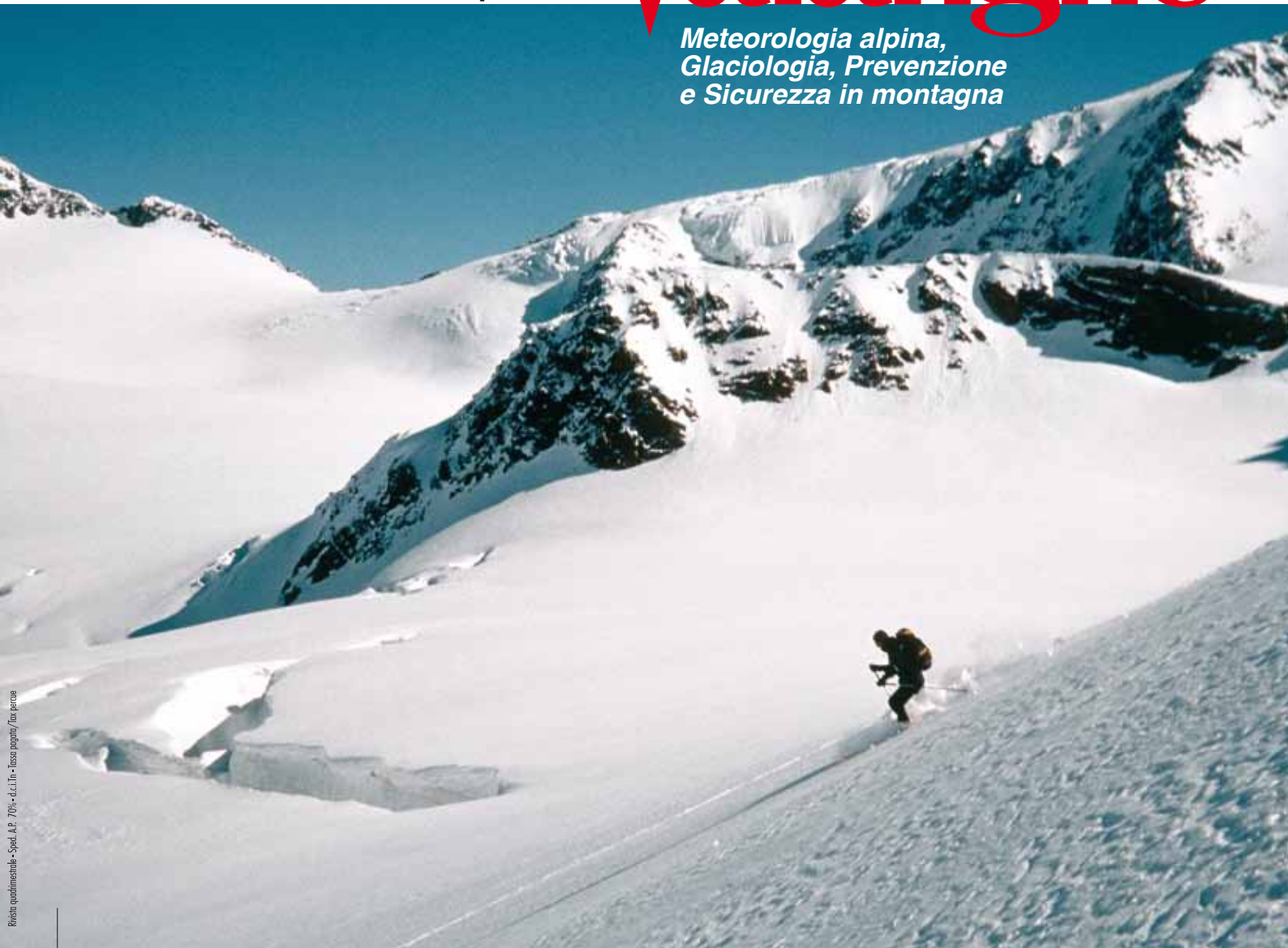


n° 51 - aprile 2004

Neve e Valanghe

*Meteorologia alpina,
Glaciologia, Prevenzione
e Sicurezza in montagna*



L'AINEVA compie 20 anni

STARTER: un modello statistico in ambiente GIS

L'analisi d'immagine per la misura dello snowdrift

Le Guide Alpine e le ciaspole

La manutenzione delle opere paravalanghe

La risorsa idrica in Lombardia

Il lago Effimero sul ghiacciaio del Belvedere

ARFANG: valanghe sotto buona sorveglianza





**Indirizzi e numeri telefonici
dei Servizi Valanghe A.I.NE.VA.
dell'Arco Alpino Italiano**

REGIONE PIEMONTE

ARPA-Piemonte
Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio
Cso Unione Sovietica, 216 - 10134 Torino
Tel. 011 3168203 - Fax 3181709
e-mail: meteoidro@regione.piemonte.it
Bollettino Nivometeorologico:
Tel. 011 3185555
<http://www.regione.piemonte.it/meteo>
Televideo RAI 3 pagine 536 e 537

REGIONE AUTONOMA

VALLE D'AOSTA
Assessorato Territorio, Ambiente e Opere Pubbliche - Ufficio Valanghe.
Loc.Amerique 127/a - 11020 Quart AO
Tel. 0165 776301 Fax 0165 776302
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 0165 776300
<http://www.notes2.regione.vda.it/>
DBWeb/bollnivometeo.nsf
e-mail: u-valanghe@regione.vda.it

REGIONE LOMBARDIA

ARPA-Lombardia Centro Nivometeorologico
Via Monte Confinale 9 - 23032 Bormio SO
Tel. 0342 914400 - Fax 0342 905133
Bollettino Nivometeorologico - 8 linee -
NUMERO VERDE 8488 37077
Fax polling 0342 901521
e-mail: g.peretti@arpalombardia.it

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Ufficio Neve, Valanghe e meteorologia
Galleria dei Legionari 5 - 38100 Trento
Tel. 0461 494877 - Fax 0461 238305
Bollettino Nivometeo 0461 238939
Self-fax 0461 237089
<http://www.provincia.tn.it/meteo>
e-mail: meteotrentino@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
Hydro@provincia.bz.it
Bollettino Nivometeorologico
Tel.0471 270555
Tel.0471 271177 anche self fax
<http://www.provincia.bz.it/valanghe>
Televideo RAI 3 pagine 429 e 529

REGIONE DEL VENETO

ARPA-Veneto Centro Valanghe di Arabba
Via Pradat 5 - 32020 Arabba BL
Tel. 0436 755711 - Fax 0436 79319
Bollettino Nivometeo Tel 0436 780007
Self fax 0436 780008 - 79221
Fax polling 0436 780009
<http://www.arpa.veneto.it/csvdi>
e-mail: cva@arpa.veneto.it

REGIONE AUTONOMA

FRIULI VENEZIA GIULIA
Ufficio Valanghe
Direzione centrale delle risorse
agricole, naturali e forestali
Via Cotonificio 127 - 33100 Udine
Tel. 0432 555877
Fax 0432 485782
Bollettino Nivometeorologico
NUMERO VERDE 800 860377 (in voce e self fax)
<http://www.regione.fvg.it/meteo/valanghe.htm>
e-mail: neve.valanghe@regione.fvg.it

Sede A.I.NE.VA.

Vicolo dell'Adige, 18
38100 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 Scialpinismo 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 2004: Euro 15,50
da versare sul c/c postale n. 14595383
intestato a: AINEVA
vicolo dell'Adige, 18 - 38100 Trento

Direttore Responsabile
Giovanni PERETTI
Coordinatore di redazione:
Alfredo PRAOLINI
ARPA Lombardia

Comitato di redazione:
Enrico FILAFERRO, Fabio GHESER,
Mauro GADDO,
Elena TURRONI, Mauro VALT,
Elena BARBERA, Paolo TURCOTTI

Comitato scientifico editoriale:
Cristoforo CUGNOD, Giorgio TECILLA,
Stefano BOVO,
Alberto LUCHETTA,
Paolo STEFANELLI, Giovanni PERETTI,
Michela MUNARI

Segreteria di Redazione:
Vicolo dell'Adige, 18
38100 TRENTO
Tel. 0461/230305
Fax 0461/232225

Videoimpaginazione e grafica:
MOTTARELLA STUDIO GRAFICO
www.mottarella.com
Cosio Valtellino (SO)

Impianti:
STUDIO AL di Locatelli - Lecco

Stampa:
ALCIONE srl
Trento

Referenze fotografiche:

foto di copertina: Alfredo Praolini,
Giovanni Ficara: 45, 56,
Daniele Moro: 6,
Lodovico Mottarella: 7, 27, 28, 37, 67,
Flavio Berbenni: 49,
Alfredo Praolini: 8, 9, 10, 11, 26, 33, 34, 35, 36,
38-39, 47, 48, 49, 60, 57,
Alessandro Ghinai: 12-13, 14, 16, 25,
Stefano Malavasi: 28, 29, 30,
Prov. Aut. di Trento: 40, 42,
Federico Volpati: 58-59, 60, 61 centro,
ARPA Piemonte: 61, 63,
Vincent Chritin: 68

Hanno collaborato a questo numero:

Elena Barbera, Nadia Preghenella,
Rosanna Turcato,
Stefania Del Barba, Serena Mottarella,
Pietro Del Barba, Fabio Gheser,
Eraldo Meraldi, Enrico Filaferro.

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

I dati forniti dagli abbonati e dagli inserzionisti
vengono utilizzati esclusivamente per l'invio
della presente pubblicazione (L.31.12.96 n.675
e successive integrazioni).

Sommario

aprile 2004 numero 51



6

AINEVA 1983-2003

di E. Filaferro



12

STARTER - Un metodo per la valutazione
della suscettibilità valanghiva

di A. Ghinai



26

L'ANALISI D'IMMAGINE PER LA
MISURA DELLO SNOWDRIFT

di S. Malavasi, A. Bianchi, P. Angiolini, E. Bragastini



34

VIA CON LE CIASPOLE...

di A. Bianchi



38

LA MANUTENZIONE DELLE OPERE
PARAVALANGHE DI DIFESA ATTIVA

di C. Benigni, S. Benigni, M. Gaddo



44

LA RISORSA IDRICA NIVALE
IN LOMBARDIA

di O. Martinelli, D. Modena, D. Bocchiola,
C. De Michele, R. Rosso



58

IL LAGO EFFIMERO SUL GHIACCIAIO
DEL BELVEDERE

di A. Salandin, D. Rabuffetti, S. Barbero,
M. Cordola, G. Volontè, M. Mancini



66

ARFANG - Valanghe sotto buona
sorveglianza

di E. Van Lancker, V. Chritin





Anno nuovo, vita nuova?
Per il 50° numero Neve e Valanghe ha voluto proporre una copertina diversa, che si staccasse in modo evidente dalla copertina che fu ideata all'inizio del 1998, e che ci ha accompagnato per 19 numeri.

Nel frattempo alcune modifiche grafiche del corpo interno della rivista, magari non grosse ed importanti, erano state apportate. Senza che nessuno se ne accorgesse, anche se a volte sono state piuttosto significative.

Con la proposta di copertina particolare e diversa per il numero cinquanta, il Comitato di Redazione ha colto l'occasione per proporre ai lettori una copertina rinnovata, che ci accompagnerà da ora in avanti (finché si deciderà diversamente, è ovvio).

Una rinfrescata ogni tanto non fa mai male... e forse questa potrebbe essere l'occasione anche per rinfrescare questa Direzione della Rivista, ormai funzionante da circa 17 anni e che, con pressione alle stelle o leggere depressioni (metafora meteorologica), attraverso salite facili o vie dure (metafora alpinistica), con curve in salita e curve in discesa (metafora sciistica), ha visto uscire ben 45 numeri di Neve, di Valanghe, di Meteorologia Alpina o di Glaciologia, di Prevenzione e Sicurezza in Montagna. Quarantacinque numeri comunque appassionati.

Una sferzata di energia e di aria nuova (tanto per stare nelle metafore meteorologiche): senz'altro c'è ancora molto da dire e da fare.

Il Direttore Responsabile

Giovanni Peretti

AINEVA

20 ANNI DI NEVE E VALANGHE METEOROLOGIA ALPINA PREVENZIONE E SICUREZZA IN MONTAGNA



Enrico Filaferro

Ufficio Valanghe

Direzione centrale delle risorse
agricole, naturali e forestali

Via Cotonificio 127 – 33100 UDINE

Si è svolto mercoledì 14 gennaio 2004, nella magnifica cornice del Castello di Udine presso la Sala del Parlamento, il convegno “Vent’anni di prevenzione nel campo della neve e delle valanghe”, organizzato da AINEVA per festeggiare i primi due decenni di attività dell’Associazione.

Davanti ad una platea di circa 120 persone, sono intervenuti, oltre ai rappresentanti degli Uffici valanghe Regionali e Provinciali aderenti all’AINEVA, numerosi relatori del settore italiani ed esteri, che hanno affrontato svariate problematiche riguardanti la prevenzione e la sicurezza in montagna. Erano presenti ospiti provenienti dall’ANENA di Grenoble, dall’Istituto federale svizzero di Davos e dal Centro previsionale austriaco di Salisburgo; l’incontro ha visto inoltre la presenza di rappresentanti del Servizio Meteomont del Corpo Forestale dello Stato, delle Guide Alpine e del CAI.

Dopo aver illustrato il bilancio dei traguardi raggiunti attraverso le tappe di una crescita costante che ha visto il realizzarsi di numerosi progetti, si è parlato approfonditamente dell’attività previsionale e sono stati affrontati temi quali la formazione professionale, la pianificazione territoriale, le collaborazioni con gli altri enti coinvolti nelle problematiche connesse al pericolo di valanghe.

Elena Barbera

1983-2003





Era il 21 settembre del 1983 quando i rappresentanti politici delle Regioni e Province autonome dell'arco alpino, vale a dire Friuli – Venezia Giulia, Veneto, Lombardia, Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria, Bolzano e Trento, si riunirono a Venezia per la firma dell'atto costitutivo dell'AINEVA.

Primo presidente fu il friulano Antonio Comelli, allora Presidente della Giunta regionale del Friuli – Venezia Giulia.

E allora, quale sede più prestigiosa del Salone del Parlamento del Castello di Udine, che ha visto sotto gli stucchi dorati del soffitto a cassettoni i Dogi veneziani ed i loro rappresentanti, i Luogotenenti della Patria del Friuli, per celebrare vent'anni di attività, accanto agli affreschi di Pomponio Amalteo e Giovan-Battista Bassi?

Sia pure con un lieve ritardo, si è quindi tenuta, ai primi di gennaio, questa celebrazione.

A fare gli onori di casa Enzo MARSILIO, Assessore alle risorse agricole, naturali e forestali del Friuli – Venezia Giulia, e il Sindaco di Udine, Sergio CECOTTI.

L'ingegner Paola PAGLIARA, dopo aver portato i saluti del Dipartimento della protezione civile della Presidenza del Consiglio dei ministri, ha messo in risalto l'impegno della protezione civile nazionale in materia di tutela dai rischi naturali.

Si è poi passati alla parte più prettamente tecnica, della cui presidenza si è fatto carico l'attuale coordinatore AINEVA, Cristoforo CUGNOD, recentemente divenuto responsabile del Dipartimento risorse naturali, Corpo forestale, protezione civile e antincendio della Valle d'Aosta.

Ha esordito Vincenzo COCCOLO, direttore generale dell'ARPA Piemonte, il quale ha evidenziato i tratti salienti della storia della prevenzione dei pericoli di valanga in Italia, avvalendosi della sua esperienza ultraventennale in materia. Va posto in evidenza che è stato uno dei promotori della nascita di AINEVA. L'emissione dei bollettini valanghe iniziò nel 1966, per merito del Servizio valanghe italiano, emanazione del CAI, che curò la formazione, presso il prestigioso centro di ricerca di Davos, di personale qualificato alla raccolta dei dati

e alla emissione di bollettini valanghe. In questa prima fase tutto il lavoro si svolgeva a Torino. Ben presto, però, ci si rese conto che un simile sistema non rispondeva alle richieste del pubblico e si provvide ad un decentramento sempre su basi volontaristiche. Dalla seconda metà degli anni '70, con l'evoluzione tecnica ed amministrativa delle regioni a statuto ordinario, la mano in materia di rischio valanghivo passò agli organi territoriali, Regioni e Province autonome. Venne però a mancare, a questo punto, il coordinamento che precedentemente era garantito a livello nazionale dallo SVI-CAI. Si sentì quindi la necessità di creare un organo di coordinamento dell'attività di quelle istituzioni, al fine di garantire, su tutto l'arco alpino, un "prodotto" omogeneo. Ecco quindi che l'AINEVA, sin dalla nascita, si diede come compito, tra gli altri, la standardizzazione nelle metodiche di rilevamento dei dati e l'omogeneizzazione delle procedure di formazione del personale. Ebbe poi inizio la sperimentazione, e la successiva diffusione, delle stazioni automatiche di monitoraggio dei dati meteorologici più importanti per conoscere l'evoluzione del manto nevoso.

Se per le metodologie di raccolta e trattamento dei dati nivologici siamo in debito con la Svizzera, per quanto riguarda la cartografia dei fenomeni valanghivi ci si è rivolti alla Francia, dalla quale fu mutuata la redazione e l'adozione delle CLPV (Carta di localizzazione del pericolo di valanghe), funzionali, in particolar modo, alla pianificazione territoriale a media scala in ambito montano. Altro punto significativo dell'attività coordinata dall'AINEVA, fu la istituzione e la diffusione, per effetto di singole leggi regionali o provinciali, delle Commissioni

valanghe, l'occhio più vigile sul territorio, proprio per la sua diffusione a livello di comune.

Uno dei mezzi che hanno consentito la diffusione delle informazioni prodotte dall'AINEVA al di fuori della ristretta cerchia degli addetti ai lavori è stata infine menzionata la rivista **Neve e Valanghe**, un trimestrale che tratta di nivologia, glaciologia, meteorologia e sicurezza in montagna, che è giunto quest'anno al suo 50esimo numero, presentato per l'occasione assieme ad un CD contenente gli ultimi 9 numeri della rivista.

Sono stati successivamente presentati due oratori, Giorgio TECILLA e Marco CORDOLA. Il primo, direttore dell'Ufficio neve, valanghe e meteorologia della Provincia autonoma di Trento, ha illustrato le leggi ed i regolamenti in materia di sicurezza da valanga dei comprensori sciistici in vigore nella Provincia autonoma di Trento, con particolare riferimento agli aspetti più innovativi, quali il maggior coinvolgimento dei privati (impiantisti, gestori, ecc.) e il ricorso, in materia di sicurezza, a sistemi gestionali attuati mediante piani che integrano due momenti nel trattamento del pericolo di valanghe: l'analisi dello stato attuale del manto nevoso e le successive operazioni di sicurezza, sia attiva (distacco artificiale delle valanghe) che passiva (chiusura delle piste o delle strade ritenute a rischio). L'altro oratore, responsabile dell'area Nivologia del Settore meteoidrografico e reti di monitoraggio della Regione Piemonte, ha illustrato in generale la pianificazione territoriale e la tutela della sicurezza nei comprensori innevati, approfondendo gli aspetti relativi alla normativa per la prevenzione del rischio valanghivo, anche in collegamento con la cosiddetta

Legge Sarno. Sono stati presentati i due documenti che l'AINEVA ha curato in collaborazione con l'Università di Pavia: si tratta dei *Criteri per la perimetrazione delle aree soggette al pericolo di valanghe e delle Linee guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe*, quest'ultime ancora in fase preliminare.

Ha poi preso la parola Anselmo CAGNATI, nivologo rinomato a livello internazionale che opera presso il Centro valanghe di Arabba, che ha trattato dell'insegnamento in materia di nivologia curato dall'AINEVA, illustrando i corsi di formazione che si ten-

gono a diversi livelli: formazione nivologica di base, distacco artificiale di valanghe, gestione della sicurezza nei comprensori interessati da valanghe, per terminare con i corsi specifici riservati ai liberi professionisti desiderosi di specializzarsi in questa materia.

