttura Politiche della formazione e dell'occupazione del medesimo Assessorato per il supporto alla realizzazione del progetto di specializzazione individuale della dott.ssa Laura Dublanc nel settore della ricerca e dello sviluppo tecnologico in seno al MRR Team.

Un ringraziamento al Corpo Forestale della Valle d'Aosta (stazioni di Gaby e di Brusson) per la collaborazione nella realizzazione dei rilievi nivologici e ai colleghi dell'Ufficio neve e valanghe e del Centro Funzionale regionali (Dipartimento

programmazione, difesa del suolo e risorse idriche - Assessorato opere pubbliche, difesa del suolo e edilizia residenziale pubblica). Questo lavoro è realizzato con il contributo dell'Unione Europea, della Regione autonoma Valle d'Aosta e del Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali.

*In fondo alla pagina:  
Fig. 14 - Rilievi forestali in zone a monte delle piste da sci del comprensorio Monterosa Ski.*

## Bibliografia

- Bartelt, P., Feistl, T., Bühler, Y., and Buser, O. (2012). Overcoming the stauchwand: viscoelastic stress redistribution and the start of full-depth gliding snow avalanches, *Geophysical Research Letters*, 39, L16501, doi:10.1029/2012GL052479.
- Ceaglio, E., Freppaz, M., Filippa, G., Ferraris, S., Zanini, E., Segor, V. (2012). A characterization of snow gliding and potential predisposing factors in a full-depth slab avalanche release area (Aosta Valley, NW Italian Alps). *Proceedings of ISSW 2012*, October 16-22, Anchorage, Alaska, USA, 561-568.
- De Biagi V., Frigo B., Chiaia B. (2013). A network-based approach for the study of criticalities in ski-resorts. *Proceedings of ISSW 2013*, October 7- 11, Grenoble (F) – pp. 1177-1180.
- Freppaz M., Filippa G., Corti G., Cocco S., Williams M.W., Zanini E. (2013) *Soil Properties on Ski-Runs. The Impacts of Skiing and Related Winter Recreational Activities on Mountain Environments*. Bentham Science Publishers, Bussum, 45- 64.
- Frigo, B., Prola, A., Welf, A., Durand, N., Dellavedova, P., Segor, V. (2013). Avalanche risk management in Winter 2012/13 in Monterosa Ski resort – Aosta Valley (I). *Proceedings of ISSW 2013*, October 7 - 11, Grenoble (F), 800-807.
- Frigo, B., Ceaglio, E., Chiaia, B., Dellavedova, P., Dublanc, L., Franco, D., Freppaz, M., Godio, A., Godone, D., Grossjacques, H., Maggioni, M., Prola, A., Torretta, F., Viglietti, D., Welf, A. (2014). "Risk, Research and Innovation" Project on wet-snow and glide-snow avalanches in Aosta Valley (NW Italian Alps): The experimental approach. *Proceedings of ISSW 2014*, International Snow Science Workshop, September 29 - October 3, Banff, Alberta, Canada, 670-675.
- Jones, A., (2004). Review of glide processes and glide avalanche release. *Avalanche News*, 69, 53-60.
- Kovacs, A., Gow, A. and Morey, R. (1995). The in-situ dielectric constant of polar firn revisited. *Cold Regions Science and Technology*, 23, 245-256.
- Lazar, B. and Williams, M. (2008). Climate change in western ski areas: Potential changes in the timing of wet avalanches and snow quality for the Aspen ski area in the years 2030 and 2100. *Cold Regions Science and Technology*, 51, 219-228.
- Mitterer, C. and Schweizer, J. (2012). Towards a better understanding of glide-snow avalanches. *International Snow Science Workshop ISSW 2012*, Anchorage AK, U.S.A., 16-21 September 2012, 610-616.
- Peitzsch, E.H., Hendrikx, J., Fagre, D.B. and Reardon, B. (2012). Examining spring wet slab and glide avalanche occurrence along the Going-to-the-Sun Road corridor, Glacier National Park, Montana, USA. *Cold Regions Science and Technology*, 78, 73-81.
- Segor V., Dellavedova P., Pitet L., Bovet E., Durand N., Frigo B., Chiaia B., Maggioni M., Antonello G., Torretta F. (2014). Avalanches on the roads: operational and research aspects for the management of risk within the project Alcotra n. 144 "MAP3". *International Snow Science Workshop ISSW 2014*, Banff, AB, CANADA, 16-21 September 2012, 242-249.
- Rixen, C. (2013). Skiing and Vegetation., in Rixen, C., Rolando, A. (eds.), *The Impacts of Skiing and Related Winter Recreational Activities on Mountain Environments*. Bentham Science Publishers, Bussum, 65-78.
- Teich, M., Bartelt, P., Grêt-Regamey, A. and Bebi, P. (2012). Snow avalanches in forested terrain: influence of forest parameters, topography and avalanche characteristics on runout distance. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 44(4), 509-519.
- Viglietti, D., Letey, S., Motta, R., Maggioni, M. and Freppaz, M. (2010). Snow avalanche release in forest ecosystems: A case study in the Aosta Valley Region. *Cold Regions Science and Technology*, 64(2), 167-173.

