

Neve e Valanghe

n° 73 - agosto 2011

*Meteorologia alpina,
Glaciologia, Prevenzione
Sicurezza in montagna*



SPECIALE PROGETTO DYNAVAL

Dinamica delle valanghe: distacco e interazione flusso/ostacoli

Il sito sperimentale di Punta Seehore

Il distacco artificiale a Punta Seehore

Array infrasonico di Staffal

Il monitoraggio del sito sperimentale di Punta Seehore

Misure e analisi dell'impatto valanghivo sull'ostacolo strumentato di Punta Seehore

Prove sperimentali nelle stagioni 2010 e 2011



**Indirizzi e numeri telefonici
dei Servizi Valanghe AINEVA
dell'Arco Alpino Italiano**

REGIONE PIEMONTE

ARPA Piemonte
Area Previsione e Monitoraggio Ambientale
Via Pio VII 9 - 10135 TORINO
Tel. 011 19681340 - fax 011 19681341
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 011 3185555
<http://www.arpa.piemonte.it>
Televideo RAI 3 pagina 517
e-mail: sistemi.previsionali@arpa.piemonte.it

REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA

Assessorato Territorio Ambiente e Opere Pubbliche
Dipartimento Territorio, Ambiente e Risorse Idriche
Direzione Tutela del Territorio
Loc. Amèrique 33/A - 11020 QUART (AO)
Tel. 0165 776600/1 - fax 0165 776804
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 0165 776300
<http://www.regione.vda.it>
e-mail: u-valanghe@regione.vda.it

REGIONE LOMBARDIA

ARPA-Lombardia Centro Nivometeorologico
Via Monte Confine 9 - 23032 Bormio SO
Tel. 0342 914400 - Fax 0342 905133
Bollettino Nivometeorologico - 8 linee -
Tel. 8488 37077 anche self fax
<http://www.arpalombardia.it/meteo>
Televideo RAI 3 pagina 520
e-mail: nivometeo@arpalombardia.it

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Servizio prevenzione rischi
Ufficio previsioni e pianificazione
Via Vannetti 41 - 38122 Trento
Tel. 0461 494870 - Fax 0461 238309
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 0461 238939
Self-fax 0461 237089
<http://www.meteotrentino.it>
e-mail: ufficio.previsioni@provincia.tn.it

PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO

Ufficio Idrografico, Servizio Prevenzione
Valanghe e Servizio Meteorologico
Via Mendola 33 - 39100 Bolzano
Tel. 0471 414740 - Fax 0471 414779
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 0471 270555
Tel. 0471 271177 anche self fax
<http://www.provincia.bz.it/valanghe>
Televideo RAI 3 pagine 429 e 529
e-mail: Hydro@provincia.bz.it

REGIONE DEL VENETO

ARPA-Veneto Centro Valanghe di Arabba
Via Pradat 5 - 32020 Arabba BL
Tel. 0436 755711 - Fax 0436 79319
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 0436 780007
Fax polling 0436 780009
<http://www.arpa.veneto.it/csvdi>
e-mail: cva@arpa.veneto.it

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

Direzione centrale risorse agricole, naturali e forestali
Servizio gestione territorio rurale e irrigazione
Settore neve e valanghe
Via Sabbadini 31 - 33100 UDINE
Tel. 0432 555877 - Fax 0432 485782
Bollettino Nivometeorologico
NUMERO VERDE 800860377 (in voce e self fax)
<http://www.regione.fvg.it/asp/newvalanghe/>
e-mail: neve.valanghe@regione.fvg.it

REGIONE MARCHE

Dipartimento per le Politiche Integrate di Sicurezza
e per la Protezione Civile
Centro Funzionale Regionale
Strada Provinciale Cameranesse, 1
60100 - Loc. Passo Varano - ANCONA
Tel. 071 8067763 - Fax 071 8067709
<http://protezionecivile.regione.marche.it>
e-mail: centrofunzionale@regione.marche.it

Sede AINEVA

Vicolo dell'Adige, 18
38122 TRENTO
Tel. 0461 230305 - Fax 0461 232225
<http://www.aineva.it>
e-mail: aineva@aineva.it

Numero telefonico per
l'ascolto di tutti i Bollettini
Nivometeorologici degli Uffici
Valanghe AINEVA
Tel. 0461 230030

Gli utenti di "NEVE E VALANGHE":

- Sindaci dei Comuni Montani
- Comunità Montane
- Commissioni Locali Valanghe
- Prefetture montane
- Amministrazioni Province Montane
- Genii Civili
- Servizi Provinciali Agricoltura e Foreste
- Assessorati Reg./Provinciali Turismo
- APT delle località montane
- Sedi Regionali U.S.T.I.F.
- Sedi Provinciali A.N.A.S.
- Ministero della Protezione Civile
- Direzioni dei Parchi Nazionali
- Stazioni Sciistiche
- Scuole di Sci
- Club Alpino Italiano
- Scuole di Sci alpinismo del CAI
- Delegazioni del Soccorso Alpino del CAI
- Collegi delle Guide Alpine
- Rilevatori di dati Nivometeorologici
- Biblioteche Facoltà Univ. del settore
- Ordini Professionali del settore
- Professionisti del settore italiani e stranieri
- Enti addetti ai bacini idroelettrici
- Redazioni di massmedia specializzati
- Aziende addette a: produzione della neve, sicurezza piste e impianti, costruzione attrezzature per il soccorso, operanti nel campo della protezione e prevenzione delle valanghe.



Periodico associato all'USPI
Unione Stampa Periodica Italiana

Rivista dell'AINEVA - ISSN 1120 - 0642
Aut. Trib. di Rovereto (TN)
N° 195/94NC
del 28/09/1994
Sped in abb. postale Gr. IV - 50%
Abbonamento annuo 2011: Euro 18,00
da versare sul c/c postale n. 14595383
intestato a: AINEVA
Vicolo dell'Adige, 18 - 38122 Trento

Direttore Responsabile

Giovanni PERETTI
Coordinatore di redazione
Alfredo PRAOLINI
ARPA Lombardia

Comitato di redazione:

Luciano LIZZERO, Rudi NADALET,
Elena TURRONI, Mauro VALT,
Nicola PAOLI, Enrico BORNEY,
Elena BARBERA

Comitato scientifico editoriale:

Valerio SEGOR,
Alberto TRENTI, Stefano BOVO,
Francesco SOMMAVILLA,
Luciano DAVANZO, Gregorio MANNUCCI,
Michela MUNARI

Segreteria di Redazione:

Vicolo dell'Adige, 18
38122 TRENTO
Tel. 0461/230305
Fax 0461/232225

Videoimpaginazione e grafica:

MOTTARELLA STUDIO GRAFICO
www.mottarella.com
Cosio Valtellino (SO)

Stampa:

LITOTIPOGRAFIA ALCIONE srl
Lavis (TN)

Referenze fotografiche:

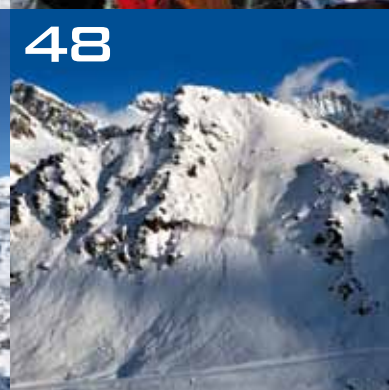
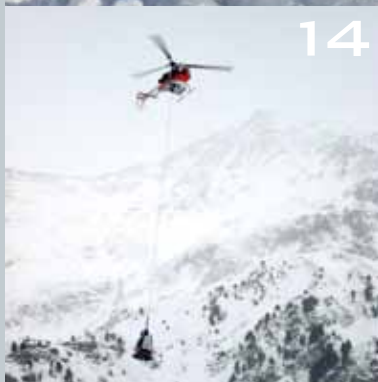
Lodovico Mottarella: II, 2

Hanno collaborato a questo numero:

Serena Mottarella, Stefania Del Barba,
Nadia Preghenella, Monica Rossi,
Igor Chiambretti.

Gli articoli e le note firmate esprimono
l'opinione dell'Autore e non impegnano
l'AINEVA.

I dati forniti dagli abbonati e dagli inserzionisti ven-
gono utilizzati esclusivamente per l'invio della pre-
sente pubblicazione (D.Lgs. 30.06.2003 n.196).



4 PROGETTO DYNAVAL

8 DINAMICA DELLE VALANGHE: DISTACCO E INTERAZIONE FLUSSO/OSTACOLI

14 IL SITO SPERIMENTALE DELLA PUNTA SEEHORE

20 IL DISTACCO ARTIFICIALE A PUNTA SEEHORE

28 ARRAY INFRASONICO DI STAFFAL

36 IL MONITORAGGIO DEL SITO SPERIMENTALE DELLA PUNTA SEEHORE

42 MISURE E ANALISI DELL'IMPATTO VALANGHIVO SULL'OSTACOLO STRUMENTATO DELLA PUNTA SEEHORE

48 PROVE SPERIMENTALI NELLE STAGIONI 2010 E 2011



Il numero che vado a presentare è un numero che possiamo definire *speciale*, in quanto completamente dedicato al sito sperimentale valanghivo della P.ta Seehore, nel comune di Gressoney-La-Trinité, in Valle d'Aosta. Le attività svolte in questo sito sono finanziate all'interno del progetto **Dinamica delle valanghe: distacco e interazione flusso/ostacoli** n. 048, denominato **DynAval** - Programma Operativo di Cooperazione territoriale europea transfrontaliera, Italia/Francia (Alpi) 2007/2013.

Sovente i risultati di tali progetti si sono rivelati troppo "scientifici" e di poca utilità pratica e di difficile trasposizione nella gestione quotidiana del rischio idrogeologico s.l.. A questo proposito, la Direzione assetto idrogeologico dei bacini montani, Capofila di progetto, che ho l'onore e l'onore di dirigere, ha voluto dare al progetto una forte valenza pratica, per ottenere risultati quanto più possibile tangibili e utili relativi alla gestione in sicurezza del territorio montano.

Il raggiungimento di tali obiettivi non può, tuttavia, prescindere dalla ricerca scientifica che, in questo caso specifico del progetto, ha mostrato come la tradizionale "mission" universitaria, comprendente la formazione e la ricerca teorica, va arricchita con aspetti indispensabili quali il trasferimento tecnologico ed i servizi al territorio.

Gli articoli che man mano leggerete all'interno del numero speciale evidenziano quanto detto sopra. Tutti i dati ottenuti durante la realizzazione dei test sul sito valanghivo della P.ta Seehore vengono raccolti ed analizzati, dai vari enti di ricerca incaricati, per la definizione di prodotti che dovranno supportare gli uffici preposti nella gestione quotidiana del rischio.

A questo proposito, vorrei riportare alcuni esempi di prodotti che apporteranno un miglioramento delle conoscenze nell'ambito valanghivo e che si tradurranno in un supporto nella gestione del rischio. Una migliore capacità di definizione delle aree di distacco delle valanghe, scaturita dall'analisi dei test effettuati in situ, avrà ricadute certamente positive sull'applicazione dei modelli di dinamica delle valanghe, determinando in modo più accurato le zone di arresto, in un'ottica di zonizzazione del pericolo. I dati di pressione del flusso valanghivo sull'ostacolo sono analizzati in nell'ottica di fornire un supporto alla risoluzione della problematica del come costruire in sicurezza in zone soggette a rischio valanghivo, mentre l'installazione di un sistema di array infrasonico permetterà, in futuro, una validazione robusta del rischio valanghivo, mediante l'identificazione dell'attività valanghiva in atto ed il confronto tra i modelli previsionali e gli effetti reali in situ.

Naturalmente, il progetto, che ha durata triennale, non potrà risolvere le innumerevoli problematiche legate al rischio valanghivo. A questo proposito, considerati gli ottimi risultati ottenuti in DynAval e la proficua collaborazione instauratasi con il partner francese CEMAGREF, è stata approvata una nuova proposta progettuale - MAP 3 -, con scadenza a fine 2014, che cercherà di approfondire ulteriormente le tematiche trattate in DynAval, inserendo nuove variabili, quali, ad esempio, il contributo eolico in fase di distacco delle valanghe e sperimentando nuove tecnologie che permetteranno di migliorare gli attuali strumenti utilizzati nella complicata gestione quotidiana del rischio valanghivo.

Dott. Forestale Valerio Segor
Coordinatore del CTD AINEVA



PROGETTO DYN



Ministero degli Affari Esteri



Fondo europeo di
sviluppo regionale



a l c o t r a

INSIEME OLTRE
L'CONFINI ENSEMBLE
PARCOURS LES FRONTIÈRES



AVAL

Direzione assetto idrogeologico dei bacini montani - Regione Autonoma Valle d'Aosta: **Valerio Segor** (Capofila di progetto), **Luca Pitet**

Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica - DISTR - Politecnico di Torino:

Bernardino Chiaia (responsabile scientifico), **Barbara Frigo** (coordinamento tecnico-organizzativo), **Monica Barbero**, **Fabrizio Barpi**, **Mauro Borri Brunetto**, **Eloïse Bovet**, **Valerio De Biagi**, **Oronzo Pallara**

Dipartimento di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali - DIVAPRA, Centro interdipartimentale sui rischi naturali in ambiente montano e collinare - NatRisk - Università degli Studi di Torino: **Ermanno Zanini** (responsabile scientifico), **Michele Freppaz** (coordinamento scientifico), **Margherita Maggioni** (coordinamento tecnico-organizzativo), **Enrico Bruno**, **Elisabetta Ceaglio**⁴, **Danilo Godone** (Deiafa), **Davide Viglietti** e **Antoine Brulport**

L'articolo 4 è a cura di:

Emanuele Marchetti^{1,2}, **Giacomo Olivieri**^{1,2}, **Maurizio Ripepe**¹, **Giuseppe De Rosa**¹, **Igor Chiambretti**³, **Paola Dellavedova**⁴

¹ Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze, via G. La Pira, 4, 50121, Firenze, Italy.

² iTem Geophysics srl, via Giano della Bella, 8, 50124, Firenze, Italy.

³ AINEVA, vicolo dell'Adige, 18, 38100, Trento, Italy.

⁴ Regione Autonoma della Valle d'Aosta, Ufficio Neve e Valanghe, Aosta - Fondazione Montagna Sicura

Hanno collaborato, per l' articolo 1:

Thierry Faug, **Florence Naaim**, **Mohamed Naaim**, **Emmanuel Thibert** (Cemagref UR-ETNA)

Per l'articolo 3:

Marilena Cardu, **Alessandro Giraudi**, **Alberto Godio** e **Roberto Rege** (DITAG - Politecnico di Torino)

Per gli articoli 5 e 7:

Leandro Bornaz (AdHoc)

Supporto logistico-tecnico: **Monterosa Ski**

autori

Il progetto **Dinamica delle valanghe: distacco e interazione flusso/ostacoli** n. 048 denominato **DynAval** si inserisce all'interno del Programma Operativo di Cooperazione territoriale europea transfrontaliera, Italia/Francia (Alpi) 2007/2013, Misura 2.2 - Prevenzione dei rischi.

Il progetto ha come Capofila la Direzione assetto idrogeologico dei bacini montani della Regione Autonoma Valle d'Aosta e come partner francese il CEMAGREF-UR ETNA di Grenoble. Il progetto ha una durata triennale, da gennaio 2009 a gennaio 2012.

La Direzione assetto idrogeologico dei bacini montani della Regione Autonoma Valle d'Aosta, per lo svolgimento delle attività di sperimentazione e ricerca, si è affidata al Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica (DISTR) del Politecnico di Torino, al Dipartimento di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali-DIVAPRA ed al Centro interdipartimentale sui rischi naturali in ambiente montano e collinare - NatRisk dell'Università degli Studi di Torino.

L'obiettivo principale del progetto è stato far progredire le conoscenze nell'ambito dello studio delle valanghe, sia per quanto riguarda la definizione della zona di distacco e dei volumi coinvolti, sia per quanto riguarda la definizione delle pressioni risultanti nella zona di arresto di una valanga, considerando l'interazione con eventuali ostacoli, anche attraverso la realizzazione di un nuovo sito sperimentale in Valle d'Aosta.

A questo proposito, nell'estate del 2010 è stato realizzato un nuovo sito pilota valanghivo denominato della P.ta Seehore nel Comune di Gressoney-La-Trinité, all'interno del comprensorio sciistico della società Monterosa Ski, che ha fornito un notevole supporto tecnico e logistico durante la realizzazione dei lavori e che provvede alla bonifica preventiva del sito medesimo durante la stagione invernale. Il canalone di valanga lungo il quale è stato installato l'ostacolo ha un dislivello complessivo di circa 300 m (da 2300 a 2570 m slm) e una pendenza media di circa 28°.

Dopo numerosi sopralluoghi e grazie ad un'approfondita analisi delle caratteristiche del sito e della dinamica valanghiva all'interno del medesimo è stato individuato il luogo più idoneo dove posizionare l'ostacolo.

I tecnici del Politecnico di Torino hanno concepito e messo in opera un bersaglio che, grazie a forma e sensoristica appositamente studiate e progettate, permette la misura delle forze valanghive in gioco e della sua risposta dinamica durante la fase di impatto, in tempo reale dalla sala computer e, in remoto, dal Politecnico di Torino. A seguito dell'identificazione strutturale avvenuta nei laboratori del DISTR - Politecnico di Torino e allo sviluppo di modelli numerici, grazie alle misure effettuate alla P.ta Seehore, è possibile interpretare il comportamento della struttura e del flusso nevoso durante l'impatto, analizzandone la risposta al fine di comprendere le modalità con cui la valanga agisce sull'ostacolo.

Inoltre, durante le operazioni di bonifica del sito, numerosi rilievi vengono realizzati in zona di distacco, in zona di scorrimento e in zona di deposito, anche mediante l'utilizzo di tecniche laser scanner pre e post evento, nonché riprese video e misure fotogrammetriche.

Infine, nel Dicembre 2009, è stato installato, a Staffal, sempre nel Comune di Gressoney-La-Trinité, ad una quota di circa 2000 m slm, un array infrasonico temporaneo a 4 elementi e piccola apertura (150 m). Gli array infrasonici sono strumenti efficaci e versatili per il monitoraggio delle valanghe su vaste aree (km²) del territorio e con qualsiasi condizione di visibilità, ma necessitano, al momento, di una fase di sperimentazione per permettere di validare i dati ottenuti. Ed è a questo proposito che l'array infrasonico è stato installato nelle immediate vicinanze del sito pilota valanghivo della P.ta Seehore, dove sono attese valanghe naturali e dove sono effettuate numerose operazioni di distacco artificiale.

La gestione del rischio valanghe, infatti, è legata principalmente a modelli previsionali basati sulle condizioni meteorologiche e sulle precipitazioni nevose. Tuttavia, una validazione robusta del rischio richiede l'identificazione dell'attività valanghiva in atto, che consente di confrontare i modelli previsionali con gli effetti reali. Questa tecnologia, in futuro, potrebbe offrire un importante strumento di supporto per la gestione del rischio valanghe sul territorio regionale e transfrontaliero.





In the past the attention has been mainly posed over extreme avalanche events, which can destroy villages and infrastructures and modify the landscape; scientists tried to understand their dynamics and potential destructive effects. Only recently the scientific world has started to study more in details the dynamics of smaller avalanches, which might be characterized by different relevant processes than those typical of extreme events.

Within the Operational programme 'Italy - France (Alps - ALCOTRA)' Project "DynAval - Dynamique des avalanches: départ et interactions écoulement/obstacles" a new experimental site "P.ta Seehore" is operative by 2009 in the Aosta Valley (NW- Italian Alps) to study small-medium size snow avalanches.

The main objectives of the project are to study:

- the dynamics of small-medium size avalanches;
- the interaction between avalanche flows and obstacles;
- the characteristics of the snow in the release and deposition zones;
- the release process produced by explosives;
- to test the infrasound monitoring of snow avalanches activity.

The different papers describe the new experimental site that have been built to study the behavior of this kind of snow avalanches and the activities that the research team do before, during and after the natural/artificial avalanche events. The main goal of the project is to install

and develop the new experimental site located in Aosta Valley (North-western Italian Alps) within the MonterosaSki resort on the Monte Rosa Massif.

The slope, with an altitude difference of about 300 m and a mean dip of about 38°, is instrumented by a steel truss installed in the middle of the avalanche basin to measure the important variables of the snow flow (i.e., height, velocity, density, impact forces, etc...). The main activity in the project in 2010 was calibrating in laboratory, installing and testing on site the instrumented obstacle previously designed, to measure impact forces of the avalanches and going on to survey on site the artificially triggered avalanches. The correct position of the obstacle was determined thanks to the experiments carried out during winter 2009/2010 and the available historical data; therefore in summer 2010 the concrete foundation of the mast was built, above which the instrumented obstacle was installed in autumn 2010.

The galvanized steel obstacle is composed of two masts of about 4 m of height supporting 5 instrumented horizontal plates that measure the impact forces of the avalanches; in particular, the data are registered by 10 loading cells, 4 accelerometers, 4 thermocouples and a pressure transducer. The measures are stored and transmitted via optical fiber to a remote control computer by using expressly conceived software.

Even if most of the avalanches are artificially triggered (Daisy-bell and Carica Vassale), the software also records natural events. Previously, for the structural identification of the mast, many dynamic and static laboratory tests were performed in order to calibrate FEM numerical models. To evaluate the erosion, deposition and the front velocity, laser scanner measurements and multi-picture analysis are performed.

In order to define a benchmark network, three reference points were installed in the site and several natural benchmarks were located and measured on the slope by a GPS-RTK survey, assuring centimetric

precision in positioning. To detect physical and mechanical snow properties in the release, track and deposition zones, filed surveys are performed.

The perimeter of the avalanche is outlined by using GPS devices coupled with snow depth measurements.

Thanks to the installed instrumentation and surveys performed during Winter 2010/2011, the first available data of the event of March 5th, 2011 are presented.

Other very important activity on DynAval project is to study the release process produced by explosives. A dedicated paper describes the experimental snowfield realized close to P.ta Seehore to understand the response of snowpack to explosives and the induced artificial triggering of avalanches. Two different explosives have been tested thanks to the detonation of different (in weight and height) charges. The energy propagation from blasts on the snowpack and the air blast were monitored by passive seismic sensors and sound devices, respectively.

The peculiarities of the snowpack pre and post explosions are detected by geophysical investigation (georadar and seismic) and by a snow classical profiles.

To complete the description of the activities on DynAval project a paper dedicated to describe the experimental infrasound monitoring of snow avalanches activity. To identify the whole avalanche occurrence, in December 2009, a 4-element infrasound array are installed close to P.ta Seehore test site where natural avalanches are expected and snow-clearing operations are regularly programmed. A multi-channel correlation (MCC) analysis is carried out on the continuous data set as a function of slowness, back-azimuth and frequency of recorded infrasound, in order to detect all avalanches occurring above the back-ground signal, strongly affected by microbarom and mountain induced gravity waves. The purpose of validating the efficiency of this pilot experiment in Italy is to identify an avalanche-risk assessment related to weather and snow cover conditions.

DINAMICA VALANGHE *delle*

Come si definisce la potenziale area di distacco di una valanga sulla base delle sue caratteristiche topografiche?...e l'estensione dell'area di distacco in funzione del suo tempo di ritorno? ...e ancora, come si può valutare la pressione del flusso valanghivo su un ostacolo? Queste sono solo alcune delle domande a cui si è cercato di dare una risposta nel corso del progetto:

Dinamica delle valanghe: distacco e interazione flusso/ostacoli n. 048 denominato **DynAval**. Il progetto si inserisce all'interno del Programma Operativo di Cooperazione territoriale europea transfrontaliera, Italia/Francia (Alpi) 2007/2013, Misura 2.2 - Prevenzione dei rischi. I progetti di Cooperazione territoriale transfrontaliera, per la Regione Autonoma Valle d'Aosta, hanno da sempre rappresentato una grande opportunità per confrontarsi con partner d'oltr'Alpe sulle buone pratiche di gestione dei territori di montagna. In quest'ultima programmazione

(2007-2013), in particolare, il Dipartimento Difesa del Suolo e Risorse Idriche della Regione, ha voluto dare una forte connotazione pratica a tutte le attività intraprese all'interno dei progetti di Cooperazione territoriale. Nel momento della stesura delle proposte progettuali riguardanti i rischi naturali in montagna, oltre ad introdurre e sviluppare delle metodologie innovative e tecnologicamente avanzate, sono stati fortemente ricercati anche lo scambio di informazioni e di buone pratiche e la loro concreta applicazione nella gestione quotidiana del territorio.

Ed è in quest'ottica che, a inizio 2009, è nato il progetto DynAval. Il progetto ha come Capofila la Direzione assetto idrogeologico dei bacini montani, struttura regionale preposta allo studio delle valanghe ed alla gestione dei siti ubicati in aree valanghive, e, come partner francese, il CEMAGREF-UR ETNA di Grenoble, ente di ricerca che si occupa della gestione delle

acque e del territorio. Il progetto ha una durata triennale, a partire da gennaio 2009 fino a gennaio 2012.

L'obiettivo principale è stato di far progredire le conoscenze, nell'ambito dello studio delle valanghe, in merito a due problematiche chiave:

- (1) definizione della zona di distacco e dei volumi coinvolti per meglio comprendere i fenomeni fisici che generano il distacco di una valanga e ottenere i dati per i modelli di simulazione di dinamica valanghiva, da cui ricavare le aree di propagazione, utili per la redazione di carte di pericolosità valanghiva;
- (2) definizione delle pressioni risultanti nella zona di arresto di una valanga, considerando l'interazione con eventuali ostacoli, ed il comportamento del flusso valanghivo all'intorno dei medesimi, con la finalità di ottimizzare la progettazione delle opere paravalanghe.

An aerial photograph of a river system. The river flows from the top left towards the bottom center. In the lower-left corner, there is a dam structure with a small town or village nearby. The riverbed is filled with numerous rocks and boulders of various sizes, creating a complex flow pattern. The water appears slightly turbid. The surrounding landscape is rocky and sparsely vegetated.

GHE

DISTACCO E INTERAZIONE FLUSSO/OSTACOLI

E' noto, infatti, come la gestione dei territori montani in relazione al rischio valanghe possa essere spesso problematica proprio a causa di una carenza di conoscenze su due importanti parametri che caratterizzano il fenomeno valanghivo e la sua prevenzione: il volume di distacco, che condiziona la dimensione dell'evento, e le pressioni di impatto, parametro che governa il dimensionamento delle strutture ed influisce nella redazione delle cartografie di rischio valanghivo.

I risultati attesi nel corso del progetto sono molto ambiziosi e con spiccata validità applicativa e, sicuramente, il risultato concreto più evidente è **la realizzazione di siti sperimentali** strumentati che permetteranno, anche in futuro, di continuare la ricerca sugli aspetti legati alle valanghe non ancora completamente noti. Di pari importanza sono anche gli altri risultati attesi, di supporto alla gestione di aree a rischio, tra cui: una metodologia per la determinazione del volume di distacco di valanghe con specifici tempi di ritorno, le relazioni tra le caratteristiche della neve e la dimensione del distacco, le relazioni tra le caratteristiche della neve e la pressione d'impatto indotte sull'ostacolo a seguito di un evento valanghivo, in modo da validare gli approcci teorici, sperimentali e numerici proposti e la definizione delle pressioni d'impatto nella zona di arresto, considerando anche l'interazione flusso/ostacolo, in funzione delle caratteristiche dinamiche delle valanghe dense.

La Direzione assetto idrogeologico dei bacini montani della Regione Autonoma Valle d'Aosta, per lo svolgimento delle attività di sperimentazione e ricerca, si è affidata al Dipartimento di Ingegneria Strutturale

e Geotecnica (DISTR) del Politecnico di Torino ed al Dipartimento di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali - DIVAPRA ed il Centro interdipartimentale sui rischi naturali in ambiente montano e collinare - NatRisk dell'Università degli Studi di Torino. In particolare, il DIVAPRA ed il NatRisk si sono occupati maggiormente degli aspetti nivologici, ambientali, di rilevazione sul campo pre e post evento, anche tramite tecniche geomatiche, ed il DISTR si è occupato della caratterizzazione meccanica del manto nevoso con l'ideazione di nuovi strumenti, della progettazione del sistema di rilevazione delle pressioni d'impatto sull'ostacolo e della velocità della valanga, e delle stime ingegneristiche degli effetti dell'interazione valanga-struttura. La stretta collaborazione tra i due enti sul campo si è riversata inoltre nell'attività di modellazione analitica e numerica della dinamica delle valanghe di neve.

Nello svolgimento delle attività affidate, entrambi gli atenei hanno mostrato come la tradizionale mission universitaria, comprendente la formazione e la ricerca teorica, va oggi arricchita con aspetti imprescindibili, quali il trasferimento tecnologico e i servizi al territorio.

In tale spirito, i ricercatori coinvolti nelle attività si sono completamente integrati nel team del progetto, con un'ottimale interazione tra tutti i soggetti presenti.

Nel suo complesso, il progetto prevede 8 attività principali che sono:

1. realizzazione di siti sperimentali;
2. caratterizzazione meccanica del manto nevoso;
3. valutazione delle energie di distacco imposta dalle tecniche di distacco artificiale;

4. definizione dell'area e del volume di distacco delle valanghe;
5. studio della dinamica delle valanghe dense;
6. studio dell'interazione tra flusso valanghivo e ostacoli;
7. valorizzazione dei risultati e divulgazione;
8. amministrazione e coordinamento delle attività.

A tal proposito, di seguito, verranno descritte brevemente solo le attività e le installazioni che non saranno trattate nei successivi articoli della rivista, al fine di dare al lettore un quadro generale di tutte le attività intraprese all'interno del progetto DynAval.

INSTALLAZIONE DEI SITI PILOTA

Nell'ambito dell'attività 1) del progetto, i partner italiani e francesi hanno scelto di strumentare tre siti: Punta Seehore in Valle d'Aosta e Lautaret nelle Hautes Alpes, dove vengono effettuati interventi di bonifica preventiva, e Taconnaz in Alta Savoia, dove sono presenti opere di protezione passiva. Le finalità delle installazioni prevedono, da una parte, di acquisire una banca dati sperimentale sulle attività di distacco artificiale con una migliore conoscenza dei processi fisici in gioco e, dall'altra, di validare gli approcci teorici, numerici e fisici in base ai risultati della sperimentazione. I tre siti sono complementari tra loro per dimensione e garantiscono diversi ordini di grandezza per quanto riguarda la velocità, la pressione ed i volumi mobilizzabili (Tabella di Fig. 1). Insieme permettono di acquisire un gran numero di dati su un breve periodo, come può essere un progetto di durata triennale, assicurando comunque una buona rappresentatività delle caratteristiche dei canali valanghivi presenti nell'arco alpino. Di seguito, verranno presentati sinteticamente i siti dei partner francesi, mentre per quanto riguarda le attività e le installazioni previste sul sito della P.ta Seehore si rimanda ai successivi articoli, dove verranno diffusamente trattate tutte le azioni e le installazioni intraprese nel corso del progetto DynAval.