Ha poi preso la parola François SIVARDIÈRE, direttore dell'ANENA, l'Associazione che in Francia si occupa di studi relativi alla neve e ed valanghe, e il cui campo di azione spazia dalla formazione professionale (artificieri da neve, unità cinofile, commissioni valanghe, responsabili del soccorso), agli studi ed alle ricerche





(nivologia, ARVA), agli aspetti tecnici e giuridici degli incidenti da valanga, ai contatti con il pubblico attraverso la rivista ***Neige et avalanches***, gli audiovisivi e la documentazione tecnica in materia per i giornalisti.

Il successivo oratore, Paul FÖHN, dell'SLF di Davos, ha trattato dei problemi con i quali ha avuto a che fare la Svizzera durante l'inverno 1998/1999: evacuare villaggi interi, soccorrere quelli irraggiungibili per le valanghe incombenti sulle vie di comunicazione, accorgersi, e tener conto, dei limiti della zonizzazione del pericolo di valanga, che in alcuni casi non avevano tenuto conto di possibili eventi più che eccezionali.

Michael STAUDINGER, consulente del ZAMG di Salisburgo, ha brillantemente svolto la sua presentazione, incentrata sui problemi di comunicazione tra i centri di previsione del pericolo di valanghe ed il pubblico. Dopo aver analizzato l'evoluzione della tipologia dei travolti da valanga dagli anni '50 ad oggi, si è confrontato con un problema noto anche dal nostro lato delle Alpi

e cioè il bisogno fisiologico dei mass media di avere notizie eclatanti, scoop, anche in condizioni appena un po' discoste da quelle normali, con i riflessi che ciò comporta sulla corretta informazione al pubblico. L'oratore si è interrogato, e l'interrogativo rimane aperto, su quali debbano essere la funzione e l'immagine che i servizi valanghe dell'arco alpino debbono avere nei confronti del pubblico. Devono essere i controllori del traffico aereo, e quindi diffondere indicazioni tassative, le guardie del parco nazionale e diffondere indicazioni di massima, o i tecnici algidi, che forniscono l'informazione tecnica nuda e cruda e che poi ognuno si arrangi?

L'intervento di Ernesto BASSETTI, presidente dello SVI-CAI, è stato in linea con il personaggio: ha efficacemente abbozzato i profili dei diversi utenti del bollettino valanghe: lo scialpinista "classico", che consulta il bollettino valanghe a fini nivometeorologici, per garantirsi quindi una gita di successo, e che considera il pericolo di valanghe qualcosa che non lo tocca da vicino; il corsaiolo, per il quale la consultazione del bollettino valanghe è finalizzata ad una migliore performance: la lettura è limitata, parziale in quanto, frequentando più volte gli stessi percorsi, è convinto di conoscerli e tende a sottostimarne i pericoli.

L'escursionista, il fondo-escursionista, gli speleologi e gli amanti del ghiaccio, tendono ad usare il bollettino valanghe solo per la sua parte di previsione meteorologica a causa della scarsa dimestichezza col problema valanghe o a causa dell'attenzione puntata alla parte più tecnica della loro passione. Il soggetto che corre più pericoli è comunque il free-rider, che ricerca il rischio, non lo evita, perché è un modo di



dimostrarsi cool, di far vedere il proprio valore. È difficilmente raggiungibile da messaggi di avvertimento perché non vengono veicolati attraverso i canali a lui usuali. Alcune considerazioni e suggerimenti su come rendere il bollettino più efficace hanno concluso questa presentazione. Paolo STEFANELLI, responsabile dell'ufficio che si occupa di settore neve e valanghe in Friuli – Venezia Giulia, ha illustrato a livello generale il “prodotto” bollettino, presentando la rete di stazioni che curano la raccolta dei dati nivologici necessari per l'analisi del pericolo di valanghe, gli uffici che si occupano della emissione dei bollettini nelle regioni e province autonome dell'arco alpino, e, per concludere, le differenti “confezioni” che caratterizzano, pur in un insieme uniforme di logica e contenuti, i messaggi diffusi al pubblico. Nicola TONDINI, rappresentante del Collegio nazionale delle gui-

de alpine, ha trattato il rapporto esistente tra queste e l'AINEVA, un rapporto di dare e avere. Se da un lato fruiscono della formazione specifica in campo nivologico fornita dall'Associazione sulla base di apposite convenzioni, dall'altro, una volta acquisita la necessaria esperienza nel settore, contribuiscono, forti delle loro alte capacità tecniche, a supportare alcune strutture previsionali nella raccolta dei dati (rilievi penetrometrico-stratigrafici in quota) e nella verifica della validità del bollettino lungo itinerari di alta quota. Il Direttore dell'Osservatorio meteorologico dell'ARPA FVG, Stefano MICHELETTI, ha illustrato la rete di rilevamento della sua struttura per la previsione di dettaglio nelle zone alpine, nonché i prodotti forniti a supporto del servizio di previsione valanghe per il Friuli – Venezia Giulia. Uno degli impegni dell'AINEVA, l'omogeneizzazione delle

previsioni nivometeorologiche, ha portato allo sviluppo ed alla messa a punto del modello decisionale AINEVA, uno strumento che consente ai previsioni di giungere, partendo da un set di dati, alla medesima conclusione, in qualsiasi zona delle Alpi essi si trovino a svolgere il loro lavoro. Questo strumento affinato e testato negli ultimi sei anni dal Gruppo previsori valanghe dell'AINEVA, è stato al centro della presentazione di Flavio BERBENNI, del Centro nivometeorologico di Bormio dell'ARPA Lombardia. Vincenzo ROMEO, del Servizio METEOMONT del Corpo forestale dello Stato, ultimo oratore della serata, ha illustrato l'attività della sua struttura, proficuamente operante nel campo della previsione valanghe in Liguria e lungo l'Appennino. Il saluto finale di Cristoforo CUGNOD, con l'augurio di buon lavoro a tutti i partecipanti, ha concluso il convegno.

STAR

Un modello statistico in ambiente GIS

Alessandro Ghinoi

Dip. di Scienze della Terra,
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
Largo S.Eufemia, 19
41100 Modena
e-mail: ghinoi.alessandro@unimore.it

Il presente articolo descrive una metodologia per la localizzazione delle zone maggiormente predisponenti all'instabilità del manto nevoso in particolari condizioni meteorologiche e alla scala di una porzione di valle alpina. La localizzazione si basa sull'analisi statistica dei rapporti esistenti tra tutte le possibili combinazioni di elementi topografici (s.l.) e le zone di distacco delle valanghe del passato. L'ambiente di elaborazione delle carte utilizzate è costituito da due diversi software di Sistemi Informativi Territoriali (GIS); l'analisi dei dati è stata affidata ad un apposito software. I risultati delle analisi statistiche sono stati verificati su zone di distacco di prova e confrontati utilizzando particolari grafici.

Dal confronto sono scaturite tre carte di suscettibilità, una per ogni scenario meteorologico considerato, in cui sono evidenziati i pixel a maggior valore di suscettibilità per l'intera area di studio. Le verifiche effettuate hanno mostrato come da queste carte ci si possa ragionevolmente attendere una capacità di localizzare percentuali superiori al 60% delle zone di distacco future.



**Un metodo per la valutazione della
suscettibilità valanghiva naturale**

TER





Stabilire quali zone siano maggiormente suscettibili al distacco di neve alla scala di una porzione di valle alpina è senza dubbio un'operazione non facile. Ai fini di una pianificazione territoriale è però un'operazione quanto mai desiderabile, specialmente in aree montuose densamente popolate. L'importanza è ancor maggiore laddove in gioco vi siano anche forti interessi economici, come nel caso dei comprensori sciistici. Ad esempio, l'interruzione (anche per pochi giorni) di un'importante via di accesso ad uno di questi comprensori da parte di una valanga può determinare perdite economiche rilevanti. Per non parlare dei danni alle strutture e ai rischi a cui sciatori, escursionisti e amanti del fuoripista possono essere soggetti, sebbene questi sportivi siano a volte la causa stessa delle slavine di cui sono vittime.

Uno strumento molto utile e già entrato da tempo nella consuetudine della pianificazione territoriale è rappresentato dalle carte della localizzazione probabile delle valanghe (C.L.P.V.). In questo documento cartografico sono riportati tutti i tracciati di valanga individuabili attraverso il riconoscimento, da fotografie

aeree, dei segni lasciati (principalmente nella vegetazione) dal passaggio di valanghe del passato. Il riconoscimento deve essere poi confermato e implementato dal rilevamento di campagna, affiancato dalla testimonianza di un abitante locale, possibilmente fornito di buona memoria storica.

Al di là dei limiti che possono essere riconosciuti a questo strumento, ma che non ne inficiano certo l'estrema utilità, le C.L.P.V. non sono adatte (e, del resto, non rientra nemmeno nelle loro finalità) a risolvere un problema ben più specifico quale è quello testé introdotto: delimitare, cioè, quelle zone che, più di tutte le altre (in una determinata porzione di valle alpina), favoriscono l'instabilità del manto nevoso. Va da sé che le zone in questione saranno le sole zone di distacco. Concentrare l'attenzione sulle sole zone di distacco è di indubbia importanza poiché ogni conseguente studio di dinamica valanghiva (e quindi ogni analisi del rischio) non può prescindere da questo dato.

In questo studio, frutto di una ricerca durata tre anni e che ha portato al conseguimento del titolo di dottore di ricerca

presso l'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, si è cercato di risolvere proprio questo problema.

L'approccio utilizzato si basa sull'esame delle zone di distacco delle valanghe del passato. Tali zone sono descritte all'interno del catasto valanghe (Modello 7 AINEVA). Sebbene il catasto non costituisca una banca dati statisticamente ideale per questo particolare studio, perché solo le valanghe prossime ad elementi vulnerabili sono in esso registrate, è però soddisfacente per la precisione descrittiva delle zone di distacco: quota massima del distacco, larghezza e superficie della zona di distacco e spessore dello strato nevoso staccatosi.

Le zone di distacco del passato possono rivelare informazioni estremamente interessanti se sovrapposte ad elementi topografici (s.l.) che in qualche modo siano correlabili con l'instabilità del manto nevoso: ad esempio l'inclinazione del pendio, l'esposizione del versante, la presenza di concavità o convessità o di determinati tipi vegetazionali ecc. Tali elementi, proprio perché considerabili costanti nel tempo (diversamente dalla distribuzione del manto nevoso e delle sue proprietà, estremamente variabili sia nel tempo che nello spazio) possono essere rappresentabili cartograficamente ed analizzati all'interno di un Sistema Informativo Territoriale in rapporto alle zone di distacco del passato. E' spesso, però, la combinazione di questi elementi a far sì che una certa porzione di territorio sia maggiormente predisponente all'instabilità del manto nevoso.

Quello che si è tentato di scoprire, in questo studio, è proprio la relazione esistente tra tutte le possibili combinazioni di elementi topografici e le zone di di-

stacco del passato; questo con la speranza di prevedere dove, in futuro, possono preferibilmente verificarsi nuovi distacchi utilizzando, come indicatore, il solo fattore topografico. E' lampante la grande potenzialità di questo tipo di previsione, una volta verificatane la validità: basterebbero alcune carte facilmente reperibili e una sufficiente banca dati catastale per individuare una possibile distribuzione spaziale delle zone potenzialmente sedi d'instabilità per il manto nevoso.

Con questo non si pretende di prevedere quando (previsione temporale) un certo volume di neve potrà staccarsi, poiché questo richiede ovviamente dati ben precisi riguardanti le condizioni del manto nevoso e la situazione meteorologica precedente il distacco. Si vuole invece cercare di capire quali siano le caratteristiche topografiche che, per così dire, preparano la strada all'instaurarsi di condizioni instabili per il manto nevoso (previsione spaziale).

Si potrebbe obiettare che nemmeno quest'ultima questione può essere risolta prescindendo dalla conoscenza di dati riguardanti la "storia" meteorologica di una certa zona e delle condizioni della neve. Questo è senz'altro vero e per questo si è cercato, nella selezione e nell'analisi dei dati, di tener conto anche di questi due importantissimi fattori.

Per la creazione della banca dati cartografica e per l'elaborazione delle carte derivate sono stati utilizzati i GIS ArcGis 8.2® (ESRI, 2001) e ILWIS 3.11® (ITC, 2001), mentre per l'analisi statistica dei dati spaziali è stato utilizzato il software SPMS® (Chung, 2003). L'area di studio scelta per la sperimentazione comprende l'Alta Val Badia e zone limitrofe. E' un'area rettangolare di circa

235 km², delimitata ad ovest dal paese di Selva di Valgardena (Wolkenstein), ad est dal Passo Valparola, a nord dall'abitato di La Villa e a sud dal Passo Campolongo.

DESCRIZIONE DEL METODO DI STUDIO

L'idea di fondo è quella di sviscerare dalle zone di distacco del passato, sede quindi certa d'instabilità per il manto nevoso, tutte le caratteristiche topografiche (s.l.) cui, dalla letteratura, è riconosciuto un ruolo fondamentale nel preparare le condizioni che portano all'innescio di valanghe. Questa prima osservazione viene

fatta semplicemente isolando, dai poligoni rappresentanti i tracciati di valanga del catasto, le zone di distacco e sovrapponendole di volta in volta ad una carta rappresentante un singolo elemento topografico. Ad esempio, se si considera l'elemento topografico "inclinazione del pendio", questo sarà rappresentabile, su carta, da una serie di poligoni (o pixel = poligoni quadrati della medesima dimensione). Ognuno di questi pixel avrà un unico valore di pendenza (se si è deciso di suddividere l'intera gamma di pendenze in classi di 1°, i valori possono essere al massimo 91: da 0° a 90°). Se dunque si vuole

Figura 1

CLASSI RICORRENTI, CON PIÙ ALTA FREQUENZA, ALL'INTERNO DELLE ZONE DI DISTACCO DI EVENTI VALANGHIVI

Scenario 1: aumento di carico d'intensità minore di 50 cm / 1 giorno

Carte degli elementi topografici (s.l.)	Classi a frequenza maggiore
Inclinazione del pendio	40°
Esposizione del pendio	100°
Fasce di quota	1800 ±10m
Distanza dalle linee di cresta	80 - 150 m
Asperità del terreno	Erba alta
Concavità/Convessità	Concavità

Scenario 2: aumento di carico d'intensità tra 50 e 100 cm / 1 giorno

Carte degli elementi topografici (s.l.)	Classi a frequenza maggiore
Inclinazione del pendio	55° - 60°
esposizione del pendio	135° - 200°
Fasce di quota	2000 ±10m
Distanza dalle linee di cresta	90 - 100 m
Asperità del terreno	Erba alta
Concavità/Convessità	Concavità

Scenario 3: aumento di carico d'intensità superiore a 100 cm / 1 giorno

Carte degli elementi topografici (s.l.)	Classi a frequenza maggiore
Inclinazione del pendio	45°
esposizione del pendio	150°
Fasce di quota	2450 ±10m
Distanza dalle linee di cresta	80 m
Asperità del terreno	Erba alta
Concavità/Convessità	Concavità

conoscere quali classi di pendenza si trovano con maggior frequenza all'interno di zone di distacco del passato basterà sovrapporre la carta delle classi di pendenza su quella delle zone di distacco e contare quante volte una certa classe di pendenza (un pixel "p" con valore di pendenza "i": pi) si trova all'interno delle zone di distacco.

A questo punto si presenta la



Figura 2

questione fondamentale: quali zone di distacco sia giusto considerare. Discriminante per la scelta dovranno essere le condizioni meteorologiche che hanno preceduto e accompagnato l'insorgere degli eventi valanghivi del passato: in pratica si dovranno selezionare quelle valanghe (e quindi le loro zone di distacco) che hanno in comune un medesimo scenario meteorologico predisponente ed innescante. Questo perché a scenari diversi corrisponderanno, ragionevolmente, zone di distacco di dimensioni diverse, nonché di collocazione spaziale diversa. L'idea di basare la scelta sulla discriminante meteorologica ha un significato ben preciso: introdurre, nell'unico modo possibile, la seconda variabile fondamentale per lo studio dell'instabilità del manto nevoso. La terza variabile, cioè le condizioni del manto nevoso, di gran lunga più difficile da conoscere e de-

scrivere, non sarà che il risultato dell'azione combinata delle prime due variabili. L'assunzione è senza dubbio molto forte, ma è l'unica possibilità, per altro già utilizzata diverse volte in letteratura, basti pensare allo studio di Karl Birkeland (Birkeland et al., 1995) o all'applicazione di Aldo Bariffi (Bariffi, 2002).

La prima operazione da eseguire, quindi, è stata la suddivisione della banca dati del catasto valanghe di La Villa in base alle sezioni A e B del modulo 7 AINEVA: rispettivamente "condizioni meteorologiche significative nei 2-3 giorni precedenti l'evento" e "condizioni meteorologiche significative al momento dell'evento". Per poter fare questo è stato necessario inserire manualmente tutti i moduli 7 AINEVA in un database Access® in modo da impostare automaticamente la selezione delle valanghe in base alle varie combinazioni possibili delle sezioni A e B. In realtà, si è tenuto conto anche della sezione G (Cause del distacco), in modo da arrivare ad una ricostruzione, la più vicina possibile alla realtà, delle cause dei distacchi. La selezione ha portato, per motivi puramente statistici, ad escludere certe combinazioni perché risultanti in un numero di eventi valanghivi piuttosto scarso. In maniera prevedibile, le combinazioni prescelte corrispondono alle situazioni meteorologiche che, per la zona di studio, hanno con maggior frequenza determinato il verificarsi di eventi valanghivi in passato. Queste sono rappresentate da aumenti di carico dovuti a spessori di neve fresca, caduti nell'arco di una giornata, di:

- meno di 50 cm,
- tra 50 e 100 cm
- maggiori di 100 cm.

Esaminando anche le serie meteorologiche del modello 1 AI-

FORMULE

$$(1) \quad Prob \{ZD_p | p_{30^\circ}\} = \frac{IC \cap p_{30^\circ}}{p_{30^\circ}} = \frac{10}{5000} = 0,002$$

Il primo membro significa: la probabilità che il pixel "p" si trovi all'interno di una zona di distacco di calcolo (ZD) se il suo valore è pari a 30° d'inclinazione. IC è l'insieme di tutte le zone di distacco di calcolo e p_{30° è l'insieme di tutti i pixel che hanno valore d'inclinazione pari a 30°.

$$(2) \quad I = I_1 \otimes I_2 \Leftrightarrow \mu_p = \mu_{p_1} \cdot \mu_{p_2}$$

I è l'insieme "prodotto", μ_p è la funzione d'appartenenza "prodotto" e I_1, I_2 sono gli insiemi la cui funzione d'appartenenza è, rispettivamente, μ_{p_1} e μ_{p_2} . In parole povere, se μ_{p_1} è uguale a 0.002 (dalla (1)) per la classe d'inclinazione 30° e μ_{p_2} è uguale, ad esempio, a 0.009, per la classe d'esposizione SO, allora la combinazione delle due classi, nello stesso pixel "p", darà un valore di probabilità pari a 0.000018.

$$(\square) \quad I = I_1 \oplus I_2 = (I_1^c \otimes I_2^c) \Leftrightarrow \mu_p = \mu_{p_1} + \mu_{p_2} - \mu_{p_1} \cdot \mu_{p_2}$$

Usando gli stessi valori, la probabilità combinata sarà, in questo caso: 0.011□ 0.000018 □ 0.0109.

$$(\square) \quad Op.Gamma = (Prodotto\ algebrico)^{1-y} \cdot (Somma\ algebrica)^y$$

con $0 \leq y \leq 1$. Quando $y \square 0$ la (□) corrisponde alla (2)□ Quando $y \square 1$ la (□) corrisponde alla (□). Continuando ad usare gli stessi valori precedenti, un y pari a 0.□ darebbe un valore di probabilità combinata pari a 0.000□□.