Fig. 1 - Ordine di grandezza dei parametri rappresentativi delle valanghe nei tre siti di studio.

Sito/Parametri	Punta Seehore (Italia)	Lautaret (Francia)	Taconnaz (Francia)
	Piccola scala	Media scala	Grande scala
Distacco	Artificiale/Naturale	Artificiale	Naturale
Distanza di arresto	400-500 m	500-800 m	fino a 7.000 m
Pendenza media	28°	36°	25°
Volume	200-400 m ³	500-10.000 m ³	1.600.000 m ³ (vol. centennale)
Pressione	0.5-3 ton/m ²	3-5 ton/m ²	fino a 100 ton /m ²
Velocità	20-25 m/s	fino a 30-40 m/s	fino a 70 m/s

© AINEVA

In Francia, il Cemagref gestisce dal 1972 un sito sperimentale «Avalanches» situato nelle Hautes Alpes, tra il colle del Lautaret (Fig. 2) e il colle del Galibier (Naaïm et al., 2001), con in attivo ben 27 inverni effettivi di esperimenti. Nel corso dei primi anni, in sito sono stati realizzati esperimenti per la messa a punto di sistemi di distacco artificiale; ad oggi, il sito è utilizzato per l'analisi della dinamica valanghiva e delle sollecitazioni esercitate dal flusso valanghivo su degli ostacoli posti lungo i canali di valanga.

La montagna di Chaillon (2600 m slm), che ospita il sito sperimentale, presenta, infatti, ben sette canali di valanga rettilinei che tagliano la strada del col Galibier e ne causano la chiusura invernale.

Le pendenze si avvicinano ai 45° nella zona di distacco e ai 36° nella zona di scorrimento. I volumi di neve coinvolti sono compresi tra i 500 ed i 10000 m³ con distanze percorse tra i 500 e gli 800 m.

Le velocità caratteristiche raggiungono valori tra i 10 e i 30 m/s. I canali strumentati, dal Cemagref, sono 2. Il canale n. 1 è bonificato manualmente mediante una carica lasciata scivolare lungo il pendio e innescata elettricamente. Il canale è equipaggiato con un semplice ostacolo costituito da una piastra strumentata solidale ad una putrella infissa nel terreno. Lo scopo è misurare deformazioni ed accelerazioni della struttura e da qui risalire alle sollecitazioni mediante un'analisi inversa dei due tipi di dato (Thibert et al., 2008). Nel canale n. 2 vengono invece studiate le variabili dinamiche delle valanghe. Dal 2008, infatti, è stato installato un dispositivo per la misura del profilo verticale della velocità e della pressione esercitata dal flusso nevoso lungo il canale. Alcuni sensori di pressione (Baroudi et al., 2011) e di velocità (Bouchet et al., 2003) sono stati sviluppati specificatamente al Cemagref per questa finalità. Il distacco, principalmente artificiale, avviene grazie ad un sistema Gaz-Ex telecomandato.

Tra il canale n.1 ed il canale n.2, a quota intermedia della zona di scorrimento, è localizzato il ricovero dove è alloggiata e protetta la strumentazione per



Fig. 2 - Valanga distaccata il 27 febbraio 2007 sul sito del Lautaret nel canale n. 2. Il canale n.1 è situato a destra sulla foto. Al centro dell'immagine si intravede il ricovero per effettuare le misure.



Fig. 3 - Dispositivo paravalanghe di Tacconaz. Evidenziato, in piccolo, un setto deviatore strumentato da due sensori di velocità e due di pressione (fonte RTM).

le misure. Ogni anno vengono realizzati, in media, 3-4 distacchi la cui esecuzione mette in moto una forte macchina organizzativa. Il giorno del distacco, oltre ai profili nivologici per caratterizzare il manto nevoso nella zona di distacco e nelle "zone morte" all'intorno degli ostacoli, vengono realizzate delle misure fotogrammetriche per monitorare la posizione del fronte della valanga durante l'evento. Il secondo sito francese, il canale di Tacconaz (Fig. 3), nella valle di Chamonix, è un bacino valanghivo molto particolare, che include nella sua zona di distacco il ghiacciaio omonimo (Naaïm et al., 2010). Il canale presenta una lunghezza superiore ai 7500 m, con una pendenza media del 46%, una larghezza variabile tra i 300 ed i 400 m ed un volume massimo mobilizzabile di circa 1.6 Ml di m³, con tempo di ritorno centennale. La valanga può essere innescata dal crollo di seracchi e presenta, lungo il ca-

nalone, diverse potenziali aree di distacco, a partire dai 4000 m di quota, con la zona di arresto posta a 1100 m slm. Essendo Tacconaz un sito ad elevata vulnerabilità per la presenza di numerose strutture ed infrastrutture nella zona di deposito, nel 1991, sono stati realizzati dei deflettori in cemento armato, detti "denti", per rallentare la velocità del flusso, e due dighe, una laterale ed una frontale, per l'arresto ed il contenimento della massa nevosa. Queste imponenti opere di protezione passiva, nel 1999, sono state riprogettate per contenere un evento atteso con tempo di ritorno pari a 100 anni. Nel 2009, nel quadro del progetto DynAval, con il cofinanziamento del Conseil Général du Département de la Haute Savoie, sono stati strumentati n. 3 setti di 7 m di altezza, situati all'entrata a monte del dispositivo paravalanghe, con 2 sensori di pressione (fino a 100 t/m²) e 2 sensori di velocità (fino a 60 m/s).



Dall'alto verso il basso:
fig. 4 - Il prototipo della
scatola di taglio;
fig. 5 - Sala durante il
corso di formazione sul
distacco artificiale.

Ciascun setto dispone di una centrale di acquisizione interrata situata ai suoi piedi. Le tre centrali sono collegate da una rete Ethernet accessibile ad una distanza di circa 300 m all'esterno del canalone, che permette un accesso sicuro in inverno per lo scarico dei dati. La registrazione dei dati viene azionata nel momento dell'impatto della valanga sui setti: una memoria cosiddetta "circolare" permette di acquisire i dati pre e post evento.

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEL MANTO NEVOSO - SCATOLA DI TAGLIO

Per quanto riguarda l'attività 2 di progetto, **caratterizzazione meccanica del manto nevoso**, l'obiettivo è sviluppare degli strumenti, facilmente trasportabili, che permettano di realizzare dei rilievi in sito, sia in area di distacco che in area di deposito, finalizzati alla misura dell'energia della frattura, alla definizione delle caratteristiche di resistenza al taglio, della tenacità e del fattore critico di intensificazione degli sforzi necessari all'innesco

delle valanghe, nonché alla valutazione della densità critica del deposito.

In particolare, si era riscontrata la difficoltà di effettuare delle misure dirette sul manto nevoso che permettessero di rappresentare, in maniera corretta, le reali condizioni del manto nevoso.

A questo proposito, nei primi due anni di progetto è stato sviluppato, da parte del DISTR - Politecnico di Torino, il prototipo di un dispositivo per la misura della resistenza al taglio della neve, parametro essenziale per la valutazione delle condizioni di equilibrio del manto nevoso e del distacco di valanghe a lastroni.

Nata dall'esigenza di disporre di prove sperimentali controllate e ripetitive che consentano di individuare in modo oggettivo le caratteristiche del materiale neve, la nuova scatola di taglio (Fig. 4) permette il prelievo di un campione indisturbato del manto nevoso e l'esecuzione della prova sia in situ che in laboratorio.

Grazie all'applicazione di un carico normale, atto a simulare il peso del manto nevoso gravante sullo strato fragile da analizzare, lo strumento consente di valutare la resistenza al taglio della neve riproducendo le condizioni reali del manto nevoso.

La prova può essere svolta in controllo di forza o di spostamento grazie ad un circuito pneumatico controllato da computer. Le prime prove in campo saranno eseguite, sul sito della P.ta Seehore, nel corso della prossima stagione invernale.

DEFINIZIONE DELL'AREA DI DISTACCO DI VALANGHE CON UNO SPECIFICO TEMPO DI RITORNO

L'attività legata alle zone di distacco delle valanghe "**definizione dell'area e dei volumi di distacco delle valanghe**" ha l'obiettivo di migliorare una metodologia sviluppata da Maggioni et al. (2006) per la definizione dell'estensione della zona di distacco di una valanga con uno specifico tempo di ritorno.

Tale metodologia potrebbe essere un utile strumento per la definizione degli input di

modelli di dinamica per la simulazione di valanghe non estreme, ma che si generano con maggior frequenza e, quindi, in generale di minore dimensione.

All'interno del progetto, viene testata su casi studio valdostani e francesi per capirne l'effettiva potenzialità.

Da parte francese, viene inoltre sviluppata una procedura per la valutazione della probabilità di distacco di una valanga in base alla precipitazione nevosa.

Per quanto riguarda le attività 3, 5 e 6 del progetto DynAval, inerenti la **valutazione dell'energia di distacco imposta dalle tecniche di distacco artificiale**, lo **studio della dinamica delle valanghe dense** e lo **studio dell'interazione tra flusso valanghivo e ostacoli**, le medesime saranno dettagliatamente trattate all'interno dei successivi articoli della rivista.

ATTIVITA' DI FORMAZIONE E DIVULGAZIONE

Molto importante all'interno del progetto è l'azione 7, **valorizzazione dei risultati e divulgazione**, che ha visto la partecipazione di tutti gli attori coinvolti. Il progetto prevede due modalità di valorizzazione dei risultati: la prima consiste nell'organizzazione di giornate di divulgazione e di formazione, rivolte al grande pubblico ed a tecnici professionisti, la seconda prevede la presentazione dei risultati nell'ambito di convegni nazionali ed internazionali e tramite pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali.

Al momento sono stati organizzati due corsi di formazione dei tre previsti: il primo sul distacco artificiale delle valanghe (Fig. 5) e il secondo sui carichi indotti dai movimenti lenti del manto nevoso (snow gliding) sulle strutture.

Il terzo e ultimo corso di formazione che riguarderà le problematiche legate all'interazione flusso valanghivo/ostacoli, si terrà il 01 dicembre 2011, a Gressoney-La-Trinité, nell'ambito della giornata conclusiva di presentazione dei risultati di progetto. I corsi sono stati impostati in maniera tale da coinvolgere esperti internazionali che

portassero la loro conoscenza ed esperienza in merito alle tematiche affrontate. Il primo corso, svoltosi a novembre 2010, ha visto la partecipazione di circa 40 persone tra tecnici degli impianti a fune, partner di progetto ed esperti dell'Ufficio Neve e Valanghe valdostano. I 7 relatori, tra cui italiani, svizzeri, francesi, tedeschi ed un americano, hanno presentato lo stato dell'arte della ricerca nel campo del distacco artificiale di valanghe e le buone pratiche che vengono utilizzate per la bonifica preventiva di elementi a rischio, come strade, villaggi e piste da sci.

Da ciò è emerso come non vi sia una metodologia di distacco artificiale ideale: sono, infatti, ancora numerosi i casi in cui le attività di bonifica non ottengono i risultati previsti. Il buon successo delle operazioni di distacco dipende, in buona misura, dalla conoscenza del territorio, dalle condizioni della neve e dall'esperienza acquisita dall'operatore nel corso degli anni. Il secondo corso, svoltosi a giugno 2011, ha visto la partecipazione di circa 30 tra tecnici e ricercatori che hanno approfondito la tematica dello snow gliding e dell'influenza di quest'ultimo sulle infrastrutture presenti. Una criticità che è emersa durante il corso da parte dei tecnici presenti è quella di non disporre di norme ed indirizzi tecnici che permettano il corretto dimensionamento delle opere soggette a questa problematica.

In generale, questi momenti di formazione hanno rappresentato un'importante occasione di confronto e di scambio, ed hanno permesso di osservare, valutare e discutere le diverse modalità operative intraprese nell'affrontare le problematiche legate al rischio valanghivo in altri contesti territoriali, in quanto i sistemi di gestione del territorio e le normative si differenziano profondamente. Le presentazioni fatte durante i corsi di formazione ed alcune pubblicazioni/articoli scaturiti dalle attività di progetto sono disponibili sul sito del progetto strategico RISKINAT (<http://www.risknat-alcotra.org/rna/index.cfm/database-progetti/dynaval.html>) del Programma di Cooperazione transfrontaliera (Alpi) Italia-Francia 2007-2013.

Inoltre, per contribuire ad una maggior divulgazione dei risultati di progetto, i partner hanno preso parte a diversi convegni nazionali e internazionali, tra cui EGU 2010 e 2011 e ISSW 2009 e 2010, dove sono state presentate, mediante poster e presentazioni orali, le numerose attività realizzate durante lo svolgimento del progetto.

Nella primavera del 2011 si segnala la visita del sito sperimentale da parte di un ricercatore americano, afferente all'Institute of Arctic Antarctic and Alpine Research (INSTAAR-University of Colorado), nell'ambito degli scambi scientifici previsti dalla Rete internazionale LTER (<http://www.lternet.edu/>). Altro punto di forza del progetto è stata l'organizzazione delle riunioni con le relative visite ai diversi siti pilota attrezzati durante lo svolgimento delle attività (Fig. 6). Il confronto tra partner, oltre a migliorare la conoscenza reciproca, è stato utile, nei primi mesi di progetto, per lo scambio riguardante la realizzazione e la strumentazione dei siti pilota.

L'esperienza pluriennale, acquisita dal Cemagref nella strumentazione dei loro siti, ha contribuito al corretto dimensionamento del sito valdostano ed alla scelta della strumentazione più appropriata per gli esperimenti previsti.

Al fine della divulgazione dei risultati del progetto, sono previste n. 2 giornate di restituzione, una in territorio italiano, fissata il 2 dicembre 2011 a Gressoney-La-Trinité e una in territorio francese prevista per marzo 2012 a Chamonix.

CONCLUSIONE

Come detto in precedenza, il progetto ha scadenza il 27 gennaio 2012.

Visti gli importanti investimenti realizzati per l'allestimento dei siti pilota, la Direzione assetto idrogeologico dei bacini montani, in accordo con il partner francese Cemagref, ha presentato una nuova proposta progettuale, sempre nell'ambito del Programma di Cooperazione transfrontaliera (Alpi) Italia-Francia 2007-2013, che prevede, tra l'altro, di valorizzare i dati ottenuti sui siti pilota strumentati nell'ambito di DynAval, di proseguire i test nei canali di valanga strumentati, evitando, pertanto,

la dismissione di siti che hanno richiesto importanti investimenti finanziari e di implementare la strumentazione esistente, per migliorare la qualità delle osservazioni. La nuova proposta progettuale, approvata in data 21.06.2011, prevede, tra l'altro, l'installazione di due nuovi sistemi di array infrasonici per il miglioramento del sistema di prevenzione del rischio valanghivo nell'ambito regionale, l'installazione di sensori di velocità sull'ostacolo del sito della P.ta Seehore, lo sviluppo delle cosiddette "foto solide" per il rilievo dettagliato delle zone di distacco, di scorrimento e di deposito dei fenomeni valanghivi e l'analisi del contributo eolico nei processi di distacco.

Fig. 6 - Visita al sito di Taconnaz durante la riunione del 05 giugno 2009.



Bibliografia

- Baroudi D., Sovilla B., Thibert E., 2011. Effects of flow regime and sensor geometry on snow avalanche impact-pressure measurements. *Journal of Glaciology*, 57(202), 277-288.
- Bouchet A., Naaïm M., F. Ousset F., H. Bellot H., D. Cauvard D., 2003. Experimental determination of constitutive equations for dense and dry avalanches: presentation of the set-up and first results. *Surveys in Geophysics*, 24, 525-541.
- Maggioni M., Gruber U., Purves R., Freppaz M., 2006. Potential release areas and return period of avalanches: is there a relation? *Proceeding of the International Snow Science Workshop*, Telluride (Colorado, USA), 1-7 October 2006, 566-571.
- Naaïm M., Faug T., Naaïm-Bouvet F., Eckert N., 2010. Return period calculation and passive structure design at the Taconnaz avalanche path (France). *Annals of Glaciology*, 51(54), 89-97.
- Naaïm M., Taillandier J.M., Bouchet A., Ousset F., Naaïm-Bouvet F., Bellot H., 2001. French avalanche research: experimental test sites. In *International seminar on snow and avalanches test sites*. Cemagref. Grenoble, 22-23 novembre 2001, 141-169..
- Thibert E., Baroudi D., Limam A., Berthet-Rambaud P., 2008. Avalanche impact pressure on an instrumented structure. *Cold Regions Science and Technology*, 54(3), 206-215.

Sito sperimentale DELLA PUNTA **SEEHORE**

**LOCALIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA,
GEOTECNICA, NIVOLOGICA E VALANGHIVA**

INTRODUZIONE

In Europa, lo studio naturale delle valanghe è iniziato in modo più strutturato a partire dagli anni '30, sia con studi teorici, per individuare le equazioni matematiche che descrivono i processi fisici alla base del fenomeno, sia con studi basati sui dati ottenuti dai siti sperimentali di ricerca.

Le prove sperimentali venivano, e vengono tuttora eseguite, a diversa scala: quella di laboratorio, per esempio con canalette o piani inclinati e materiali sintetici, oppure a scala naturale, su percorsi valanghivi reali e quindi con materiale "neve" naturale. Il primo sito realizzato in Italia è stato il Monte Pizzac in Veneto, voluto dal Centro Valanghe di Arabba nel 1993, dove Betty Sovilla ha cominciato a studiare il processo di erosione del manto nevoso da parte della valanga per includerlo nei modelli di dinamica già esistenti, che invece consideravano costante la massa di neve in movimento (Sovilla et al., 2001; Sovilla

and Bartelt, 2002; Sovilla et al., 2007). Ad oggi sono attivi in Europa diversi siti sperimentali volti tutti alla comprensione dei processi fisici che regolano il moto di una valanga, dalla fase di distacco a quella di arresto.

Tali siti europei sono stati analizzati, dalla fine degli anni Novanta, tramite i progetti europei SAME e SATZIE, e tutte le informazioni relative sono state organicamente raccolte in documenti tecnici che quindi risultano di riferimento per l'argomento (Barbolini et al., 1998; Johanneson et al., 2006). Nel 2006, a conclusione del progetto SATZIE, i siti sperimentali in Europa erano 10: Col du Lautaret e Taconnaz in Francia, Monte Pizzac in Italia, Nürja in Spagna, Rygfonn in Norvegia, Vallée de la Sionne e Mettlenruns in Svizzera, Großer Gröben e Shnannerbach in Austria, Flateyri in Islanda. Il nuovo sito sperimentale della P.ta Seehore è stato progettato e realizzato all'interno del progetto di coo-

perazione transfrontaliera DynAval ed è volto anch'esso allo studio della dinamica delle valanghe con particolare attenzione all'interazione flusso/ostacolo.

Lo scopo principale del sito é, quindi, fornire, tramite specifiche prove sperimentali, dati relativi alla dinamica delle valanghe, quali la velocità, le pressioni ed il bilancio di massa, al fine di ampliare la comprensione dei processi che avvengono all'interno di una massa nevosa in movimento e della sua interazione con una struttura posta lungo il percorso valanghivo.

LOCALIZZAZIONE

Il nuovo sito sperimentale si colloca sul versante settentrionale della P.ta Seehore sul massiccio del Monte Rosa, nel Comune di Gressoney-La-Trinité in Valle d'Aosta (Fig. 1). E' localizzato all'interno del comprensorio sciistico Monterosa Ski, nella Valle di Gressoney, in particolare in una zona a monte della pista "Collegamento

*Nella pagina a fianco,
attività di distacco
artificiale al sito della
P.ta Seehore.*



Fig. 1 - Localizzazione geografica del sito.



Fig. 2 - Localizzazione del sito all'interno del comprensorio sciistico Monterosa Ski (ovale azzurro).



Fig. 3 - Visione invernale della P.ta Seehore. Il sito sperimentale si colloca sul pendio in ombra dove sono evidenti tracce di valanghe. Ben visibile è anche la pista "Collegamento Gabiet" alla base del pendio (Fonte: Arnoldo Welf).

Gabiet", che unisce il settore di P.ta Jolanda con la zona del Gabiet a circa 2400 m di quota (Figg. 2 e 3).

In tutto il comprensorio sciistico la sicurezza delle piste viene garantita tramite differenti metodi di protezione dalle valanghe: sono presenti opere permanenti di difesa attiva e passiva (reti ed ombrelli da neve in zona di distacco), ma sono utilizzati anche sistemi di difesa attiva temporanei, quali il distacco programmato di valanghe (rif. art. 3). I siti di bonifica e le procedure sono definiti all'interno del Piano di Intervento per il Distacco Artificiale di Valanghe (PIDAV). Il pendio settentrionale della P.ta Seehore, sede del sito sperimentale, è inserito nel PIDAV, in quanto potrebbe sviluppare valanghe di piccola e media dimensione in grado di interessare la pista "Collegamento Gabiet". Viene quindi periodicamente bonificato, in occasione di eventi meteorologici e di specifiche condizioni in situ predisponenti il distacco di valanghe. I responsabili della sicurezza piste considerano una soglia di ca. 30 cm di neve fresca per decidere se operare il distacco: infatti, oltre tale soglia, considerano che sarebbe troppo rischioso non bonificare, in quanto una possibile valanga spontanea potrebbe raggiungere la pista sottostante. Tale caratteristica, insieme ad altre, come la facile accessibilità, l'ha reso un sito idoneo per lo sviluppo delle ricerche previste all'interno del progetto DynAval. Infatti, la buona collaborazione già in atto con la Monterosa Ski permette al gruppo di ricerca di organizzare le prove sperimentali in occasione delle operazioni di bonifica, sfruttando quindi i distacchi già previsti per la sicurezza delle piste (rif. art. 5), che generalmente avvengono con la Carica Vassale o con la DaisyBell (Fig. 4) (rif. art. 3). D'altra parte, la stessa caratteristica fa sì che, spesso, non si possa aspettare e che quindi le valanghe siano in genere di piccola dimensione, poiché, per l'apertura della pista sottostante, il pendio deve essere messo in sicurezza il più presto possibile. Nell'ultimo paragrafo del presente articolo e nell'articolo 5 si riportano i dati sulle valanghe storiche e su quelle indagate all'interno del progetto.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE

Il sito sperimentale della Pta Seehore (45° 51' 05" N; 07° 50' 34" E) è caratterizzato da un dislivello di ca. 300 m, un'esposizione prevalente N-NW ed una pendenza media di 38°. Nella tabella di Fig. 5 sono illustrati i valori dei parametri morfologici del pendio e delle tre zone interessate dal fenomeno valanghivo (distacco, scorrimento e deposito). I dati sono stati ricavati da un modello digitale ottenuto da un rilevamento laser scanner aereo operato dalla Helica Srl, realizzato per ottenere una preliminare e dettagliata descrizione del sito. Il sensore utilizzato è stato il sistema Optech Gemini costituito da un laser operante nell'infrarosso vicino ($\lambda = 1064 \text{ nm}$) che invia impulsi ad una frequenza variabile dai 33 ai 167 kHz a seconda dell'altezza di volo. Le operazioni di rilevamento sono state effettuate in un'area di ca. 1 km² avente come centro il sito sperimentale. Il risultato del rilevamento è costituito da una nuvola di punti tridimensionali, con un densità di 20 punti/m², successivamente interpolata in un modello digitale avente risoluzione pari a 1 m. Contestualmente alla misura laser, è stata eseguita una ripresa fotogrammetrica che ha permesso l'elaborazione di un'ortoimmagine, con una risoluzione di 10 cm. Entrambi i prodotti sono stati riferiti al sistema UTM-ED50, Fuso 32, ufficialmente adottato nella cartografia tecnica della Regione Autonoma Valle d'Aosta. Il modello digitale descritto è stato oggetto, in ambiente GIS, di una serie di elaborazioni volte a determinare i parametri morfologici del sito. Infatti, sono stati calcolati i valori di pendenza ed esposizione dell'intero pendio (Fig. 6).

Successivamente si è proceduto all'individuazione delle caratteristiche della curvatura del pendio evidenziando le porzioni concave, convesse e piane. Infine, grazie all'ausilio di tools di analisi idraulica è stata operata la suddivisione del pendio in micro bacini e si individuate le direzioni prevalenti di scorrimento, definendo, quindi, le linee di massima pendenza. Nel sito sono quindi state pianificate ed eseguite una serie di operazioni predisponenti

l'esecuzione degli esperimenti (rif. art. 5). Sono stati progettati ed installati dei target metallici da impiegare come punti di riferimento per l'orientamento di riprese laser o fotogrammetriche terrestri. I target, costituiti da una struttura in acciaio, sono stati posizionati sulle pareti rocciose presenti lungo il pendio, in posizione sopraelevata, in modo da assicurarne la visibilità anche durante il periodo invernale.

Durante la fase di installazione si è proceduto alla misura della loro posizione mediante rilevamento topografico. Nella zona antistante il pendio è stata collocata una stazione strumentale, collegata ad un vertice della rete geodetica regionale. Le misure sono state effettuate impiegando una total station Sokkia 330R ed un prisma, posizionato al termine dell'installazione di ogni singolo target, nel



Fig. 4 - Cratere generato a seguito del distacco operato con la DaisyBell in occasione della prova sperimentale del 1 marzo 2011 (Fonte: Arnoldo Welf).

	Esposizione (°)	Quota (m)	Pendenza (°)
Pendio			
Media	324	2417	28
Minimo	271	2323	10
Massimo	348	2570	48
Distacco			
Media	316	2521	39
Minimo	271	2475	17
Massimo	337	2570	48
Scorrimento			
Media	331	2426	35
Minimo	327	2384	29
Massimo	335	2472	37
Deposito			
Media	325	2347	17
Minimo	297	2323	10
Massimo	348	2384	29

Fig. 5 - Caratteristiche morfologiche del sito.

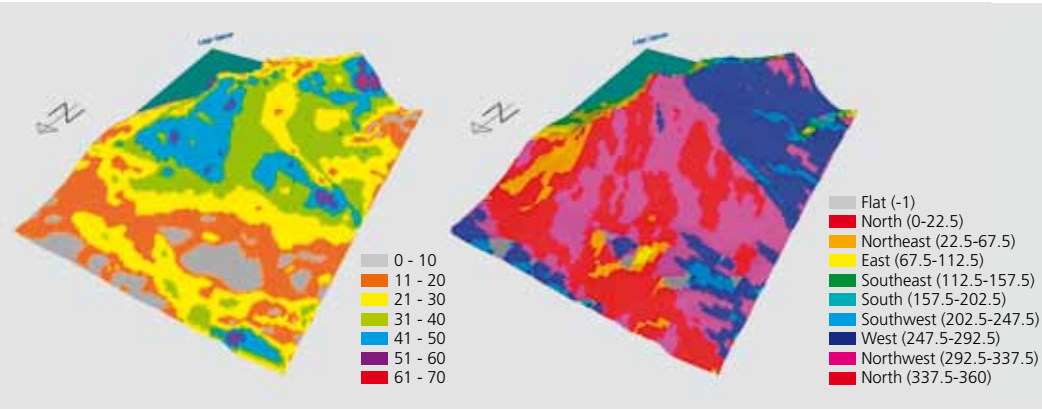


Fig. 6 - Visualizzazione delle caratteristiche morfologiche del sito: pendenza (sn) ed esposizione (dx).

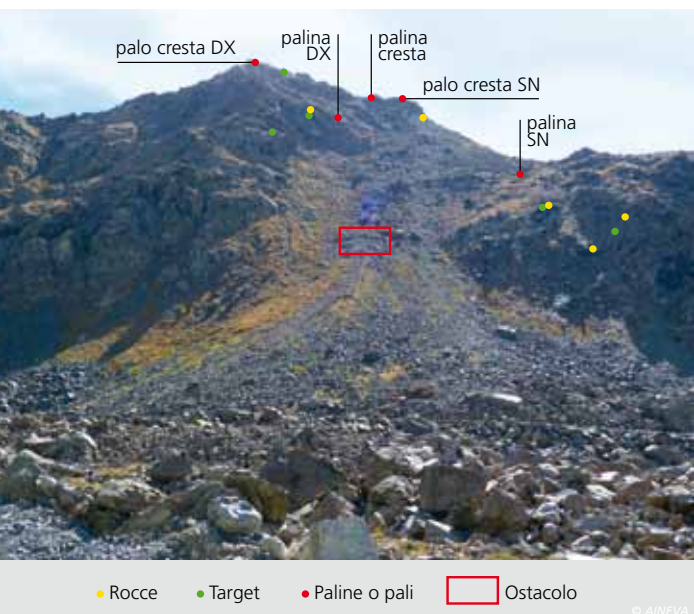


Fig. 7 - Punti di riferimento nel sito rilevati tramite metodologia GPS-RTK.

centro dell'oggetto. Con la stessa modalità sono state installate e posizionate tre paline graduate per la stima dell'altezza neve. In una successiva campagna di misure, allo scopo di aumentare la quantità di punti di riferimento, è stato eseguito un rilevamento GPS-RTK. Sono stati rilevati particolari naturali (sporgenze rocciose) ed artificiali (paline) presenti sul pendio (Fig. 7). Il rilevamento è stato effettuato con riferimento al medesimo vertice precedentemente citato.

CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOTECNICHE

Il versante sede del campo sperimentale, costituito da serpentiniti, immerge a 350° rispetto al Nord, con inclinazioni variabili da circa 38° a 29°; la larghezza è variabile

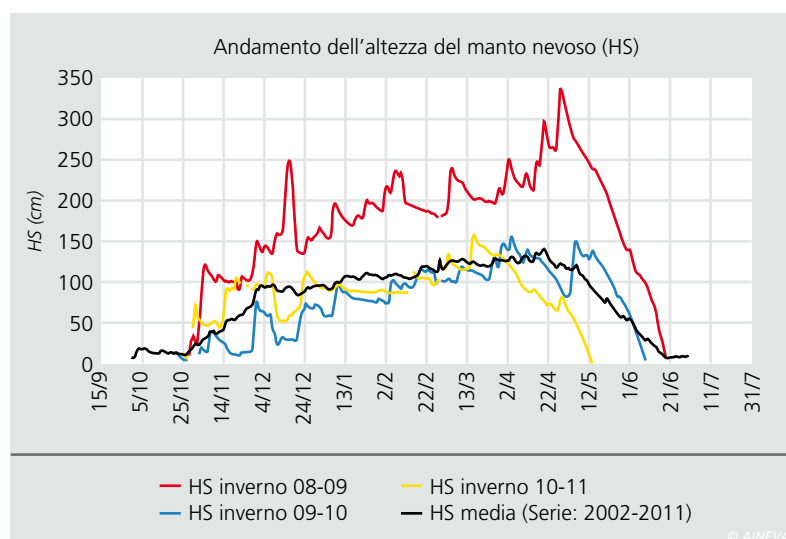
da 40 m a 80 m. La cresta è estremamente fratturata, le parti mediana e inferiore sono caratterizzate dalla presenza di blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche. Nella zona alta e mediana sono presenti alcuni affioramenti rocciosi. Le coperture quaternarie sono principalmente depositi gravitativi di falda e di conoide e accumuli di frane da crollo. I fenomeni di instabilità che possono interessare il sito sono lo scivolamento della coltre detritica e la caduta massi. I blocchi isolati (già distaccatisi dall'ammasso roccioso) arrivano anche a dimensioni metriche con esempi isolati aventi dimensione caratteristica maggiore, fino a quasi 4 m. Il sito è stato oggetto di un'approfondita analisi geo-strutturale e di indagini geofisiche, al fine di caratterizzare, dal punto di vista geotecnico, il versante per la successiva progettazione delle fondazioni dell'ostacolo strutturale. Il rilievo strutturale ha evidenziato quattro famiglie principali di discontinuità ($k_1(112^\circ, 87^\circ)$, $k_2(328^\circ, 57^\circ)$, $k_3(246^\circ, 39^\circ)$, $k_4(165^\circ, 50^\circ)$), che individuano con il fronte $F(350^\circ, 35^\circ)$ dei cunei di roccia che, staccatisi dagli affioramenti per scivolamento, proseguono il moto lungo il versante originando il fenomeno di caduta massi. L'indagine geofisica, svolta allo scopo di indagare le caratteristiche dell'ammasso roccioso in profondità e valutare quantitativamente lo spessore dello strato detritico che ricopre il versante, ha previsto l'esecuzione di due stendimenti (due elettrici e due di sismica a rifrazione) tra essi ortogonali, che si intersecano proprio all'al-

tezza dell'ostacolo strutturale. I risultati dei rilevamenti, interpretati con tecnica tomografica, hanno mostrato uno strato di detrito con assenza di fine di spessore circa 10 m, poggiante sul substrato roccioso altamente fratturato di bassa qualità. La quantità di acqua presente è molto lontana dalla saturazione, pur misurata in periodo successivo a intense venute meteoriche. Analisi di stabilità a ritroso hanno consentito di definire l'angolo di attrito interno caratteristico della coltre detritica, in 39°. Le analisi di caduta massi relative ai volumi caratteristici osservati in sito, variabili da 0.06 m³ a 0.56 m³ (corrispondenti a masse di 150 kg e 1500 kg) hanno fornito le traiettorie, la maggior parte delle quali si arresta al di sopra dell'area di installazione della struttura ostacolo, ma che possono raggiungere anche la pista posta al piede del versante. Le altezze di volo dei massi sono risultate variabili da 1.5 a 2.5 m e le energie cinetiche totali massime sono comprese tra 12 kJ e 80 kJ, rispettivamente per le masse minima e massima.

CONDIZIONI NIVO-METEOROLOGICHE

Il sito sperimentale, facendo riferimento ai settori individuati dall'Ufficio Neve e Valanghe della Regione Autonoma Valle d'Aosta per la definizione delle caratteristiche nivo-meteorologiche e del pericolo valanghe, si colloca nel settore sud-orientale della Valle d'Aosta, che comprende le Valli di Gressoney, Ayas e Champorcher. Tale settore risulta essere interessato, prevalentemente in autunno e primavera, da precipitazioni associate a flussi perturbati di origine meridionale, soprattutto sud-orientali. Grazie a queste perturbazioni umide meridionali, la bassa valle, ed in particolare le valli di Champorcher e di Gressoney, detiene il record delle nevicate più abbondanti. In particolare, il sito sperimentale della P.ta Seehore è favorevolmente esposto all'accumulo di neve durante le nevicate associate a correnti meridionali: infatti, i venti moderati o forti da sud-sudest, quando accompagnano o seguono la nevicata, tendono a sovraccaricare ulteriormente il pendio, es-

Fig. 8 - Andamento dell'altezza neve al suolo (HS) negli inverni 2008-2009, 2009-2010, 2010-2011 e serie dati 2002-2011 (stazione automatica Gabiet - Fonte: Ufficio Centro Funzionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta).



sendo quest'ultimo esposto a nord-ovest. Nella Fig. 8 l'andamento dell'altezza media di neve al suolo (HS) degli ultimi 9 anni viene confrontato con l'altezza di neve al suolo degli ultimi tre inverni, in cui sono stati condotti gli esperimenti al sito sperimentale. I dati provengono dalla stazione meteorologica automatica del lago Gabiet (2379 m slm), posta a poche centinaia di metri dal sito oggetto di studio e attiva dal 2002 (fonte dei dati: Ufficio Centro Funzionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta). L'inverno 2008-2009 è stato caratterizzato da abbondanti nevicate e l'altezza neve al suolo ha raggiunto il massimo di 337 cm il 28 aprile, rimanendo per tutta la stagione ben al di sopra della media. La stagione 2009-2010 è risultata invece essere meno nevosa della precedente in termini di quantitativi di neve e di eventi eccezionali, ma con frequenti nevicate e temperature rigide: il valore massimo di neve al suolo (HS) è stato raggiunto il 4 aprile con 157 cm. Infine l'inverno 2010-2011 è iniziato con un ottimo innevamento nel periodo tardo autunnale, ma è risultato privo di precipitazioni per tutto il mese di gennaio e metà febbraio e si è concluso un mese prima rispetto alla media stagionale, dopo una ripresa delle nevicate tra fine febbraio e marzo (HS massima pari a 160 cm il 17 marzo).

DATI VALANGHE

La storia valanghiva del sito è strettamente legata alle operazioni di bonifica del personale addetto alla sicurezza piste della Monterosa Ski. Non sono invece presenti dati storici all'interno del Catasto Regionale Valanghe della Regione Autonoma Valle d'Aosta. Prima dell'avvio del progetto DynAval, le valanghe distaccate naturalmente o artificialmente dal personale della Monterosa Ski venivano registrate solo saltuariamente e non in modo organico e strutturato. Dall'entrata in vigore di normative più rigide, ogni qualvolta si provochi un distacco con esplosivo, il responsabile delle operazioni di bonifica è tenuto a filmare l'evento per certificare l'utilizzo dell'esplosivo; quindi, da un paio d'anni, la registrazione dei dati è molto

migliorata, consentendo di creare un database che contiene le informazioni su tutti i distacchi svolti. L'ottima collaborazione tra i ricercatori coinvolti nel progetto DynAval ed i responsabili alla sicurezza piste della Monterosa Ski ha permesso di creare un database ben strutturato ed organico dove raccogliere le informazioni su tutti i distacchi effettuati sul pendio settentrionale della P.ta Seehore, quali giorno, ora del distacco, metodo ed esito del distacco, tipo di valanga e condizioni meteorologiche. Durante la stagione 2009-2010, sono state svolte delle prove sperimentali che, pur in assenza dell'ostacolo strumentato, hanno dato delle informazioni importanti sul tipo di valanghe che si generano nel sito (rif. art. 7), permettendo inoltre la scelta più precisa della successiva localizzazione dell'ostacolo strumentato (rif. art. 6). Infatti, la difficoltà nel posizionamento risiedeva nel fatto che il percorso valanghivo non è di tipo incanalato ed il versante presenta nella zona centrale una topografia leggermente convessa, che spesso divide il flusso dirigendolo verso est o verso ovest (Fig. 9): il problema era individuare il punto migliore per intercettare il maggior numero di valanghe. Analizzando sia le informazioni in possesso del personale della Monterosa Ski, sia gli eventi provocati nella stagione 2009-2010, si è giunti alla localizzazione precisa dell'ostacolo.

Si è proceduto, inoltre, alla rimozione di due rocce affioranti che facevano da ostacolo naturale lungo il percorso della valanga, generando un impatto e quindi una perdita di energia proprio una trentina di metri a monte dell'ostacolo; ciò avrebbe falsato le misure di impatto diretto sull'ostacolo strumentato (Fig. 9). Le valanghe distaccate artificialmente nel sito sperimentale sono in genere di piccola-media dimensione (EAWS, 2003) con un volume al distacco intorno a 100-400 m³ ed un dislivello di 300 m, e si fermano, a volte, ancora lungo il pendio senza raggiungerne la base. Sono prevalentemente valanghe di tipo denso che però possono sviluppare anche una componente polverosa, soprattutto in pieno inverno, in caso di neve fredda ed asciutta. In periodo tardo-primaverile tendono a generarsi, anche spontaneamente, valanghe dense di neve umida con distacchi puntiformi multipli dalle varie rocce presenti sul pendio, che vanno poi a formare un'unica valanga più grande che spesso può raggiungere la pista.

Proprio questi due tipi di valanghe vengono studiati attentamente per capirne la diversa dinamica e quindi le diverse forze che possono sviluppare sull'ostacolo.

Fig. 9 - Visione frontale del sito: nei cerchi gialli sono evidenziate le due rocce che sono state spianate ed in rosso la posizione dell'ostacolo strumentato.



Bibliografia

- Barbolini, M., Gruber U., Keylock C., Naaïm M., Savi F., 1998. Application and evaluation of different avalanche models at five real sites in Europe. Deliverable No. 3 of the EU Project SAME (Snow Avalanche Mapping, Model Validation and Warning Systems in Europe), published by the EUROPEAN COMMISSION, EUR19069.
- European Avalanche Warning Service, 2003. Avalanche classification.
- Johannesson T., Hakonardottir M., Lied K., Issler D., Gauer P., Naaïm M., Faug T., Natale L., Barbolini M., Cappanica F., Pagliardi M., Rammer L., Sovilla B., Platzer K., Surinach E., Villajosana I., 2006. Avalanche test sites and research equipment in Europe: an updated overview. Deliverable No. 8 of the EU Project SATSIE (Avalanche studies and model validation in Europe), contract EVG1-CT2002-00059. Editor: M. Barbolini and D. Issler. 172.
- Sovilla B., Somavilla F. and Tomaselli A., 2002. Measurements of mass balance in dense snow avalanche events. Ann. Glaciol., 32, 230-236.
- Sovilla B. and Bartelt P., 2002. Observations and modelling of snow avalanche entrainment. Natural Hazards and Earth System Science, 2, 3/4, 169-179.
- Sovilla B., Margreth S., Bartelt, P., 2007. On snow entrainment in avalanche dynamics calculations. Cold Reg. Sci. Technol., 47, 69-79.

il **DISTACCO ARTIFICIALE** *a Punta* **SEEHORE** METODOLOGIE IMPIEGATE e CAMPAGNA SPERIMENTALE

INTRODUZIONE

L'impiego di mezzi per il distacco programmato di valanghe è da anni un metodo di prevenzione per la gestione della sicurezza nelle stazioni turistiche invernali.

Soprattutto nei comprensori sciistici, questa pratica, anche per motivi economici, sta diventando un'operazione standard essenziale alla messa in sicurezza di piste, impianti di risalita, mezzi ed infrastrutture. Le problematiche tecniche del distacco artificiale delle valanghe, a cui si aggiungono delle difficoltà legislative e di regolamentazione dell'uso dei sistemi di bonifica, derivano in maniera sostanziale da una carenza di conoscenza scientifica. Ad oggi, infatti, non si è ancora capito quale sia il comportamento del manto nevoso sottoposto a carico impulsivo indotto da un'esplosione generata da un esplosivo o da un sistema a gas. Il problema risulta avere anche una valenza tecnica: ad oggi, il dilemma in ambito scientifico internazionale è l'indivi-

duazione della caratteristica meccanica del manto nevoso da andare ad investigare, al fine di comprendere la reazione del manto nevoso soggetto a carico impulsivo e il suo relativo strumento di misura.

Ecco perché una delle attività svolte nell'ambito del progetto DynAval è la valutazione degli effetti indotti dall'esplosivo sul manto nevoso grazie alla misura delle sovrappressioni indotte, allo studio della reazione del manto nevoso all'onda d'urto ed all'analisi della carica critica. L'analisi di questi meccanismi risulta propedeutica alla comprensione del meccanismo di distacco indotto da carichi artificiali, essenziale al miglioramento delle misure di messa in sicurezza temporali anche con l'uso di miscele gassose.

Alle attività di ricerca sperimentale svolte nel progetto DynAval fanno capo quelle svolte su larga scala nel progetto strategico RISK NAT, quali la creazione di un database per la raccolta di informazioni sui distacchi

artificiali effettuati e il compendio di normative giuridiche dell'arco alpino (italiane, francesi e svizzere).

TECNICHE DI DISTACCO ARTIFICIALE A PUNTA SEEHORE

Al fine della comprensione del comportamento del manto nevoso sottoposto a carichi indotti dal distacco artificiale, il sito sperimentale di P.ta Seehore (rif. art. 2) è stato appositamente scelto in quanto luogo di bonifica per la messa in sicurezza della pista "Collegamento Gabiet" che unisce il settore di P.ta Jolanda con la zona del Gabiet.

A causa delle difficoltà operative di raggiungere la zona di distacco con mezzi propri, il distacco programmato di valanghe a P.ta Seehore è effettuato grazie due metodologie differenti, entrambe elitra-sportate: la Carica Vassale e la DaisyBell.





Fig. 1 - Localizzazione dei 5 settori di indagine (progetto RISK NAT) sullo skirama del comprensorio sciistico di Monterosa Ski: in giallo il sito sperimentale di P.ta Seehore.



Fig. 2 - Panorama di P.ta Seehore in periodo invernale: in evidenza i n. 6 punti di tiro identificati con i rispettivi sotto-ID del database.

Come ormai risaputo, la Carica Vassale (n. 53 - Neve e Valanghe, dicembre 2004), appositamente sviluppata da Monterosa Ski in collaborazione con l'Ammiraglio Vassale, permette di poter effettuare, rapidamente ed in tutta sicurezza, il distacco artificiale con esplosivo convenzionale trasportato e rilasciato dall'elicottero. Le limitazioni normative e le difficoltà di gestione degli esplosivi (procedure molto rigide per il trasporto, l'uso e lo stoccaggio) hanno portato la Monterosa Ski a dotarsi del dispositivo DaisyBell (n. 67 - Neve e Valanghe, agosto 2009), sviluppata da TAS/Obiettivo Neve, dispositivo a miscela di gas, sempre eliotrasportabile. L'uso dell'elicottero per le procedure di bonifica a P.ta Seehore se, da una parte, agevola le operazioni di distacco per gli operatori in termini di tempo, fatica

e sicurezza, dall'altra impedisce l'intervento in caso di scarsa visibilità.

Regolamentato dal Piano di Intervento per il Distacco Artificiale di Valanghe (PIDAV) del comprensorio, il sito sperimentale di P.ta Seehore è parte di un'attività di ricerca del progetto strategico RISK NAT, sempre nell'ambito del distacco artificiale valanghe. Dal punto di vista operativo, grazie al progetto RISK NAT, il DIVAPRA ha creato il primo database per la raccolta informazioni sui distacchi artificiali sulla base dei dati gentilmente forniti da Monterosa Ski. Il comprensorio su cui sviluppare l'indagine è stato scelto in base alla sua vastità sia in termini di domaine skiable che di aree da bonificare, all'uso di differenti metodi di distacco programmato (Carica Vassale, uso di esplosivo convenzionale con posiziona-

mento di cariche a mano e innesco a fuoco ed elettrico, Gaz-Ex e DaisyBell), nonché all'esperienza dei suoi responsabili di pista. Lo scopo della creazione del database è di raccogliere più informazioni possibili sulla metodologia di bonifica, caratteristiche topografiche, condizioni nivometeorologiche e condizioni del manto nevoso al fine di studiare eventuali relazioni tra valanghe distaccate artificialmente. Vista la vastità del comprensorio di Monterosa Ski, sono stati individuati 5 settori caratterizzati da differenti caratteristiche topografiche, tipologia di valanghe (dense e/o polverose) e metodi di distacco programmato (Fig. 1). Ogni settore è suddiviso in sottosectori con un numero identificativo (ID) già indicati nel PIDAV, ed ogni sottosectori presenta differenti sotto-ID che indicano i potenziali punti di tiro.

Uno dei 5 settori scelti è proprio quello relativo al sito sperimentale che comprende la Punta Seehore o Corno del Lago e domina il Gabiet, con ID 13 e sei potenziali punti di tiro (Fig 2).

Il database è costituito da una serie di dati presi per ciascun settore, quali: dati generali (settore, ID valanga, sotto-ID, esposizione, pendenza della zona di distacco), dati raccolti per ciascuna operazione di distacco artificiale effettuata (data, ora, metodologia di distacco, altezza scoppio, quantità di esplosivo, numero tiri, esito del tiro), informazioni sulla tipologia di valanga innescata (quota, tipologia, spessore e larghezza di distacco; tipologia di neve, di valanga e di moto; quota, larghezza, spessore e tipologia di accumulo nella zona di arresto) e informazioni meteo (temperatura dell'aria, precipitazioni e vento).

ANALISI DELLA RISPOSTA DEL MANTO NEVOSO AI CARICHI DINAMICI: LA CAMPAGNA SPERIMENTALE 2009/2010

Comprendere l'influenza di un carico impulsivo artificiale è essenziale per approfondire la conoscenza del comportamento dinamico del manto nevoso ed incremen-

tare l'efficienza dei metodi di distacco artificiale delle valanghe. Al fine di valutare gli effetti indotti dall'esplosivo sul manto nevoso, grazie alla collaborazione della Monterosa Ski, è stato possibile, durante l'inverno 2009/2010, effettuare una prima campagna di prove di esplosione presso l'area pianeggiante della zona NE del sito sperimentale P.ta Seehore. L'indagine ha avuto lo scopo di valutare se la strumentazione classica fosse in grado di monitorare gli effetti di una detonazione sul manto nevoso innescata da cariche differenziate per tipo di esplosivo, altezza di scoppio e quantità di carica.

In questo primo anno di indagine, sono stati curati, in particolar modo, la scelta del sito, lo studio del piano di tiro, la strumentazione di misura e lo studio della tipologia di rilievo delle caratteristiche del manto nevoso pre e post evento.

Grazie all'impiego di differenti metodologie di indagine, è stato possibile verificarne l'applicabilità al monitoraggio degli effetti delle esplosioni sul manto nevoso.

Per le difficoltà logistiche e il delicato uso dell'esplosivo si è optato, in questo primo anno, di testare le due tipologie di esplosivo, solitamente usate dagli esperti del settore per le operazioni di distacco valanghe programmato: la Gelatina Dinamite e l'Emulsione (Fig. 3).

Per quanto riguarda il monitoraggio degli effetti di un'esplosione sul manto nevoso, si è deciso di suddividere le indagini in 3 fasi: pre, durante e post detonazioni.

Per individuare le caratteristiche del manto nevoso indisturbato, le indagini pre detonazioni sono state:

- la caratterizzazione del manto nevoso (altezza manto nevoso lungo i profili di scoppio e due stratigrafie rispettivamente interna ed esterna alla linea di tiro);
 - il rilievo georadar lungo le linee di tiro;
 - il rilievo geosismico su stendimento interno alle linee di tiro,
- mentre durante la serie di detonazioni si sono svolti :
- il rilievo geosismico su stendimento interno alle linee di tiro;
 - il rilievo fonometrico interno ed esterno alla linea di tiro;

- il rilievo sismico con geofoni triassiali interni alla linea di tiro, concludendo con le indagini post-esplosioni, quali:

- la misura dell'impronta lasciata dalla detonazione in manto nevoso (dimensioni del cratere e profondità);
- la caratterizzazione del manto nevoso (misura di densità, temperatura e prelievo campioni per analisi chimica della neve);
- il rilievo georadar lungo le linee di tiro.

Visto l'aspetto interdisciplinare del rilievo, il gruppo che ha partecipato alla campagna è stato composto da esperti in esplosivi, tecniche geofisiche, tecniche sismiche, tecniche acustiche e nivologia, per un totale di n. 15 persone oltre al supporto logistico fornito dalla Monterosa Ski.

Il campo prove

L'esperimento è stato condotto in località Lago del Gabiet, in un'area pianeggiante a quota 2363 m slm di dimensioni ca. 80 m x 200 m, isolata, a ca. 1 km di distanza dalla cabinovia di Staffal-Gabiet (foto di pag. 21). La scelta di un sito pianeggiante è stata fatta al fine di evitare l'influenza dell'inclinazione del versante sul manto nevoso (e quindi di sovrastimare gli effetti dell'esplosivo sul manto nevoso inclinato tipico delle zone di distacco) e valutando l'impossibilità di effettuare i rilievi in sicurezza.

Il rilievo è stato eseguito dalle ore 7:00 alle ore 17:30 del giorno 31 marzo 2010. La mattinata è stata dedicata alla preparazione della prova con il tracciamento della linea di tiro, test e posizionamento della strumentazione ed alla caratterizzazione del manto nevoso indisturbato grazie a misure pre-detonazioni di stratigrafia e di altezza neve del manto nevoso, seguite dai rilievi georadar e geosismico.

In parallelo, si sono svolte le operazioni di preparazione delle cariche esplosive.

Verso le ore 12:00 si sono svolte le prove di scoppio alle quali, dalle 14:00 in poi, sono succeduti i rilievi per la caratterizzazione post-detonazioni, in sequenza: rilievo georadar e misura degli effetti delle esplosioni sul manto nevoso.

Il rilievo è stato svolto in condizioni meteorologiche instabili con cielo sereno in mattinata, velature in tarda mattinata/primo pomeriggio (con una leggera caduta di fiocchi di neve) e un ritorno al sereno nel tardo pomeriggio. Anche le temperature sono state alquanto variabili, da ca. -11°C alle ore 7:00, ai +3 °C delle ore 11:00, ai -4 °C delle ore 17:00. Durante la notte tra il 30 ed il 31 marzo, una nevicata ha depositato 50 cm di neve fresca (dato fornito dalla stazione meteorologica automatica "Gabiet" a 2379 m slm, fornito dall'Ufficio Centro Funzionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta).

Le prove di scoppio

La scelta degli esplosivi da impiegare è stata effettuata sulla base delle tipologie comunemente disponibili in commercio, tenendo conto del fatto che la dinamite è tradizionalmente impiegata per operazioni di distacco artificiale grazie all'elevata velocità di detonazione e all'ottima dirompenza. Per valutare eventuali differenze comportamentali, si è deciso di testare anche un'emulsione, che possiede analoghe caratteristiche, ma sviluppa, a parità di massa, un seppur limitato (ca. 5%) maggiore volume di gas (fattore considerato positivamente influente ai fini dello specifico impiego). Le principali caratteristiche dei suddetti esplosivi sono riportate nella tabella di Fig. 3.

Per testare la variabilità degli effetti di differenti tipologie di cariche, sono state effettuate 24 prove (12 per ogni tipologia di esplosivo) con cariche rispettivamente

Tipologia	Emulsione	Dinamite
Nome commerciale	Premex 3300	Goma 2 Eco
Densità (kg/m³)	1200	1450
Energia specifica ponderale (kJ/kg)	3850	4100
VOD in aria libera (m/s)	4900	6100
Volume dei gas (dm³/kg)	935	895
Massa unitaria (kg)	0,992	0,953

© AINEVA

Fig. 3 - Caratteristiche tecniche principali degli esplosivi impiegati nella campagna di prove sperimentali.

Fig. 4 - Vista del campo prove il giorno 31 marzo 2010. Sono indicati: la linea di tiro (in rosso), la traccia dello stendimento geosismico (in blu) e i differenti punti monitoraggio.



Fig. 5 - LINEA 1: schema di posizionamento cariche di Gelatina Dinamite in funzione dell'altezza di scoppio e della quantità di carica. Sono qui indicati i primi due set di tiri con un'altezza di scoppio di -0.5 m e 0 m (carica in manto e appoggiata). La sequenza delle detonazioni è controllata dall'altezza di scoppio e dalla quantità di carica.



Fig. 6 - Profilo stratigrafico esterno alla linea di tiro.



di 1 kg; 2 kg; 3 kg, ciascuna posizionata ad un'altezza di 0 m (carica appoggiata), +0.5 m, +1 m e -0.5 m dalla superficie del manto nevoso. Facendo riferimento alle relazioni empiriche in bibliografia tecnica (Cresta, 2000; Cardu et al., 2007) e considerando le esigenze nivologiche di operare su manto indisturbato, si è giunti alla pianificazione della linea di tiro.

Essa ha previsto due linee ad L, ciascuna per tipologia di esplosivo, con i due lati di lunghezza 75 m e 90 m (Fig. 4).

Per evitare la sovrapposizione degli effetti di detonazioni adiacenti e/o scoppi su manto nevoso non-indisturbato, si è optato per un interasse tra le cariche di 15 m.

La sequenza di tiro è stata scelta in funzione dell'altezza di scoppio e, successivamente, della quantità di carica. Ad esempio, il primo set di cariche esplose sono state di Gelatina Dinamite, a quota -0.5 m (in manto nevoso), con sequenza di cariche di 3 kg, 2 kg, 1 kg, 0.5 kg sulla LINEA 1 (Fig 5).

Le altre a seguire con incremento di quota: 0 m (carica appoggiata), 0.5m e 1m dal suolo. L'intervallo temporale minimo di scoppio tra ciascuna carica è stato di 2 min con innesco tramite detonatore a fuoco.

Le tecniche di indagine

Per stabilire gli effetti di un sovraccarico impulsivo sul manto nevoso sono stati utilizzati il rilievo nivologico, georadar, geosi-

smico (pre e post scoppio), mentre per la misura della sovrappressione indotta dagli esplosivi in aria, si è usufruito del rilievo sismico ed acustico durante le detonazioni.

I rilievi nivologici

I due profili nivologici pre detonazione sono stati eseguiti nel manto indisturbato (compilazione MOD 4 AINEVA), uno interno e l'altro esterno alla linea di tiro. Essi hanno individuato un manto nevoso di altezza di ca. 1 m con 30 cm di neve fresca (dovuta alla nevicata della sera prima) seguita da una crosta da fusione e rigelo. A 50 cm di profondità, vi era un'alternanza di lenti di ghiaccio di spessore massimo intorno ai 5 cm (Fig. 6); la base del manto nevoso era composta da uno strato di ghiaccio.

Al di là dello strato di neve fresca di densità pari a 70 kg/m^3 , il manto nevoso presentava una densità uniforme compresa tra i 220 e i 290 kg/m^3 . Inoltre, per ciascun punto di scoppio della linea di tiro e ogni 5 m dello stendimento geosismico, sono state misurate l'altezza del manto nevoso e la posizione dell'alternanza di lenti di ghiaccio, evidenziando uno spessore del manto nevoso nell'area di rilievo compreso tra i 60 e i 150 cm. Il rilievo nivologico post-detonazioni è stato eseguito nella sezione radiale dei crateri generati, ad esclusione di quelli generati da cariche pari a 2 kg di esplosivo (per motivi di tempo). Per ciascun cratere sono stati misurate (Fig. 7): dimensione (diametro massimo D_{max} e minimo D_{min}), profondità (Hexpl), forma della sezione, densità del manto nevoso circostante, temperatura del manto nevoso circostante; è stato inoltre eseguito il prelievo di campioni di neve per l'analisi chimica.

Il rilievo georadar

Le indagini elettromagnetiche, di tipo georadar, sono state eseguite nel manto indisturbato (Fig. 8) e, successivamente agli scoppi, nel corridoio adiacente i crateri generati. A completezza e per confronto con il rilievo geosismico, è stata, inoltre, eseguita anche una traccia radar lungo lo stendimento sismico.

L'obiettivo di queste indagini è individuare le variazioni delle caratteristiche del manto nevoso (in particolare la stratigrafia) dovute al sovraccarico indotto.

Le indagini geofisiche radar permettono, infatti, di definire con elevata capacità risolutiva (decimetrica) le stratificazioni del manto nevoso, di stimare le variazioni di spessore e la densità.

L'acquisizione dei dati georadar è avvenuta secondo due diverse modalità:

- per riflessione semplice che ha permesso di eseguire una serie di profili di lunghezza variabile tra 75 m e 100 m, prima e dopo il brillamento delle cariche, in prossimità dei punti di scoppio (Fig. 4 – linea di esplosione);
- WARR (Wide Angle Reflection and Refraction) che, limitatamente ad un singolo profilo di lunghezza di ca. 30 m (Fig. 4 – linea sismica), ha consentito la stima delle proprietà dielettriche del manto nevoso e ha permesso di ricavare indirettamente il valore della densità della neve.

Il rilievo georadar è stato eseguito con un sistema impulsato IDS accoppiato con un'antenna GSSI da 900 MHz, il tutto controllato mediante un computer portatile. La frequenza di 900 MHz permette lunghezze d'onda nella neve pari a ca. 20 cm, e, quindi, una buona capacità risolutiva verticale (decimetrica).

La profondità utile di indagine è legata a caratteristiche strumentali (potenza irradiata, frequenza, rumore elettromagnetico del sistema, ecc...), ed alle caratteristiche del mezzo (impedenza elettromagnetica, stratificazione del manto nevoso, presenza di acqua libera, ecc...). Nel caso specifico di neve in condizioni asciutte (ridotta attenuazione del segnale radar), l'acquisizione a 900 MHz permette di raggiungere profondità di indagine di qualche metro e di



Fig. 7 - Misure della geometria del cratere originato dall'esplosione.



Fig. 8 - Esecuzione del profilo georadar lungo la linea di tiro nella fase di pre esplosioni.

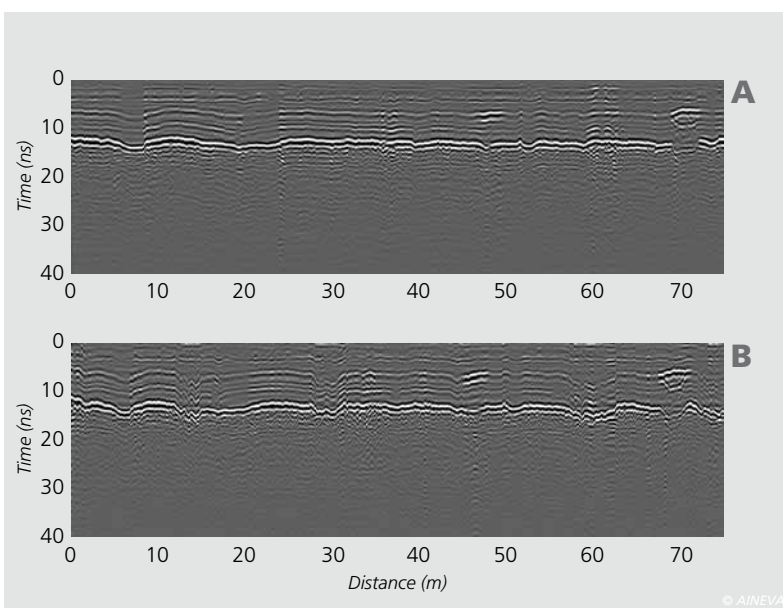


Fig. 9 - Tracce georadar elaborate, acquisite lungo la LINEA 1 prima e dopo il brillamento delle cariche esplosive. Come si può notare a seguito dell'esplosione è avvenuto un compattamento del manto nevoso anche in profondità nelle vicinanze della carica esplosiva.

identificare in modo accurato il contatto tra il manto nevoso e il materiale sottostante. I profili georadar sono stati georeferenziati attraverso l'utilizzo di un GPS-Topcon 2 direttamente collegato al sistema di acquisizione, georeferito in WGS84 in coordinate UTM. L'elaborazione dei dati georadar pre scoppi in riflessione semplice permette di valutare la stratificazione del manto nevo-

so e di calibrare il valore di velocità delle onde elettromagnetiche nel manto nevoso mediante confronto tra i tempi di percorso del segnale georadar e lo spessore misurato puntualmente mediante sonda manuale. In Fig. 9 sono riportate le tracce elaborate dalle sezioni georadar acquisite lungo la LINEA 1 prima delle esplosioni (a) e a seguito delle esplosioni (b).