NEVA degli ultimi vent'anni, se ne ha una conferma. Da qui, oltre all'aumento di carico, anche i repentini innalzamenti della temperatura media dell'aria (fino a raggiungere e superare gli 0°C) hanno rappresentato un importante motivo d'innescio per le valanghe del passato. In questo studio si è tuttavia scelto di scartare l'innalzamento della temperatura dell'aria per concentrarsi sui tre scenari sopracitati.

Come si diceva già nell'introduzione, ciò che importa non è tanto l'esaminare i rapporti biunivoci tra ogni elemento topografico e le zone di distacco del passato, bensì è la combinazione dei vari elementi che deve maggiormente interessare. S'immagini, per semplicità, di voler conoscere il rapporto esistente tra due elementi topografici (l'inclinazione del pendio e l'esposizione del pendio) e le zone di distacco. Se si assume che i due elementi siano indipendenti, cioè che il manifestarsi dell'uno non influenzi il manifestarsi dell'altro, allora si dovrà esaminare come la loro contemporanea presenza in una determinata porzione di territorio (in questo caso uno o più pixel) si rapporta alla presenza di una zona di distacco. Presi singolarmente, i due elementi mostreranno, con le zone di distacco, una certa relazione. Per contro, se presi in combinazione, la nuova relazione potrebbe essere totalmente differente. Tale relazione potrebbe essere descritta con un semplice calcolo di probabilità dato dal rapporto tra il numero di pixel di una certa classe che cadono all'interno di una zona di distacco e la somma di tutti i pixel componenti quella classe. Tale rapporto verrà ripreso più avanti nell'equazione (1).

Si dovrà poi trovare un modo per combinare i vari elementi topografici e un modo per poter

calcolare il grado di relazione che ciascuna combinazione ha con le zone di distacco. Raggiunti questi due obiettivi primari si dovrà quindi trovare un sistema per confrontare le varie relazioni al fine di scegliere quella più stretta. In fine, la combinazione di elementi topografici che mostrerà la relazione più stretta con le zone di distacco del passato dovrà essere utilizzata per costruire la carta finale di suscettibilità valanghiva.

LA BANCA DATI CARTOGRAFICA UTILIZZATA

La carta di base è il Modello Digitale delle Quote (o, nella terminologia inglese, più frequentemente usata, D.E.M.). Fornito dalla Provincia Autonoma di Bolzano, il modello ha una struttura matriciale con passo di campionamento di 20m (pixel size 20x20 m). E' stato creato dalla interpolazione delle isolinee (equidistanza 10m) ottenute dalla foto-restituzione di fotografie aeree del Volo Italia 1994. Punti di misurazione GPS, nonché particolari punti quotati in corrispondenza di selle, depressioni, cocuzzoli, linee di cresta ecc., sono stati aggiunti per affinare la descrizione altimetrica. La discrepanza tra le quote di punti determinati fotogrammetricamente su particolari ben identificabili e quelle corrispondenti ricavate per interpolazione sul DEM, non è mai superiore alla metà dell'equidistanza delle isolinee, ovvero a 5 metri.

Dal DEM sono state ricavate:

- (1)** la carta dell'inclinazione del pendio,
- (2)** la carta dell'orientazione del pendio,
- (3)** la carta delle fasce di quota
- (4)** la carta delle concavità e delle convessità.

La carta (1) contiene 85 classi

continue d'inclinazione, espressa in gradi: da 1° a 85°; la carta (2) contiene 360 classi continue d'esposizione, espressa in gradi: da 1° a 359°; la carta (3) contiene 187 classi continue di fasce di quota, di valore unitario pari a 10 m: da 1297 m a 3173 m; la carta (4) contiene 3 classi tematiche: a) superfici concave, b) superfici convesse e c) superfici piane.

La carta (1) è stata ottenuta calcolando le differenze di quota nella direzione x e nella direzione y tramite un filtro che calcola, per ogni pixel "p_k", la derivata prima tra 5 punti quotati allineati di cui "p_k" è quello centrale. Di ogni valore viene quindi calcolata l'arco-tangente, successivamente convertita in gradi. Non è necessario spiegare il significato che questa carta ha in relazione alle zone di distacco, poiché non nasconde altro che la distribuzione dell'elemento fondamentale per tutti i processi di versante, e cioè la gravità. La carta (2) è stata ottenuta calcolando, come in (1), le stesse derivate prime, dx e dy; viene poi calcolato l'angolo (in radianti) tra l'asse delle x e la coppia (dx,dy), a questo sommando il valore di π .

Il valore finale viene convertito in gradi. Nell'esposizione del versante sono nascosti tutti i processi che possono avvenire all'interno del manto nevoso a seguito del bilancio radiativo esterno e dell'esposizione ad influenze d'aria più o meno ricorrenti.

La carta (3) è semplicemente una riclassificazione del DEM in fasce di quota di spessore uniforme, in questo caso scelto corrispondente alla distanza tra le isolinee. La carta dovrebbe rappresentare la variazione delle quantità di precipitazione in base alla sola quota. Sebbene tale variazione non sia molto pronunciata alla scala di questo studio, si è comunque deciso di

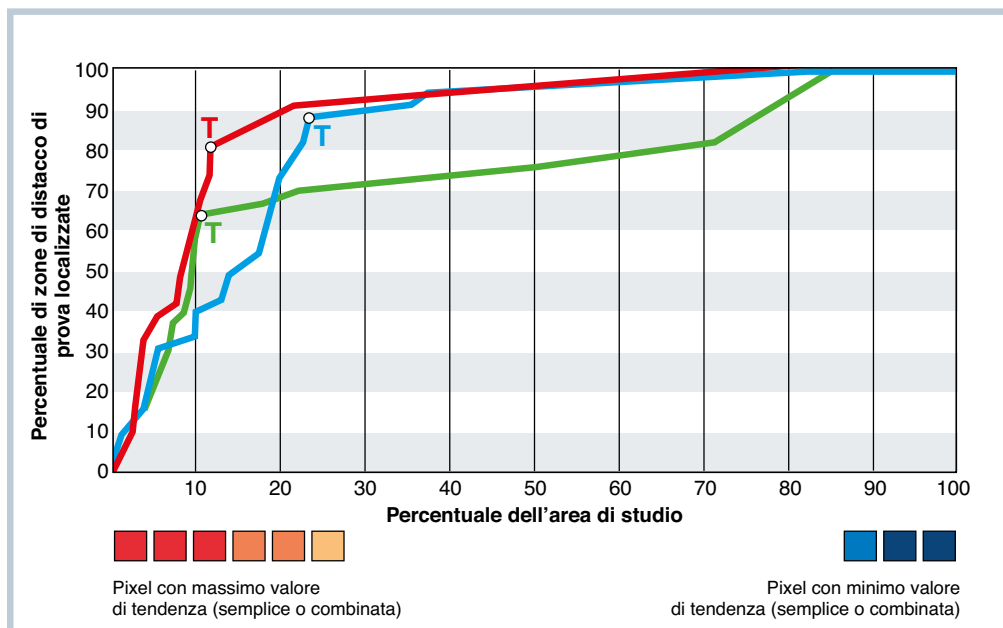


Figura 3: costruzione del grafico di verifica.

Sull'asse delle x vi sono disposti, in ordine decrescente di valore di tendenza, tutti i pixel che compongono l'intera area di studio, da $x = 0$ a $x = 100$. In rosso sono i pixel a più alto valore di tendenza. Le curve mostrano la percentuale di zone di distacco di prova localizzate da tre diverse combinazioni di elementi topografici (s.l.). I punti "T" segnano il passaggio tra la porzione più significativa di ogni curva (quella tra (0,0) e T) e la porzione meno significativa (quella tra T e (100,100)).

inserire anche questo elemento nel calcolo.

La carta (4) è in realtà da scomporre in tre carte differenti, ciascuna delle quali è costruita calcolando la derivata seconda, per ogni pixel " p_k ", tra cinque punti quotati allineati di cui " p_k " è il pixel centrale. Le carte sono tre poiché l'allineamento è, per la prima, lungo l'asse delle x, per la seconda lungo quello delle y e per la terza nelle 2 diagonali principali. Questa carta dovrebbe evidenziare, una volta sovrapposta alle zone di distacco, quale delle tre forme rappresenta la situazione più favorevole (dal punto di vista degli sforzi da essa prodotti all'interno del manto nevoso, ma anche dell'accumulo preferenziale di neve) al distacco di valanghe.

Per cercare di valutare il rapporto esistente tra il trasporto (e quindi l'accumulo) della neve da parte del vento e le zone di distacco del passato, si è creata una carta delle linee di cresta, digitalizzando tali linee direttamente sulle orto-fotografie a colori della zona (volo 1999, pixel size 1x1 m). Con una procedura preesistente all'interno di ArcGis 8.2®, è stata creata la carta delle fasce d'equidistanza (planare) dalle

linee di cresta; questo perché, dalla letteratura, è noto come, a parità d'intensità e direzione del vento, gli accumuli di neve si sviluppano a distanze diverse dalla cresta montuosa a seconda della forma e dimensione della cresta stessa (Föhn & Meister, 1983; Meister, 1989).

L'ultima carta creata appositamente per questo studio è stata la carta delle "asperità del terreno": in essa vengono distinte, attraverso l'esame delle orto-fotografie aeree, le varie tipologie vegetazionali, le visibili classi granulometriche dei depositi superficiali, la roccia nuda affiorante, nonché la contemporanea presenza di classi vegetazionali e granulometriche/rocciose. Le classi sono in tutto 16: 1. bosco a basso fusto; 2. bosco a basso fusto (rado); 3. bosco ad alto fusto (rado); 4. bosco ad alto fusto (bassa densità); 5. bosco ad alto fusto (alta densità); 6. bosco ad alto fusto su roccia; 7. erba bassa; 8. erba alta; 9. roccia ruvida; 10. roccia liscia; 11. suolo privo di vegetazione; 12. detrito (granulometria fine); 13. detrito (granulometria media); 14. detrito (granulometria grande); 15. blocchi; 16. superficie artificiale. La sovrapposizione

di questa carta con le zone di distacco dovrebbe evidenziare la relazione esistente tra queste, sede dell'instabilità passata del manto nevoso, e un elemento topografico che può avere una certa influenza sui parametri di resistenza del manto nevoso (McClung, 2001; McClung & Schaerer, 1993).

ANALISI DI FREQUENZA

Interessante è osservare, prima di procedere all'esame dei rapporti tra le possibili combinazioni di elementi topografici e le zone di distacco, quali classi di ogni elemento topografico ricadano (per questa area di studio) con maggior frequenza all'interno delle zone di distacco del passato. Per fare questo si dovranno semplicemente sovrapporre le singole carte prima descritte alle zone di distacco del passato. Il software utilizzato per la sovrapposizione e per la costruzione dei grafici di distribuzione di frequenza è SPMS®. Il risultato di queste sovrapposizioni si può esaminare, per ogni insieme di eventi, nelle tabelle di fig. 1.

La gran parte (per non dire tutti) degli studi di suscettibilità¹ (anche se questo termine viene spesso confuso con "pericolosità" e addirittura con "rischio"²) a conoscenza dell'autore si fermano qui, e il risultato potrebbe già essere soddisfacente. In fondo, da questa analisi si potrebbero già isolare, come altamente suscettibili, quelle classi espresse in tabella, rappresentandole con un colore a piacere (generalmente rosso) sulla carta di suscettibilità.

Il passo avanti che con questo studio s'intende fare è quello di combinare (per ogni pixel) i valori di probabilità (di far parte di una zona di distacco) calcolati per ogni singola classe di ogni elemento topografico e di

verificare i rapporti di tali combinazioni con le zone di distacco del passato.

PROBABILITA', COMBINAZIONI E VERIFICA: PROCEDURE DI CALCOLO

Invece di spiegare, a livello teorico, le tre procedure di calcolo, è certamente più immediato utilizzare un esempio pratico. Si prendano due carte di elementi topografici: per non abbandonare l'esempio precedente, si considerino la carta dell'inclinazione del pendio e quella dell'esposizione del pendio. Si prenda anche la carta con tutte le zone di distacco appartenenti al gruppo di valanghe determinate da un aumento di carico inferiore a 50cm/1 giorno. La prima operazione da eseguire è quella di scomporre in due parti (possibilmente uguali) l'insieme delle zone di distacco, e di farlo in modo casuale. Il significato della scomposizione è il seguente: una parte dell'insieme (chiamata "insieme di calcolo") verrà utilizzata per il calcolo delle probabilità e delle loro combinazioni; l'altra parte (chiamata "insieme di prova") servirà per la verifica.

La filosofia di fondo è la stessa già ben collaudata per la *supervised classification* di unità superficiali del terreno attraverso immagini tele-rilevate (Lillesand & Kiefer, 1994).

Si calcoli ora la probabilità che la classe 30° d'inclinazione del pendio faccia parte di una zona di distacco dell'insieme di calcolo. Se la classe 30° è rappresentata, nell'intera area di studio, da 5000 pixel e da 10 pixel nelle zone di distacco dell'insieme di calcolo, allora la probabilità sarà data dalla equazione (1) in figura 2.

Dopo il calcolo, a tutti i pixel

dell'area di studio con valore d'inclinazione 30° verrà sostituito il valore di probabilità 0.002. Così per tutte le altre classi d'inclinazione e per tutte le classi d'esposizione del pendio.

Poiché ciò che interessa è la combinazione dei due elementi topografici, uno dei sistemi possibili di combinazione (qui adottato) proviene dalla teoria degli insiemi fuzzy di Zadeh (Zadeh, 1965; Zadeh, 1968; Zadeh, 1978). Questo non significa certo che altre tecniche vadano scartate, anzi, in futuro sarà molto interessante poterle esaminare a confronto.

Se si assume che la funzione d'appartenenza (μ) ad un insieme fuzzy sia data, per ogni classe, dalla (1), e se si assume l'indipendenza esistente tra i due elementi topografici, allora si possono utilizzare gli operatori della teoria fuzzy per combinare le due funzioni d'appartenenza. Gli operatori che possono essere ragionevolmente utilizzati sono: 1. il prodotto algebrico e 2. la somma algebrica.

Il prodotto algebrico è descritto dalla formula (2) in figura 2.

La somma algebrica è invece descritta dalla formula (3) in figura 2. Un terzo operatore è l'operatore Gamma definibile, con una simbologia non proprio ortodossa, come in formula (4). E' evidente come l'operatore gamma sia uno strumento comodo per calcolare tutta la serie di valori compresa tra il minimo, dato dal prodotto algebrico, e il massimo, ottenibile con la somma algebrica. In questo studio è stato usato l'operatore gamma con tre valori: $\gamma = 0, 1$ e 0.5 .

L'esempio appena descritto ha tentato di spiegare una delle due componenti fondamentali di questo approccio e cioè la combinazione di quelle che potremmo ora definire "tendenze

d'appartenenza" (ad una zona di distacco del passato) di ogni singola classe di elementi topografici.

La seconda componente fondamentale è la verifica dell'effettiva significatività di tali tendenze. In pratica, anche se la combinazione delle probabilità tra le classi d'inclinazione e d'esposizione del pendio ha fornito il valore più alto per la combinazione "30°inclin.+200°espos.", ciò non implica necessariamente che i pixel contenenti quella combinazione facciano parte di future zone di distacco. Questo lo si può verificare soltanto sovrapponendo all'insieme di prova delle zone di distacco (che si sostituiscono alle inesistenti zone di distacco future) le varie carte delle tendenze combinate. E' soltanto attraverso questa operazione che si può dimostrare se i pixel a maggior tendenza sono effettivamente quelli che permettono di individuare il maggior numero di zone di distacco future. Se la verifica mostrerà una conferma positiva, allora quei pixel (quindi quelle unità in cui è stata scomposta l'area di studio) saranno eletti come altamente suscettibili alla preparazione dell'instabilità del manto nevoso.

Anche qui il calcolo è molto semplice: per verificare se i pixel a maggior tendenza (nell'esempio quelli contraddistinti dalla combinazione "30°inclin.+200°espos.") sono in grado di localizzare il maggior numero di zone di distacco di prova basterà contare quanti di quei pixel cadono all'interno di quelle zone. In questo studio si è scelto di considerare una zona di distacco di prova come "localizzata" quando almeno metà della sua superficie è ricoperta dai pixel a maggiore tendenza.

Immaginiamo ora di aver calcolato le tendenze d'appartenenza

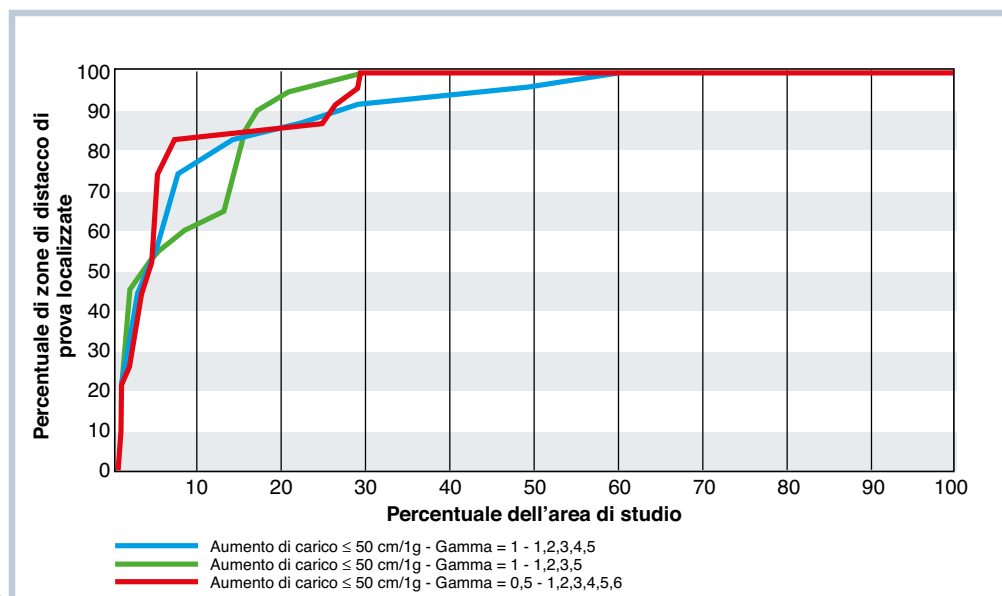


Fig. 4

Fig. 4a



Figura 4: confronto tra le curve di verifica delle tre combinazioni che hanno mostrato i migliori risultati in termini di percentuale di zone di distacco di prova localizzate. 1: carta dell'inclinazione del pendio; 2: carta dell'esposizione del pendio; 3: carta delle fasce di quota; 4: carta delle concavità/convessità; 5: carta delle distanze dalle creste montuose; 6: carta delle asperità del terreno. Scenario meteorologico: aumento di carico <50cm/1 giorno di neve fresca.

per tutti i pixel caratterizzati dalla combinazione delle inclinazioni del pendio e delle esposizioni del pendio: s'immagini quindi una carta piena di valori che saranno compresi tra 0 e 1. Immaginiamo poi di ordinare tutti i pixel in ordine decrescente di valore, e cioè da un massimo di 1 ad un minimo di 0, sull'asse delle x di un grafico cartesiano, facendo sì che il valore massimo coincida con l'origine degli assi, quindi corrispondente ad una percentuale di superficie totale pari allo 0% (Figura 3). Sovrapponiamo quindi la carta dei valori di tendenza a quella delle zone di distacco di prova.