Le esplosioni sono in corrispondenza delle coordinate 0 m, 15 m, 30 m, 45 m, 60 m, 75 m: si nota come la riflessione più intensa sia in corrispondenza del tempo di andata e ritorno del segnale a ca. 12-14 ns corrispondente alla interfaccia tra la neve e il substrato.

Sono evidenti le stratificazioni del manto nevoso: la riflessione a 5-6 ns si riferisce all'effetto della presenza di uno strato di spessore centimetrico di crosta di ghiaccio.

Fig. 10 - Preparazione stendimento geosismico. Sullo sfondo la linea di tiro.



Le misure georadar di tipo WARR sono state elaborate interpretando gli eventi dispersivi presenti nei radargrammi dovuti alla propagazione di onde guidate nel manto nevoso.

Questa modalità di elaborazione è finalizzata a definire una serie di profili verticali di velocità delle onde elettromagnetiche. L'elaborazione delle onde guidate ha evidenziato la presenza di un possibile strato di ghiaccio dello spessore di ca. 0.4-0.5 m al di sotto del manto nevoso. Con l'analisi di calibrazione e delle onde guidate è possibile stimare una velocità media nel manto nevoso di ca. 0.245-0.26 m/ns, corrispondente a una permittività elettrica di ca. 1.4-1.45, tipica della neve asciutta. Tali valori corrispondono a valori medi di densità del manto nevoso pari a ca. 375-400 kg/m³.

Il Rilievo geosismico

Le indagini sismiche erano finalizzate a caratterizzare le proprietà meccaniche del manto nevoso e dello strato di ghiaccio sottostante (i.e., modulo di taglio e il coefficiente di Poisson).

L'acquisizione dei dati sismici pre detona-

zioni è avvenuta lungo il profilo della linea sismica secondo le seguenti modalità:

- predisposizione di una linea sismica con 24 geofoni e geofoni verticali (frequenza propria 30 Hz) con spaziatura pari a 1 m;
- energizzazione mediante massa battente di ca. 1.5 kg su piastra in teflon di dimensioni 0.5 m x 0.5 m;
- acquisizione dei dati mediante un sismografo Geode della Geometrics a 24 canali.

Inoltre si è proceduto alla registrazione della propagazione del campo d'onda generato a seguito dell'esplosione di alcune delle cariche di esplosivo. Il monitoraggio sismico del brillamento delle varie cariche è stato effettuato con uno stendimento di 24 geofoni spazati di un metro (Fig. 10). Per quanto riguarda i risultati, sembra piuttosto difficoltoso stimare le proprietà meccaniche del manto nevoso dall'indagine geosismica a causa di una limitata risoluzione (basse frequenze): non si è riusciti a stimare le proprietà del manto nevoso di spessore così ridotto (ca. 1 metro).

Misure vibrometriche

Per la registrazione delle vibrazioni indotte dagli esplosivi, sono state utilizzate due stazioni di monitoraggio sismico-acustico, ciascuna dotata di 1 geofono triassiale (velocimetro) ed 1 microfono esterno.

Le loro principali caratteristiche sono riportate nella tabella di Fig. 11.

La strumentazione è stata collocata in prossimità dei tiri di prova (56 - 180 m); il corretto accoppiamento tra geofoni e neve è stato garantito grazie a tre punte d'acciaio (spike) montate su ciascun geofono; in tal modo è stata assicurata la corretta trasmissione delle onde sismiche, nonché la posizione orizzontale dei geofoni (Fig. 12).

I dati rilevati consistono nella registrazione vibrometrica nelle tre componenti sismiche più quella acustica indotta dai singoli brillamenti. In Figura 13 si riporta un esempio di vibrogramma rilevato dallo strumento GEO1 e nella tabella di Fig 11 si forniscono i dati monitorati dalla stazione di misura.

Modello di stazione di monitoraggio		Intervallo di misura	Intervallo di misura frequenza	Numero campionamenti max
THOMAS INSTR. VMS 2000	GEO1	± 228 mm/s	2-250 Hz	1024
NOMIS Mini SUPERGRAPH	GEO2	± 260 mm/s	2-400 Hz	1024

Fig. 11 - Principali caratteristiche dei geofoni utilizzati.

© AINEVA



Fig. 12 - Stazione di monitoraggio e particolare del posizionamento di un geofono.

© AINEVA

A causa delle basse temperature, uno degli strumenti non ha acquisito i dati vibrometrici.

Rilievo acustico

Il rilievo acustico è stato eseguito per la valutazione della sovrappressione aerea indotta dagli esplosivi al fine di un confronto con l'interferenza con il manto nevoso. Gli strumenti utilizzati per le rilevazioni acustiche sono due Modular Precision Sound Analyser Bruel & Kjaer, Type 2260, tarati presso il centro accreditato Modulo Uno SpA e dotati di un software interno Enhanced Sound Analysis Software BZ 7206 versione 2.1.

Le caratteristiche delle stazioni di monitoraggio acustico sono riportate nella tabella di Fig. 14 ed in Figura 15 è mostrato il posizionamento del fonometro impiegato. I dati raccolti nel corso della campagna di misura sono stati opportunamente elaborati con Sound Analysis Software BZ 7210/BZ7219 e Enhanced Sound Analysis Software BZ 7260.

L'indicatore utilizzato è stato il livello di picco acustico lineare (Fig. 16).

CONCLUSIONI ED ASPETTATIVE

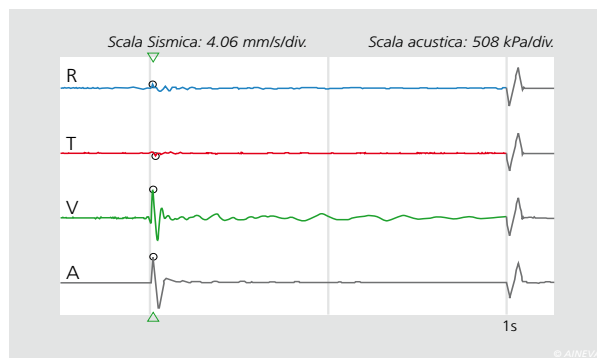
Questa prima campagna di sperimentazione ha fornito informazioni essenziali sulla reale applicabilità di strumentazione classica per la misura dei cambiamenti indotti al manto nevoso da esplosioni. Ne sono esempio i risultati positivi del rilievo georadar e lo scarso successo del rilievo geosismico con spessore di manto nevoso limitato ad 1 m.

In secondo luogo, le indagini in situ, hanno permesso di comprendere quali parametri debbano essere misurati al fine del monitoraggio del manto nevoso pre e post esplosioni ma che, ad oggi, non si è in grado di misurare a causa della mancanza di una strumentazione ad hoc. Riguardo i rendimenti delle differenti tipologie di esplosivo per il distacco artificiale, nei prossimi inverni le prove verranno ripetute con differenti tipologie di esplosivi in manti nevosi diversi (invernale, primaverile e in ghiaccio).

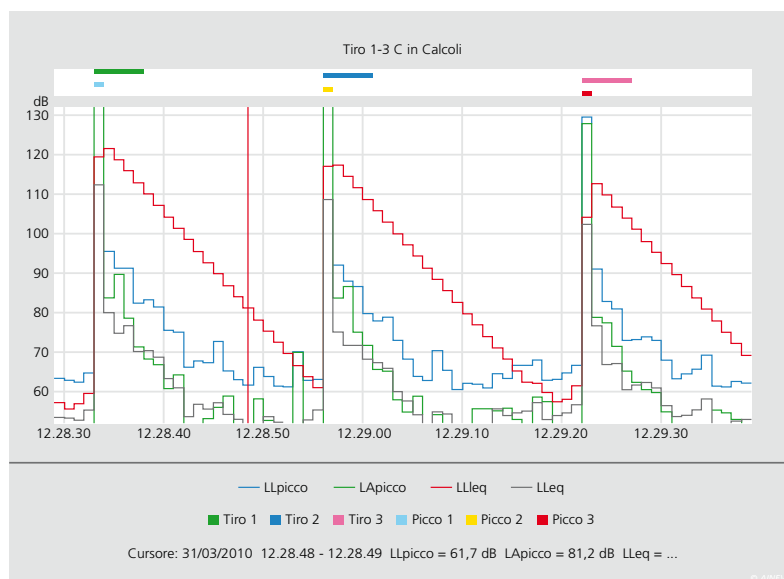
Oltre allo sviluppo della strumentazione ai fini del monitoraggio del manto nevoso pre e post scoppi, i prossimi obiettivi della ricerca sono principalmente la correlazione tra i parametri geometrici dei crateri e le caratteristiche della detonazione (ai fini della definizione della carica critica) e la relazione tra le misure di vibrazioni ed acustiche per la stima del rendimento degli esplosivi in manto nevoso.

Bibliografia

- Vassale A., 2004. La carica Vassale, Neve e Valanghe, Dicembre 2004, n. 53.
- Berthet Rambaud P., Noel L., Farizy B., Neuville J.M., Constant S., Roux P., Bassetti E., 2009. Daisy Bell, Neve e Valanghe, Agosto 2009, n. 67.
- Cardu M., Chiaia B., Chiaravallotti L., Cornetti P., Frigo B., 2007. Modello meccanico per l'innesco delle valanghe di neve. GEAM - Geingegneria Ambientale e Mineraria. XLIV. 1: 23 - 34.
- Cresta R., 2000. L'esplosivo e la neve. CAI Ed. pp. 147.
- Frigo B., Chiaia B., Cardu M., Giraudi A., Godio A. and Rege R. Experimental analysis of snowpack effects induced by blasts, Proceedings of ISSW 2010, October 17- 22nd, 2010, Lake Tahoe - California (USA), pagg. 66-72.
- Godio A., 2008. Performance and experimental evidence of GPR in density estimates of snowpack. Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata, 49, 279-298.



Modello di stazione di monitoraggio	2260 B&K
Applicazione	BZ7206 Versione 2.1
Larghezza banda	1/3 ottava
Nr. picchi	140,0 dB
Campo	51,6-131,6 dB
Velocità campionamento	0.00.01
Parametri in banda larga	Tutti
Parametri dello spettro	Tutta la statistica
Numero serie strumenti	2131739
	2350065
Numero serie microfoni	2097065
	2345609
Ingresso	Microfono
Livello di Calibrazione	94,0 dB
Sensibilità	-25,5 dB



Dall'alto verso il basso, fig. 13 - Brillamento scoppio 5, realizzato mediante 2 kg di Gelatina Dinamite; andamento della registrazione vibrometrica secondo le tre componenti sismiche e quella acustica; fig. 14 - Principali caratteristiche dei fonometri utilizzati; fig. 15 - Stazione di monitoraggio acustica e particolare del microfono di acquisizione.

Fig. 16 - Un esempio di andamenti dei picchi acustici riferiti alla Gelatina Dinamite misurati dal rilievo acustico.

ARRAY INFRASONICO di STAFFAL

sperimentazione di array infrasonici alle pendici del massiccio del Monte Rosa (Gressoney-La-Trinité) per il monitoraggio e la prevenzione delle valanghe

INTRODUZIONE

Una valanga è una sorgente molto efficace di onde infrasoniche che vengono prodotte durante le fasi di accelerazione del flusso. Queste consistono in onde acustiche compressionali che si propagano in atmosfera e che sono del tutto analoghe al suono ma con frequenza più bassa (< 20 Hz).

Tuttavia, sebbene l'infrasuono prodotto dalle valanghe sia ben documentato e descritto in letteratura (Bedard, 1994; Naugolnykh and Bedard, 2002), il suo uso come sistema di monitoraggio è, ad oggi, poco diffuso (Chritin et al., 1996; Comey and Mendenhall, 2004; Scott et al., 2007). Questo è dovuto principalmente al fatto che numerose sorgenti naturali (vento, microsisma oceanico, terremoti) e antropiche (attività industriali, traffico, aerei, ...) producono onde infrasoniche, rendendo l'interpretazione e l'identificazione dei singoli segnali molto complessa.

Questa ambiguità è aggravata dal fatto

che un'onda infrasonica si può propagare per grandi distanze (decine/centinaia di km), anche in funzione della direzione e dell'intensità del vento, rendendo difficile la discriminazione tra le varie sorgenti.

Negli ultimi anni, l'impiego di array infrasonici, che consistono in 3 o più sensori posizionati nello spazio secondo una certa geometria ed utilizzati come un'antenna, ha contribuito molto al miglioramento dell'analisi infrasonica delle valanghe (Scott et al., 2007). L'utilizzo di un array, rispetto ad un sensore singolo, ha infatti il grande vantaggio di aumentare il rapporto segnale/rumore riducendo così drasticamente le ambiguità nel riconoscimento dei segnali. Ad oggi, il monitoraggio infrasonico delle valanghe è però ancora limitato ad aree di pochi km^2 (Scott et al., 2007), in quanto l'impiego a più ampio raggio ($>$ di alcuni km) è fortemente limitato dalla presenza di numerose sorgenti di infrasuono oltre alle valanghe.

Negli ultimi due decenni l'acustica infrasonica ha vissuto uno sviluppo notevole in termini di sensoristica, di strategie per l'abbattimento del rumore e di procedure di analisi. Come conseguenza l'infrasuono rappresenta uno strumento di monitoraggio e ricerca sempre più efficace per un'ampia varietà di fenomeni, tra cui le esplosioni e i processi industriali (Cerrina et al., 2009), le esplosioni vulcaniche (Ripepe and Marchetti, 2002), i flussi di massa (Ripepe et al., 2010), gli impatti di meteoriti (Evers and Haak, 2002), fino ai processi atmosferici (vedi Infrasound Studies for Atmospheric Studies).

L'ARRAY INFRASONICO DI STAFFAL

Durante la stagione invernale 2009-2010, il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze, Centro di Competenza della Protezione Civile Nazio-

*Nella pagina a fianco,
installazione dell'array
infrasonico a Staffal.*



Fig. 1 - DTM dell'area di studio con riportate la posizione (stella) e geometria (riquadro b) dell'array infrasonico a 4 elementi (S1-S4) installato nelle Alpi Occidentali a Staffal (Gressoney-La-Trinité, AO), all'interno del comprensorio sciistico del Monterosa Ski. Il quadrato nero indica l'area di interesse per la Figura 3.

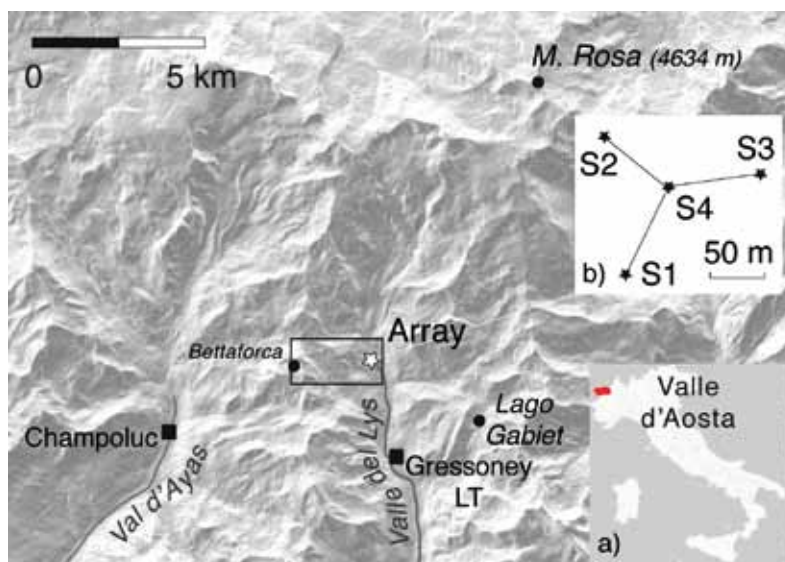


Fig. 2 - Installazione dell'array infrasonico: a) La stazione centrale di acquisizione dati è stata alimentata con 2 pannelli solari da 85 W. I sensori infrasonici, alloggiati all'interno di scatole coibentate (b), ed il cavo (c) sono installati sotto la neve.



nale, in accordo con la Regione Autonoma della Valle d'Aosta, Ufficio Neve e Valanghe, ha installato un array infrasonico nei pressi di Staffal (Gressoney-La-Trinité) alle pendici del massiccio del Monte Rosa, ad una quota di circa 2000 m s.l.m. (Fig. 1). L'array si compone di 4 elementi disposti secondo una geometria triangolare con un'apertura (massima distanza tra due elementi) di ca. 150 m (Fig. 1). Ciascun elemento dell'array è dotato di un pressimetro differenziale iTem-prs0100a (HYPERLINK "<http://www.item-geophysics.it>" www.item-geophysics.it), con una sensibilità di 25 mV/Pa nella banda di frequenze 0.001-50 Hz ed un livello di rumore pari a 0.01 Pa (Marchetti et al., 2009). Questi sensori consentono di coprire un'ampia banda di

frequenze con una buona sensibilità ed un basso consumo (ca. 60 mW). I singoli sensori dell'array sono stati connessi ad un unico digitalizzatore a 24 bit (Guralp CMG-DM24, Fig. 2a), campionati a 100 Hz e memorizzati in locale. La sincronizzazione oraria è garantita da ricevitore GPS. Il basso consumo (ca. 2.5 W) del sistema ha permesso il funzionamento durante tutta la stagione invernale con due pannelli solari da 85 W. Il sistema è stato progettato anche per la trasmissione dei dati in tempo reale. L'efficienza e la funzionalità di un array infrasonico dipendono molto, oltre che dall'utilizzo di sensori appropriati, dalla scelta del sito di installazione, dalla corretta progettazione della geometria ed apertura dell'array, che dipende dalla frequenza

dei segnali che si vogliono analizzare, e dall'utilizzo di tecniche appropriate per la riduzione del rumore acustico ambientale. L'array di Staffal è stato installato all'interno di un bosco ed i sensori di pressione, alloggiati all'interno di scatole ermetiche, sono stati ricoperti di neve (Fig. 2). Questi semplici accorgimenti hanno garantito un basso livello di rumore e quindi un'ottima efficienza del sistema.

LA TECNICA DI ARRAY

Le tecniche di analisi di array si basano sull'assunzione che un segnale deve essere registrato con un certo grado di coerenza ai diversi sensori del sistema, mentre il rumore non mostra nessuna correlazione. Per l'array infrasonico di Staffal abbiamo applicato la tecnica di correlazione multi-canale (multi-channel correlation analysis, MCCA) che consente, in base al grado di correlazione (coerenza) dei tracciati registrati dai quattro elementi dell'array, di identificare un segnale infrasonico e di fornire la sua direzione di provenienza (back-azimuth) e velocità di propagazione (velocità apparente).

Questi due parametri costituiscono la chiave per la caratterizzazione della sorgente infrasonica. Il *back-azimuth* identifica la direzione di provenienza del segnale e fornisce quindi una localizzazione azimutale della sorgente, mentre la *velocità apparente* (c) è la velocità di propagazione misurata che dipende dall'angolo di incidenza del segnale infrasonico e fornisce quindi una stima della quota. Velocità apparenti molto elevate ($c > 400$ m/s) sono coerenti con angoli di incidenza prodotti da sorgenti ad alta quota (fenomeni atmosferici, aerei) e possono così essere ignorati. Inoltre, una variazione della velocità apparente può indicare una variazione di quota e quindi una sorgente in movimento.

Nel caso di una valanga ci aspettiamo una diminuzione graduale della velocità apparente durante il percorso.

Nella prima fase della sperimentazione, sono state analizzate le registrazioni effettuate durante le operazioni di bonifica che hanno prodotto valanghe artificiali, al fine di caratterizzare i parametri infrasonici di

una sorgente valanghiva. L'analisi è stata poi applicata alla registrazione infrasonica continua relativa a tutto il periodo di indagine (2 Dicembre 2009 - 28 Aprile 2010) con lo scopo di estrarre automaticamente tutti i possibili eventi infrasonici compatibili con le valanghe. La procedura sviluppata richiede tempi di calcolo molto brevi e può essere applicata per il monitoraggio in tempo reale.

ANALISI DI ARRAY DELLE VALANGHE ARTIFICIALI

Una serie di 4 esplosioni mediante carica Vassale (dinamite Goma 2 eco) effettuate il 4 Dicembre 2009 (Bettaforca) ad una distanza di 2 km dall'array (Fig. 3), hanno innescato 4 scaricamenti superficiali ed una valanga di medie dimensioni.

La sequenza, di cui sono disponibili riprese video dall'elicottero (Fig. 4), è stata rilevata perfettamente dall'array (Fig. 5).

Le 4 esplosioni sono caratterizzate da transienti di pressione con ampiezza elevata (1-2 Pa), breve durata (0.5 s) ed elevato contenuto in frequenza (5-20 Hz), mentre gli scaricamenti prodotti subito dopo le detonazioni sono registrati dall'array come transienti di bassa ampiezza (0.1 Pa), 4-6 secondi di durata e contenuto in frequenza più elevato (ca. 20 Hz). La quarta esplosione ha innescato, inoltre, una valanga di medie dimensioni che ha prodotto un segnale infrasonico emergente, di lunga durata (ca. 20 sec) e bassa ampiezza (0.1 Pa), e contenuto in frequenza nettamente inferiore (ca. 3 Hz).

Il confronto tra il tempo di ritardo tra la detonazione e l'inizio della valanga, valutato dalle riprese video (Fig. 4) e dai tracciati infrasonici (Fig. 5), evidenzia come la valanga generi infrasuono non subito dopo l'innescò, ma solamente quando il flusso aumenta in volume ed accelera.

Le 4 esplosioni e la valanga sono chiaramente identificate, e localizzate, dall'analisi di array (Fig. 6) che viene applicata su porzioni progressive di dati infrasonici.

Per ogni finestra di analisi si definisce una

detezione in caso si identifichi un segnale, e si associa ad essa un valore di *velocità apparente* e di *back-azimuth*.

Di conseguenza, si possono ottenere detezioni multiple per un singolo evento, in relazione alla durata del fenomeno e della finestra di analisi. Nessuna detezione di segnale coerente è invece associata ai 4 scaricamenti superficiali. Questo è da attribuire al contenuto in frequenza (> 20 Hz) di questi segnali, ben al di sopra della risoluzione dell'array.

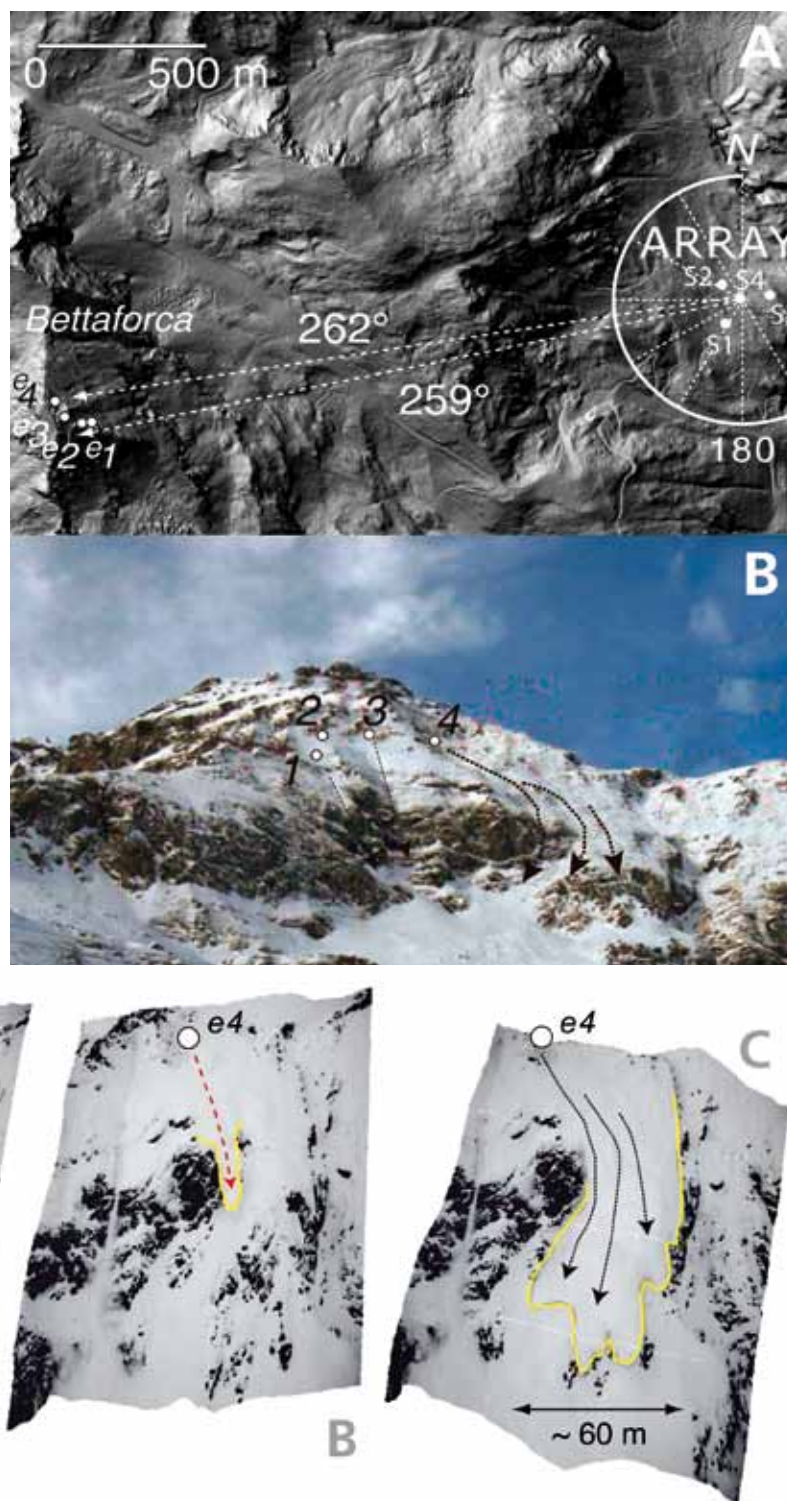
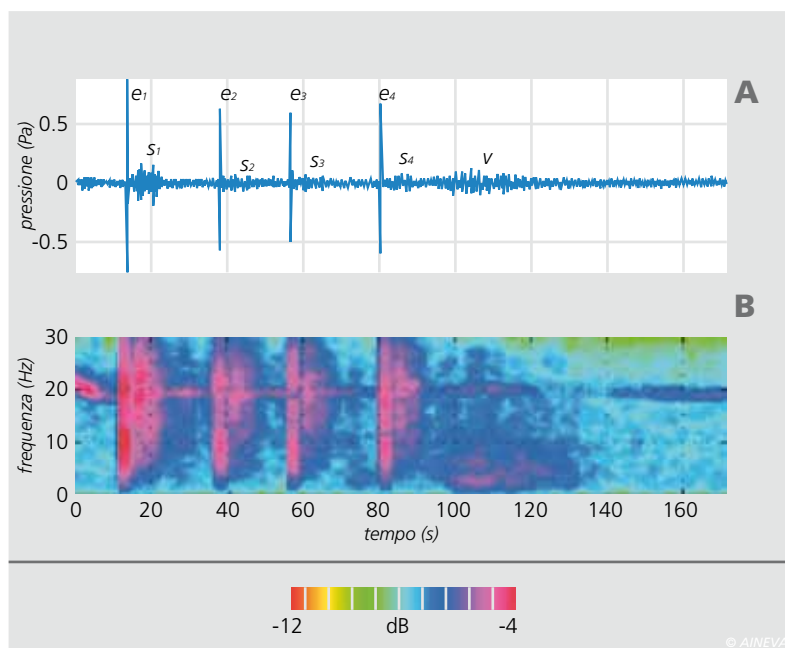


Fig. 3 - a) DTM dell'area evidenziata in figura 1 che mostra la posizione dei 4 elementi dell'array (S1-S4) e delle 4 esplosioni (e1-e4) eseguite il 4 Dicembre 2009 a Bettaforca, con un back-azimuth rispetto all'array di 259-262°N (freccie tratteggiate). b) Immagine che mostra la posizione delle 4 esplosioni, il percorso di due scaricamenti superficiali innescati dalle esplosioni 1 e 3 e quello di una valanga di medie dimensioni innescata dalla quarta carica.

Fig. 4 - Tre immagini (a, b, c) estratte dal video effettuato dall'elicottero relativo alla valanga innescata a Bettaforca il 4 Dicembre 2009 (Figura 3). Il fronte del flusso di valanga è segnato dalla linea gialla, mentre il percorso dalle linee tratteggiate. In (a) la freccia tratteggiata indica il percorso dello scaricamento superficiale innescato dalla terza esplosione.

Fig. 5 - Traccia (a) e spettrogramma (b) dell'infrasuono prodotto dalle 4 esplosioni (e1-e4), dai 4 scaricamenti (s1-s4) e dalla valanga (v) del 4 Dicembre 2009 (Figura 3) e registrato dall'array.



dall'array, hanno prodotto prevalentemente piccoli scaricamenti superficiali analoghi a quelli mostrati in Figura 6.

Per identificare questi segnali ad alta frequenza è necessario ridurre l'apertura dell'array e adottare una maggiore frequenza di campionamento del segnale. Con questi accorgimenti, l'array infrasonico può essere impiegato per il monitoraggio, anche in tempo reale, dell'efficacia delle operazioni di bonifica.

ATTIVITÀ INFRASONICA NEL PERIODO DI INDAGINE

Durante l'inverno 2009-2010, l'analisi dei dati infrasonici dell'array ha permesso di individuare 343 segnali infrasonici prodotti sia da valanghe che da altri fenomeni naturali (microsisma) ed antropici (esplosioni, DaisyBell, traffico, aerei etc.).

L'analisi statistica degli eventi mostra chiaramente due classi di segnali (Fig. 7).

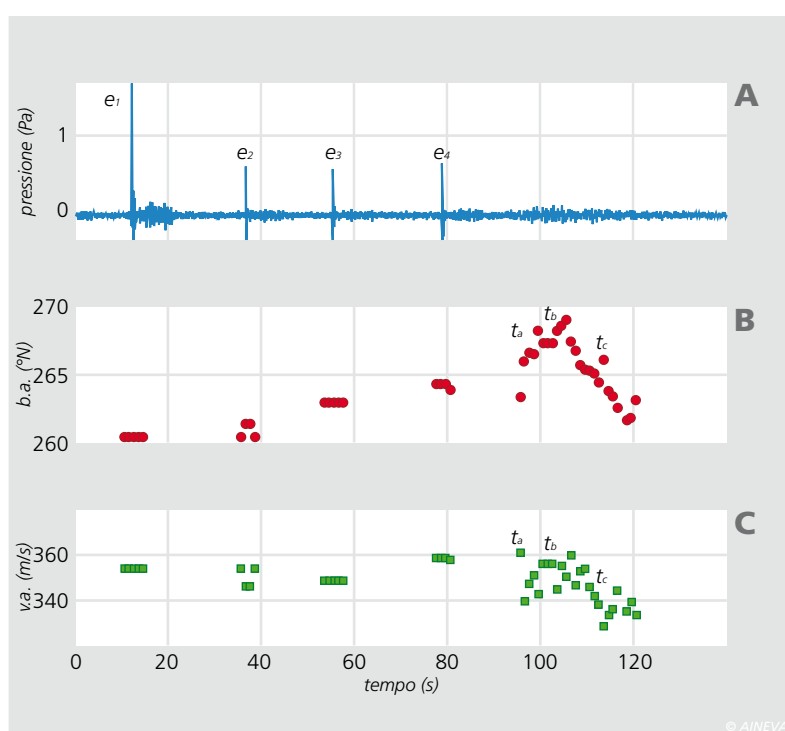
La prima classe (Fig. 8, rosso) è caratterizzata da un'ampiezza elevata (> 0.5 Pa), una breve durata (< 5 s), una frequenza elevata (> 5 Hz) ed un tempo di accadimento concentrato nelle prime ore del mattino. Questa classe comprende gran parte dei segnali prodotti dalle esplosioni effettuate nell'alta valle del Lys, in particolare nei settori di bonifica del comprensorio del Monterosa Ski (Fig. 9a), dove le operazioni sono normalmente programmate prima dell'apertura degli impianti, e all'interno del sito sperimentale della P.ta Seehore.

La seconda classe di eventi (Fig. 8, blu) è composta da segnali con ampiezza media più bassa (< 0.5 Pa), maggiore durata (> 5 s) ed un basso contenuto in frequenza (1-4 Hz).

Queste caratteristiche sono compatibili con quelle attese per l'infrasuono prodotto dalle valanghe e, infatti, questa classe include anche la valanga innescata alla Bettaforca il 4 dicembre 2009 (Fig. 5).

Anche il tempo di accadimento di questi eventi, concentrati prevalentemente nelle ore pomeridiane (12:00-16:00 GMT), durante la massima insolazione diurna, è compatibile con quanto atteso per valan-

Fig. 6 - Analisi di array dell'infrasuono prodotto durante le operazioni di bonifica.
a) Forma d'onda.
b) Back-azimuth.
c) Velocità apparente.
I tre tempi (t_a , t_b e t_c) corrispondono alle immagini mostrate in Figura 4.



L'analisi di array mostra una graduale variazione del back-azimuth da 260°N a 264°N per le 4 esplosioni e, parallelamente, una variazione della velocità apparente tra 345 e 360 m/s. Il back-azimuth infrasonico è congruente con le posizioni delle 4 esplosioni che formano con l'array un angolo tra 259.8 e 262.2°N (Fig. 3), indicando un'accuratezza della procedura di localizzazione pari a ca. 1° , che corrisponde alla distanza di 2 km ad una precisione di ca. 35 m. Le detezioni relative al segnale infrasonico generato dalla valanga mostrano un back-azimuth ed una velocità apparente

variabile ed indicativo di una sorgente in movimento. Mentre la velocità apparente decresce progressivamente da 360 a 335 m/s, si evidenzia un'iniziale migrazione del back-azimuth da 267°N a 270°N e una successiva inversione di tendenza fino a 262°N . I risultati dell'analisi sono coerenti con una sorgente in movimento verso il basso e che ruota in senso orario, perfettamente in accordo con quanto osservato dalle registrazioni video (Fig. 4).

Durante i 5 mesi di monitoraggio le varie operazioni di distacco artificiale che sono state eseguite ad una distanza di 0.8 - 3 km

ghe di neve bagnata innescate per brusco innalzamento della temperatura (Baggi and Schweizer, 2009). Questa seconda classe di eventi è associata a tre direzioni di provenienza (*back-azimuth*) prevalenti (Fig. 9b), compatibili con i settori N (325-360°N), W-SW (225-270°N) e S (170-180°N).

I segnali provenienti da N sono probabilmente da attribuire all'attività dei seracchi all'interno del ghiacciaio del Massiccio del M. Rosa, che producono segnali infrasonici simili a quelli osservati per le valanghe (Richardson et al., 2010).

Allo stesso modo, i segnali provenienti da S potrebbero essere in parte causati da attività antropiche (traffico, impianti di risalita) in quanto la direzione di provenienza coincide con l'asse della valle.

Gli ultimi invece, che provengono da un settore (W-SW) dove non sono attese sorgenti di rumore mentre sono probabili accumuli critici di neve sui pendii, potrebbero essere particolarmente rappresentativi dell'attività valanghiva nell'area.

CONFRONTO CON L'ATTIVITÀ VALANGHIVA

L'attività valanghiva nell'area di studio, per tutto il periodo di indagine, è documentata dalle osservazioni dirette dei distacchi naturali, effettuate giornalmente dai rilevatori

(Valt, 2010) per la realizzazione dei bollettini valanghe da parte dell'ufficio Neve e Valanghe della Regione Autonoma della Valle d'Aosta. Il rilievo è effettuato sulla base del Codice Meteorivometrico per il rilievo giornaliero (MOD. 1 AINEVA), in accordo con gli standard europei.

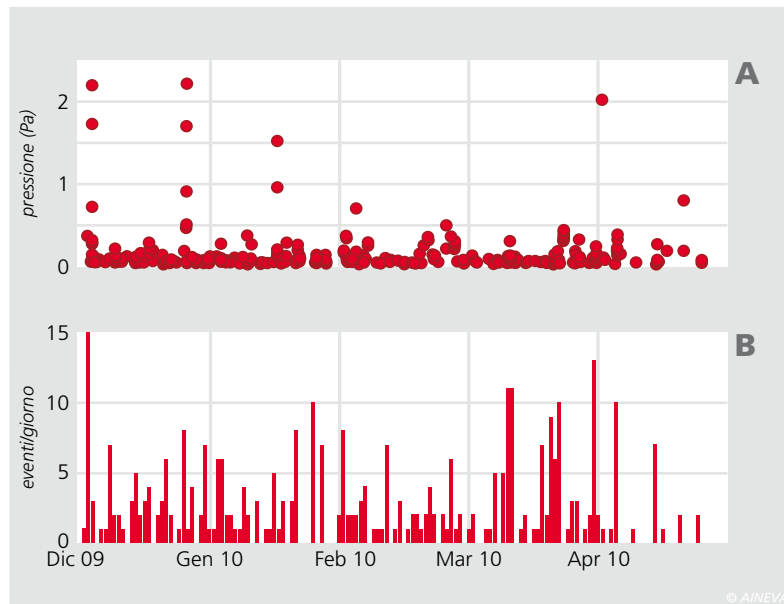


Fig. 7 - Pressione acustica (a) e numero di eventi al giorno (b) dei 343 eventi infrasonici identificati dall'analisi di array durante i 5 mesi di monitoraggio.

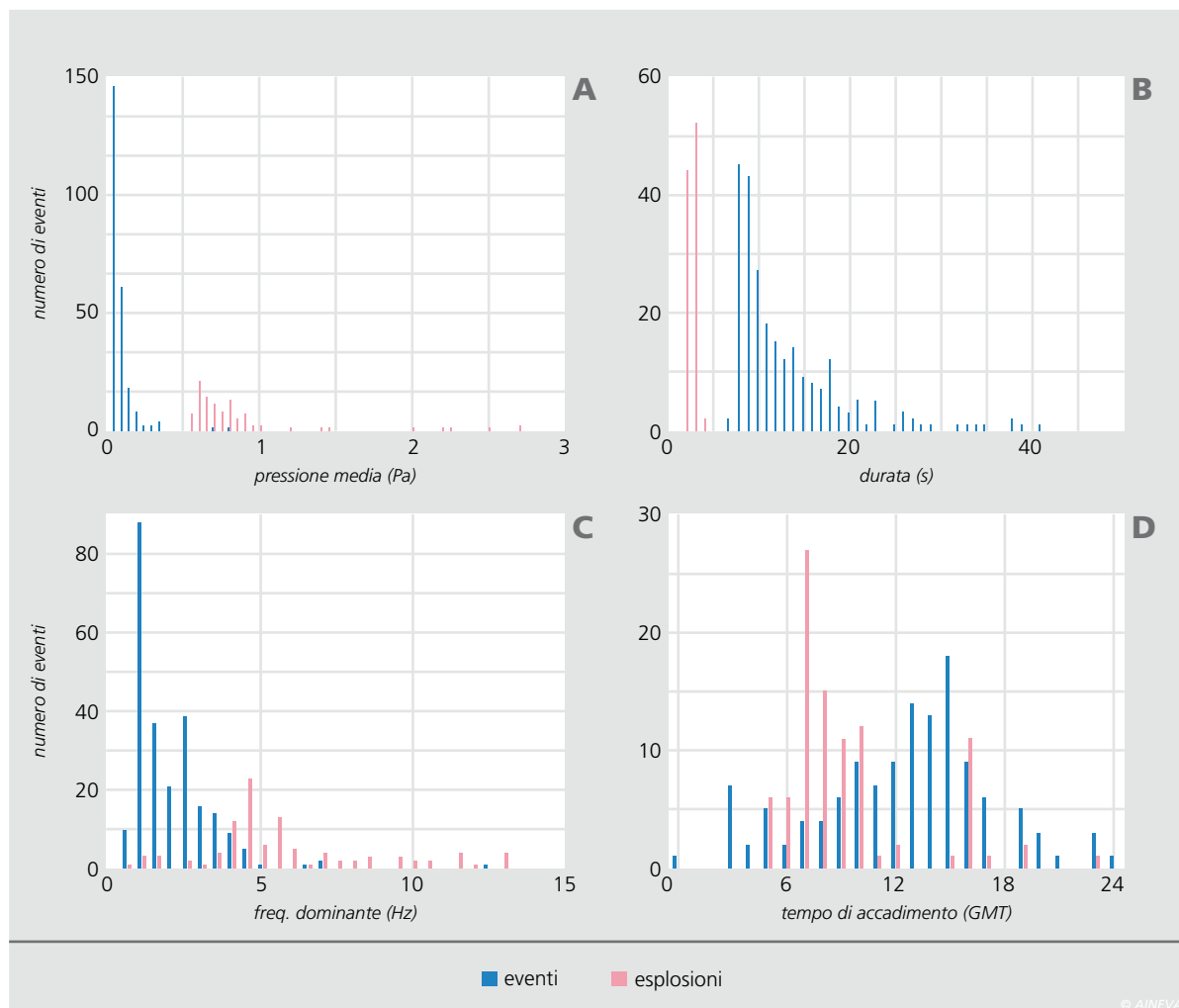
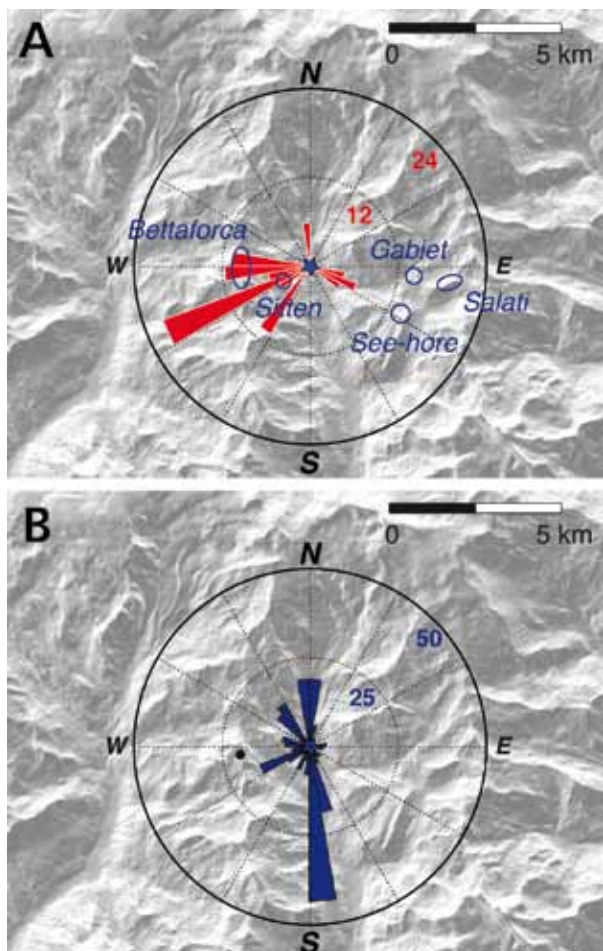


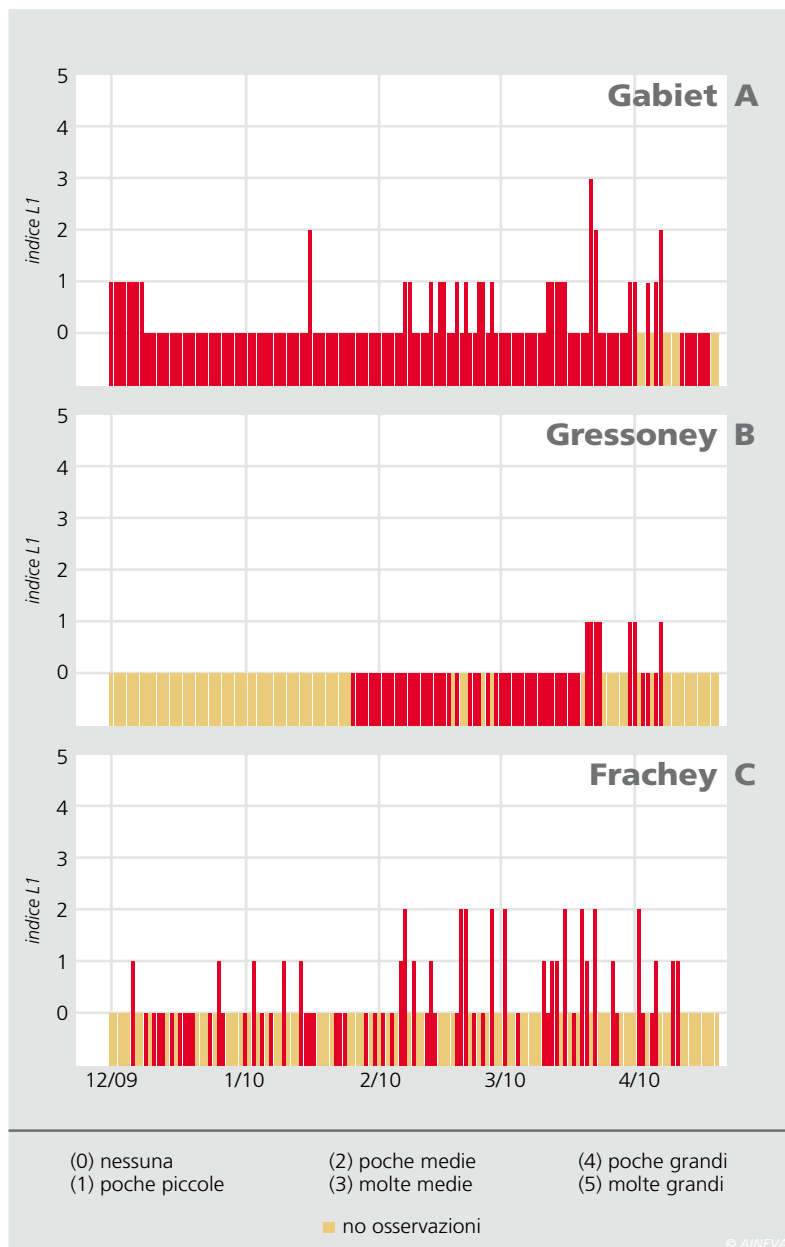
Fig. 8 - Istogramma della pressione media (a), della durata (b), della frequenza di picco (c) e dell'orario di accadimento (d) dei 343 eventi identificati dall'array nel periodo di monitoraggio (3 Dicembre 2009 - 28 Aprile 2010). In accordo con questi parametri gli eventi possono essere raggruppati in due classi separate di 99 (rosso) e 244 eventi (blu), compatibili rispettivamente con esplosioni e possibili valanghe.



Sopra, fig. 9 - Distribuzione del back-azimuth delle due classi di eventi mostrate in figura 8: 99 esplosioni (a) e 244 eventi infrasonici a bassa frequenza (b). I cerchi rossi in a) identificano i settori in cui è stata effettuata bonifica nel periodo d'indagine. Il cerchio nero (b) identifica la posizione della valanga artificiale del 4 Dicembre 2009.

In alto a destra, fig. 10 - Attività valanghiva nell'area di studio valutata dalle osservazioni giornaliere in tre punti di osservazione (Gabiet, Gressoney e Frachey), ed espresse in termini dell'indice L1 del MOD. 1 AINEVA. In grigio sono indicati i giorni in cui non sono state possibili le osservazioni.

In particolare, per valutare l'attività valanghiva da confrontare con l'attività infrasonica abbiamo utilizzato l'indice L1, che fornisce un'indicazione sulla quantità e sulla dimensione delle valanghe spontanee osservate. I settori di osservazione presi in considerazione sono 3, Gabiet, Gressoney-La-Trinité e Frachey (Fig. 10), i primi due posti nell'alta valle del Lys (Gabiet, Gressoney-La-Trinité) e il terzo nell'adiacente val d'Ayas. L'andamento dell'indice L1 dal 1 dicembre 2009 al 20 aprile 2010 per Gabiet e Frachey è grossomodo confrontabile (Fig. 10a e Fig. 10c) e caratterizzato da una concentrazione di valanghe tra febbraio ed aprile 2010. Per Gressoney-La-Trinité (Fig. 10b) le osservazioni iniziano da fine gennaio 2010 e le valanghe spontanee osservate sono limitate a soli 7 giorni tra marzo ed aprile. Per ottenere una descrizione quanto più possibile completa dell'attività valanghiva nell'area di indagine abbiamo integrato le osservazioni effettuate nei tre settori, considerando in ogni giorno il valore dell'indice L1 più elevato (Fig. 11a).



In linea di massima l'attività valanghiva nell'area è stata piuttosto contenuta. Durante questi 141 giorni, le avverse condizioni meteorologiche non hanno consentito l'osservazione in tutti i tre siti nel 19.8% del tempo (28 giorni), mentre nel 46.8% del tempo (66 giorni) non è stata osservata nessuna valanga spontanea (L1=0). In generale, l'attività valanghiva è stata di piccole dimensioni (L1=1 per 35 giorni), mentre poche valanghe di medie dimensioni (L1=2) sono state osservate in 11 giorni e solo il 22 marzo 2010 si sono osservati distacchi di medie dimensioni (L1=3). Il numero di eventi infrasonici a bassa frequenza mostra un andamento piuttosto irregolare nel tempo, con una media di 1.6 eventi al giorno, un valore massimo

di 11 eventi registrato il 12 marzo 2010, e numerosi picchi (Fig. 11b). Questo andamento dell'attività infrasonica, che risente pesantemente dell'effetto delle sorgenti antropiche provenienti da S, mostra una scarsa correlazione con l'attività valanghiva osservata nell'area. Rimuovendo gli eventi (98) provenienti dal settore S, i restanti 146 eventi infrasonici mostrano una distribuzione più omogenea nel tempo, con una media di 0.9 eventi al giorno e pochi picchi discreti (Fig. 11c). In questo caso il massimo di 8 eventi al giorno è raggiunto il 21 marzo 2010, immediatamente prima del picco di attività valanghiva spontanea, indicando una migliore correlazione tra le osservazioni ed il monitoraggio infrasonico.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

I risultati ottenuti durante questo primo anno di sperimentazione indicano che un array infrasonico, opportunamente progettato ed installato, rappresenta uno strumento efficiente per il monitoraggio delle valanghe fino a dimensioni medio-piccole in un raggio di alcuni km, con importanti possibili ripercussioni sui modelli previsionali e sulle valutazioni del pericolo valanghe. Un array, infatti, può fornire indicazioni sull'attività valanghiva spontanea, in termini di posizione e tempo di accadimento preciso dei fenomeni, che rappresentano parametri utilissimi per la validazione dei modelli previsionali degli scenari di pericolosità e di rischio nel breve termine 24-72 h (Chritin et al., 1996). Inoltre, le informazioni ottenute dall'analisi di array durante le attività di distacco artificiale indicano chiaramente che un array infrasonico può essere impiegato per il monitoraggio e controllo delle attività e per l'accertamento, anche in condizioni di scarsa visibilità, dell'efficacia degli interventi di bonifica con un'ottima precisione, senza esporre gli operatori ad ulteriori rischi. Tuttavia, gran parte degli eventi infrasonici identificati durante l'inverno 2009-2010 sono di natura incerta e potenzialmente legati a sorgenti diverse da quelle valanghive, indicando chiaramente che il metodo di analisi deve essere ancora affinato e validato. In questo senso, come prima cosa, l'ambiguità nell'identificazione dell'infrasuono

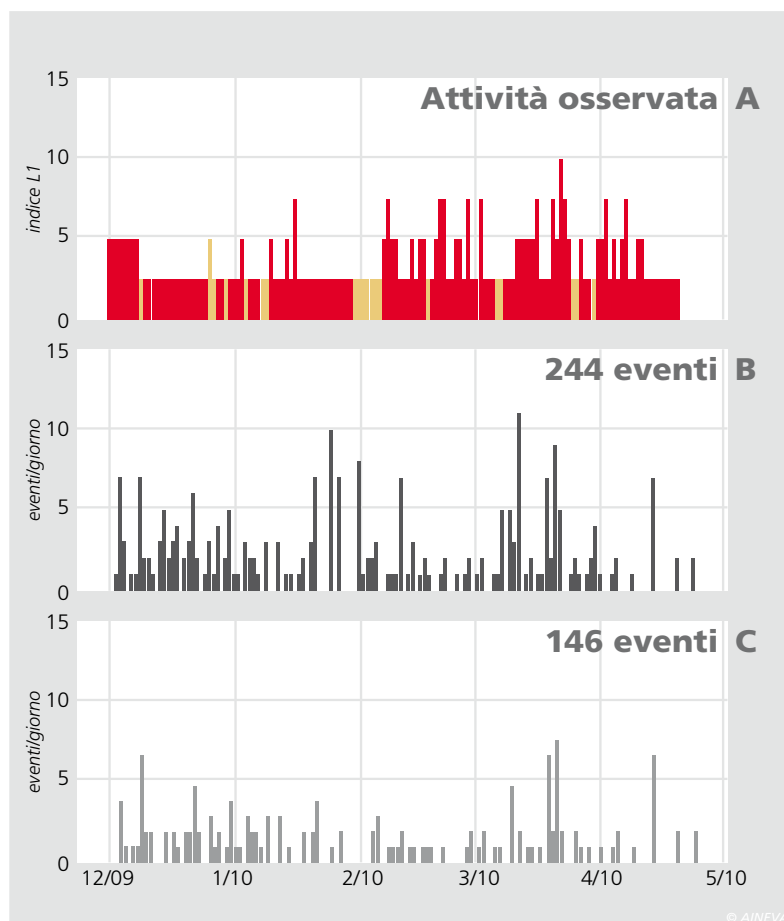


Fig. 11 - a) Sintesi dell'Attività Valanghiva nell'area di studio ottenuta integrando le informazioni dei tre punti di osservazione (Figura 10). In grigio sono indicati i giorni in cui non sono state possibili le osservazioni. Andamento giornaliero del numero di eventi infrasonici a bassa frequenza (b) rimuovendo gli eventi provenienti da Sud (c).

prodotto dalle valanghe può essere ridotta incrociando le informazioni di un array con osservazioni dettagliate di campagna per ottenere una migliore caratterizzazione dei segnali. Nonostante ciò, l'utilizzo di un solo array, che permette di identificare solo una direzione di provenienza, non fornisce una localizzazione precisa degli eventi e sarà sempre associato ad un certo grado di incertezza. Questa può però essere superata tramite l'utilizzo di due array o di un array

e più stazioni singole posizionate in modo opportuno, che permetterebbero di identificare in modo univoco l'infrasuono prodotto dalle valanghe. Visti i risultati ottenuti durante il primo anno di sperimentazione, nel novembre 2010 è stato installato un array infrasonico permanente ad elevata sensibilità in val d'Ayas (Champoluc) sempre in collaborazione con la Regione Autonoma Valle d'Aosta nell'ambito del progetto strategico RISKINAT.

Bibliografia

- AA.VV., 2009. Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies. A. Le Pichon, E. Blanc and A. Hauchecorne Eds., Springer.
- Baggi S., Schweizer J., 2009. Characteristics of wet-snow avalanche activity: 20 years of observations from a high alpine valley (Dischima, Switzerland). Nat. Hazards, 50, 97-108.
- Bedard A., 1994. An evaluation of atmospheric infrasound for monitoring avalanches. Proceedings, 7th International Symposium on Acoustic Remote Sensing and Associated Techniques of the Atmosphere and Oceans, 3-5 October 1994, Boulder, CO, NOAA/ERL/Environmental Technology Laboratory, Radian Corp., and AeroVironment, Inc., Boulder, CO.
- Ceranna L., Le Pichon A., Green D. N., Mialle P., 2009. The Buncefield explosion: a benchmark for infrasound analysis across Central Europe. Geophysical Journal International, 177: 491-508. doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03998.x
- Chritin V., Rossi M., Bolognesi R., 1996. Acoustic detection System for Operational Avalanche Forecasting. Proceeding of International Snow Science Workshop, Banff, Alberta.
- Comey R.H., Mendenhall T., 2004. Recent Studies Using Infrasound Sensors to Remotely Monitor Avalanche Activity. Proceeding of International Snow Science Workshop, Jackson, WY.
- Evers L. G., Haak H. W., 2003. Tracing a meteoric trajectory with infrasound. Geophys. Res. Lett., 30(24), 2246, doi:10.1029/2003GL017947.
- Marchetti E., Ripepe M., Poggi P., 2009. Low cost differential pressure transducers used to investigate low frequency volcano infrasound. Infrasound Technology Workshop 2009, Brasilia.
- Naugolnykh K., Bedard A., 2002. A model of the avalanche infrasound radiation. Proceedings of the 24th Canadian Symp. Rem. Sens., 871-872.
- Richardson J.P., Waite G.P., FitzGerald K.A., Pennington D., 2010. Characteristics of seismic and acoustic signals produced by calving, Bering Glacier, Alaska, 2010, Geophys. Res. Lett., 37, L03503, doi:10.1029/2009GL04113.
- Ripepe M., Marchetti E., Coli M., 2010. Seismo-acoustic array monitoring of large quarry drill and blast activity close to a natural park, Tuscany (Italy). Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering – Zhao, Labiouse, Dudt & Mathier (eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-58654-2.
- Ripepe M., Marchetti E., 2002. Array tracking of infrasonic sources at Stromboli volcano. Geophys. Res. Lett., 29(22), 2076, doi:10.1029/2002GL015452.
- Scott E. D., Hayward C.T., Kubichek R.F., Hamann J.C., Pierre J.W., Corney B., Mendenhall T., 2007. Single and multiple sensor identification of avalanche-generated infrasound. Cold Reg. Sci. and Technol., 47, 159-170.
- Valt M., 2010. Les BRA en Italie, Neige et Avalanches, 130.

MONITORAGGIO del sito sperimentale della Punta SEEHORE

GESTIONE DELLE ALLERTE ED ATTIVITÀ IN CAMPO
NEL CORSO DELLE PROVE SPERIMENTALI

INTRODUZIONE

Le attività di ricerca, svolte nel sito sperimentale della P.ta Seehore, spaziano dal monitoraggio delle condizioni nivo-meteorologiche alla gestione delle allerte per l'esecuzione dei distacchi artificiali, dai rilievi in campo per la definizione delle caratteristiche delle valanghe alla successiva analisi dei dati rilevati, sia manualmente sia automaticamente dagli strumenti posti sull'ostacolo.

In questo articolo viene presentata la procedura "standard" per la realizzazione di una prova sperimentale nel sito e sono descritte le varie attività che si svolgono in occasione di ciascuna prova. Tale procedura, condivisa da tutti gli operatori coinvolti nel progetto, è definita in modo particolareggiato nel documento "Protocollo per il distacco artificiale di valanghe nel sito della P.ta Seehore a fini di ricerca: disposizioni e regole di sicurezza" che rappresenta una raccolta delle *migliori pratiche* da adottare

per la realizzazione delle attività nel sito (Fig. 1). Si individuano tre momenti ben distinti nel corso di una prova sperimentale: il *pre*, il *durante* ed il *post evento*.

Il *pre evento* è caratterizzato da tutte le attività di monitoraggio delle condizioni nivo-meteorologiche, nonché dal confronto con i responsabili della sicurezza piste del Monterosa Ski, finalizzate alla valutazione della possibilità di effettuare una prova sperimentale, e, conseguentemente, alla gestione delle allerte. Il *durante* ed il *post evento* sono invece caratterizzati da tutti i rilievi e le attività di campo da svolgersi in massima sicurezza all'interno dell'area di studio.

SISTEMA DI ALLERTA

La decisione di realizzare una prova sperimentale dipende fortemente dalle valutazioni, operate dai responsabili della sicurezza piste del Monterosa Ski, circa la necessità di bonificare il pendio settentrio-

nale della P.ta Seehore al fine di rendere sicura la pista "Collegamento Gabiet".

Il sistema di allerta è perciò basato su uno stretto e continuo contatto tra il responsabile delle operazioni di bonifica per la sicurezza piste del Monterosa Ski ed il responsabile delle operazioni di pre-allerta ed allerta del gruppo di ricerca.