In questo momento ha inizio il conteggio dei pixel che, per ogni valore di tendenza, cadono all'interno delle zone di distacco di prova. C'è da aspettarsi che i pixel con valore di tendenza prossimo al massimo coprano la percentuale maggiore delle zone di distacco di prova. Se quindi poniamo sull'asse delle y la percentuale di zone di distacco di prova localizzate (0% all'origine degli assi) otteniamo una curva che rappresenta esattamente la verifica di quella che potremmo chiamare "previsione di suscettibilità". E' chiaro che la curva avrà un andamento monotono crescente, tenderà a raggiungere

$y=100\%$ con x che tende al 100% dell'area e rappresenterà una verifica tanto più buona quanto più il suo punto "T" (dove la curva comincia a tendere lentamente a $y=100\%$) sarà vicino al punto (0%,100%).

Il grafico di verifica rappresenta uno strumento importantissimo perché permette di visualizzare e di quantificare la bontà di qualsiasi combinazione di elementi topografici nel localizzare le zone di distacco di prova. In altre parole, il grafico permette di quantificare la suscettibilità che due o più elementi topografici mostrano nel preparare l'instabilità del manto nevoso.

Riprendendo l'esempio, poniamo che la curva rappresentante la previsione di suscettibilità degli elementi topografici "inclinazione del pendio" e "esposizione del pendio" abbia il suo punto di massima curvatura in (1%,80%). Ciò significa che i pixel a maggior valore di tendenza combinata coprono l'1% dell'intera area di studio (cioè 2,30 km²) e con questi è possibile localizzare l'80% delle zone di distacco di prova. Sarebbe un ottimo risultato. Immaginiamo poi che la combinazione tra "inclinazione del pendio" e "vegetazione" fornisca una curva di verifica con la massima curvatura in (3%,80%): in questo caso la previsione di suscettibilità sarebbe inferiore rispetto alla prima poiché la stessa percentuale di zone di distacco di prova è localizzata utilizzando i pixel a maggior valore di tendenza combinata che coprono una percentuale maggiore dell'area di studio.

Utilizzando un paragone sportivo, si potrebbe spiegare il significato di quanto appena detto nel seguente modo: non è un grande successo fare centro al gioco delle freccette saturando di freccette l'intero cerchio; lo è

solo nel momento in cui si riesce a fare centro con una freccetta sola. Parimenti, la previsione di suscettibilità avrà successo se si riuscirà a localizzare il più alto numero di zone di distacco di prova utilizzando il più basso numero possibile di pixel a maggiore valore di tendenza: ovviamente non più basso dell'estensione totale delle zone di distacco di prova.

Una volta individuata la combinazione di elementi topografici con la migliore curva di verifica si dovrà selezionare una percentuale di pixel, a più alta tendenza combinata, non superiore al 10% dell'area totale di studio. A questi pixel può essere assegnato un colore rosso e la loro distribuzione spaziale sarà in tal modo chiaramente visualizzabile su di una carta topografica o su di una fotografia aerea. La curva di verifica serve quindi a quantificare il grado di successo attendibile dalla carta così costruita, la cui utilità appare ora evidente: saranno infatti quei pixel rossi le zone dove la massima attenzione dovrà essere concentrata e, poiché collocate con precisione nello spazio, su quelle zone si dovranno indirizzare successive analisi di stabilità, nonché tentare ipotesi di distacco di volumi di neve per calcoli di dinamica valanghiva.

RISULTATI DELL'APPLICAZIONE IN ALTA VAL BADIA

Dopo aver cercato di descrivere il procedimento utilizzato, vengono qui riportati e commentati i risultati dell'applicazione del metodo alle zone di distacco dell'Alta Val Badia. Gli scenari meteorologici considerati sono quelli già descritti in precedenza. Per ognuno di questi verranno mostrate le curve di verifica più significative dal punto di vista

del numero di zone di distacco di prova previste e le rispettive carte di suscettibilità.

Dal grafico di figura 4 si vede come la combinazione (con $\gamma = 0.5$) tra i valori di tendenza delle classi di tutti gli elementi topografici considerati permetta di localizzare circa l'82% (cioè 11 su 14) delle zone di distacco di prova utilizzando il 7% dell'intera area di studio. Non certo indifferente è pure l'andamento della curva data dalla combinazione dei primi cinque elementi topografici, con $\gamma = 1$. Per la costruzione della carta di suscettibilità finale, per questo scenario, verrà pertanto utilizzata la carta dei valori di tendenza combinati

data dalla combinazione rossa. Solo i pixel con valori più elevati verranno evidenziati sulla carta e la loro estensione non sarà superiore al 10% dell'area di studio. Questa percentuale del 10% è scelta come limite massimo, in conseguenza di quanto si è appena detto riguardo al successo a cui una previsione deve aspirare. Saranno le aree ricoperte da questi pixel quelle dove, con maggior probabilità, potranno svilupparsi future zone di distacco (figura 5). L'atteso grado di suscettibilità di quei pixel è invece quantificato dalla rispettiva curva rossa (fig. 4). Anche per il secondo scenario la combinazione di elementi

Figura 4a: distribuzione dei pixel a maggior valore di tendenza combinata (in rosso) in una porzione dell'area di studio. La combinazione di elementi topografici corrispondente è quella della curva rossa di figura 2. Scenario meteorologico: aumento di carico <50cm/1 giorno di neve fresca.

Figure 5 e 5a: Scenario meteorologico: aumento di carico tra 50 e 100cm/1 giorno di neve fresca.

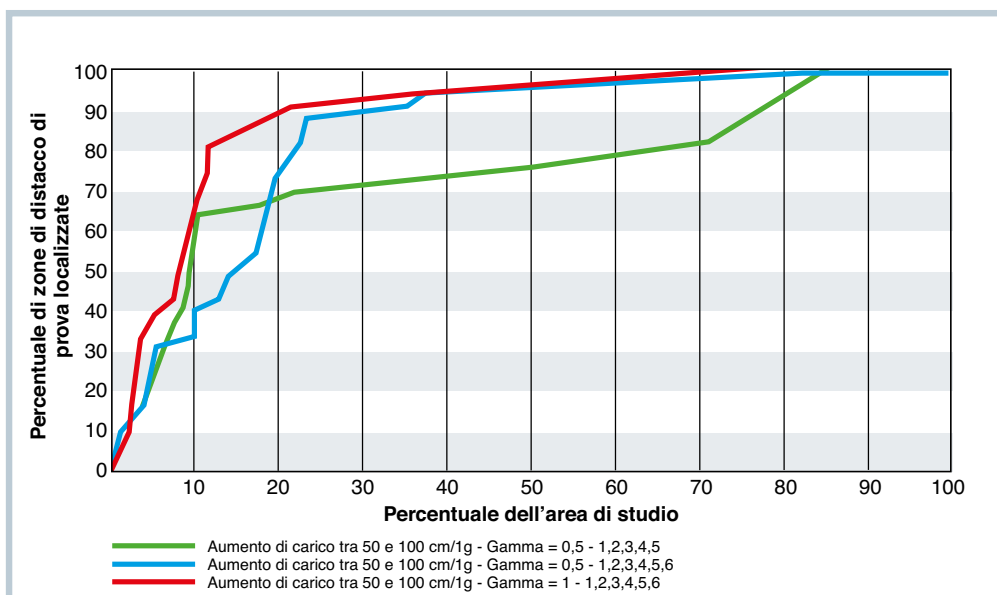


Fig. 5

Fig. 5a



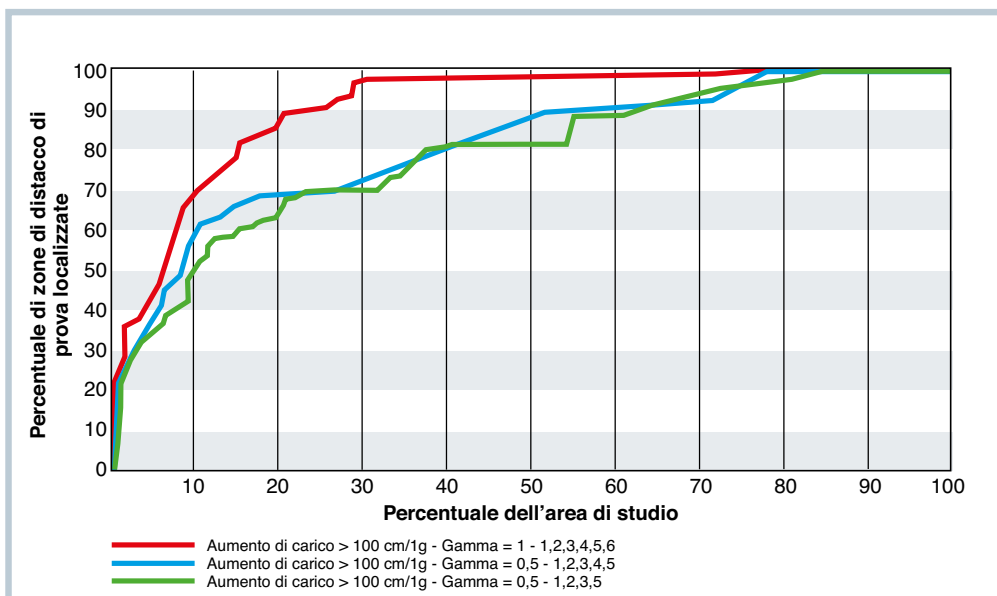


Figure 6 e 6a:
Scenario
meteorologico:
aumento di carico
maggiore di 100cm/1
giorno di neve fresca.

topografici che ottiene il miglior risultato è la stessa (questa volta utilizzando $\gamma = 1$) (figura 6). Il successo atteso è leggermente inferiore: la percentuale di zone di distacco di prova localizzate è circa pari al 67% (quasi 9 su 13) e la superficie totale utilizzata per localizzarle è pari al 10% dell'area di studio. La rispettiva carta di suscettibilità è visibile, nella sua porzione particolare identica a quella di figura 4a, in figura 5a.

Anche per l'ultimo scenario la combinazione migliore risulta essere quella tra tutti gli elementi

topografici considerati ($\gamma = 1$) (figura 6). La percentuale di zone di distacco di prova localizzate è circa pari al 70% (quasi 17 su 24) e la superficie totale utilizzata per localizzarle è pari al 10% dell'area di studio. La rispettiva carta di suscettibilità è visibile, nella sua porzione particolare identica a quelle di figura 4a e 5a, in figura 6a.

OSSERVAZIONI

Interessante è notare come il maggior numero di zone di prova localizzate sia ottenibile combinando insieme tutti i sei

elementi topografici considerati, a conferma del fatto che la relazione riconosciuta dall'esperienza tra questi e le zone sedi d'instabilità per il manto nevoso è effettivamente stretta. Il fatto poi che, se presi singolarmente o in combinazioni parziali, i vari elementi portino a risultati inferiori conferma la correttezza dell'ipotesi iniziale secondo la quale è la loro simultanea presenza a preparare le condizioni favorevoli all'instabilità del manto nevoso. Il numero di zone di distacco di prova localizzate, espresso dai grafici di verifica, quantifica il grado di successo che ci si deve aspettare dalle rispettive carte di suscettibilità di figura 4a, 5a e 6a. Ossia, se si prende una qualunque delle tre figure, la distribuzione spaziale dei pixel rossi ha una "speranza" di localizzare nuove zone di distacco pari a quella indicata dal grafico di verifica. Nel caso dei pixel rossi di figura 4a, la speranza è pari all'83% (punto "T"); per i pixel di figura 5a è 67% e per i pixel di figura 6a è il 70%.

Un'altra osservazione interessante è la seguente: il valore di γ preferibile sembra essere pari a 1, seguito da 0.5. Tra tutti i calcoli di probabilità combinata eseguiti, $\gamma = 0$ non compare quasi mai se non nelle combinazioni a più basso successo. Ciò significa che la somma dei valori di probabilità è il metodo di combinazione preferibile tra quelli qui utilizzati.

L'osservazione degna di maggior rilievo è quella che deriva dall'esame delle carte di suscettibilità finali. Anche se, per ragioni di spazio e di chiarezza visiva, non mostrano l'intera area di studio, le figure 4a, 5a e 6a esprimono tutta la loro potenziale utilità. In modo particolare le figure 4a e 5a mostrano chiaramente quali possono essere le zone poten-

zialmente sede d'instabilità qualora si verificano precipitazioni rispettivamente <50cm/1giorno e tra 50 e 100cm/1giorno. Ciò significa che, nel momento in cui una previsione meteorologica anticipi precipitazioni simili in futuro, queste carte anticiperanno, a loro volta, i luoghi da cui, con maggior probabilità, potranno innescarsi valanghe. Nel caso di figura 4a, senz'altro quello maggiormente ricorrente nella zona di studio, le aree possono essere delimitate in poligoni ed eventualmente utilizzate per il calcolo dei volumi di neve che possono staccarsi. Negli altri due casi la superficie potenzialmente interessabile da distacchi è talmente ampia che risulterà pressoché impossibile (o comunque dispendioso in termini di tempo) individuare possibili poligoni per calcoli volumetrici. Per finire, l'esame di figura 4a suscita un'altra osservazione. Le zone ricoperte dai pixel rossi indicano dove indirizzare (quando possibile) le analisi di

stabilità del manto nevoso. Questo non è forse fondamentale per le tipologie di eventi valanghivi qui prese in considerazione. Se si considerano, però, valanghe determinate principalmente dalla formazione di strati deboli all'interno del manto nevoso, e se si immagina di aver costruito per queste una carta di suscettibilità, ecco che la potenzialità di tale carta appare evidente: saranno infatti quei punti rossi le zone da sorvegliare con maggiore attenzione aumentando, ad esempio, la frequenza dei profili.

CONCLUSIONI

Una carta di suscettibilità, per un certo fenomeno naturale, è uno strumento di studio che sta diventando sempre più di moda nel mondo scientifico accademico, soprattutto per quanto riguarda le diverse tipologie di frana, gli eventi sismici e le alluvioni. Il motivo principale risiede nel fatto che la suscettibilità è un concetto che riguarda principalmente le caratteristiche del terreno,

quindi caratteristiche facilmente descrivibili e a variabilità temporale sufficientemente limitata se non, in alcuni casi, assente. Non riuscendo, ad oggi, a prevedere un evento sismico in una determinata zona, una possibile mitigazione del rischio è rappresentata dalla carta dei terreni a maggiore o minore attitudine ad amplificare l'intensità delle onde sismiche, in pratica una carta di suscettibilità sismica. Parallelamente, non potendo prevedere con sufficiente precisione dove si staccheranno future valanghe, questo metodo tenta di ridurre l'ampiezza d'indagine dirigendo l'attenzione su quelle zone che possono maggiormente favorire (o, per usare lo stesso termine, amplificare, anche se qui ha un significato leggermente diverso) l'instabilità del manto nevoso. I terreni a maggior suscettibilità sismica sono stati riconosciuti tali grazie a simulazioni sismiche eseguite sui terreni stessi; in modo più indiretto questo metodo riconosce le zone a maggior

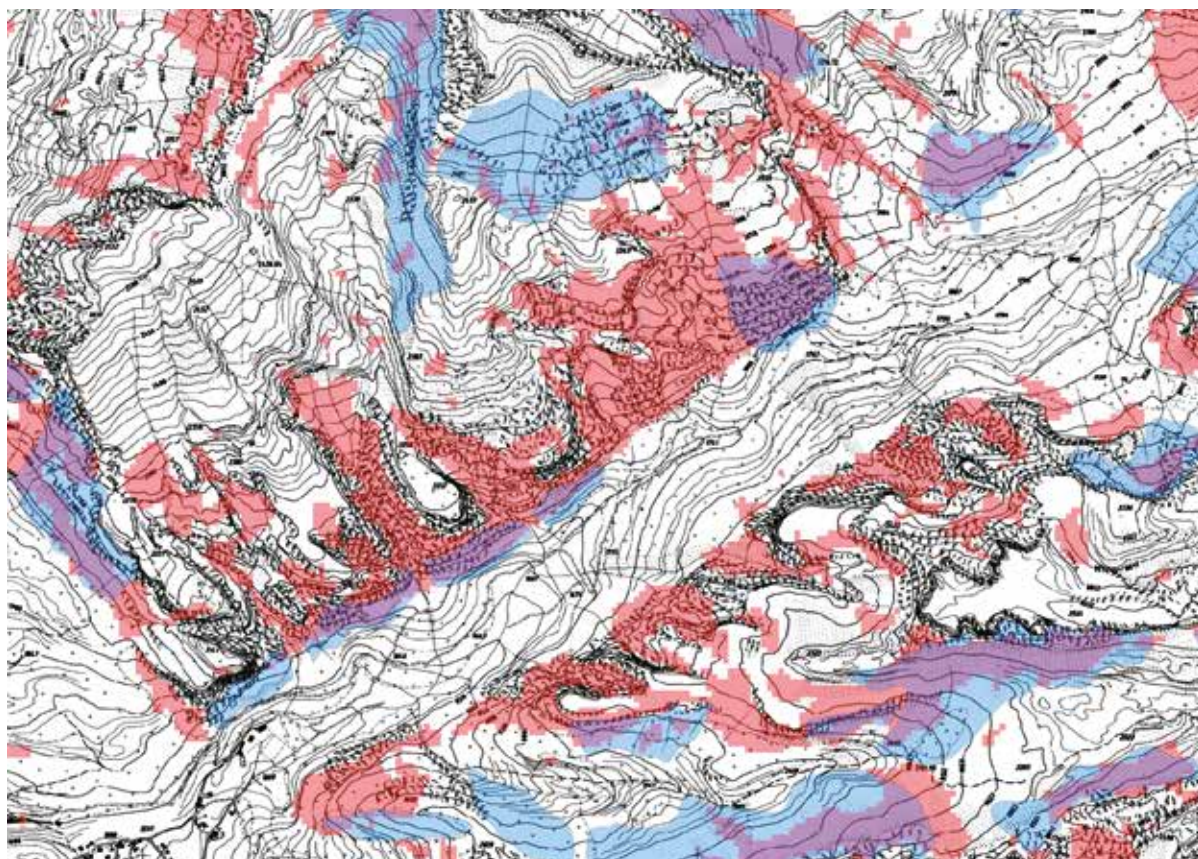


Figura 7: sovrapposizione tra i poligoni (in azzurro) della CLPV rappresentanti le zone individuate come pericolose dal rilevamento e i pixel (in rosso) a più alto valore di suscettibilità ottenuti dall'applicazione di STARTER. (Porzione dell'area di studio scelta come esempio).

suscettibilità osservando le zone sede d'instabilità del manto nevoso in passato.

Se si osserva la figura 7 si può intuire cosa s'intenda per "ridurre l'ampiezza d'indagine". Le zone rosse sono infatti quelle individuate dal modello come suscettibili a distacco in caso di precipitazioni nevose <50cm/1 giorno; i poligoni azzurri sono invece le zone individuate come pericolose dal rilevamento sul terreno e presenti nella CLPV della zona. I poligoni azzurri individuano zone potenzialmente instabili senza specificare per quale tipo causa. In alcuni casi le aree e i poligoni si sovrappongono in gran parte, in altri casi le aree rosse costituiscono un sottoinsieme dei poligoni, altre volte si estendono oltre i poligoni. Questo confronto non deve portare a giudizi d'affidabilità tra le due rappresentazioni cartografiche, poiché i fini dell'una non coincidono con quelli dell'altra, bensì a meglio comprendere ciò che si è tentato di ottenere con questo modello: innanzitutto un'analisi più strettamente legata alle cause meteorologiche, in alcuni casi un affinamento per quanto riguarda la dimensione delle aree maggiormente suscettibili e, in altri casi, un'estrapolazione obiettiva dei valori di maggiore suscettibilità a porzioni dell'area di studio che l'opinione del rilevatore può non aver considerato affatto come suscettibili.