Entrambi devono essere a conoscenza delle condizioni nivo-meteorologiche attuali e previste per la zona: fondamentale risulta quindi la continua consultazione delle previsioni meteorologiche (in particolare del Bollettino di Vigilanza Regionale, a cura dell'Ufficio Centro Funzionale valdostano) e del Bollettino Neve e Valanghe (emesso dall'Ufficio Neve e Valanghe regionale). Vengono inoltre direttamente monitorati i dati acquisiti dalle stazioni automatiche della rete della Regione Autonoma Valle d'Aosta, localizzate in prossimità dell'area di studio: in dettaglio vengono consultati i dati di temperatura dell'aria, direzione ed

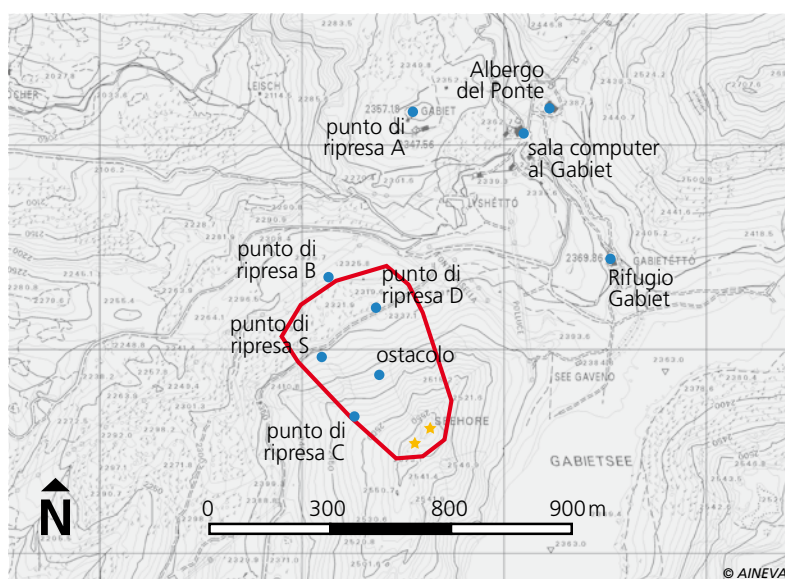
Nella pagina a fianco, riprese video durante la prova sperimentale del 18 marzo 2011.





Dall'alto verso il basso, fig. 1 - "Protocollo per il distacco artificiale di valanghe nel sito della P.ta Seehore a fini di ricerca: disposizioni e regole di sicurezza". Documento realizzato in collaborazione tra DIVAPRA, DISTR, RAVA e Monterosa Ski; fig. 2 - Visione frontale del sito in occasione della valanga del 7 dicembre 2010: in rosso sono evidenziate le zone di distacco e di accumulo ed in giallo l'ostacolo ed i punti di tiro.

Fig. 3 - Sito sperimentale mostrato nel poligono rosso sulla CTR: le etichette indicano i punti salienti da cui vengono svolte le diverse attività durante le prove sperimentali.



intensità del vento, precipitazione nevosa ed altezza di neve al suolo per le stazioni Weissmatten (2038 m slm), Gabiet (2379 m slm) ed Eselbode (1642 m slm).

Per la comunicazione a tutto il gruppo di ricerca del giorno di esecuzione di una prova sperimentale, ci si avvale di un sistema di pre-allerta via e-mail a due o più giorni di distanza dalla prova, e di un sistema di allerta via e-mail e/o cellulare il giorno precedente alla data fissata.

L'aleatorietà delle previsioni meteorologiche, la cui attendibilità aumenta significativamente solo nelle 24 ore precedenti, fa sì che spesso tutta l'organizzazione possa iniziare soltanto il giorno precedente, quindi con un modesto preavviso, creando a volte, varie difficoltà operative, soprattutto per la realizzazione dei rilievi laser scanner pre evento che necessitano di tempi di preparazione più lunghi.

PROCEDURA DURANTE UNA PROVA SPERIMENTALE

I dati da rilevare durante una prova sperimentale sono di diverso tipo e quindi la procedura prevede la creazione di squadre di lavoro che si occupino dei rilievi specifici di loro competenza.

Tutte le operazioni avvengono in modo coordinato tra le diverse squadre. In particolare, per realizzare le attività previste nei diversi momenti della prova sperimentale, come definite da Protocollo di Sicurezza, sono state definite: la *squadra computer*,

la *squadra distacco*, la *squadra deposito* e la *squadra ostacolo*.

La Figura 2 indica le diverse zone di lavoro, mentre la Figura 3 mostra una visione generale del sito sulla Carta Tecnica Regionale al 10.000, con i diversi punti di misura. Una classica prova sperimentale in genere comincia al mattino presto con il ritrovo dei ricercatori a Staffal (Comune di Gressoney-La-Trinité) e la risalita al Gabiet con le prime corse riservate al personale addetto agli impianti; le operazioni di bonifica vengono effettuate ovviamente a piste chiuse e generalmente prima dell'apertura degli impianti al pubblico.

Il responsabile alle operazioni di bonifica per Monterosa Ski è generalmente già in volo in elicottero per bonificare altri siti nel comprensorio sciistico e si rimane in contatto con lui via radio. Il distacco artificiale nel sito avviene generalmente verso le ore 8:30, tramite bonifica da elicottero con l'impiego della DaisyBell o della Carica Vassale (rif. art. 3) (Fig. 4).

Prima della prova di distacco, tutti i ricercatori, a parte la *squadra computer* che si colloca nell'apposita sala computer presso l'arrivo della cabinovia Staffal-Gabiet, si posizionano nel punto di ripresa B (Fig. 3). Quando si effettuano anche i rilievi laser-scanner, gli esperti della società AdHoc si recano al punto di ripresa B con un certo anticipo al mattino, per avere tempo di completare il rilievo laser-scanner pre evento.

Nei paragrafi seguenti vengono descritte le varie attività che si svolgono durante una prova sperimentale e le loro finalità.

RILIEVI LASER-SCANNER PRE E POST EVENTO

I rilevamenti laser scanner servono a descrivere il sito nelle fasi chiamate pre e post evento, ed, in particolar modo, la geometria di superficie del versante nei due momenti. Il confronto tra le due superfici permette, in fase di analisi dei dati, di valutare le variazioni geometriche intercorse, di effettuare bilanci di massa, di individuare zone di accumulo e di erosione, di misurare sezioni, profili e di calcolare le pendenze e

le altezze della neve in modo estensivo su tutta l'area di interesse. Il rilevamento laser scanner ha inizio alle prime ore dell'alba. Per la descrizione tridimensionale dell'area di interesse è necessario utilizzare una strumentazione specifica caratterizzata da una tecnologia di misura in grado di funzionare anche su manto nevoso e/o ghiacciato, di elevata portata e velocità. Nel nostro caso sono stati utilizzati un sensore Riegl LMS-Z420 con doppio distanziometro ed un laser scanner Riegl VZ400. Nonostante l'alta velocità che è possibile raggiungere con la strumentazione utilizzata in acquisizione, la singola misura laser scanner pre evento del versante necessita, comprese le fasi preparatorie, di circa 1 ora. Il distacco sul versante avviene circa alle ore 8:30, questo significa che la prima misura laser scanner deve iniziare, considerando un leggero margine di sicurezza, tra le ore 6:45 e le 7:00. La misura del versante in condizione pre-evento avviene mediante una singola acquisizione laser scanner dalla posizione di ripresa B. Si tratta di una posizione particolarmente favorevole alla descrizione tridimensionale del versante in quanto da quella posizione tutta l'area di interesse è ben visibile.

Onde evitare possibili movimenti che il sensore può subire se semplicemente sistemato su treppiede sul manto nevoso o sul terreno gelato o anche su rocce, nei punti di ripresa B, D ed S, sono stati realizzati dei pilastri a centramento forzato in cls. In questo modo è garantita la stabilità della strumentazione in fase di acquisizione ed è materializzato in modo stabile anche il sistema di riferimento. Durante l'acquisizione del pre evento sui punti di ripresa D ed S sono posizionati prismi retroriflettenti per la georeferenziazione del modello tridimensionale. Contestualmente all'acquisizione laser scanner, sono acquisite alcune immagini digitali ad alta risoluzione con macchina fotografica calibrata rigidamente connessa al laser scanner.

Queste immagini servono essenzialmente alla generazione di un modello tridimensionale a colori reali del sito.

A seguito dell'evento valanghivo, viene ripetuta una seconda scansione del sito

dalla medesima posizione di ripresa e con le medesime caratteristiche. In aggiunta, durante le fasi post evento, sono realizzate due ulteriori scansioni laser scanner dai punti di ripresa D ed S.

La decisione di integrare il modello tridimensionale del sito nel post evento è

legata al fatto che dal punto di ripresa B si vede bene tutto il sito, ma parte del deposito risulta leggermente defilato, quindi, poco dettagliato.

Le due scansioni aggiuntive servono quindi ad aumentare la risoluzione descrittiva del deposito valanghivo. Sempre durante le



Fig. 4 - Elicottero della Monterosa Ski impegnato in operazioni di bonifica da valanghe tramite utilizzo della Daisybell.

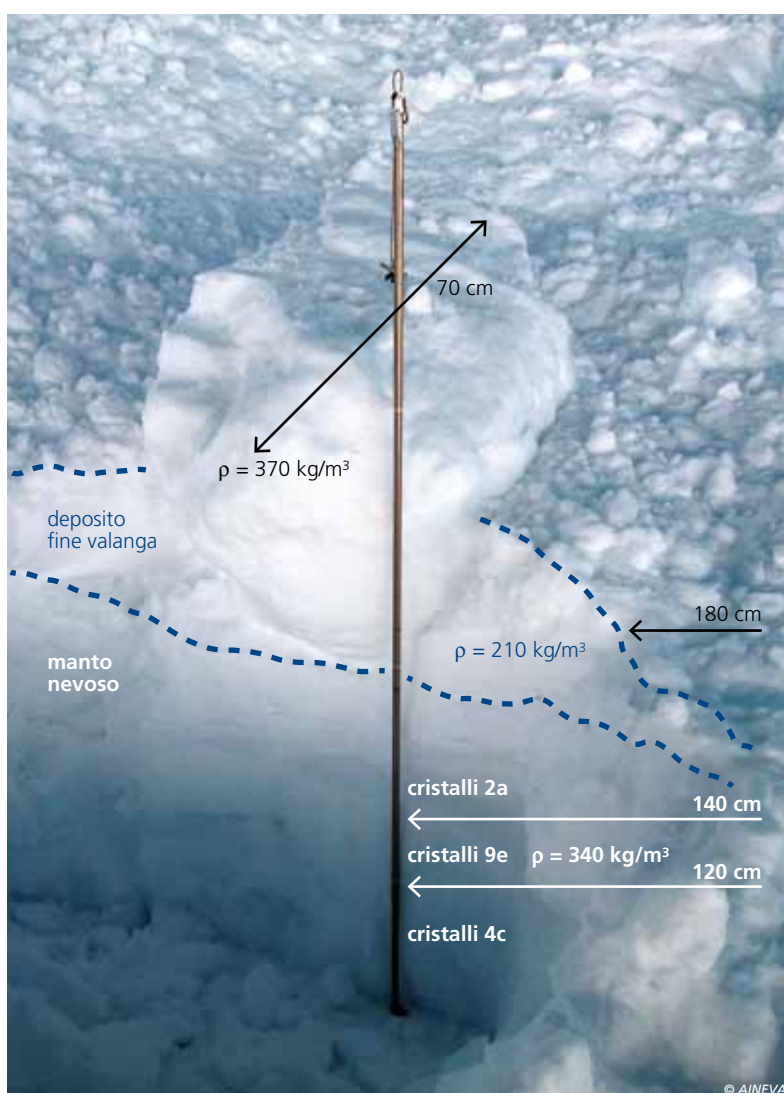


Fig. 5 - Esecuzione di un Extended Column Test.

Fig. 6 - Perimetrazione dell'accumulo e misura dell'altezza del manto nevoso in punti georeferenziati.



Fig. 7 - Profilo nel deposito della valanga del 20 febbraio 2010.



fasi post evento, è stato effettuato un rilevamento GPS di precisione dei tre pilastri a centramento forzato per il calcolo delle coordinate cartografiche e locali del sito. I dati laser scanner ottenuti sono nuvole di punti e superfici note nei sistemi di

riferimento locale, geocentrico e cartografico regionale con quota ortometrica. I dati sono forniti, oltre che nei formati di interscambio comuni, con un software di gestione personalizzato per le esigenze dei ricercatori di nome AdHoc.

RIPRESE VIDEO E MISURE FOTOGRAMMETRICHE DELL'EVENTO

In aggiunta ai rilevamenti laser scanner, durante le fasi di distacco e scorrimento della valanga, è stato ideato ed adottato dalla società Ad Hoc 3D un sistema di rilevamento basato sulla tecnica della videogrammetria. I video metrici della valanga sono effettuati con una macchina fotografica canon 5D con obiettivo calibrato e focale fissa. I video sono tutti ad alta risoluzione ed alta frequenza in modo da poter seguire nel dettaglio tutte le fasi di scorrimento. I video sono realizzati da posizioni fisse e sono utilizzati, in modo combinato con le scansioni pre e post evento, per descrivere il fronte della valanga durante le fasi di distacco e scorrimento. In particolare, utilizzando i video realizzati è possibile misurare la velocità del fronte valanghivo in ogni suo istante lungo linee di scorrimento e correlare la velocità del fronte lungo qualsiasi direttrice di scorrimento con la pendenza locale, lo spessore della neve, il deposito o l'erosione.

RILIEVI IN ZONA DI DISTACCO

In seguito ad ogni esperimento di distacco, sia che esso abbia avuto esito positivo, con relativo distacco di una valanga, che negativo, ovvero senza distacco di una massa nevosa, vengono condotti i seguenti rilievi relativi alla zona di distacco, effettiva o potenziale:

- *profilo stratigrafico*, eseguito secondo gli standard AINEVA (MOD. 4), volto a descrivere le proprietà fisiche del manto nevoso. Una volta individuati gli strati che compongono il profilo nivologico, essi vengono descritti con la determinazione dei parametri seguenti: tenore in acqua liquida, tipologia e dimensione dei cristalli, durezza (test della mano), temperatura e densità. Tale rilievo permette di individuare eventuali discontinuità nel manto nevoso che rappresentano i potenziali strati deboli, in grado di favorire la formazione e la propagazione di una frattura;

- realizzazione di *test di stabilità* quali il Rutschblock Test (RT) e/o Extended Column Test (ECT) al fine di verificare l'effettiva possibilità di formazione e propagazione della frattura in corrispondenza degli strati deboli individuati tramite l'esecuzione del profilo stratigrafico (Fig. 5);
- nel caso di distacco di valanghe a lastroni, se possibile e solo in condizioni di sicurezza e lungo tutta la linea di frattura, misura dello spessore di distacco con individuazione della superficie di rottura e scivolamento; se le condizioni non sono valutate sufficientemente sicure, lo spessore di distacco è stimato a distanza, con l'ausilio di paline collocate nella parte alta della zona di distacco;
- stima dell'area e del volume di distacco e, se in condizioni di sicurezza, rilievo tramite GPS dell'area di distacco;
- osservazioni generali sulle condizioni nivo-meteorologiche e di pericolo valanghe dell'area prima e dopo l'esperimento, al fine di rapportarle e confrontarle con le caratteristiche del manto nevoso e con la qualità dell'esito del tiro;
- esecuzione di riprese video e fotografiche.

RILIEVI IN ZONA DI SCORRIMENTO E DI DEPOSITO

Successivamente al distacco della valanga, la zona di accumulo e scorrimento viene percorsa dagli operatori al fine di determinare con la maggiore precisione possibile le caratteristiche della massa nevosa. In particolare, sono condotte le seguenti attività:

- compilazione della *scheda di rilievo* realizzata ad hoc per le valanghe distaccate nel sito sperimentale;
- *perimetrazione* della zona di scorrimento e accumulo tramite GPS (Fig. 6);
- misura dell'*altezza del manto nevoso*, mediante l'utilizzo di una sonda, sia in zona di scorrimento che in zona di accumulo in punti georeferenziati secondo una maglia il più possibile regolare;
- esecuzione di *profili del deposito* per l'individuazione del piano di scorrimento della valanga. Tali dati sono utili a capire le zone di erosione o deposito lungo la

- zona di scorrimento della valanga (Fig. 7);
 - esecuzione dello *straw test*, ideato nel corso del progetto DynAval, per determinare l'erosione e il deposito netto in alcuni punti georeferenziati nella zona di scorrimento, grazie all'utilizzo di cannuce numerate posizionate all'interno del manto nevoso (Fig. 8);
 - stima del *volume* di deposito;
 - analisi *granulometrica* superficiale per la misura delle dimensioni caratteristiche del deposito. Tali dati sono essenziali alla comprensione dei fenomeni di arresto e dinamici interni al flusso nevoso (Fig. 9);
 - esecuzione di *profili di densità* del manto nevoso, in particolare nelle aree più prossime all'ostacolo;
 - rilievo della forma di deposito (profondità, larghezza, ecc..) a monte e a valle dell'ostacolo con relative caratteristiche della neve;
 - misura di densità e di durezza della neve sia a monte dell'ostacolo a differenti distanze e profondità (per valutare la compattazione della neve), sia a valle dello stesso (per ottenere informazioni sulla "zona d'ombra" creatasi grazie al ruolo di protezione svolto dalla struttura);
 - esecuzione di riprese video e fotografiche.
- Gli strumenti attivati durante la prova sperimentale sull'ostacolo permettono, inoltre, di rilevare le forze di impatto della valanga sull'ostacolo (rif.art. 6).

Per una migliore comprensione delle attività svolte nel sito sperimentale, l'articolo

7 presenta il caso della prova eseguita il giorno 5 marzo 2011, dalla sua organizzazione all'analisi finale dei dati raccolti.

Bibliografia

- Cagnati A., 2003. Strumenti di misura e metodi di osservazione nivometeorologici, AINEVA.
- De Biagi V., Chiaia B., Frigo B., submitted. Fractal grain distribution in snow avalanches. Journal of Glaciology.

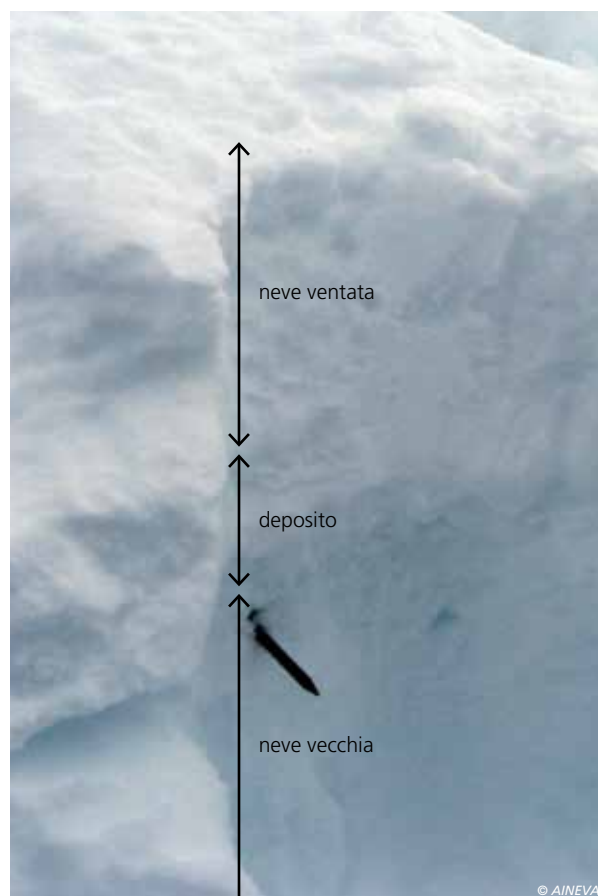


Fig. 8 - Risultato dello straw test effettuato il 2 marzo 2011 (evento 1 marzo 2011): manto indisturbato (dove si sono ritrovate le cannuce) con soprastante deposito della valanga e il successivo trasporto eolico; 4 cannuce sono state divelte dalla valanga segnalando l'erosione.

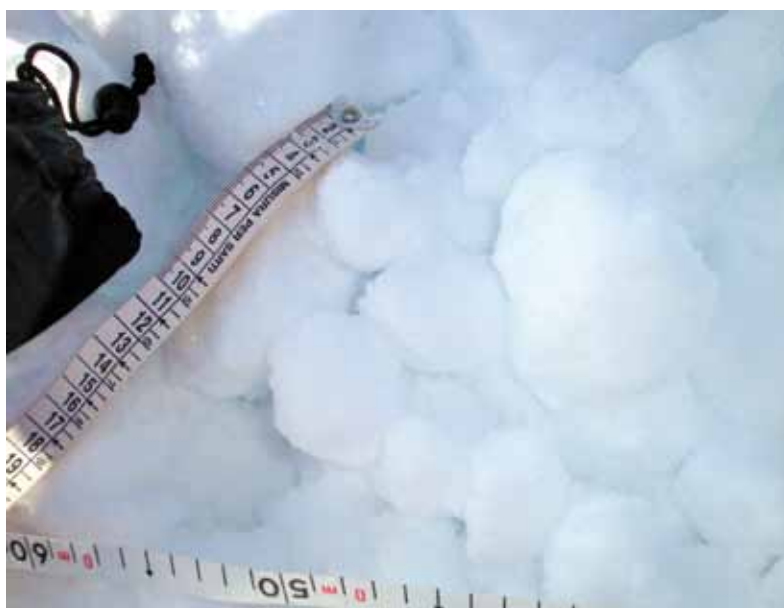


Fig. 9 - Misure granulometriche in deposito (evento 19 Marzo 2011).

INTERFERENZA VALANGHE CON LE COSTRUZIONI

INTRODUZIONE

Una delle attività principali di ricerca svolte nel sito sperimentale della P.ta Seehore è lo studio dell'interferenza tra valanghe e strutture, ambito di ricerca sperimentale attualissimo. L'analisi del comportamento del flusso nevoso durante l'impatto e la conseguente risposta di una struttura sono infatti essenziali ai fini della riduzione della vulnerabilità e del rischio in aree valanghive. A differenza degli altri siti sperimentali europei, l'attenzione in Valle d'Aosta è stata posta su valanghe di piccole/medie dimensioni che, ad oggi, risultano più frequenti e più interferenti con il normale svolgimento della vita quotidiana e turistica in montagna. Se però il fatto di dover tener chiusa una strada o una pista per problemi di rischio valanghivo può comportare disagi, l'eventuale interazione con strutture, soprattutto se abitate, mette a rischio l'incolumità delle persone. Ma cosa succede quando una valanga interferisce con una costruzione?

Quali sono le pressioni in gioco? A quali forze è sottoposta la struttura durante l'impatto? Come reagisce la struttura stessa all'impatto con la massa nevosa in movimento?

Proprio per rispondere a questi quesiti, nel sito sperimentale della P.ta Seehore, è stato ideato e messo in opera un bersaglio.

Grazie a forma e sensoristica appositamente studiate e progettate, l'ostacolo permette la misura delle forze valanghive in gioco e della sua risposta dinamica durante la fase di impatto, trasmesse in tempo reale alla sala computer e, in remoto, al Politecnico di Torino. A seguito dell'identificazione strutturale avvenuta nei laboratori del DISTR - Politecnico di Torino e allo sviluppo di modelli numerici, grazie alle misure effettuate alla P.ta Seehore, è possibile interpretare il comportamento della struttura e del flusso nevoso durante l'impatto, analizzandone la risposta al fine di comprendere le modalità con cui la valanga agisce sull'ostacolo.

In questo articolo vengono descritte le fasi

concettuali, di realizzazione e funzionamento del sistema integrato per la rilevazione delle forze di impatto da valanghe di neve, realizzato all'interno del comprensorio Monterosa Ski (Fig. 1).

L'IDEAZIONE DELL'OSTACOLO

Dal punto di vista concettuale, il sistema di misura della forza di impatto valanghivo è stato ideato perseguendo esigenze dettate dal tipo di misure da effettuare, ma anche dall'ambiente estremo in cui si sarebbe andati ad operare, nel rispetto del paesaggio e dell'ambiente valdostano.

Alla base della progettazione del prototipo vi è anzitutto la necessità di riprodurre il più realisticamente possibile l'impatto del flusso nevoso su una parete di un edificio, accoppiata a requisiti tecnici di modularità, "elitransportabilità", rimovibilità ed economicità delle soluzioni, con l'impiego delle tecnologie disponibili.

Nella pagina a fianco, l'ostacolo strumentato al sito della P.ta Seehore.

ZA GHIVA

Misure e analisi
dell'impatto
valanghivo
sull'ostacolo
strumentato della
Punta Seehore





Dall'alto verso il basso:
fig. 1 - Vista d'insieme
dell'ostacolo impattato
dal fenomeno valanghivo
del 5 marzo 2011;
fig. 2 - Rendering
tridimensionale
d'insieme del sistema
integrato per la
rilevazione delle forze di
impatto da valanghe di
neve al sito della
P.ta Seehore.

Queste esigenze rispondono alla necessità di facilitare il montaggio del bersaglio in alta quota e di garantire una sua rapida manutenzione ordinaria (controllo dei collegamenti elettrici e dell'integrità strutturale) e straordinaria (come l'eventuale sostituzione di parti danneggiate e non più funzionali), l'eventuale smantellamento o, semplicemente, la rimozione durante la stagione estiva per ridurre l'impatto visivo. Inoltre, l'esigenza di modularità permette di pensare a future modifiche strutturali in termini di forma, altezza e dimensioni del pilone, al fine di saggiare differenti forme di ostacolo. La rimovibilità della struttura e del sistema di misura è stata inoltre appositamente studiata per poter riprodurre un'analoga campagna di monitoraggio in altri siti. Le necessità sopra descritte si sono concretizzate nella concezione di un bersaglio strutturalmente composto da una struttura di base, fissa, di sostegno alla parte in elevazione, smontabile, accompagnato da una sensoristica sperimentale, modulare,

per l'acquisizione ed alla infrastruttura per la trasmissione dati. Nella realtà è stato poi articolato con la realizzazione di (Fig. 2):

- una piattaforma in conglomerato cementizio armato, protetta a monte da gabbioni in materiale sciolto, posta a base di tutto l'impianto;
- un ostacolo rimovibile, in carpenteria metallica, destinato a essere investito dalla valanga e portatore degli strumenti di misura delle forze d'impatto;
- una struttura a protezione degli impianti di acquisizione e controllo elettronico della strumentazione, consistente in un armadio stagno protetto da una tettoia in carpenteria metallica;
- una condotta sotterranea per il collegamento elettrico e per la trasmissione dei dati tra la piattaforma strumentata e la sala computer di controllo situata a valle;
- un sistema di acquisizione e controllo, comandato via software in remoto e dalla sala di controllo localizzata nella stazione di arrivo della telecabina Staffal-Gabiet della Monterosa Ski.

LA PROGETTAZIONE DEL BERSAGLIO

Il sistema è costituito da una fondazione in conglomerato cementizio armato che costituisce anche la piattaforma sulla quale trovano posto (Fig. 2):

- un *ostacolo*, o *bersaglio*, costituito da un telaio realizzato con profili commerciali di tipo HEB in acciaio, alto 4.20 m, diviso in due parti: la parte inferiore ($h = 1.20$ m), collegata con dadi ai tirafondi annegati nella fondazione, e la parte superiore ($h = 2.80$ m) sulla quale trova posto la strumentazione (trasduttori di forza, estensimetri e accelerometri). Le parti sono collegate mediante una discontinuità strutturale (dispositivo a rottura prestabilita, $h = 0.20$ m) per la protezione della fondazione;
- un *armadio* stagno contenente i sistemi di alimentazione elettrica e di acquisizione dati;
- una *tettoia* in acciaio, con lo scopo di proteggere i suddetti sistemi. Progettata tenendo conto delle forze di scivolamento lento del manto nevoso, essa costituisce inoltre un piano di calpestio per rag-

giungere la parte superiore dell'ostacolo strumentato durante le operazioni di manutenzione.

Al fine della progettazione, in mancanza di fonti specifiche sull'entità delle forze sviluppate (oggetto dell'attività di ricerca), il valore dei carichi indotti dall'impatto sulla struttura deriva dallo studio della letteratura disponibile sull'argomento e da analisi numeriche opportunamente effettuate.

In particolare, è stato esaminato il sito francese del Col du Lautaret, simile in alcuni aspetti a quello in oggetto, dove le forze misurate su un ostacolo avente un'area di 1 m^2 sono dell'ordine di 35 kN (Thibert et al., 2008). Sono inoltre state effettuate analisi con il software AVAL-1D, sviluppato e commercializzato dall'Istituto Federale Svizzero per lo Studio della Neve e delle Valanghe (WSL-SLF) di Davos (Casetta, 2009) per verificare le pressioni valutate per confronto con il sito del Lautaret e per evidenziare i percorsi più probabili della valanga. Si è perciò assunta una forza di progetto di 50 kN agente sull'ostacolo a $2,50 \text{ m}$ dalla superficie del pendio con una inclinazione pari a quella del pendio stesso (cioè 35°).

Con lo scopo di proteggere la fondazione, per motivi di sicurezza, costi ed impossibilità di ripristino, è stato ideato un *dispositivo a rottura prestabilita* che, qualora la spinta della valanga tendesse a superare la forza di progetto, dovrà cedere in modo tale da non trasmettere alla fondazione sollecitazioni capaci di farle raggiungere lo stato limite ultimo. Tale dispositivo è stato progettato come una sezione indebolita di collegamento tra la parte superiore ed inferiore dell'ostacolo, realizzata mediante 4 bulloni, organizzati in due coppie con interasse $b = 276 \text{ mm}$ (Fig. 3). In ultimo, la fondazione è stata progettata come un plinto isolato di forma parallelepipedica, avente dimensioni in pianta quadrata ($3.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$) e spessore 0.6 m .

Essa insiste su un piano orizzontale ricavato nel pendio ed è protetta a monte da gabbioni di materiale sciolto che assorbono e trasferiscono sul piano di posa le spinte orizzontali delle terre e della neve a monte. La scelta dei gabbioni è stata dettata da

scelte tipicamente ambientali con lo scopo di portare in sito la minor quantità di calcestruzzo possibile e utilizzare materiali facilmente reperibili in loco.