Immaginiamo ora di poter disporre di una carta con le aree a maggiore suscettibilità per un certo scenario meteorologico e di conoscere il successo che da essa ci si può ragionevolmente attendere in termini di zone di distacco future localizzabili. Il grande problema che si presenta, nel momento in cui si desidera impostare calcoli di dinamica valanghiva a partire

dalle zone individuate, è quale porzione di esse considerare per la scelta del volume di neve iniziale. Basta guardare ancora la figura 7 per capire che non tutte le aree rosse possono essere considerate nella loro interezza poiché si otterrebbero volumi iniziali, a parità di spessore del manto, troppo grandi. In questo caso le soluzioni possono essere due: 1. si possono usare criteri di selezione basati sull'esperienza oppure 2. si possono individuare dimensioni delle zone di distacco sulla base di calcoli statistici come quelli utilizzati da Barbolini (Barbolini & Savi, 2001). In entrambi i casi con dimensioni massime $\leq$ alle superfici rosse. In alcuni casi la topografia potrà aiutare a suddividere ulteriormente le zone rosse come nel caso di una cresta montuosa, di una vallecchia o di una scarpata. In prospettiva futura, la carta di suscettibilità potrà essere sovrapposta alle reali zone di distacco che si svilupperanno durante gli inverni a venire: questo potrà ulteriormente confermare la bontà della carta stessa, accrescerla o, per contro, diminuirla. Nell'ultimo caso sarà necessario utilizzare le zone di distacco future come zone di calcolo e di prova per reimpostare una nuova carta di suscettibilità. Lo strumento fin qui descritto è quindi una carta dinamica, nel senso che può in qualsiasi momento essere ricostruita, migliorandola, sulla base delle osservazioni sul terreno, diversamente per quanto riguarda le carte "statiche" delle CLPV. Quest'ultima caratteristica fa della carta di suscettibilità uno strumento versatile, utilizzabile come carta di base per altre applicazioni e trasferibile sul web per una rapida consultazione, come già accade per le CLPV. Il limite all'utilizzo di questo

metodo deriva dall'assenza, ad oggi, di un vero confronto sul campo. E' chiaro però come, per un confronto significativo, si debba verificare una condizione fondamentale e cioè una situazione meteorologica simile a quella su cui la carta è stata costruita. E' un limite quindi facilmente eliminabile nel tempo e con una buona continuità di osservazioni sul campo. Un limite più impegnativo da eliminare è costituito probabilmente dall'elaborazione delle carte degli elementi topografici, un limite strettamente interno agli algoritmi di calcolo utilizzabili all'interno dei GIS: non sempre gli elementi topografici che si ritengono importanti per la predisposizione all'instabilità del manto nevoso sono rappresentabili in due dimensioni come si vorrebbe. Un esempio incontrato in questo studio è quello delle concavità e delle convessità: gli algoritmi che permettono di selezionare automaticamente le aree concave e quelle convesse permettono di farlo soltanto lungo quattro direzioni preferenziali, non necessariamente coincidenti con la direzione di massima pendenza del versante o con quella ad essa perpendicolare.

Infine, un limite sempre presente è quello dato dalla capacità con cui l'influenza di alcuni elementi non rappresentabili riesce ad essere espressa attraverso elementi derivati. L'esempio è quello delle zone d'accumulo preferenziale della neve trasportata dal vento. Nel caso presente si è cercato di rappresentare tali zone sulla base della distanza dalle creste montuose (anche da quelle più piccole), in combinazione con le concavità del terreno. Per fare meglio si dovrebbero suddividere le creste in categorie basate sul grado di arrotondamento delle stesse e al profilo dei due versanti.



RINGRAZIAMENTI

L'autore desidera ringraziare Fabio Gheser, dell'Ufficio Idrografico di Bolzano, per la disponibilità offerta durante la fase di raccolta dei dati del Catasto Valanghe della Val Badia e il Dr. Chang-Jo F. Chung, del Servizio Geologico Canadese (Ottawa, Ontario), per il fondamentale aiuto nella fase di analisi dei dati spaziali.

Note

1 Si veda, per una definizione di "susceptibilità", Crozier, M.J., 1999. The frequency and magnitude of geomorphic processes and landform behaviour. *Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 115*: 35-50.

2 Per le definizioni di "pericolosità" e "rischio" si veda Varnes, D.J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. *UNESCO Natural Hazards*, 3: 63.

BIBLIOGRAFIA

- Barbolini, M. & Savi, F., 2001. Monte Carlo: una nuova metodologia per lo studio delle valanghe. *Neve e Valanghe*, 43: 32-41.
- Bariffi, A., 2002. GIS e modellizzazione del rischio valanga. *Neve e Valanghe*, 45: 32-41.
- Birkeland, K.W., Hansen, K.J. & Brown, R.L., 1995. The spatial variability of snow resistance on potential avalanche slopes. *Journal of Glaciology*, 41(137): 183-190.
- Chung, T.J., 2003. Spatial Prediction Modeling System (User's Guide). A Private Company, Ottawa (in press).
- Crozier, M.J., 1999. The frequency and magnitude of geomorphic processes and landform behaviour. *Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 115*: 35-50.
- ESRI, 2001. ArcGIS. ESRI, Redlands, California, U.S.A.
- Föhn, M.B. & Meister, R., 1983. Distribution of snow drifts on ridge slopes: measurements and theoretical approximations. *Annals of Glaciology*, 4: 52-57.
- ITC, 2001. Ilwis. ITC, Enschede, The Netherlands.
- Lillesand, T.M. & Kiefer, R.W., 1994. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, Inc., 750 pp.
- McClung, D.M., 2001. Characteristics of terrain, snow supply and forest cover for avalanche initiation caused by logging. *Annals of Glaciology*, 32: 223-229.
- McClung, D.M. & Schaerer, P., 1993. The avalanche handbook. The Mountaineers, 272 pp.
- Meister, R., 1989. Influence of strong winds on snow distribution and avalanche activity. *Annals of Glaciology*, 13: 195-201.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. *UNESCO Natural Hazards*, 3: 63.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *IEEE Infomatics and Control*, 8: 338-353.
- Zadeh, L.A., 1968. Probability measures of fuzzy events. *Journal of Mathematical Analysis and Application*, 10: 421-427.
- Zadeh, L.A., 1978. Fuzzy sets as a basis of a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1: 3-28.

L'ANALISI D'IMMAGINE PER LA MISURA DELLO SNOWDRIFT



**Stefano Malavasi, Alberto Bianchi,
Paolo Angiolini, Elisa Bragastini**
Dipartimento Ingegneria Idraulica
Ambientale e del Rilevamento
Un. Politecnico di Milano
P.zza Leonardo da Vinci, 32
20133 Milano

Il fenomeno del trasporto eolico di neve dipende da numerosi fattori atmosferici e geomorfologici, oltreché dalle caratteristiche della neve e del manto nevoso. Nonostante ciò, le formule per il calcolo del trasporto eolico considerano solo un numero assai limitato di variabili, come è il caso della più nota ed utilizzata formula di Pomeroy e Gray. Anche la qualità dei dati raccolti sul campo è un fattore limitante per il corretto approccio allo studio del fenomeno. Attualmente le misure di trasporto eolico sono effettuate mediante Driftometro e in alcuni casi col FlowCapt. Tali apparecchi tuttavia presentano alcuni problemi funzionali. Si è cercato perciò di mettere a punto un nuovo sistema di misura basato sulla video ripresa e successiva analisi del fenomeno di trasporto eolico con la tecnica PIV (Velocimetria ad Immagine di Particelle). Il sistema è composto di una lampada alogena e da una webcam, correlata di pc, è stato testato in località Stretta in Valchiavenna (Sondrio) nel corso dell'inverno 2002-2003, Dalle immagini di trasporto di neve acquisite ed opportunamente filtrate, con algoritmi di blob-analysis si sono contate e misurate le traiettorie delle particelle di neve in movimento; da questi dati si è risalito ai valori istantanei della velocità del vento e della massa di neve trasportata, noti i parametri di ripresa. Entrambe queste grandezze hanno evidenziato notevole instabilità e, sebbene la dipendenza tra trasporto eolico e velocità del vento sia stata confermata, la capacità di trasporto ha evidenziato una forte dipendenza dall'instazionarietà del vento (accelerazioni e decelerazioni). In termini medi i dati raccolti sembrano confermare la formula proposta da Pomeroy e Gray. Alla luce dei primi risultati il sistema proposto ha dimostrato ottime capacità di indagine del fenomeno e significativi margini di sviluppo.





INTRODUZIONE

Il trasporto eolico di neve è un fenomeno complesso, infatti, la quantità di neve trasportata oltre ad essere intuitivamente funzione crescente della velocità del vento, dipende da numerosi parametri specifici delle condizioni atmosferiche, delle caratteristiche della neve trasportata, delle caratteristiche del manto nevoso che alimenta il trasporto e dalle caratteristiche morfologiche dell'ambiente che condizionano tra l'altro la distribuzione di velocità del vento in prossimità del suolo.

Ad oggi, non tutte queste variabili sono facilmente misurabili e le formule di trasporto eolico, presenti in letteratura, se non in casi specifici ma difficilmente generalizzabili, si basano su pochissimi parametri. A conferma

di ciò, la formula forse più nota ed utilizzata di Pomeroy e Gray propone l'espressione riportata in figura 1 (eq. 1).

L'analisi dei dati di trasporto presenti in bibliografica [Bianchi et al. 2003] e l'elaborazione di dati di campo ha evidenziato la necessità di migliorare la qualità dei dati di campo che sono il principale limite ad un più corretto approccio del fenomeno del trasporto.

In Italia, ma la situazione è generalizzabile, i dati sul trasporto eolico di neve sono acquisiti con il Driftometro e in alcuni casi con il FlowCapt. Il Driftometro (foto pg. 26), è uno strumento che consente una stima della quantità di neve trasportata ad una altezza minima di circa a 50 cm dalla superficie del manto nevoso, dove sono posizionate 8 bocche di ingresso disposte a raggiera alle quali sono collegati altrettanti sacchetti per la raccolta della neve catturata. Le rilevazioni sono manuali e di solito con cadenza giornaliera.

Il trasporto eolico di neve è valutato attraverso l'indice di snowdrift, dato dal valore massimo tra i contenuti dei singoli sacchetti dello strumento, espresso in grammi. Questo strumento è il più diffuso, per la sua semplicità di utilizzo ed economicità, tuttavia presenta limiti operativi anche significativi sia per l'utilizzo operativo sia per l'analisi dei risultati di trasporto raccolti.

I principali limiti sono: la capacità dei sacchetti e il forte rischio di occlusione degli stessi, che ne limita il funzionamento, e la necessità di posizionare lo strumento ad una altezza minima di circa 50 cm dal suolo, distanza che impedisce di acquisire informazioni nella zona di maggiore intensità del trasporto. L'analisi dei dati del driftometro è poi affetta dalla mancanza di correlazione tra misura cumulata della quantità di neve trasportata e la misura della velocità del vento. Questo limite impedisce, di fatto, di ricostruire con sufficiente dettaglio il legame tra materiale trasportato e velocità del vento, che come ricordato precedentemente è spesso l'unico parametro considerato nella descrizione del fenomeno.

Il FlowCapt (vedi foto 2), è un sensore acustico che misura il trasporto di neve basandosi sulla pressione acustica generata dalle particelle di neve che urtano contro lo strumento, permettendo un rilievo automatico ed in continuo dello snowdrift. L'altezza indagata è solitamente di 1 m e in ogni caso pari all'altezza dello strumento. Il FlowCapt permette quindi di misurare anche il trasporto per saltazione che avviene nei primi centimetri dal manto nevoso. Nonostante tali vantaggi, sono stati rilevati alcuni problemi legati alla forma delle particelle di neve: infatti, a parità di massa, le particelle più

Foto 2



Foto 3

FORMULA DI POMEROY E GRAY

$$(1) \quad Q = \frac{0.68 \rho_a}{u^* g} u_t^* [u^{*2} - u_t^{*2}]$$

nella quale Q [kg/m s] è la quantità di neve trasportata, ρ_a [kg/m³] è la densità dell'aria, u_t^* è velocità di attrito di soglia al disotto della quale non si verifica trasporto, u^* [m/s] è la velocità di attrito, alla distanza y^* dalla superficie, ricavata dalla legge logaritmica

$$(2) \quad \frac{u(y)}{u^*(y^*)} = 5.75 \log \left(\frac{y}{y^*} \right)$$

dove u è velocità alla distanza y

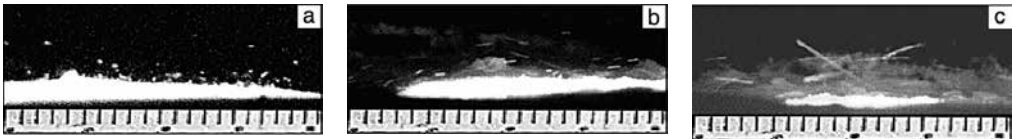
Fig. 1

larghe colpiscono in più punti lo strumento, provocando un suono d'impatto più lungo rispetto alle particelle tondeggianti [Naaim - Bouvet et al. 2003]. Si sono riscontrati, inoltre, una certa sordità dello strumento per neve a bassa densità ($\rho < 100 \text{ kg/m}^3$) e temperature rigide ($T < -8^\circ \text{C}$) [Dorigatti, 2001] e problemi legati alla taratura dei sensori. L'elaborazione dei dati registrati ha in ogni caso reso evidente che tale strumento consente misurazioni più verosimili di quelle effettuate con il driftometro.

L'indubbia importanza della misura in sito del trasporto eolico di neve e la necessità di disporre di dati sperimentali adatti allo studio di questo fenomeno ci hanno spinto ad applicare la tecnica PIV (Velocimetria ad Immagini di Particelle) a questo problema. Questa tecnica, già diffusa per la misura di velocità di campi fluidodinamici [Malavasi 2002, Malavasi et al. 2004] e utilizzata per la misura del trasporto di materiale solido in applicazioni di idraulica fluviale [Malavasi et al. 2004], con opportuni accorgimenti consente, infatti, di risolvere anche numerose problematiche relative allo studio del fenomeno del trasporto eolico di neve.

La tecnica PIV, nella sua classica applicazione, permette di misurare il campo di velocità bidimensionale di un fluido attraverso la determinazione del movimento di particelle inseedanti il fluido stesso. La tecnica appare, quindi, adatta alla misura del trasporto eolico di neve, in cui l'oggetto della misura è proprio il materiale che viene trasportata dal fluido in movimento. Applicando questa tecnica è quindi possibile determinare la massa di neve trasportata e, allo stesso tempo, misurare le velocità locali ed istantanee del vento che

Foto 4: acquisizioni con fotocamera effettuate con obiettivo da 50 mm s/1.8 e film 3200 ASA b/n rispettivamente con tempi di esposizione di (a) 1/500, (b) 1/125 e (c) 1/60 di secondo.



Parametri di acquisizione e filtraggio delle immagini								
Risoluzione (pixel)	640 x 480				320 x 240			
Tempo di esposizione (s)	1/1000		1/500		1/1000		1/500	
Frequenza d'acquisizione (fps)	60	30	60	30	60	30	60	30
Threshold	120	125	135	135	115	100/115	105	105
Aree dei Blob (pixel)	3÷50	4÷50	3÷150	3÷150	2÷30	2÷30	2÷50	2÷50

Fig. 2

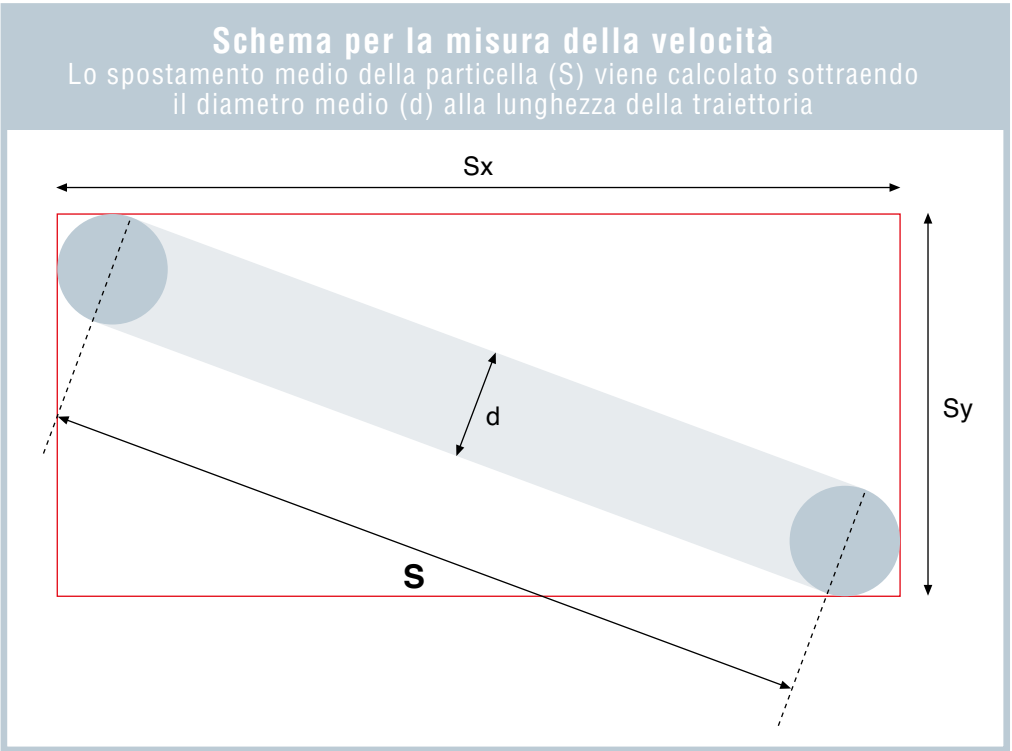


Fig. 3

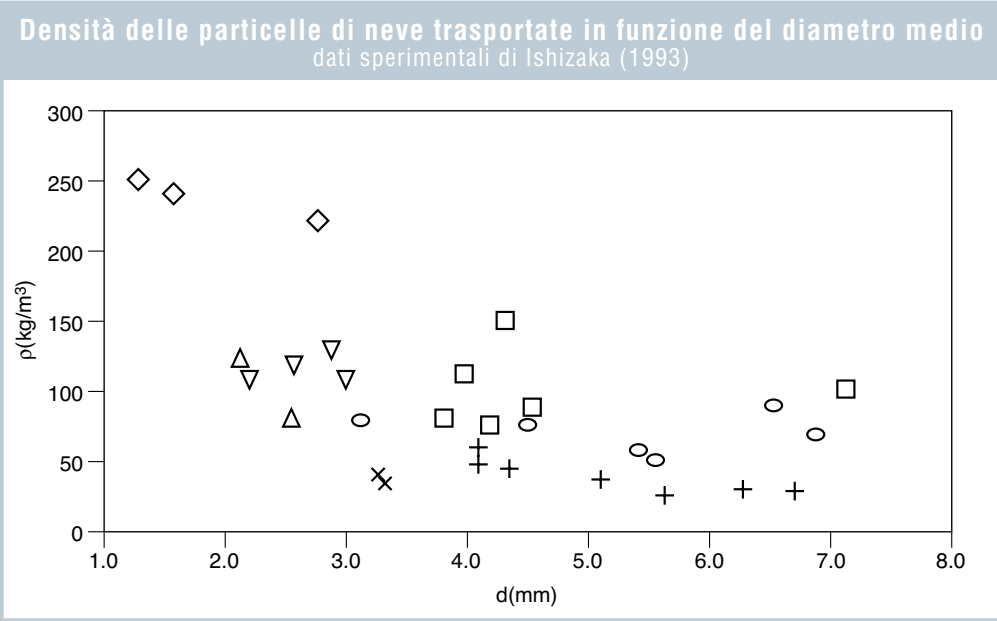
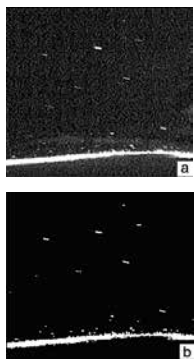


Fig. 4

Foto 5: confronto tra immagine originale (a) e immagine filtrata dal valore di Threshold (b).



provoca il trasporto. Di seguito si presenterà la tecnica utilizzata per la misura del fenomeno, descrivendo e commentando le scelte adottate per la messa a punto del set-up sperimentale; vengono descritte le campagne di misura effettuate, descritte la tecnica di elaborazione dei dati raccolti e, infine, commentati i risultati.

APPARATO Sperimentale e Misure

La tecnica PIV si basa sulla ripresa del movimento di particelle trasportate da una corrente fluida che sono rese visibili da un sottile volume illuminato disposto parallelamente alla

direzione principale del moto. Una delle tecniche di ripresa, consiste nel regolare il tempo di apertura dell'otturatore del sistema di ripresa in modo tale che le particelle muovendosi con il fluido creino delle traiettorie sull'immagine. La lunghezza di ogni traiettoria è funzione della velocità di movimento [Malavasi 2002]. L'analisi numerica delle immagini così acquisite permette di ricavare il numero di particelle in movimento, il modulo e la direzione della loro velocità in un determinato istante temporale ed in un determinato volume di controllo definito dal volume illuminato che le rende visibili. L'apparato sperimentale

utilizzato (foto 3) è composto da un sistema d'illuminazione e da un apparato di ripresa di immagini. Il volume illuminato è stato ottenuto con una lampada alogena con potenza massima di 1500 W abbinata ad una fessura opportunamente posizionata con la quale si è ottenuto un fascio di luce con un angolo di apertura di circa 0.4° , trascurabile per il tipo di misure, e di spessore variabile da 1 a 5 cm. Per la messa a punto del sistema di ripresa, in un primo tempo, sono stati utilizzati una fotocamera analogica ed una webcam. Al fine di ottimizzare il contrasto delle particelle di neve che attraversano il fascio luminoso, le riprese sono state effettuate di notte ed è stato posizionato uno fondo nero dietro il volume di misura (Fig.3).

Le prove sperimentali per la messa a punto del sistema in sito, si sono svolte in località Stretta (SO) a quota 1874 m s.l.m., in Val Chiavenna, lungo la statale 36b che porta al P.sso Spluga. La campagna ha interessato la stagione invernale 2002/2003, dal mese di Dicembre 2002 al mese di Aprile 2003.

L'utilizzo dei due sistemi di ripresa ha comportato, per la fotocamera, la determinazione della miglior combinazione di obiettivo-diaframma-pellicola-tempo di esposizione. Quest'ultimo fortemente influenzato dalla velocità del vento. Tali scelte sono state effettuate attraverso valutazioni sia qualitative sia quantitative derivanti dalle elaborazioni delle immagini acquisite. Nelle foto 4a, b, c) a titolo di esempio sono riportate tre differenti acquisizioni effettuate con obiettivo da 50 mm f/1.8 e film 3200 ASA B/N rispettivamente con tempi di esposizione di 1/500, 1/125, 1/60 di secondo. Come evidenziano le immagini in foto 4, tempi di esposizione troppo lunghi in rapporto

Andamento temporale del trasporto e della velocità del vento relativi ad un filmato

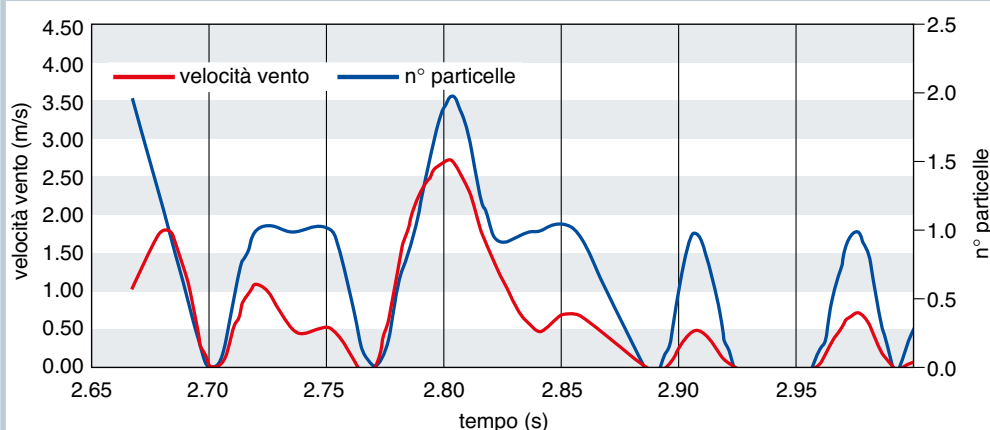


Fig. 5

Dati di trasporto in funzione della velocità

Entrambe le grandezze sono valori istantanei calcolati dalle immagini acquisite ($\rho=250 \text{ kg/m}^3$)

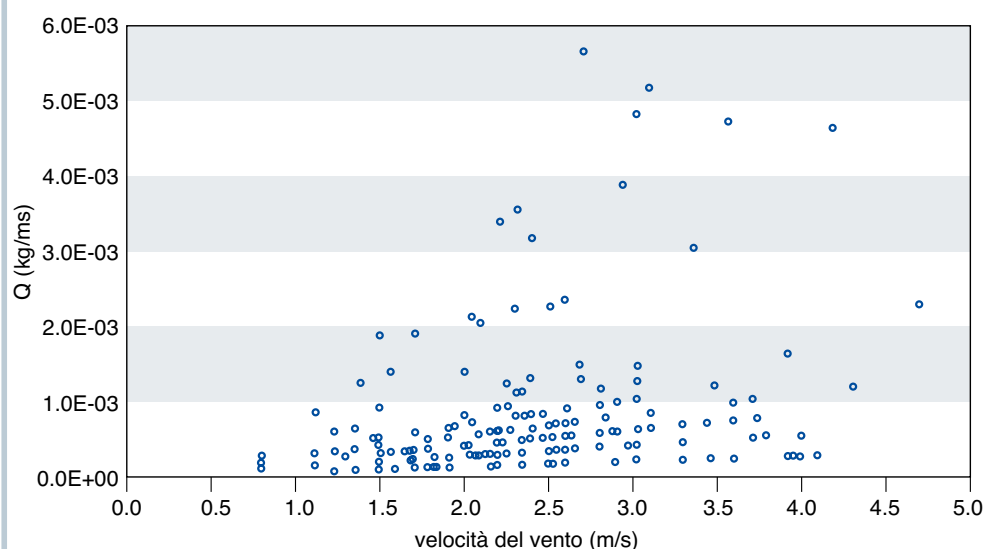
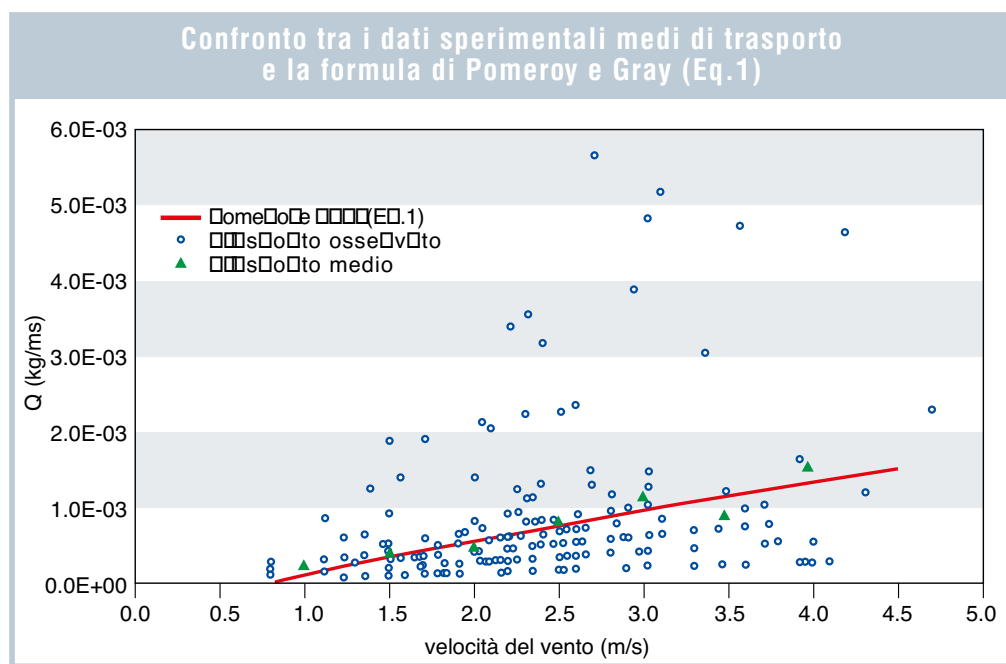


Fig. 6

alla velocità media del vento danno luogo ad immagini confuse e difficilmente elaborabili dove le traiettorie delle particelle di neve risultano sovrapposte e quindi difficilmente distinguibili (foto 4b, c). Altri parametri da considerare, nella messa a punto del tempo d'esposizione, sono la distanza di ripresa ed il rapporto di scala tra le dimensioni reali e quelle riprese. Nel caso in esame, dove questa distanza è di circa 0.90 m, abbiamo adottato tempi d'esposizione di 1/500 s per velocità medie del vento di 5 m/s e tempi di 1/1000 s per velocità di 10 m/s.

Cambiando apparato di ripresa i parametri di acquisizione non cambiano, gli stessi tempi di ripresa sono stati quindi utilizzati anche per le acquisizioni tramite webcam. Quest'ultima, una ToUcam Pro PCVC740K della Philips, è stata scelta per la buona sensibilità del sensore che permette riprese anche con modesta intensità luminosa. La webcam è stata collegata tramite connessione USB2 ad un pc con processore da 480 MHz, 256 MB di RAM e 8 GB di memoria su disco fisso. Le riprese sono state effettuate con frequenze di acquisizione di 30 e 60 Hz. A 30 Hz la telecamera è in grado di acquisire con una risoluzione dell'intera immagine di 640x480 pixel; la risoluzione si dimezza raddoppiando la frequenza d'acquisizione.

La comparazione dei due sistemi di acquisizione ha permesso di fare alcune considerazioni sulla qualità delle riprese e sulla utilizzabilità dei due sistemi. La webcam permette di acquisire un numero decisamente superiore di immagini (frequenze 30 e/o 60 Hz) e di avere un riscontro immediato a video della qualità delle riprese. Per contro ha una risoluzione dell'immagine decisamente inferiore e lo svantag-



gio di richiedere l'utilizzo di un computer di supporto che, considerando le difficili condizioni di ripresa in sito, può essere un particolare non trascurabile. L'analisi numerica delle immagini, che sarà dettagliata nel prossimo paragrafo, ha però messo in luce come la risoluzione dell'immagine non sia un grosso limite per il tipo d'elaborazioni da effettuarsi. La webcam è stata preferita alla fotocamera, considerando la praticità di poter verificare immediatamente la qualità delle immagini acquisite e la possibilità di acquisire immagini ad elevata frequenza.

ELABORAZIONE NUMERICA DELLE IMMAGINI

La messa a punto del sistema di misura ha richiesto il parallelo sviluppo di un software di elaborazione d'immagine per la misura dei parametri di modellazione del fenomeno. In particolare dalle immagini acquisite sono state determinate:

- la velocità del vento nella zona interessata del fenomeno di trasporto e
- la massa di neve trasportata nell'unità di tempo.

L'elaborazione delle immagini acquisite ha richiesto una fase di pre-processing dell'immagini prima della elaborazione (blob-analysis). Nel pre-processing, con tecniche di filtraggio d'immagine tipo Smooth e Sharpen, è stato attenuato il rumore di fondo ed esaltato il contorno degli oggetti ripresi, e, applicando un valore soglia (threshold), sono state binarizzate le immagini per agevolare la fase di blob-analysis.

Un esempio di immagine acquisita con la webcam è riportata in foto 5a, mentre in foto 5b è riportata la stessa immagine dopo l'applicazione delle procedure di filtraggio e di binarizzazione. Sull'immagine binarizzata sono stati utilizzati algoritmi di blob-analysis per il riconoscimento delle particelle di neve trasportate dal vento che sulle immagini sono identificate dalle traiettorie. Ogni singola traiettoria è stata riconosciuta e misurata. Il processo di blob-analysis, infatti, identifica e misura le dimensioni delle porzioni d'immagine a luminosità diversa da zero. Per eliminare le porzioni d'immagine con luminosità diversa da zero non corrispondenti a

Fig. 7

Sensibilità della misura di trasporto al diametro medio delle particelle

($\rho=250 \text{ kg/m}^3$)

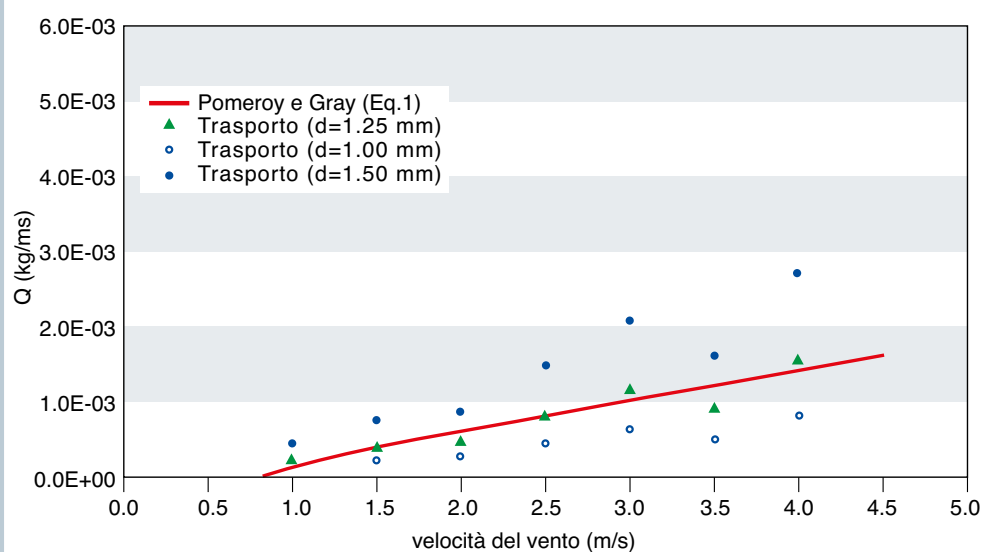
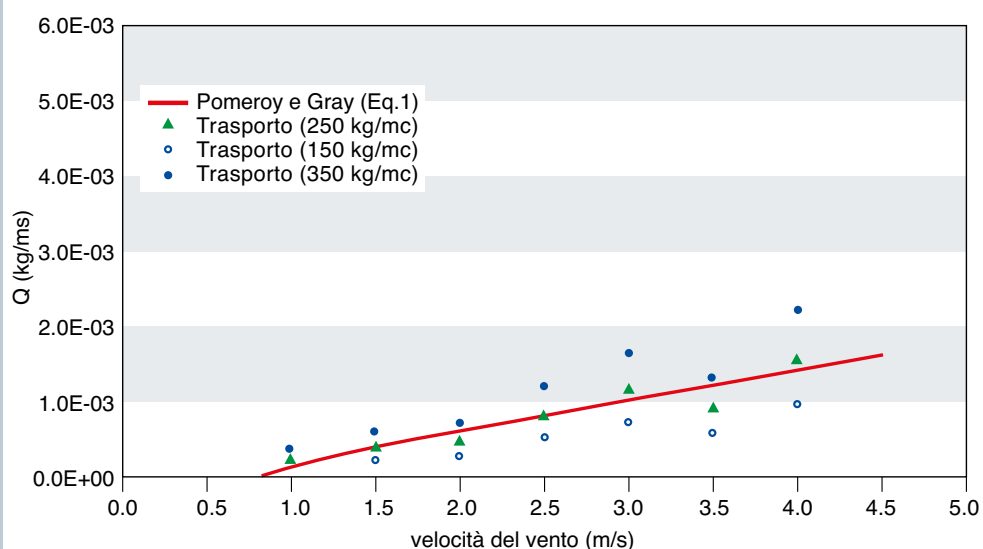


Fig. 8

Fig. 9

Sensibilità della misura di trasporto alla densità media delle particelle

($d=1.25 \text{ mm}$)



traiettorie, a valle dell'algoritmo di blob-analysis, si è applicato un filtro passa banda alle dimensioni minime e massime accettabili per le traiettorie. Con questo filtro vengono scartati i blob troppo piccoli che sono solitamente dovuti al rumore di fondo non eliminato nella fase di pre-processing e i blob troppo grandi dovuti, nel nostro caso all'effetto di riverbero del manto nevoso, evidente nelle foto 5. Nella tabella di figura 2, sono riportati i valori di threshold e del filtro passa banda adottati nel-

l'elaborazione dei filmati acquisiti. Come si può notare, questi valori sono proporzionali ai parametri di acquisizione ed hanno una variabilità limitata; sono quindi determinabili con relativa semplicità. In Fig. 3 è riportato lo schema di una traiettoria ideale sulla quale sono evidenziati i parametri ricavati dall'analisi numerica dell'immagini dai quali si determinano lunghezza e orientamento di ogni traiettoria. Noto il tempo di esposizione della ripresa, dalla lunghezza di ogni traiettoria è stata ricavata la

velocità del vento, nell'ipotesi che le particelle di neve si muovano solidamente al vento, $V = S/\Delta t$, dove $S = [(Sx^2 + Sy^2)^{0.5} - d]$ è la lunghezza della generica traiettoria e Δt è il tempo di esposizione dell'immagine. La lunghezza della traiettoria, che sull'immagine è misurata in pixel, è funzione della risoluzione dell'immagine (pixel/cm). Quest'ultima è determinata ponendo un riferimento metrico nell'inquadratura dal quale si ricava la risoluzione.

La massa di neve trasportata è stata calcolata moltiplicando il numero di traiettorie presenti su ogni immagine per la massa media delle particelle trasportate. Quest'ultima è stata stimata considerando i valori sperimentali da Ishizaka (1993) riportati nel grafico di Fig.(4).

Nelle prove effettuate si è considerata una massa media $\rho=250 \text{ kg/m}^3$ corrispondente ad un diametro medio delle particelle $d=1.25 \text{ (mm)}$, determinato attraverso la ripresa di immagini di singole particelle di neve.

RISULTATI

Un primo significativo risultato di questo lavoro è rappresentato dalla Fig. 5 dove, in funzione del tempo sono riportati la velocità istantanea del vento e il numero di particelle movimentate.

Come qualitativamente verificato dalla visione dei filmati acquisiti, il grafico in Fig. 5 evidenzia la forte instabilità della velocità del vento nell'area di misura e la conseguente instabilità del fenomeno di trasporto, che nel grafico è rappresentato dal numero di particelle movimentate. Nonostante questa corrispondenza, si può notare come il numero di particelle trasportate non dipenda solamente dalla velocità del vento, infatti, la distanza tra le due curve non si mantiene costante né propor-

zionale. Questo comportamento sembra attribuibile a fenomeni di accumulo e repentina dispersione delle particelle di neve sul manto nevoso, osservati durante lo svolgimento delle prove, e giustificabile dalla diversa capacità di trasporto del vento in fase di accelerazione e decelerazione [Naaïm-Bouvet et al. 2003]. La mancanza di stazionarietà del fenomeno provoca un'evidente dispersione di dati, se si riporta in grafico la portata di neve trasportata in funzione della velocità istantanea del vento (Fig.6).