SENSORISTICA E SISTEMA DI TRASMISSIONE DATI

Parte integrante dell'ostacolo sono i sensori che permettono di misurare la variazione delle principali grandezze fisiche in gioco durante l'impatto valanghivo. Per quantificare l'azione esercitata dalla massa nevosa durante lo scorrimento, sul bersaglio della P.ta Seehore sono state installate quattro differenti tipologie di strumentazione che permettono di valutare, oltre alle forze esercitate dalla valanga, anche i movimenti dell'ostacolo, la temperatura del manto nevoso e la pressione dell'aria. Posto sull'ostacolo, il vero strumento di misura delle forze d'impatto generate dalle valanghe distaccate naturalmente o artificialmente dal pendio sovrastante, è la superficie d'impatto di area pari a circa 1 m^2 , tale da rappresentare una porzione significativa di una costruzione reale e, nel contempo, tale da permettere l'esercizio sicuro del sistema sotto i carichi previsti. Disposta in un piano verticale contenente la linea di massima pendenza, questa superficie d'impatto è costituita da cinque piastre nervate (traversi) di dimensioni $18 \times 111 \text{ cm}$, realizzati in lega di alluminio, disposte orizzontalmente e trasversalmente al flusso, con la funzione di intercettare la massa nevosa in movimento. Ciascuna piastra è fissata ad una coppia di celle di carico (Fig. 4) le quali, a loro volta, sono vincolate alla struttura metallica dell'ostacolo in maniera tale da poterne regolare la posizione in altezza, intercettando il flusso a diverse profondità (Fig. 5). In parallelo, per l'analisi della risposta dinamica del bersaglio, sono presenti quattro accelerometri che consentono di definire i movimenti dell'intera struttura. Tali dispositivi forniscono, infatti, i valori dell'accelerazione al piede ed alla cima della parte superiore dell'ostacolo. A corredo, posti a diverse altezze, vi sono quattro sensori per la misura della temperatura del manto nevoso e del flusso della valanga ed un sensore di controllo della

pressione atmosferica. Tutti questi sistemi di misura sono elettrici e funzionano convertendo la grandezza fisica in resistenza elettrica. Il cuore del sistema di acquisizione è perciò un dispositivo elettronico che alimenta elettricamente tutta la strumentazione e, in contemporanea, ne misura i valori del potenziale ai capi. Tali dati sono inizialmente memorizzati localmente, ed in seguito trasferiti mediante una rete in fibra ottica al centro di controllo situato in un locale della vicina stazione di arrivo della telecabina Staffal-Gabiet, distante circa 600 m dall'ostacolo. Nella sala controllo è presente un computer collegato, tramite un router telefonico GSM, alla rete Internet, mediante il quale è possibile seguire, da una qualsiasi postazione remota, tutte le operazioni in tempo reale e monitorare il funzionamento della strumentazione.

L'ANALISI E L'IDENTIFICAZIONE STRUTTURALE DELL'OSTACOLO

Allo scopo di prevedere la risposta dell'ostacolo strumentato alle azioni indotte dall'impatto della valanga e studiarne a ritroso la tipologia di carico, è stato implementato un modello matematico dettagliato del sistema. La tecnica di analisi scelta per la modellizzazione si basa sul metodo degli elementi finiti (Bathe, 1996; Zienkiewicz e Taylor, 2000) che consente di valutare la risposta della struttura alle più varie condizioni di sollecitazione, in campo statico e dinamico, considerando diversi tipi di comportamento del materiale. Seguendo questo approccio, l'ostacolo strumentato, completo di piastre d'impatto, è stato trattato come un insieme di corpi tridimensionali vincolati reciprocamente e verso la fondazione, in modo da riprodurre le reali condizioni di installazione. Fondamentale è stata la verifica del funzionamento del dispositivo a rottura, per effetto dell'applicazione di un carico orizzontale crescente lentamente, a partire dallo zero. Il materiale costituente i bulloni di collegamento tra le due parti dell'ostacolo è stato considerato dotato di un legame costitutivo elastico-idealmente plastico, con tensione di snervamento pari al valore nominale.

La risposta del dispositivo e della struttura (Fig. 6) è stata ottenuta con un'analisi passo passo, applicando il carico in piccoli incrementi, ricercando la soluzione ad ogni passo con un metodo iterativo del tipo Newton completo.

La relazione ottenuta tra il carico orizzontale, applicato alla quota di progetto, e lo spostamento relativo tra le parti superiore e inferiore dell'ostacolo presenta una risposta complessiva di transizione continua fra il comportamento elastico-lineare, ai bassi carichi, e quello plastico (deformazione a carico pressoché costante).

La risposta del bersaglio all'impatto della valanga darà luogo a segnali, misurati dai vari

*Sotto, dall'alto verso il basso:
fig. 3 - Particolare del dispositivo a rottura prestabilita a protezione della fondazione;
fig. 4 - L'ostacolo durante le operazioni di installazione in situ.
Si possono notare 4 coppie di celle di carico vincolate alla struttura in carpenteria dell'ostacolo e un traverso in lega di alluminio già montato.*



Fig. 5 - L'ostacolo a fine installazione in situ. Si possono notare i 5 traversi posti a differente altezza sull'ostacolo e l'uso della tettoia come piano di calpestio durante le operazioni di manutenzione.



trasduttori, variabili rapidamente nel tempo e affetti dalla risposta elastica della struttura. Risulta perciò fondamentale conoscere la dinamica oscillatoria dell'ostacolo strumentato. È stata quindi condotta un'analisi dei modi di vibrare della struttura metallica, considerata incastrata alla base, completa di piastre d'impatto e delle masse aggiunte più significative (celle di carico e dispositivi di collegamento), ricavandone le frequenze dei primi modi di vibrazione (Fig. 7).

Prove in laboratorio

Al fine di consolidare i risultati dei modelli matematici sul comportamento strutturale dell'ostacolo e verificarne il funzionamento del sistema di acquisizione dati prima dell'installazione in situ, la struttura è stata sottoposta a diverse prove sperimentali nel Laboratorio Materiali e Strutture (MASTR-LAB) del DISTR - Politecnico di Torino.

Le problematiche principali affrontate per lo svolgimento delle prove di laboratorio sono state il posizionamento del bersaglio e la riproduzione della sua fondazione.

La soluzione è stata il montaggio in posizione orizzontale dell'ostacolo accoppiato ad un telaio di contrasto in acciaio, opportunamente vincolato rigidamente con il pavimento del laboratorio grazie ad una struttura appositamente progettata e realizzata, costituita da una flangia saldata a due travi nervate HEB 220, collegate al pavimento con barre verticali filettate M39 (Fig. 8).

La campagna di prove effettuata ha previsto prove di caratterizzazione dell'ostacolo strumentato in campo statico e dinamico, volte a identificare con la maggiore precisione possibile i parametri meccanici e geometrici del modello matematico della struttura. Le prove statiche hanno avuto lo scopo di verificare la corrispondenza tra modalità di funzionamento della struttura previste con quelle effettivamente indotte dall'applicazione del carico.

E' stato opportunamente verificato il comportamento del *dispositivo a rottura prestabilita* costituito dal collegamento bullonato tra le due parti dell'ostacolo.

Questo obiettivo è stato perseguito con l'applicazione di carichi quasi statici, applicati a diverse quote della struttura, crescenti lentamente fino a rottura. Il carico è stato applicato verticalmente grazie ad un sistema oleodinamico servocontrollato elettronicamente presente in laboratorio.

Le curve carico-spostamento registrate hanno fornito le informazioni richieste che sono state usate per calibrare la risposta del modello matematico agli elementi finiti. Per quanto riguarda invece il comportamento dinamico della struttura, sono state svolte due tipi di prove in laboratorio:

1. indagine sui modi propri di vibrare (analisi modale sperimentale), nel corso della quale, tramite un sistema di eccitazione e di registrazione delle accelerazioni in vari punti della struttura, si identificano le frequenze proprie e i corrispondenti modi di vibrare (Ewins, 2000);
2. studio della risposta del sistema a carichi variabili con rapidità, tali da simulare l'impatto della valanga sulla struttura in condizioni il più possibile prossime a quelle previste in situ (Goldsmith, 2001).

Le analisi statiche e dinamiche delle misure effettuate in laboratorio hanno consentito la calibrazione del modello matematico del bersaglio. A seguito di questa fase di affinamento, il modello è in grado di simulare più accuratamente le diverse situazioni possibili di impatto valanghivo reale e, di conseguenza, permette di interpretare le misure registrate in situ e gli effetti dinamici dell'interazione fra valanga e struttura.

MODELLO NUMERICO DI INTERAZIONE FLUSSO/OSTACOLO

Oltre alle analisi svolte in campo, l'interazione flusso valanghivo/struttura viene studiata da un punto di vista numerico. Ad oggi, i numerosi modelli di dinamica delle valanghe presenti in letteratura (Harbitz, 2008) non trattano direttamente dell'interazione con strutture. Da alcuni anni, presso il DISTR del Politecnico di Torino, si sta sviluppando un modello numerico con lo scopo di colmare questa lacuna. Sfruttando le equazioni di Navier-Stokes, classicamente utilizzate in fluidodinamica, il modello si basa sull'ipo-

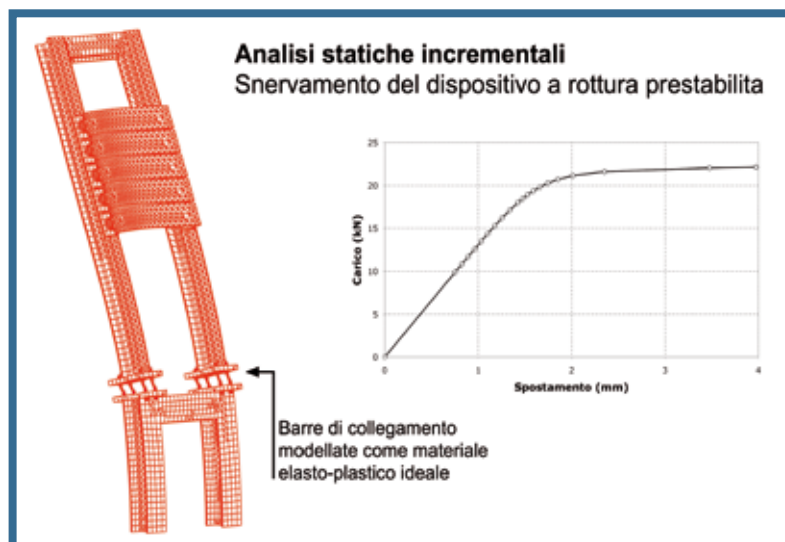


Fig. 6 - Analisi statica: deformata della struttura sotto carico (gli spostamenti sono stati amplificati per renderli visibili) con un esempio di risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche.

tesi di considerare la valanga come un fluido incompressibile, del quale si può decidere la reologia: newtoniano (con viscosità costante) oppure non newtoniano (con viscosità dipendente dal gradiente di velocità).

Nella sua versione più semplice il modello considera una situazione stazionaria e può essere di tipo bidimensionale (sia nel piano del pendio, sia nella sezione trasversale al flusso) o di tipo tridimensionale. Da un punto di vista operativo, si considera un dominio di calcolo, che comprende il flusso e l'ostacolo, nel quale, grazie ad un software agli elementi finiti, vengono risolte le equazioni di Navier-Stokes. Si impone, quindi, la velocità con la quale arriva il flusso valanghivo e si precisa se ci si trova in un versante o in un canale, definendo opportune condizioni al contorno. Svolgendo la simulazione, si ricavano in ogni punto del dominio i valori di velocità e di pressione.

Tali grandezze, indispensabili per il dimensionamento di una struttura, possono fornire informazioni preziose per l'analisi di ulteriori parametri, quali i coefficienti di forma e di pressione. In particolare, il coefficiente di forma C_d , che compare nella relazione che lega velocità e pressione, tiene conto della forma e delle dimensioni dell'ostacolo, mentre il coefficiente di pressione C_p , mostra invece come, sulle diverse parti di una struttura, si possano avere delle pressioni differenti in valore e segno. Grazie al modello sviluppato, è stato possibile verificare la dipendenza della pressione d'impatto dall'angolo di incidenza del flusso con l'ostacolo, nonché l'andamento delle linee di flusso intorno l'ostacolo, che, a seconda delle caratteristiche reologiche della valanga, mostrano la formazione di zone morte a valle o a monte dello stesso (rif. art. 5). Nella versione bidimensionale transitoria, si deve accoppiare al modello descritto in precedenza un'equazione di trasporto, implementata tramite una particolare tecnica numerica denominata del *level set*, che permette di cambiare nel tempo la forma della valanga. In questo modo, il modello ha il vantaggio di poter seguire l'evoluzione temporale della pressione di impatto.

La sua risoluzione nel piano trasversale permette di ottenere, oltre al profilo di velocità

(utile per la definizione della reologia della neve) e di pressione - informazioni già ricavabili in fase stazionaria - anche l'altezza del flusso e, nell'interazione con un ostacolo, l'altezza di risalita (Fig.9).

Si sottolinea come tale simulatore per poter essere utilizzato praticamente debba essere ancora ulteriormente validato e calibrato sulla base dei risultati sperimentali ottenuti. Applicato però a casi più generali, il modello

ha dimostrato la sua affidabilità confermando quanto presente in letteratura. Ad esempio, in termini di coefficienti di forma, il C_d di una forma quadrata viene correttamente calcolato come il doppio di quello di una forma circolare, e i 4/3 di una forma triangolare, inoltre si mostra come il C_d decresca con la dimensione dell'ostacolo, confermando risultati sperimentali ricavati da altri centri di ricerca (Sovilla, 2008, Thibert et al., 2008).

Bibliografia

- Thibert E., Baroudi D., Limam A., Berthet-Rambaud P., 2008. Avalanches impact pressure on an instrumented structure". Cold Regions Science and Technology, vol. 54 (3), 206-215.
- Casetta A., 2009. Nuovo campo prove per lo studio delle valanghe di neve: analisi geotecnica e di dinamica della valanga. Tesi di laurea magistrale, I Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino.
- Bathe K. J., 1996. Finite Elements Procedures. Prentice & Hall, Englewood Cliffs, USA.
- Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., 2000. The Finite Element Method, 3 Vol., Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
- D.J. Ewins, 2000. Modal testing: theory, practice and application, 2nd ed., Research Studies, Baldock, UK.
- Goldsmith W., 2001. Impact: the theory and physical behavior of colliding solids. Dover Publications, Mineola, USA.
- Harbitz C., 2008. A survey of computational models for snow avalanche motion. NGI Report 581220-1, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- Sovilla B., Schaer M., Kern M., Bartelt P., 2008. Impact pressures and flow regimes in dense snow avalanches observed at the Vallée de la Sionne test site. Journal of Geophysical Research, Earth-Surfaces, 113, F01010.

Fig. 7 - Analisi dinamica: deformate relative ai primi 3 modi propri di vibrazione e rispettive frequenze.

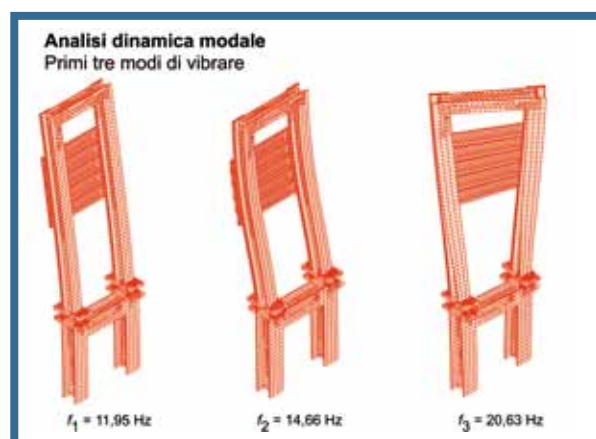


Fig. 8 - Installazione del bersaglio in laboratorio MASTRLAB del DISTR - Politecnico di Torino per le prove statiche e dinamiche. Si nota la riproduzione del vincolo della fondazione grazie ad un telaio di contrasto in acciaio, ancorato al pavimento.

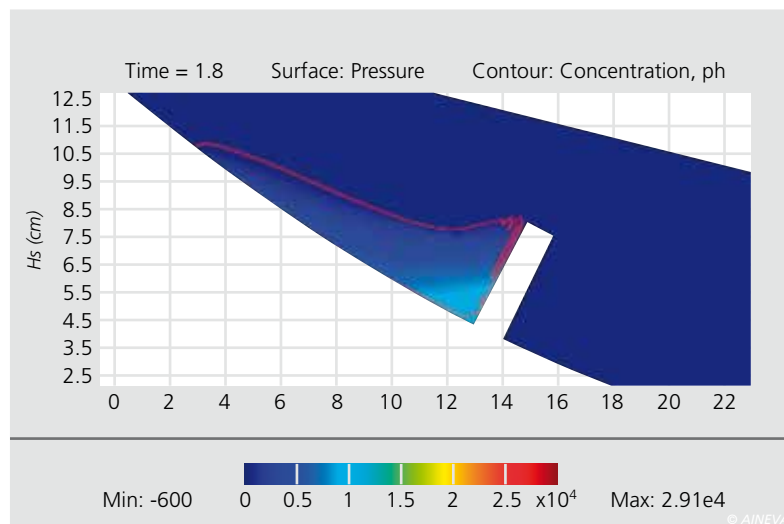


Fig. 9 - Simulazione numerica dell'interferenza valanghiva con il bersaglio di P.ta Seehore. Si notano le pressioni e l'altezza di risalita.

Prove sperimentali al sito della **PUNTA SEEHORE** nelle stagioni 2009-2010 e 2010-2011

INTRODUZIONE

Il sito della P.ta Seehore é operativo al 100% dalla stagione 2010-2011, dopo l'installazione dell'ostacolo strumentato per la misura delle forze di impatto delle valanghe, avvenuta nell'estate 2010.

Tuttavia, nella precedente stagione, 2009-2010, sono state effettuate delle prove sperimentali con la misurazione di vari parametri, quali per esempio l'estensione delle valanghe, le caratteristiche del manto nevoso in zona di distacco e le caratteristiche del deposito.

Nel paragrafo successivo vengono presentate brevemente tutte le prove sperimentali svolte nelle due stagioni 2009-2010 e 2010-2011 (tabella di Fig.1), in seguito viene descritta in dettaglio la prova sperimentale del 5 marzo 2011, dalla sua organizzazione logistica all'analisi critica dei dati registrati, come esempio reale delle attività che si svolgono nel sito e dell'utilizzo dei dati raccolti.

PROVE SPERIMENTALI NELLE STAGIONI 2009-2010 E 2010-2011

Le valanghe distaccatesi nel sito della P.ta Seehore durante le due stagioni considerate sono state in totale 30 (11 nel 2009-2010 e 19 nel 2010-2011), tra valanghe spontanee e valanghe provocate.

La tabella di Fig. 1 riassume le caratteristiche principali delle prove realizzate, sia che abbiano avuto esito positivo sia negativo, riportando anche le date dei distacchi spontanei per una visione più completa dell'attività valanghiva del sito.

Stagione invernale 2010-2011

Meritano maggior approfondimento le prove realizzate durante la stagione 2010-2011, quando il sito sperimentale era operativo al 100%. La Figura 2 mostra l'estensione delle valanghe distaccate in tale stagione, e perimetrare tramite GPS

nella loro zona di scorrimento e deposito.

In generale, le valanghe distaccate sono di piccola/media dimensione, di neve asciutta, con uno sviluppo consistente della componente polverosa (evento del 7 dicembre 2010). In alcuni casi si sono verificati eventi caratterizzati da neve a densità elevata (evento del 19 marzo 2011) o di neve umida (evento del 4 novembre 2010). Il volume al distacco non ha superato in genere i 300-400 m³.

L'altezza di flusso della parte densa è stata esigua, stimata dai video non superiore al metro, ma ha raggiunto anche altezze maggiori in corrispondenza dell'ostacolo arrivando ai 140 cm (evento del 5 marzo 2011), a causa del processo di risalita del flusso sull'ostacolo.

Vengono qui rapidamente descritti due eventi caratteristici del sito di P.ta Seehore:

- il 7 dicembre 2010 si è staccata una valanga di medie dimensioni, tipicamente

Nella pagina a fianco, eventi valanghivi di metà marzo 2011 al sito della P.ta Seehore (fonte: Arnoldo Welf).



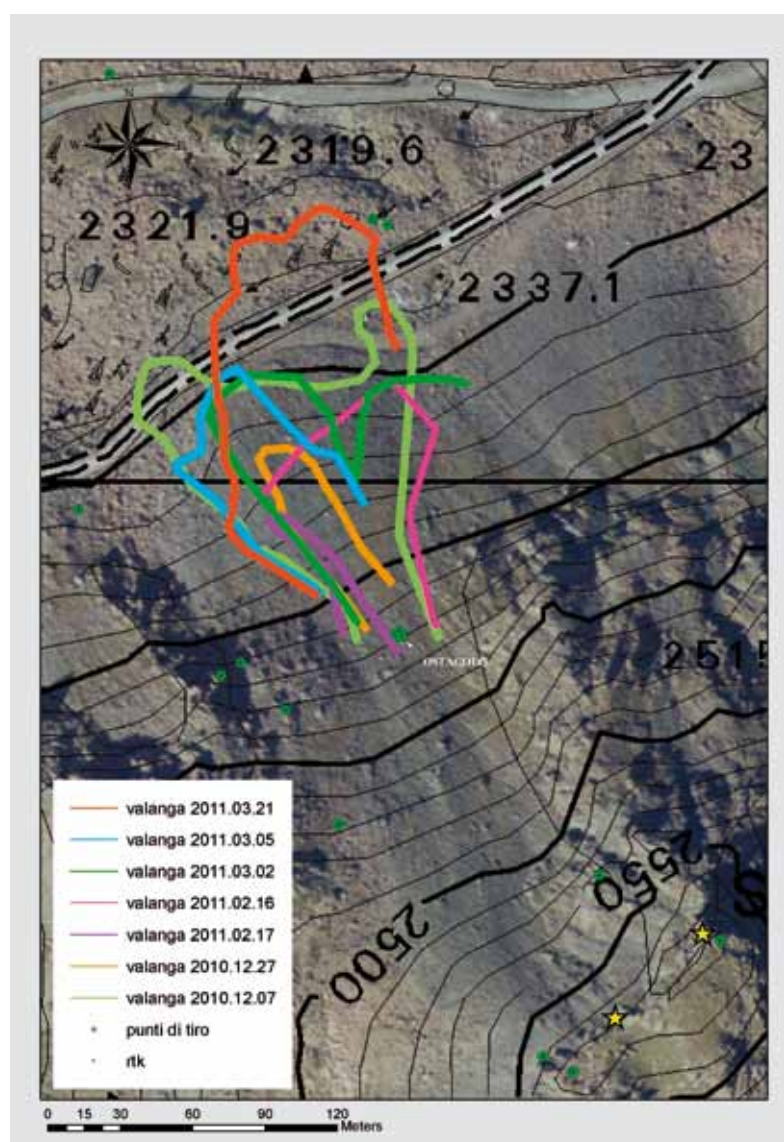
Fig. 1 - Eventi valanghivi registrati nelle stagioni 2009-2010 e 2010-2011 al sito della P.ta Seehore.

DATA	VALANGA	METODO TIRO	N° TIRI	ESITO TIRI	TIPO VALANGA	DIMENSIONE*
Stagione 2009-2010						
4-12-2009	provocata	Carica Vassale	1	sì	densa	piccola
26-12-2009	spontanea					
6-02-2010	-	DaisyBell	1	no		
20-02-2010	provocata	Carica Vassale	2	sì	densa	piccola
27-03-2010	provocata	DaisyBell	3	sì	densa	media
31-03-2010	provocata	Carica Vassale	2	sì	mista	piccola
4-04-2010	spontanea					
5-04-2010	-	Carica Vassale	2	no		
28-05-2010 (?)	spontanea					
Stagione 2010-2011						
04-11-2010 (?)	spontanea					
24-11-2010	provocata	DaisyBell	3	2 no, 1 sì	densa	piccola
7-12-2010	provocata	DaisyBell	1	sì	mista	media
27-12-2010	provocata	Carica Vassale	1	sì	densa	scaricamento
16-02-2011	spontanea					
17-02-2011	provocata	Carica Vassale	1	sì	densa	scaricamento
1-03-2011	provocata	DaisyBell	2	sì	mista	piccola
5-03-2011	provocata	DaisyBell	3	2 sì, 1 no	mista	piccola
18-03-2011	provocata	Carica Vassale	3	2 no, 1 sì	densa	scaricamento
19-03-2011	provocata	Carica Vassale	2	sì	densa	media
20-03-2011	provocata	Carica Vassale	7	3 sì, 4 no	densa	piccola
7-04-2011	provocata	DaisyBell	2	1 sì, 1 no	densa	media

* Riferimento alla classificazione dei EAWS del 2003

© AINEVA

Fig. 2 - Estensione delle valanghe distaccate nel sito sperimentale nella stagione 2010-2011 rilevata tramite GPS nelle zone di scorrimento ed accumulo. I punti verdi indicano i riferimenti topografici utilizzati per la georeferenziazione dei rilievi laser scanner e delle ortofotoimmagini, nonché la posizione dell'ostacolo, mentre le stelle gialle indicano i punti principali di tiro.



invernale, costituita da neve a debole coesione asciutta (densità al distacco intorno a 100 kg/m^3) che ha sviluppato un'importante componente polverosa. In tale occasione, come in altre (evento del 1 marzo 2011), i processi di erosione hanno contribuito alla maggior mobilitazione della massa nevosa che, sebbene al distacco non superasse i 400 m^3 , ha di fatto attraversato la pista "Collegamento Gabiet" ostruendola per ca. 40 m con un'altezza di deposito superiore a 3 m. L'evento descritto ha inoltre generato due distacchi secondari a quota più bassa che hanno anch'essi contribuito all'incremento della massa nevosa totale mobilitata. Le analisi dei video e dei dati registrati dalle celle di carico dell'ostacolo hanno permesso di stimare un'altezza di flusso maggiore ad 1 m nella zona di scorrimento, con due picchi di forza ben distinti a circa 3 s di intervallo, di 14.2 kN e 9.6 kN, agenti sulla superficie di 1 m^2 ;

- a metà-fine marzo, dopo tre giorni consecutivi di condizioni meteorologiche avverse, sono state provocate numerose valanghe di media dimensione, da zone di distacco poste a quote inferiori rispetto a quelle solite per il sito del Seehore (Fig. 3).

I distacchi sono avvenuti per lo più in corrispondenza di accumuli da vento, di spessore anche considerevole, presenti prevalentemente al di sotto dei 2500 m di quota.

In data 19 marzo 2011, si è avuto il distacco di una valanga primaverile, radente: il volume della massa nevosa, stimato in 800 m³ in zona di distacco, è notevolmente aumentato in fase di scorrimento ed il flusso nevoso ha oltrepassato la pista "Collegamento Gabiet". La valanga è stata di tipo denso, con densità fino a 340 kg/m³, ben superiori alle densità riscontrate nelle valanghe invernali registrate al sito della P.ta Seehore.

Queste due valanghe devono essere considerate diversamente nella valutazione delle forze d'impatto sull'ostacolo, poiché presentano una dinamica differente con regimi di flusso che devono quindi essere descritti da leggi fisiche differenti.

ESPERIMENTO DEL 5 MARZO 2011

In questo paragrafo vengono presentate tutte le attività svolte in occasione dei rilievi del 5 marzo 2011 ed i risultati ottenuti dalla successiva analisi dei dati raccolti in campo. Gli eventi del 5 marzo 2011 (Fig. 1) possono essere considerati come tipologia prevalente di valanghe distaccate sul pendio settentrionale della P.ta Seehore.

Quadro nivo-meteorologico dell'evento, sistema di allerta e organizzazione dell'esperimento.

A partire dalla giornata di giovedì 3 marzo 2011, un'area depressionaria sul Mediterraneo occidentale dirige un flusso umido perturbato da SE verso le Alpi, causando precipitazioni nevose oltre 500-700 m slm anche sulla Regione Valle d'Aosta; la nevicata si esaurisce già nella tarda mattinata del 4 marzo 2011.

Il Bollettino Valanghe della Regione Autonoma Valle d'Aosta, emesso in data 4 marzo, riporta quantitativi massimi di neve fresca, pari a 30-50 cm a 2000 m di



Fig. 3 - Bonifica del sito della P.ta Seehore a metà marzo del 2011 (Fonte: Arnoldo Welf).

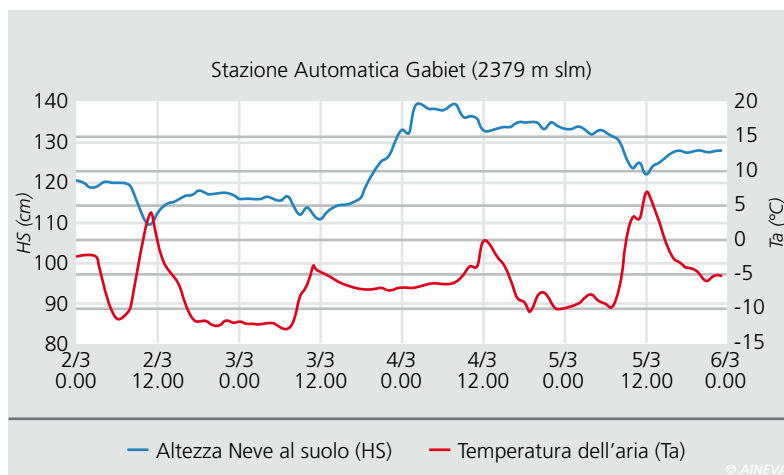


Fig. 4 - Andamento dell'altezza della neve al suolo e della temperatura dell'aria nel periodo compreso tra le ore 0.00 del 3 marzo 2011 e le ore 0.00 del 6 marzo 2011 (Fonte: Ufficio Centro Funzionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta).

quota, nelle valli di Gressoney e Champorcher. La nevicata è accompagnata da venti deboli/moderati da E-SE con la possibile conseguente formazione di lastroni anche compatti sui pendii W e NW, già sede d'accumulo eolico nei giorni precedenti. Nel Bollettino è indicato un pericolo valanghe pari a 3-marcato su tutta la Regione, con probabilità di numerose valanghe spontanee di neve a debole coesione, di piccole e talvolta medie dimensioni, dai pendii molto ripidi a tutte le esposizioni. Il distacco provocato di valanghe a lastroni, anche di medie dimensioni, è dato come possibile già al passaggio del singolo sciatore (debole sovraccarico), in particolare oltre i 2200-2400 m slm ed alle esposizioni occidentali.

Alle ore 8:30 del 4 marzo, quando la stazione meteorologica automatica "Gabiet" (2379 m slm) indica 25 cm di neve fresca

(Fig. 4), scatta lo stato di allerta del gruppo DynAval per una possibile imminente nuova prova sperimentale.

Il Direttore delle piste del comprensorio sciistico, nonché responsabile dei distacchi anche per il sito della P.ta Seehore, Arnoldo Welf, viene consultato e, dopo un suo opportuno sopralluogo sul posto, atto a verificare le condizioni relative alla possibile presenza di accumuli nella zona di distacco, la prova sperimentale al sito della P.ta Seehore viene fissata per l'indomani, sabato 5 marzo 2011.