Considerando che i valori di trasporto possono ritenersi istantanei, perché calcolati su un intervallo temporale $\Delta t = 1/500 \div 1/1000$ s pari al tempo di esposizione dell'immagine, il trasporto medio confrontabile con le formule di letteratura si ottiene mediando tutti i dati acquisiti durante un tempo più o meno lungo e per intervalli di velocità. In Fig. 7, oltre ai valori istantanei di trasporto, sono riportati i valori medi (calcolati su un intervallo temporale di un'ora corrispondente al tempo in cui sono state effettuate le misure di trasporto ed intervalli di velocità

di 0.5 m/s) e la curva di Pomeroy e Gray (Eq.1) per una velocità di soglia $u_t^* = 0.8$ m/s dedotta in base ai minimi valori di trasporto misurati.

Come si può notare, la formula di Pomeroy e Gray (Fig. 1 Eq.1) è in ottimo accordo con i dati sperimentali rilevati pur non contenendo alcuna dipendenza dai valori ρ e d che caratterizzano le particelle trasportate. Interessante è infine osservare che variazioni del 20% del diametro medio delle particelle (Fig. 8) o del 40% sulla densità (Fig. 9) portano a contenute variazioni dei valori di trasporto aumentando così la robustezza del risultato che dipende anche dalla misura non sempre agevole di questi due parametri.

Considerando, inoltre, che all'aumento del diametro è associata di solito una diminuzione di densità e viceversa, le eventuali imprecisioni nella stima di questi due parametri tendono a compensarsi.

CONCLUSIONI

Il sistema di misura dello snowdrift, presentato in questo lavoro, anche se ancora in fase

sperimentale ha dato risultati molto interessanti. I primi test in campo si sono rivelati promettenti, sia per lo sviluppo del sistema sia per lo studio del fenomeno del trasporto eolico di neve.

La misura contemporanea ed istantanea della massa di neve trasportata e della velocità del vento che la alimenta permettono di raccogliere un'informazione dettagliata sul fenomeno che agevola l'interpretazione e aumenta il numero delle informazioni deducibili dalle misure.

Certamente per il momento vi sono evidenti limiti operativi per l'attuale utilizzo pratico del sistema quali la necessità di lavorare di notte e la necessità di orientare il sistema di misura secondo la principale direzione del vento. Ciononostante, il sistema proposto, anche in virtù del suo basso costo di realizzazione, ha significativi margini di sviluppo.

BIBLIOGRAFIA

- Bianchi A., Rossotti G., Sbarufatti C. (2003) "Misure di trasporto eolico di neve" Neve e Valanghe, Aprile 2003
- Malavasi S. (2002) "Caratteristiche del moto intorno ad un cilindro rettangolare soggetto ad un flusso asimmetrico", IN-VENTO-2002 7° Congresso Nazionale di Ingegneria del Vento, Milano, 16-18 settembre 2002
- Malavasi S., Franzetti S., Blois G. (2004) "PIV Investigation of Flow Around Submerged River Bridge" River Flow 2004, Napoli 23-25 giugno, (articolo accettato)
- Malavasi S., Radice A., Ballio F. (2004) "Study of sediment motion in a local scour hole through an image processing technique" River Flow 2004, Napoli 23-25 giugno, (articolo accettato)
- Naaïm-Bouvet F., Naaïm M., Michaux J.L. (2003) "Nozioni sul trasporto eolico: misure e modelli fisici" TRACE 03 Table Ronde Avalanche Control in Europe, Sestriere 28 Marzo
- Ishizaka M. (1993) "An accurate measurement of densities of snowflakes using 3D microphotographs" Annals of Glaciology 18
- Dorigatti M. (2001) "Snowdrift e valutazione di campo della stabilità del manto nevoso" tesi di laurea, Università degli Studi di Trento



VIA CON LE CIASP



Un altro modo di muoversi nella montagna invernale è quello di utilizzare le ciaspole o racchette da neve.

Sebbene vengano da una tradizione lontana, esse rappresentano un modo nuovo di frequentare la montagna adatto anche a profani, giovani e meno giovani, e consentono di esplorare i reconditi anfratti della natura avvolta dalla coltre di neve.

Alle racchette da neve ricorrono anche i sempre più numerosi amanti dallo snowboard per procurarsi meravigliosi fuori pista seguendo i classici percorsi dello scialpinismo.

Come sempre bisogna sapere scegliere il tipo di attrezzo, imparare ad usarlo e conoscere le precauzioni da adottare quando ci si muove con questi attrezzi ai piedi.

È un'altro modo ancora di andare per monti e di andare per nevi. Ma non è nuovo, come non è nuovo il telemark. Come il telemark, è la riscoperta dell'antico con finalità moderne. Dunque parliamo di montagna invernale, ma, come vedremo, anche di montagna primaverile, quando nei fondovalle la terra si risveglia, ma più su alla quota degli ultimi pascoli e delle pietraie la coltre bianca sta ancora crogiolandosi al sole.

D'inverno, a Natale, gli alberghi e le vie delle stazioni sciistiche brulicano di turisti, soprattutto se nevicata e il tempo non invoglia a calzare gli sci.

"E' l'atmosfera ideale" afferma Mario Dibona guida di Cortina

d'Ampezzo, "per affittare un paio di racchette da neve e: via tutti insieme con le ciaspole...!"

Ciaspole è appunto l'altra denominazione delle racchette da neve, attrezzi che si applicano sotto le scarpe e consentono di marciare senza troppo sprofondare anche nella neve non compatta. Vengono da lontano nel tempo; cacciatori artici e contadini le usavano, ma solo di recente se n'è scoperto l'uso ludico o, se vogliamo, sportivo, sull'onda di un rinnovato spirito con cui muoversi nell'ambiente montano. A rigore di cronaca bisogna ricordare che la "Ciaspolada", la gara per chi usa racchette da neve che si svolge in Val di Non, nel 2004 è giunta alla

sua 31ª edizione, ma era in ogni caso un fatto limitato agli addetti ai lavori, una festa locale anche se i concorrenti vengono da tutte le parti del mondo. Qui parliamo di famiglie che per la prima volta inforcano questi strani attrezzi e s'incamminano con una guida alla scoperta del mondo del silenzio e della neve e scoprono la poesia di andare per i boschi di conifere coi rami carichi di neve che di tanto in tanto si scarica con un soffio. Il manto per terra è vergine, nessuno è ancora passato, perché il bello di questo andare con le racchette è che si possono abbandonare la folla, le strade ed i sentieri ed avventurarsi sul terreno incontaminato.

Le racchette sono il mezzo di

Alberto Bianchi
Collegio Nazionale
Guide Alpine Italiane

OLE...!!





locomozione ideale per recarsi ad osservare gli animali selvatici nel loro habitat, in punta di piedi, senza disturbarli, e per scoprire i segreti dell'inverno grazie al passo lento e cadenzato. Si tratta d'escursioni brevi, massimo un paio d'ore, poi si rientra in albergo o a casa. Spesso l'interesse del profano per questo mezzo di deambulazione nasce durante una serata di diapositive, in cui gli esperti illustrano la magia del mondo che esso consente di scoprire. Non occorrono corsi e lezioni, subito via colle ciaspole, a gambe un po' larghe per non inciampare, genitori e bambini, anche anziani, tutti possono divertirsi, fare del sano moto, respirare aria buona e, come si diceva, godersi la natura ritemprando lo spirito.

Il piacere di queste escursioni e l'aumento del pubblico che coinvolgono dipendono anche e forse soprattutto dai progressi tecnici nell'attrezzatura. "Le vecchie racchette, quelle classiche di legno e corda?... Una Caporetto, una disfatta!...", commenta Iachellini, guida anch'egli ma della Val di Rabbi, "Dimenticatele. Ora forniamo attrezzi moderni, che costano, è vero, ma almeno ti diverti e camminare è un piacere". Originariamente, infatti, le ciaspole erano formate da un

telaio circolare di legno con una trama di strisce di cuoio o corda e da lacci o cinghie di cuoio per fissarle ai piedi. Tra l'Ottocento e il Novecento l'esercito austriaco di stanza nell'Alta Val Pusteria introdusse diversi mezzi per muoversi anche in inverno e le racchette da neve caddero dimenticate. Di recente, però, esse sono ritornate di moda ed il vecchio materiale, ancora usato negli anni Ottanta, è stato profondamente rinnovato e migliorato. Soprattutto i Francesi si sono ingegnati per perfezionare vari modelli sempre più versatili e comodi: i vecchi cerchi di legno e cuoio sono stati sostituiti con strutture in plastica di forma semiovale o allungata. Ora grazie a materiali antistrappo, leghe al titanio e altre novità, i progressi sono stati notevoli. Si sono introdotte piastre di attacco rapido per l'aggancio alla calzatura con rostri anteriori o ramponcini per la presa e la tenuta anche su nevi compatte e la progressione in diagonale e alzatacchi per affrontare le pendenze maggiori. Oggi sono disponibili diversi tipi di racchette da neve e la scelta va fatta in base al terreno e all'attività che s'intendono affrontare.

I FAGIOLI sono le racchette più economiche, dirette discendenti dei vecchi materiali. La struttura

esterna è in legno o alluminio e la superficie d'appoggio è realizzata con cordini intrecciati. La scarpa è fissata con fettucce e cordini.

Le CANADESI sono le racchette più grandi, lunghe quasi un metro, e sono spesso dotate di "coda". Sono l'ideale per le nevi profonde e polverose e, come dice il nome, erano usate nell'Artico canadese dove la neve sembra polvere e si mantiene tale per tutto l'inverno a causa del permanere delle bassissime temperature. Non sono, invece, molto indicate per percorsi ripidi e con neve dura. I loro sistemi di fissaggio sono vari.

Quelle MODERNE hanno forma intermedia tra le due precedenti e sono realizzate in plastica o alluminio. Equipaggiate con attacchi molto tecnici, sono adatte anche per terreni ripidi e nevi dure.

Pedule o scarpe da trekking a collo alto e naturalmente calde ed impermeabili sono le calzature ideali per indossare le ciaspole per escursioni brevi e facili, mentre per percorsi più impegnativi è consigliabile uno scarponcino da montagna.

Le ciaspole si differenziano, a volte, in sinistra e destra per forma ed allacciatura. Il sistema di aggancio alla calzatura può

essere costituito da cinghie anteriori e posteriori o da una attacco rapido del tipo da sci o da rampone. Nel caso della coppia di cinghie, le fibbie di chiusura devono sempre essere esterne. La scarpa va inserita nell'attacco in modo tale che la punta del piede sia sopra il puntale, quindi va fissata stringendo la cinghia anteriore. Il tacco della scarpa deve collocarsi al centro della racchetta e va fissato con le cinghie o i ganci posteriori.

Il resto dell'equipaggiamento è costituito dalle ghettoni, dai bastoncini per aiutarsi a camminare e da un adeguato abbigliamento da neve e da escursione.

Si cammina sollevando un po' la punta della racchetta e trascinandone la coda. Nessun problema. Per i percorsi semplici, infatti, adatti a tutte le età, non sono richiesti particolari preparazioni o specifici allenamenti. Per agli altri percorsi, più lunghi o impegnativi, è indispensabile un minimo di allenamento. È necessario, in entrambi i casi, prestare attenzione a dove si mettono i piedi.

Le racchette sono particolarmente adatte per i pendii non troppo scoscesi; ma, con un po' di tecnica, consentono di percorrere i nevai anche nel tardo inverno e l'inizio della primavera.

Qui entriamo in un altro mondo di utilizzatori di questo attrezzo. Ricordo che nel 1998, durante la salita al McKinley, percorrevo con gli sci da scialpinismo il lungo ghiacciaio Kahiltna, trascinandomi appresso la mia pesante slitta, e osservavo, con un misto di scetticismo e curiosità, altri alpinisti che facevano lo stesso ma con ai piedi le racchette da neve. Ebbene, oggi, se dovessi riaffrontare quell'impresa, credo che anch'io ricorrerei a questi attrezzi.

Le racchette da neve sono, dun-

que, anche al servizio dell'alpinismo. C'è, infatti, un numero crescente di frequentatori, molto particolari, delle cime che oggi usa le ciaspole per raggiungere il punto di partenza di meravigliose discese fuori pista. È il popolo degli snowboarder: su con le ciaspole ai piedi e la tavola sullo zaino e giù con la tavola ai piedi e le ciaspole sul sacco. S'incontrano sempre più numerosi sui tradizionali percorsi scialpinistici. Di solito salgono per linee più dirette degli sciatori, perché le ciaspole mal si attagliano ai traversi troppo inclinati, ma nel complesso hanno la stessa velocità di salita di uno scialpinista. A questo punto qualche considerazione sui rischi legati anche alle attività con le ciaspole ed alle misure preventive è d'obbligo, perché sempre di montagna si tratta, sia che ci si muova nel bosco dietro al paese sia che si voglia raggiungere una vetta. Bisogna non perdere l'orientamento, in una montagna invernale dove molti riferimenti presenti in estate sono nascosti, e in più c'è la neve e quindi anche il rischio di andarsi a cacciare in luoghi

pericolosi per le valanghe.

Bisogna munirsi di tutti gli strumenti e gli attrezzi d'obbligo per questo tipo di ambiente e, perciò, in particolare, di ARVA, sonda e pala, e poi cercare di sviluppare una speciale sensibilità per l'ambiente e la natura in cui ci si muove, una profonda conoscenza dei luoghi che si frequentano ed una relazione positiva col mondo della montagna anche d'inverno.

Le idee poi non finiscono qui; la montagna, si sa, è anche sinonimo di spirito conviviale e cameratesco e allora nel tardo pomeriggio ci si può armare di ciaspole e su verso un rifugio accogliente per una bella cena in compagnia in vista di un esilarante rientro notturno con le slitte.

A proposito d'impresе in notturna, non solo si organizzano romantiche passeggiate al chiaro di Luna ma addirittura escursioni con pila frontale durante le quali, grazie ad appositi amplificatori di luminosità, è possibile curiosare nella vita notturna, particolarmente intensa, degli animali selvatici.



LA MANUTENZIONE DELLE OPERE

Le opere di difesa di tipo strutturale destinate a prevenire il distacco delle valanghe nella zona di accumulo dei pendii negli anni sono state notevolmente migliorate in qualità ed oggi offrono un grado di efficienza soddisfacente.

Per mantenere elevato tale grado di sicurezza non si può però prescindere da una corretta gestione dell'opera realizzata, individuando in maniera univoca i soggetti incaricati e le procedure da adottare.

Negli stessi criteri per la perimetrazione e l'utilizzo delle aree soggette al pericolo di valanghe redatti da AINEVA si fa riferimento alla vita tecnica caratteristica delle diverse tipologie di opere di difesa utilizzate, ai programmi periodici di manutenzione e alle relative certificazioni di efficienza.

**Linee guida per la
redazione del piano**



Carlo Benigni e Sergio Benigni
Servizio Prevenzione
Calamità Pubbliche
Prov. Autonoma di Trento

Mauro Gaddo
Ufficio Neve, Valanghe e Meteorologia
Prov. Autonoma di Trento

PARAVALANGHE DI DIFESA ATTIVA





Nel corso degli ultimi anni, sul territorio della Provincia di Trento, sono state realizzate diverse opere di difesa attiva al fine di mitigare il rischio connesso al distacco di valanghe in prossimità dei centri abitati. Tali opere sono essenzialmente di tre diverse tipologie: le rastrelliere in legno, considerate di tipo "provvisorio" e realizzate laddove la quota risulti tale per cui il rimboschimento, agevolato dalla protezione offerta dalla stessa rastrelliera, possa, nel corso degli anni, assolvere naturalmente la funzione originariamente assegnata alla struttura artificiale; i ponti in acciaio e le reti in acciaio, considerate opere di tipo "permanente". L'esigenza di disporre di un piano dettagliato di manutenzione per questo tipo di opere appare particolarmente sentita per diverse ragioni. Innanzitutto per l'ambiente, eccezionalmente impervio ed inaccessibile in cui le strutture vengono installate. L'asprezza dell'orografia dei luoghi interessati dai lavori, infatti, può agevolare fenomeni di danneggiamento o degrado, anche imprevedibili ed inaspettati, quali ad esempio lo scalzamento delle fondazioni in seguito a piccole frane, il danneggiamento causato da caduta massi o l'attacco del calcestruzzo delle fondazioni da parte delle acque

superficiali particolarmente povere di sali e quindi aggressive. Tali malorie, inoltre, vista l'oggettiva difficoltà di avvicinamento alle opere, possono, in assenza di un dettagliato piano di controllo e manutenzione, passare inosservate. Il grado di sicurezza offerto dalle strutture di tipo attivo potrebbe in tal modo ridursi sensibilmente. Alla luce di tali considerazioni, appare quindi fondamentale individuare, già in fase di progettazione dell'opera, le modalità ed i soggetti responsabili del controllo e della manutenzione delle opere.

La redazione del "piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti" come parte integrante del progetto esecutivo, inoltre, è prevista dall'art. 16, comma 5 della Legge 109 d.d. 11 febbraio 1994 e dall'art. 40 del regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici, DPR 554 d.d. 21 dicembre 1999.

Quest'ultimo articolo, ancorché ad oggi non ancora applicato in Provincia di Trento, stabilisce le finalità ed i contenuti del piano di manutenzione ed è quindi stato assunto come importante riferimento nella stesura delle presenti linee guida.

MANUALE D'USO

Il comma 3 dell'art. 40 del DPR 554 d.d. 21 dicembre 1999 recita:

"Il manuale d'uso si riferisce all'uso delle parti più importanti del bene, ed in particolare degli impianti tecnologici. Il manuale contiene l'insieme delle informazioni atte a permettere all'utente di conoscere le modalità di fruizione del bene, nonché tutti gli elementi necessari per limitare quanto più possibile i danni derivanti da un'utilizzazione impropria, per consentire di eseguire tutte le operazioni atte alla sua conservazione che non richiedano conoscenze specialistiche e

per riconoscere tempestivamente fenomeni di deterioramento anomalo al fine di sollecitare interventi specialistici".

Alla lettura di questo comma appare chiaro come, nel caso delle opere di difesa attiva nei confronti delle valanghe, risulti difficile individuare un soggetto "utente" o comunque prevedere delle modalità di utilizzo del bene. Si ritiene quindi di dover interpretare in senso estensivo quanto stabilito dal legislatore andando ad individuare quelle attività che eventualmente possano interferire con la funzionalità dell'opera. Nella fattispecie ad esempio l'attività di coltivazione del bosco dovrà essere tale da non compromettere l'efficacia dell'opera così come l'attività di pascolo, l'attività venatoria o le attività di regimazione dei bacini montani. Secondo quanto previsto dal sopracitato comma 3, inoltre, il manuale deve contenere tutte le informazioni necessarie affinché l'"utente" possa riconoscere tempestivamente fenomeni di deterioramento anomalo e sollecitare interventi specialistici. Nel caso in esame si ritiene che il soggetto a cui compete questo ruolo potrebbe essere la commissione valanghe comunale in quanto organo di consulenza del Sindaco. Il manuale d'uso, dovrà quindi prevedere quelle operazioni che la commissione valanghe comunale sarà tenuta ad effettuare periodicamente. In particolare è opportuno che la commissione verifichi e segnali:

- la presenza di accumuli nevosi anomali in particolari zone (canaloni, zone sotto vento ecc.);
- il manifestarsi di distacchi localizzati tra le file;
- il manifestarsi di scoscendimenti rocciosi;
- la presenza di neve al suolo in misura superiore a quanto ipotiz-

zato nelle ipotesi di progetto. I tempi e le modalità secondo cui effettuare le operazioni dovranno quindi essere definite nel dettaglio nel **“programma di manutenzione” – “sottoprogramma dei controlli”** di cui si dirà in seguito.

Il comma 4 dell'art. 40 del DPR 554 d.d. 21 dicembre 1999 recita:

“Il manuale d'uso contiene le seguenti informazioni:

- a) la collocazione nell'intervento delle parti menzionate;*
- b) la rappresentazione grafica;*
- c) la descrizione;*
- d) le modalità di uso corretto.”*

Il manuale dovrà quindi essere corredato da una corografia in cui sia indicata l'area dell'intervento di bonifica, da una planimetria con l'indicazione delle file delle opere, dai disegni o dalle foto dei particolari della struttura accompagnati da una descrizione dei singoli elementi.