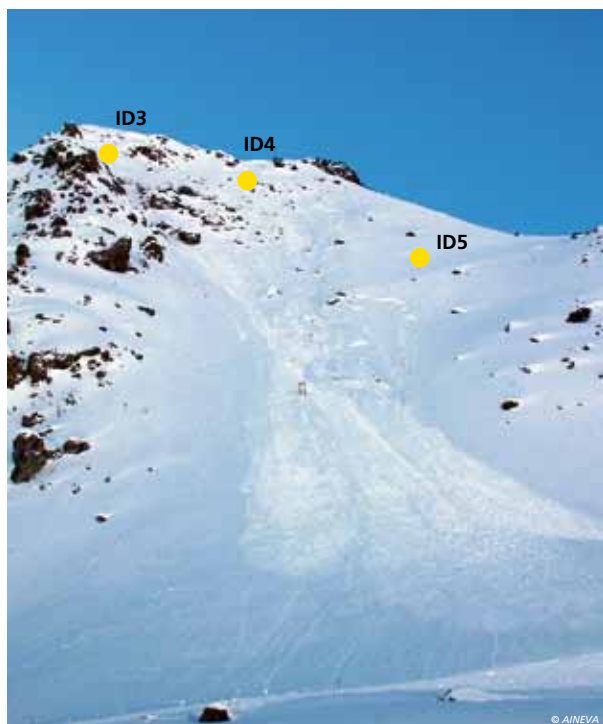
La mattina dell'esperimento, alle ore 6:30, due tecnici esperti di laser-scanner risalgono con un gatto delle nevi e raggiungono le postazioni per effettuare il rilievo pre e post evento. Il resto del gruppo si ritrova alle ore 7:30 alla partenza della cabinovia Staffal-Gabiet, risale con la prima corsa di servizio utilizzata dagli operatori

della Monterosa Ski e si porta nella postazione di ripresa video.

Descrizione della valanga

L'elicottero utilizzato dalla Monterosa Ski, equipaggiato con sistema di distacco artificiale DaisyBell, giunge in loco alle ore 8:45 ed esegue tre tiri nel sito sperimentale (Fig. 5), con esito positivo nei punti ID3 e ID4 e negativo nel punto ID5 (rif. Fig. 2 art. 3). Si staccano due valanghe a lastroni di piccola dimensione, che durante il movimento verso valle sviluppano anche una componente polverosa.

Sotto, fig. 5 - Visione generale delle due valanghe con indicazione dei punti di tiro del sito.



La prima inoltre provoca un ulteriore distacco in sinistra orografica a quota più bassa, che va ad unirsi al flusso principale. Entrambe impattano contro l'ostacolo, fermandosi a monte della pista "Collegamento Gabiet".

In Figura 6 la linea azzurra mostra il perimetro della valanga, rilevato tramite GPS nelle zone di scorrimento ed accumulo.

Rilievi laser-scanner pre e post evento

I rilievi laser scanner sono stati eseguiti in due fasi differenti, in particolare nella fase di pre e post evento. I dati laser scanner pre-evento sono stati acquisiti mediante un sensore Riegl LMS-Z420 a doppio distanziometro laser (CI1 e CI3R) con portata massima di 1500 m. La digitalizzazione è avvenuta da un punto di ripresa particolarmente favorevole che ha permesso la descrizione dell'intero versante. Dati i tempi lunghi per effettuare questo tipo di acquisizione a distanza, lo strumento è stato posizionato su un pilastro in cemento a centramento forzato in modo tale da non essere soggetto ai classici movimenti dovuti al cedimento del terreno innevato o ghiacciato. Il dato acquisito consiste in una nuvola di punti ad elevata densità (ca. 1 punto ogni 5 cm) e ad elevata precisione (ca. 1.5 cm). Contestualmente alle fasi di rilievo del modello tridimensionale sono state acqui-

siste anche un set di immagini digitali con macchina fotografica fullframe Canon Eos 5D da 22 Mpx con obiettivi calibrati da 24 e 50 mm dell'intero versante.

L'integrazione dei due sensori, ed in particolare il calcolo della posizione e dell'orientamento della macchina fotografica rispetto al sensore laser scanner, ha consentito di colorare la nuvola di punti con i colori reali del sito.

I rilievi sono stati conclusi ca. 15 min prima del distacco della valanga.

Tutti i rilievi sono stati ripetuti con la medesima tecnologia alla fine dell'evento valanghivo, utilizzando lo stesso strumento e le stesse risoluzione, precisioni e caratteristiche di scansione. In aggiunta, nel rilievo del post evento, sono stati acquisiti tre modelli supplementari con un sensore laser scanner Riegl VZ400 avente precisione 5 mm e portata 400 m equipaggiato con camera digitale fullframe Nikon D700 da 12 Mpx con obiettivo calibrato di focale 14 mm. La digitalizzazione effettuata con questo sensore è stata aggiunta a quella effettuata col sensore LMS-Z420 per descrivere in modo più dettagliato il perimetro della valanga. La scelta di questo secondo sensore è dovuta alla necessità di acquisire il fronte della valanga utilizzando un treppiede posizionato sul terreno o manto nevoso o su rocce affioranti. Su strati nevosi, per quanto si posizioni opportunamente il treppiede, sono da considerare effetti di cedimento o spostamento lenti del treppiede e quindi del sensore. Questo effetto è dovuto al riscaldamento al sole dell'attrezzatura e del treppiede che causa scioglimento del manto nevoso, o del terreno ghiacciato. Per minimizzare questo effetto è stato scelto uno strumento in grado di misurare il fronte ad altissima velocità, perdendo però in portata. L'effetto dello spostamento dovuto allo scioglimento è stato comunque calcolato e corretto nelle fasi di elaborazione dei dati.

Oltre al rilievo laser scanner è stato effettuato un rilievo GPS di alcuni punti di riferimento per la georeferenziazione dei dati tridimensionali.

I dati laser scanner sono stati elaborati nei

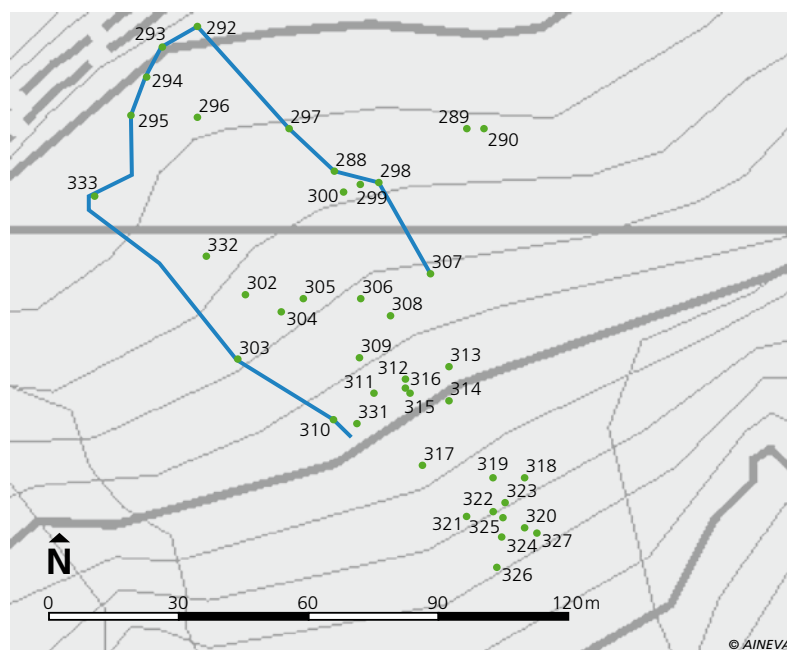


Fig. 6 - Rilievo tramite GPS del perimetro delle valanghe del 5 marzo 2011. I punti indicano dove è stata misurata l'altezza complessiva della neve al suolo con il valore riportato in cm.

giorni successivi al rilevamento mediante una metodologia di calcolo sviluppata dalla società Ad Hoc 3D Solutions. I dati sono stati filtrati dal rumore di acquisizione e da eventuali errori di misura dovuti a riverbero, multi-riflessioni e ad elementi estranei (come gli sciatori nelle fasi post evento). Le scansioni eseguite da treppiede posizionato su manto nevoso sono state controllate e corrette dagli errori di cedimento causato dal riscaldamento e scioglimento della neve. I dati sono inoltre stati allineati secondo un unico sistema di riferimento e sono stati espressi, calcolandone le eventuali deformazioni, nei sistemi di riferimento necessari allo studio, quali un sistema di riferimento locale non deformato, che garantisce la correttezza delle misure di aree, volumi e distanze della valanga, ed i sistemi di riferimento cartografici UTM WGS84 e UTM ED50 per l'inserimento dei dati nel GIS regionale. Tutti i sistemi di riferimento cartografici, per loro definizione, sono una rappresentazione bidimensionale di un ambiente tridimensionale complesso. Per questo motivo sono rappresentazioni che rispetto alla realtà sono sempre deformate nelle componenti planimetriche. Per il sito in oggetto, posizionato ad una quota di ca. 2400 m slm., le deformazioni cartografiche sono di ca. 80 cm per ogni km, quindi spesso non trascurabili nello studio dei volumi e delle aree coinvolti in una valanga, soprattutto se questo è effettuato per la messa in sicurezza delle persone. Questo è il motivo per cui i dati sono stati espressi anche in un sistema di riferimento locale. I dati laser scanner sono stati consegnati nei formati di scambio comuni ed in aggiunta sono stati consegnati con un software di visualizzazione ed uso dei dati di nome Ad Hoc, software sviluppato dalla società omonima. Questo software è stato personalizzato con appositi plugin per la gestione e l'estrazione dai dati delle informazioni utili allo studio nivologico e valanghivo come sezioni, profili, spessori di neve lungo sezioni specifiche, confronti pre-post eventi, misura di differenze di volumi e confronto sezioni pre-post evento per la



Fig. 7 - Visione della zona di distacco delle due valanghe.



Fig. 8 - Particolare della zona di distacco: si nota lo spessore variabile della frattura.

misurazione dell'erosione e del deposito, confrontabili in campo con i risultati dello straw test (rif. art. 5).

Riprese video e misure fotogrammetriche dell'evento

Oltre ai rilevamenti laser scanner sono state effettuate alcune riprese video con macchina fotografica fullframe Canon Eos 5D a 22 Mpx con obiettivo calibrato da 24 mm con frequenza video pari a 25 fps. I video sono stati effettuati durante le fasi di distacco e scivolamento della valanga. I video ottenuti, elaborati mediante tecniche avanzate di videogrammetria, sono stati posizionati e orientati rispetto ai modelli tridimensionali laser scanner. L'integrazione del modello tridimensionale con il video della valanga permette di misurare la velocità del fronte valanghivo lungo una serie di linee di scorrimento scelte da un esperto. La velocità misurata rappresenta la sola velocità del fronte. Non è possibile infatti misurare la velocità della coda in quanto questa non risulta

visibile nel video a causa della componente polverosa che si sviluppa immediatamente dopo il fronte. Oltre alla velocità lungo la linea di scorrimento è possibile conoscere la distanza planimetrica ed il profilo altimetrico del fronte lungo la linea stessa. L'integrazione della videogrammetria con i modelli laser scanner è stata realizzata mediante un apposito plugin del software Ad Hoc che consente di gestire il video ed estrarre le linee e le relative velocità di scorrimento.

Caratterizzazione della zona di distacco

Data la presenza di accumuli da vento in cresta, anche dopo la bonifica, e data la residua possibilità di provocare il distacco di ulteriori lastroni al passaggio con gli sci, si decide, per ragioni di sicurezza, di non recarsi a perimetrare tutta la zona di distacco. Lo spessore del lastrone, variabile lungo la linea di frattura, viene perciò stimato a distanza tra 25 e 60 cm (Fig. 7 e 8).



Sopra da sinistra a destra:
fig. 9 - Neve pallottolare
osservata nel corso della
precipitazione
del 4 marzo;
fig. 10 - ECT eseguito in
zona di distacco a quota
2450 m slm.



Fig. 11 - ECT eseguito in
prossimità della frattura
a quota 2440 m slm.



Sotto, fig. 12 - Fratture
sul lato in sinistra
orografica delle due
valanghe.



Il profilo è realizzato ad una quota di ca. 2450 m slm, in corrispondenza di una delle corone del lastrone, di spessore pari a ca. 60 cm.

Lo strato superficiale (20 cm) risulta costituito da particelle di precipitazione parzialmente frammentate e, rispetto agli strati sottostanti, è caratterizzato da una maggiore resistenza alla penetrazione e da una densità più elevata, probabilmente perché maggiormente compattato dall'azione eolica.

Inoltre nel primo strato superficiale si ritrovano tracce abbondanti di neve pallottolare di dimensioni intorno ai 3 mm (Fig. 9). A 60 cm di profondità, sotto la spessa coltre di neve recente, si trovano invece forme sfaccettate piene (2 mm di dimensione) ed alla base ca. 30 cm di calici misti a cristalli angolari.

Osservando il profilo, i punti di maggiore discontinuità risultano due: il primo all'interno della neve fresca dove cambiano densità e dimensione delle particelle di precipitazione e il secondo tra lo strato di neve recente e lo strato di cristalli sfaccettati a 60 cm di profondità.

Sono realizzati quattro Extended Column Tests, due in corrispondenza del profilo a quota 2450 m slm (Fig. 10), due a quota 2440 m slm (Fig. 11), in corrispondenza di una frattura formatasi nel manto nevoso indisturbato al passaggio con gli sci, e propagatasi fino all'interno del deposito (Fig. 12). In corrispondenza del profilo i test danno esito negativo.

Al contrario i test eseguiti vicino alla frattura danno esito positivo con la formazione e propagazione della frattura a 60 cm di profondità e conseguente caduta del blocco nella buca (rispettivamente ai colpi n. 6 e n. 16 del test).

I test di stabilità confermano la presenza di una discontinuità più importante, tra lo strato di neve recente e lo strato di cristalli sfaccettati, che rende il manto nevoso debolmente consolidato.

Caratterizzazione delle zone di scorrimento e di deposito

Nella zona di scorrimento, dall'analisi dei filmati, si può notare che le due valanghe

hanno tenuto una larghezza abbastanza costante (maggiore per il primo distacco - intorno ai 20 m, e minore per il secondo) ed hanno entrambe impattato contro l'ostacolo strumentato. Nelle Figure 5 e 13 si nota l'area interessata dalle due valanghe, dove però non è visibile la larghezza della parte nubiforme della valanga, maggiore di quella densa. In zona di accumulo, al termine della prova sperimentale, è difficile distinguere l'accumulo del primo distacco da quello del secondo; dall'analisi dei filmati infatti i loro percorsi si sono sovrapposti già nella zona di scorrimento. Si suppone che la seconda valanga non abbia potuto erodere ulteriormente il manto nevoso fermandosi quindi un po' più a monte della prima. La Figura 6 mostra il perimetro della valanga in zona di scorrimento ed accumulo (linea azzurra) ed i punti dove è stata misurata l'altezza di neve al suolo e dove sono stati valutati l'erosione ed il deposito della massa di neve. I dati registrati in tali punti evidenziano una profondità del manto nevoso in zona di scorrimento e accumulo compresa fra i 55 cm e i 330 cm (spessore massimo misurabile con la sonda).

Rilievi intorno all'ostacolo

L'evento del 5 marzo ha formato a monte dell'ostacolo un deposito che è stato oggetto di numerosi rilievi, anche grazie alla sua particolare forma (Fig. 13) mai verificatasi nel resto della stagione, probabilmente influenzata dal parziale riempimento al di sotto dei traversi a seguito dell'evento del 1 marzo (Fig. 14).

Come mostrato in Figura 15, la neve a monte dell'ostacolo è stata erosa (come conferma la mancanza di una cannuccia a 2.1 m dalla struttura) lasciando una lingua di neve non erosa di larghezza di 30 cm fino ad una distanza di ca. 1 m dal bersaglio, per poi aprirsi a ventaglio (Fig. 16). A ca. 0.5 m a monte dell'ostacolo, il deposito inizia a risalire la struttura (Fig. 17): in tale zona, la neve risulta maggiormente compattata, come viene confermato dalle misure di densità e dal test della mano (Fig. 15).

Per i primi 30 cm di spessore del deposito,



Fig. 13 - Visione a monte dell'ostacolo della zona di scorrimento delle due valanghe.



Fig. 14 - Deposito a monte dell'ostacolo a seguito dell'evento del 1 marzo 2011.

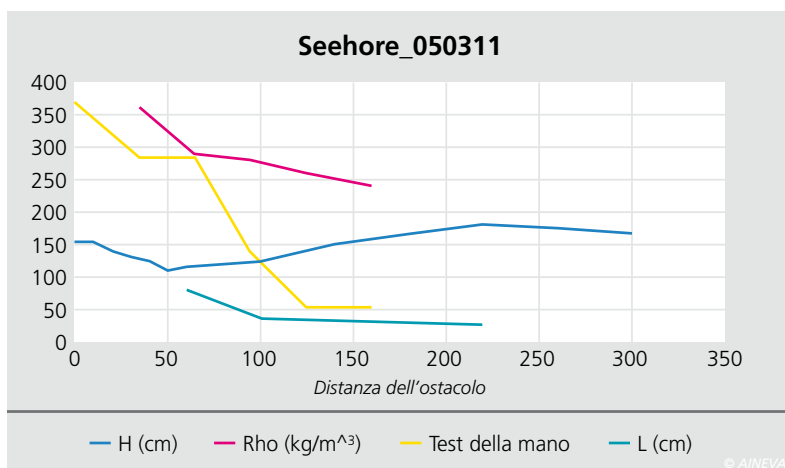


Fig. 15 - Risultati del rilievo eseguito attorno l'ostacolo.

Fig. 16 - Deposito a monte dell'ostacolo.

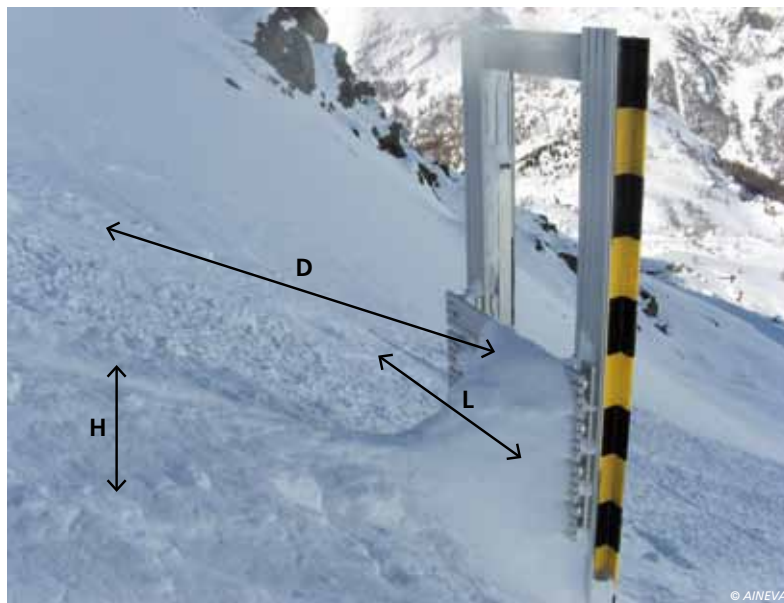


Fig. 17 - Sezione del deposito a monte dell'ostacolo.

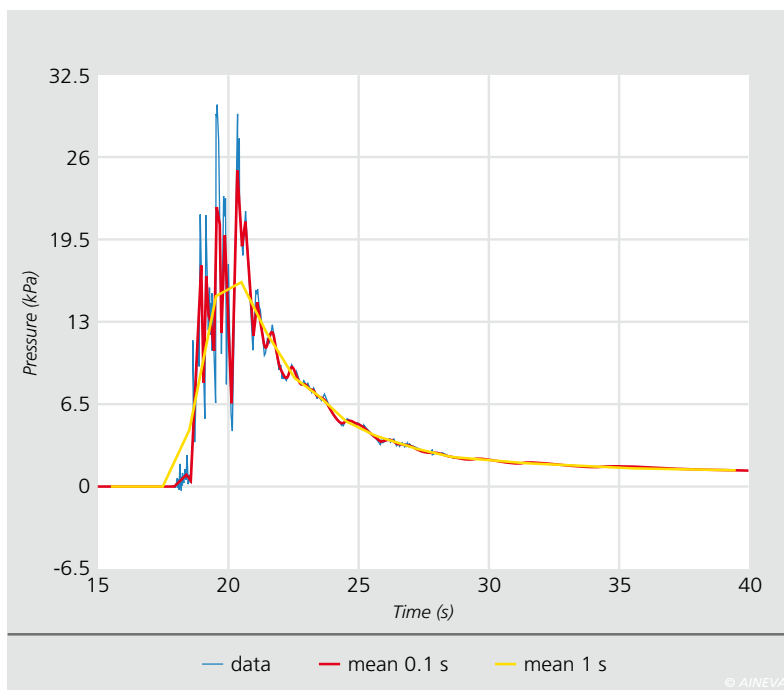


Fig. 18 - Variazione della pressione sull'ostacolo nel tempo (dati e valori mediati ogni 0,1 s e 1 s).



la densità rimane pressoché costante al variare dell'altezza. L'analisi dei cristalli (di tipo 2 con dimensione di 1 mm a distanze di 160 e 125 cm e presenza di neve pallottolare, con dimensione maggiore, per distanze inferiori di 95 cm) conferma che la neve è stata erosa a distanze maggiori, mentre è stata depositata in prossimità dell'ostacolo (presenza di uno strato di ca. 20 cm di cristalli tondi al di sopra della neve pallottolare). A valle dell'ostacolo, i valori di densità misurati (360 kg/m^3 nella zona centrale, 250 kg/m^3 dietro i sostegni, 270 kg/m^3 a ca. 1.5 m a valle dei sostegni) fanno ipotizzare che il flusso sia passato al di sotto dei traversi nei primi attimi

dell'impatto, compattandone la neve, prima di depositarsi a monte dell'ostacolo. I sostegni hanno invece svolto un ruolo di protezione ("zona d'ombra") immediatamente a valle degli stessi, con una zona d'influenza minore di 1.5 m.

Misura delle forze sull'ostacolo

Da una prima analisi svolta sulla forza totale di impatto, è stato possibile stimare la pressione agente sulla struttura. In particolare si può notare come il massimo di pressione misurato sia di 30.7 kPa (Fig. 18). Tuttavia, mediando le misurazioni ogni 0.1 s o 1.0 s, tale valore decresce a 25.4 kPa e a 16.5 kPa rispettivamente. Una possibile spiegazione della vasta fluttuazione dei valori risiede nella natura di saltazione/sospensione della massa impattante, essendo la valanga di tipo misto con un notevole sviluppo della componente polverosa. Si noti infine come il fronte della valanga abbia valori maggiori di pressione rispetto alla coda.

Simulazioni di dinamica delle valanghe

L'evento del 5 marzo è stato inoltre oggetto di simulazioni numeriche utilizzando il modulo valanghe del programma RAMMS, sviluppato dal WSL-SLF per la simulazione numerica di valanghe dense (Christen et al, 2008). I parametri di input sono stati il DEM dell'area con risoluzione a 2 m, l'altezza e l'area di distacco come stimate dai rilievi in campo e dall'analisi dei filmati e delle foto, i coefficienti di attrito dinamico e turbolento, i parametri di erosione del manto nevoso e quelli legati alla random kinetic energy (Buser and Bartelt, 2009). Essendo il programma ben calibrato per valanghe estreme, ma meno testato ed ancora in fase di sviluppo per valanghe frequenti di piccola dimensione (tema di ricerca del progetto transfrontaliero Italia-Svizzera 2007-2013 STRADA), sono state svolte diverse simulazioni variando i parametri di input in modo da riuscire a descrivere l'evento. Questa back-analysis ha portato alla scelta di parametri di input che hanno permesso di riprodurre realisticamente la distanza di arresto e la forma

del deposito, mentre le velocità modellate da RAMMS risultano sempre minori di quelle calcolate analizzando le immagini della valanga in moto dell'evento specifico. Ulteriori simulazioni verranno svolte, considerando anche i dati di erosione e deposito ricavati dai rilievi laser scanner, per riprodurre completamente l'evento e non solo le altezze di flusso.

Anche la stessa interazione con l'ostacolo è stata simulata numericamente con il software COMSOL Multiphysics (rif. art. 6) utilizzando la versione 2D nel piano del pendio, semplificando l'ostacolo ad un rettangolo. I parametri di input utilizzati sono la velocità di impatto, la densità e la viscosità del flusso nevoso. Considerando una sezione che intercetta la posizione dell'ostacolo, è stata stimata una velocità di ca. 18 m/s grazie alla procedura descritta precedentemente.

Data la natura mista della valanga, è stato considerato il valore di densità ρ pari a 28 kg/m³, inferiore ai 270 kg/m³ misurati in zona di distacco, ottenuto da un'analisi a ritroso grazie alla relazione $p=0,5C_d \rho v^2$ che lega pressione p , velocità v , densità ρ e coefficiente di forma C_d . Per la viscosità μ , non misurabile direttamente in sito, si è utilizzato il valore di letteratura pari a $\mu=2,1 \rho$ (Kern et al., 2004). I valori delle pressioni risultanti dalla simulazione risultano essere in accordo con i valori di pressione misurati sperimentalmente. Si è inoltre notato come la presenza dell'ostacolo influenzi la velocità della valanga, facendola diminuire fino ad annullarsi a monte dello stesso.

Ipotizzato il meccanismo di deposito per una velocità inferiore ai 0,5 m/s (Bovet et al, 2011) e modificando la forma dell'ostacolo per tenere conto della neve depositata (Fig. 19), è stato possibile ricostruire il cuneo di neve creatosi a monte dell'ostacolo. Esso è assimilabile ad un triangolo avente un'altezza di ca. 55 cm, paragonabile ai 50 cm misurati sperimentalmente. Le simulazioni numeriche confermano inoltre il rapporto tra i coefficienti di forma (C_d) per la struttura rettangolare iniziale e triangolare finale proposti in letteratura.

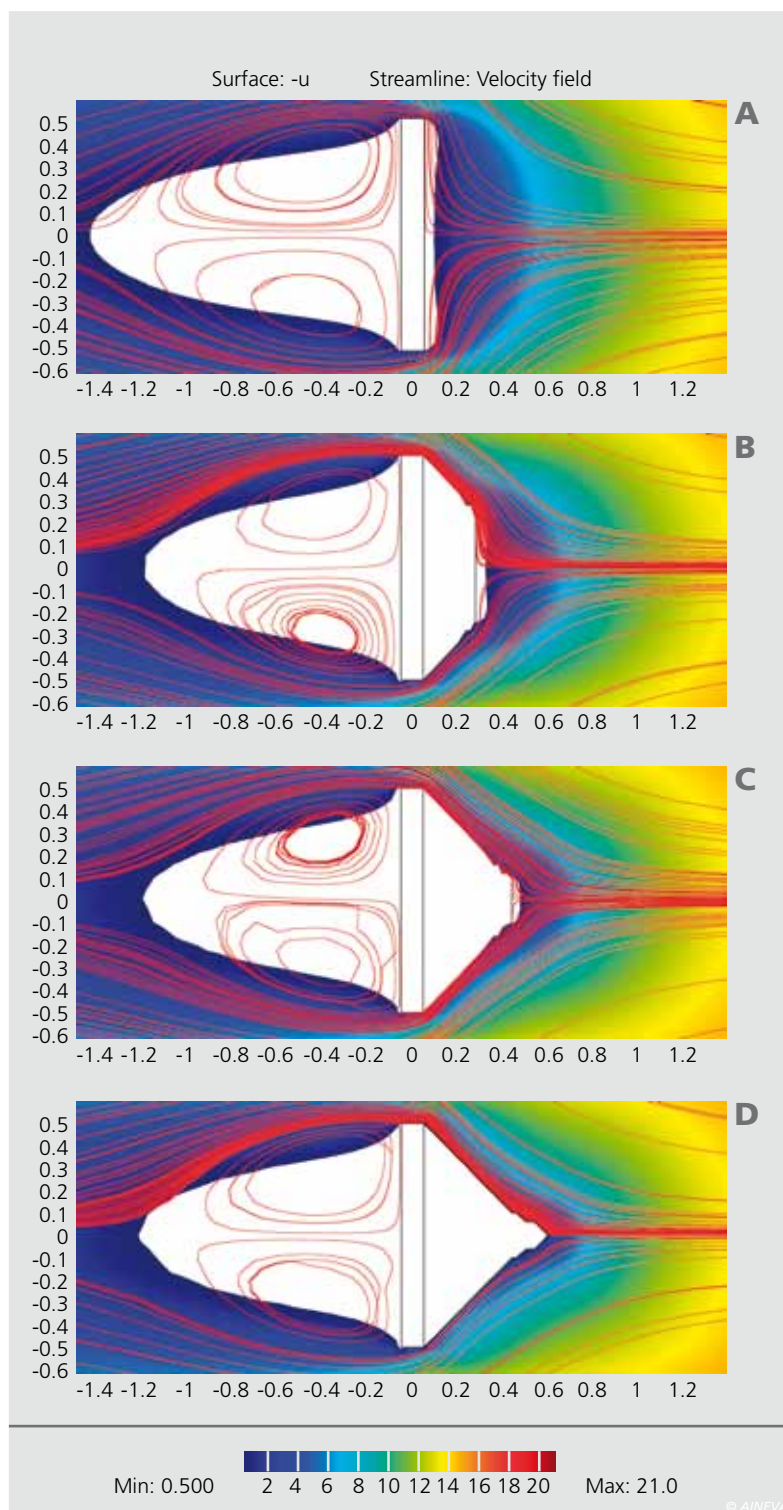


Fig. 19 - Alcuni dei diversi passaggi svolti per ottenere il deposito triangolare finale (la valanga impatta da destra sull'ostacolo). La zona bianca indica una velocità inferiore a 0,5 m/s nella quale la neve si deposita. Si notino anche le linee di flusso.

Bibliografia

- Buser, O. and P. Bartelt. 2009. Production and decay of random kinetic energy in granular snow avalanches. *J. Glaciol.*, 55(189), 3–12.
- Christen, M., J. Kowalski, P. Bartelt and A. Stoffel. 2008. Calculation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain with the numerical simulation program RAMMS. In *Proceedings of the International Snow Science Workshop*, 21–27 September 2008, Whistler, British Columbia, Canada. Whistler, B.C., International Snow Science Workshop, 709–716.
- Kern, M., Tiefenbacher, F., McElwaine, J.N., 2004 The rheology of snow in large chute flows. *Cold Regions Science and Technology*, 39, 181–192
- Bovet, E., Chiaia, B., Frigo, B. (2011) Modelling and testing of avalanche impact on structures. In *Proceedings of the AIMETA Congress*, 12–15 September 2011, Bologna.

UOMINI & TECNOLOGIE PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE



Raccogliere dati dal territorio in modo costante e preciso. Trasmetterli in tempo reale. Elaborarli con potenti software. Archivarli con efficacia e sicurezza. È questo che fa un sistema di monitoraggio efficiente, necessario per la sicurezza di tutti. **È questo che fanno i sistemi CAE, anche nelle condizioni più critiche.**

 **CAE**
monitoring your world.

SISTEMI E SOLUZIONI PER IL MONITORAGGIO IDROMETEOROLOGICO

Via Colunga, 20 - 40068 - San Lazzaro di Savena (BO) - Italy - www.cae.it sales@cae.it - tel. +39 051 4992 711 fax +39 051 4992 709