MANUALE DI MANUTENZIONE

I commi 3 e 4 dell'art. 40 del DPR 554 d.d. 21 dicembre 1999 recitano:

“Il manuale di manutenzione si riferisce alla manutenzione delle parti più importanti del bene ed in particolare degli impianti tecnologici. Esso fornisce, in relazione alle diverse unità tecnologiche, alle caratteristiche dei materiali o dei componenti interessati, le indicazioni necessarie per la corretta manutenzione nonché per il ricorso ai centri di assistenza o di servizio”.

Il manuale di manutenzione contiene le seguenti informazioni:

- a) la collocazione nell'intervento delle parti menzionate;*
- b) la rappresentazione grafica;*
- c) la descrizione delle risorse necessarie per l'intervento manutentivo;*
- d) il livello minimo delle prestazioni;*

- e) le anomalie riscontrabili;*
- f) le manutenzioni eseguibili direttamente dall'utente;*
- g) le manutenzioni da eseguire a cura di personale specializzato.*

Come per il manuale d'uso, anche nel caso del manuale di manutenzione le indicazioni riportate dal regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici trovano difficile applicazione nel campo delle opere di difesa nei confronti delle valanghe, in quanto formulate con esplicito riferimento agli impianti tecnologici. Si intuisce, tuttavia, come nella redazione

del piano di manutenzione risultino fondamentali alcuni elementi di seguito riportati.

a) Individuazione delle anomalie riscontrabili

Al fine di poter impostare correttamente il piano di manutenzione ed il programma di manutenzione è di fondamentale importanza la fase dell'individuazione delle possibili anomalie ovvero dell'individuazione delle componenti della struttura che, nel corso della vita tecnica dell'opera, potranno essere soggette a degrado o danneggiamento, cercando inoltre di prevedere le

Manutenzione opere			
Scadenza temporale	Ente Competente Verifica	Azione	
In seguito ad ogni nevicata di apprezzabile entità	1	Verifica, anche tramite osservazione dal fondovalle con l'utilizzo di binocolo, la possibile formazione di accumuli anomali	Nel caso di presenza di accumuli comunica a mezzo fax l'esito della verifica a Comune e Servizio Prevenzione Calamità Pubbliche
	2	Verifica, anche tramite osservazione dal fondovalle con l'utilizzo di binocolo, il possibile manifestarsi di distacchi localizzati	Nel caso di presenza di distacchi localizzati segnala a mezzo fax l'esito della verifica a Comune e Servizio Prevenzione Calamità Pubbliche
	3	Verifica, anche tramite osservazione dal fondovalle con l'utilizzo di binocolo in corrispondenza delle apposite paline di rilevamento, il possibile superamento dell'altezza della neve al suolo di progetto (Hk)	Nel caso di altezza di neve al suolo superiore all'altezza di progetto delle opere (Hk) segnala a mezzo fax l'esito della verifica a Comune e Servizio Prevenzione Calamità Pubbliche
In occasione di sensibili rialzi della temperatura in periodi d'innevamento	1	Verifica, anche tramite osservazione dal fondovalle con l'utilizzo di binocolo, il possibile manifestarsi di distacchi localizzati	Nel caso di presenza di distacchi localizzati segnala a mezzo fax l'esito della verifica a Comune e Servizio Prevenzione Calamità Pubbliche
In occasione di giornate ventose in periodi di innnevamento	1	Verifica, anche tramite osservazione dal fondovalle con l'utilizzo di binocolo, la possibile formazione di accumuli anomali	Nel caso di presenza di accumuli comunica a mezzo fax l'esito della verifica a Comune e Servizio Prevenzione Calamità Pubbliche
	2	Verifica, anche tramite osservazione dal fondovalle con l'utilizzo di binocolo, il possibile manifestarsi di distacchi localizzati	Nel caso di presenza di distacchi localizzati segnala a mezzo fax l'esito della verifica a Comune e Servizio Prevenzione Calamità Pubbliche
Bi annuale	1	Verifica lo stato dei sentieri di accesso, lo stato delle piazzole per l'atterraggio dell'elicottero e lo stato del più vicino luogo di rifugio	Si attiva affinché sia assicurata la manutenzione
	2	Verifica possibili danneggiamenti provocati da crollo di pietre	Predispone progetto per la riparazione dei danni e ne cura la realizzazione
	3	Verifica possibili danneggiamenti da accumuli anomali	Predispone progetto per la riparazione dei danni e ne cura la realizzazione
	4	Verifica possibili danneggiamenti da distacchi localizzati	Predispone progetto per la riparazione dei danni e ne cura la realizzazione
	5	Verifica il possibile degrado per erosione in prossimità dei plinti di fondazione	Predispone progetto per la riparazione dei danni e ne cura la realizzazione
	6	Verifica il possibile degrado per fessurazione e gelività dei plinti di fondazione	Predispone progetto per il consolidamento con rinfranco o la sostituzione dei plinti
	7	Verifica il possibile degrado per fessurazione della boiacca di protezione del tirante	Predispone progetto per l'intasamento con boiacca delle fessure e dei vani formatisi
	8	Verifica il possibile degrado per corrosione delle parti metalliche e delle funi	Predispone progetto per la verniciatura o per la sostituzione delle parti ammalorate
	9	Verifica a campione il serraggio dei morsetti di unione delle funi	Predispone affinché si ripesino i morsetti
Decennale	1	Verifica a campione la resistenza allo sfilamento dei tiranti	Predispone progetto per l'eventuale sostituzione dei tiranti
	2	Verifica a campione la resistenza a compressione del plinto e del micropalo di fondazione del montante	Predispone progetto per l'eventuale rinforzo o sostituzione del plinto e del micropalo di fondazione del montante
	3	Verifica a campione della resistenza delle funi	Qualora il valore della resistenza risulti inferiore al valore di progetto si provvede alla sostituzione delle funi

caratteristiche di evoluzione di tali fenomeni. Solo procedendo in questo modo, infatti, sarà possibile pianificare le ispezioni e i controlli e quindi valutare le risorse necessarie all'esecuzione degli interventi manutentivi.

Nel caso specifico delle opere di difesa attiva nei confronti del distacco di valanghe, ad esempio, le possibili anomalie possono così essere sintetizzate:

- 1.** danneggiamenti localizzati dei componenti la struttura imputabili alla formazione di accumuli anomali da vento;
- 2.** danneggiamenti localizzati provocati da distacchi anomali imputabili ad accumuli da vento, repentini sbalzi termici, nevicate del tutto eccezionali con superamento dell'altezza di neve al suolo di progetto Hk;
- 3.** danneggiamenti localizzati causati da fenomeni di crollo di porzioni rocciose o da locali instabilità del versante;
- 4.** danneggiamenti dei plinti di fondazione causati da erosione con il progressivo scalzamento del dado in calcestruzzo;
- 5.** degrado del calcestruzzo imputabile a fenomeni di gelività o per il dilavamento delle acque di ruscellamento superficiale povere di sali;
- 6.** degrado per corrosione della carpenteria metallica e delle funi;
- 7.** allentamento del serraggio dei morsetti;

8. fessurazione della boiaccia di iniezione dei tiranti di monte per disassamento della forza agente sul tirante e l'asse del tirante stesso imputabile a carichi superiori al carico di progetto o non perfetto allineamento in fase di realizzazione.

b) livello minimo delle prestazioni

Altro aspetto di fondamentale importanza è la definizione del livello minimo delle prestazioni. Nel caso specifico la funzione dell'opera di difesa attiva nei confronti delle valanghe è quella di impedire il distacco del manto nevoso di spessore pari all'altezza di progetto Hk sopportandone le spinte. A tale condizione di carico corrisponde in ciascun elemento strutturale un determinato livello di sollecitazione che deve essere valutato in fase di relazione di calcolo e sulla base del quale l'elemento stesso deve essere dimensionato. Inevitabilmente, però, fenomeni di deterioramento e degrado fanno sì che le capacità resistenti dei componenti la struttura vadano via via diminuendo con il passare del tempo. Nel piano di manutenzione, ed in particolare nel programma di manutenzione, sottoprogramma delle prestazioni, si dovranno riportare le prestazioni garantite da ciascun elemento strutturale a partire dalla fase di collaudo fino alla fine del suo ciclo di vita.

c) descrizione delle risorse necessarie per l'intervento manutentivo

In funzione della tipologia dell'anomalia riscontrabile, od effettivamente riscontrata in sede di verifica o controllo, si dovranno definire, per quanto possibile, le risorse necessarie all'intervento manutentivo, ossia stimare, sia dal punto di vista quantitativo che dal punto di vista qualitativo, la necessità di mezzi e personale

per l'esecuzione dei controlli e dei lavori di manutenzione veri e propri.

PROGRAMMA DI MANUTENZIONE

Il programma di manutenzione prevede un sistema di controlli e di interventi da eseguire, a cadenze temporalmente o altrimenti prefissate, al fine di una corretta gestione del bene e delle sue parti nel corso degli anni. Esso si articola secondo tre sottoprogrammi:

a) sottoprogramma delle prestazioni, prende in considerazione, per classe di requisito, le prestazioni fornite dal bene e dalle sue parti nel corso del suo ciclo di vita.

Nello specifico, sulla base di quanto riportato in relazione di calcolo e delle risultanze delle prove di collaudo, per ciascun elemento strutturale, pannello di rete, fune di bordo, ancoraggio di monte, ancoraggio di valle, montante ecc., si dovrà riportare il valore del carico di progetto, del carico di rottura e del carico di collaudo. Si dovranno quindi indicare le possibili cause di decadimento prestazionale, quali ad esempio: danneggiamento da urto, degrado da corrosione, fenomeni da fatica ecc..

b) sottoprogramma dei controlli, definisce il programma delle verifiche e dei controlli al fine di rilevare il livello prestazionale (qualitativo e quantitativo) nei successivi momenti della vita del bene, individuando la dinamica della caduta delle prestazioni aventi come estremi il valore di collaudo e quello minimo di norma. Nel caso delle opere di protezione attiva nei confronti delle valanghe realizzate a difesa degli abitati della Provincia Autonoma di Trento, si ritiene opportuno che la locale commissione comunale valan-



che effettui le verifiche di cui alla tabella di pagina 41.

Si ritiene inoltre che il Comune, tramite l'ufficio tecnico o per mezzo di incarico ad un tecnico abilitato, o il Servizio Prevenzione Calamità nel caso in cui l'opera sia di interesse sovra comunale o sia caratterizzata da particolare complessità tecnica o economica, si faccia carico delle verifiche periodiche riportate nella seconda parte tab. pg. 41.

c) sottoprogramma degli interventi, nel caso delle opere attive di protezione nei confronti delle valanghe si ritiene non sia possibile, a differenza di quanto avviene nel caso di altre tipologie di opere, come ad esempio gli impianti tecnologici, programmare interventi di manutenzione a scadenze fisse, in quanto il decadimento prestazionale delle componenti dell'opera, sebbene possa in qualche modo essere stimato, non è determinabile in modo sufficientemente accurato a priori.

Si ritiene quindi sia più opportuno procedere alla definizione degli interventi di manutenzione solo alla luce dei controlli e delle verifiche di cui al "sottoprogramma dei controlli".

ALLEGATI

Art. 40 DPR 21 dicembre 1999, n. 554 "Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici, ai sensi dell'articolo 3 della legge 11 febbraio 1994, n. 109.

1. Il piano di manutenzione è il documento complementare al progetto esecutivo che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi effettivamente realizzati, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico.

2. Il piano di manutenzione assume contenuto differenziato in relazione all'importanza e alla specificità dell'intervento, ed è costituito dai seguenti documenti operativi:

- a) il manuale d'uso;
- b) il manuale di manutenzione;
- c) il programma di manutenzione;

3. Il manuale d'uso si riferisce all'uso delle parti più importanti del bene, ed in particolare degli impianti tecnologici. Il manuale contiene l'insieme delle informazioni atte a permettere all'utente di conoscere le modalità di fruizione del bene, nonché tutti gli elementi necessari per limitare quanto più possibile i danni derivanti da un'utilizzazione impropria, per consentire di eseguire tutte le operazioni atte alla sua conservazione che non richiedono conoscenze specialistiche e per riconoscere tempestivamente fenomeni di deterioramento anomalo al fine di sollecitare interventi specialistici.

4. Il manuale d'uso contiene le seguenti informazioni:

- a) la collocazione nell'intervento delle parti menzionate;
- b) la rappresentazione grafica;
- c) la descrizione;
- d) le modalità di uso corretto.

5. Il manuale di manutenzione si riferisce alla manutenzione delle parti più importanti del bene ed in particolare degli impianti tecnologici. Esso fornisce, in relazione alle diverse unità tecnologiche, alle caratteristiche dei materiali o dei componenti interessati, le indicazioni necessarie per la corretta manutenzione nonché per il ricorso ai centri di assistenza o di servizio.

6. Il manuale di manutenzione contiene le seguenti informazioni:

- a) la collocazione nell'intervento delle parti menzionate;
- b) la rappresentazione grafica;
- c) la descrizione delle risorse necessarie per l'intervento manutentivo;
- d) il livello minimo delle prestazioni;
- e) le anomalie riscontrabili;
- f) le manutenzioni eseguibili direttamente dall'utente;
- g) le manutenzioni da eseguire a cura di personale specializzato.

7. Il programma di manutenzione prevede un sistema di controlli e di interventi da eseguire, a cadenze temporalmente o altrimenti prefissate, al fine di una corretta gestione del bene e delle sue parti nel corso degli anni. Esso si articola secondo tre sottoprogrammi:

- a) il sottoprogramma delle prestazioni, che prende in considerazione, per classe di requisito, le prestazioni fornite dal bene e dalle sue parti nel corso del suo ciclo di vita;
- b) il sottoprogramma dei controlli, che definisce il programma delle verifiche e dei controlli al fine di rilevare il livello prestazionale (qualitativo e quantitativo) nei successivi momenti della vita del bene, individuando la dinamica della caduta delle prestazioni aventi come estremi il valore di collaudo e quello minimo di norma;
- c) il sottoprogramma degli interventi di manutenzione, che riporta in ordine temporale i differenti interventi di manutenzione, al fine di fornire le informazioni per una corretta conservazione del bene.

8. Il programma di manutenzione, il manuale d'uso ed il manuale di manutenzione redatti in fase di progettazione sono sottoposti a cura del direttore dei lavori, al termine della realizzazione dell'intervento, al controllo ed alla verifica di validità, con gli eventuali aggiornamenti resi necessari dai problemi emersi durante l'esecuzione dei lavori.

9. Il piano di manutenzione è redatto a corredo dei:

- a) progetti affidati dopo sei mesi dalla data di entrata in vigore del presente regolamento, se relativi a lavori di importo pari o superiore a 35.000.000 di Euro;
- b) progetti affidati dopo dodici mesi dalla data di entrata in vigore del presente regolamento, se relativi a lavori di importo pari o superiore a 25.000.000 di Euro;
- c) progetti affidati dopo diciotto mesi dalla data di entrata in vigore del presente regolamento, se relativi a lavori di importo pari o superiore a 10.000.000 di Euro, e inferiore a 25.000.000 di Euro;
- d) progetti affidati dopo ventiquattro mesi dalla data di entrata in vigore del presente regolamento, se relativi a lavori di importo inferiore a 10.000.000 di Euro, fatto salvo il potere di deroga del responsabile del procedimento, ai sensi dell'articolo 16, comma 2, della Legge.

LA SICUREZZA NELLE TUE MANI

PROFESSIONALE, SEMPLICE E VELOCE.

SnowBip II

Il classico per professionisti

ARVA analogico

Ricezione acustica su altoparlante e tramite auricolare addizionale

Autonomia di 430 ore in trasmissione più 5 ore in ricerca

Portata massima di 60÷120 metri

Precisione di localizzazione entro un raggio di 30 cm sulla verticale di un apparecchio posto a 2 metri di profondità

Absoluta tenuta stagna (IP67)

ARVA 457 kHz

snow bip

LOCALIZZATORE ELETTRONICO DESPERSI IN VALANGA

I professionisti della montagna conoscono, apprezzano ed utilizzano gli **ARVA SNOWBIP**.

Fai come loro!

Allenati ad usarlo e, quando c'è neve, portalo sempre con te.

SnowBip RT3

Per esperti e per meno esperti

ARVA analogico+digitale

Ricezione acustica su altoparlante e tramite auricolare addizionale

Ricezione visiva di distanza, direzione e intensità su display LCD

Sistema a due antenne

Autonomia di oltre 450 ore in trasmissione più 10 ore in ricerca

Portata massima di 60÷100 metri

Precisione di localizzazione entro un raggio di 30 cm sulla verticale di un apparecchio posto a 2 metri di profondità

Absoluta tenuta stagna (IP67)

fitre

SISTEMA QUALITÀ CERTIFICATO ISO 9001

www.fitre.it

e-mail: divisione.dsi@fitre.it

LA RISORSA IDRICA NIVALE

La valutazione sulle montagne della Lombardia

Ombretta Martinelli

Ingegnere Ambientale,
consulente ambientale presso URS Italia S.r.l.

Deborah Modena

Ingegnere Ambientale,
consulente presso Milanoprogetti S.p.A. Sezione Ambiente

Daniele Bocchiola

Dottore di Ricerca in Idrologia e Costruzioni Idrauliche,
presso il Politecnico di Milano, Dip. DIAR.
autore corrispondente tel. 02.2399629
e-mail: danielle.bocchiola@polimi.it

Carlo De Michele

Ricercatore confermato in Idrologia e
Costruzioni Idrauliche,
presso il Politecnico di Milano, Dip. DIAR.

Renzo Rosso

Professore di Idrologia e Costruzioni Idrauliche,
presso il Politecnico di Milano, Dip. DIAR.

Le rilevanti implicazioni di carattere sociale, economico ed ecologico relative alla gestione della risorsa idrica ne richiedono una valutazione accurata. Nei bacini montani e pedemontani a rilevante deflusso nivale presenti nella zona delle Prealpi ed Alpi lombarde, la risorsa idrica disponibile è costituita in buona parte dalla precipitazione solida accumulatasi sotto forma di manto nivale. Durante il periodo primavera-estate, lo scioglimento nivale costituisce una aliquota rilevante, se non la totalità, del deflusso in alveo, la cui dinamica temporale caratterizza la disponibilità d'acqua e regola lo sviluppo dei biotopi fluviali e perfluviali. Il presente lavoro considera la valutazione della quantità d'acqua accumulata sottoforma di neve nelle Prealpi ed Alpi lombarde, con riferimento ai bacini dei fiumi Adda, Serio, Brembo e Oglio. Si mostra un approccio innovativo allo studio dell'accumulo di equivalente idrico nivale su base statistica. L'Equivalente Idrico Nivale (indicato da qui in poi con la sigla EIN) all'inizio della stagione di scioglimento viene valutato sulla base di dati nivometrici fornita dalle stazioni AINEVA e dalla regione Lombardia, per il periodo 1989-2002. A partire dai dati di altezza di neve si procede ad una stima dell'equivalente idrico locale. Utilizzando alcune misure condotte durante le campagne di rilevamento AINEVA, si determina una formula per la stima indiretta della densità del manto nevoso, fondamentale per la stima della quantità d'acqua immagazzinata. Lo studio della dinamica di accumulo nivale mostra come nell'area considerata si evidenziano due zone, o sottoregioni, con caratteristiche differenti. Per tali zone si conduce un approccio geo-statistico per la spazializzazione dell'informazione e per la stima del valore medio areale di EIN, espresso in altezza d'acqua. Allo scopo di stimare il volume in acqua accumulato, si evidenzia l'area coperta da neve utilizzando immagini da satellite NOAA. Si mostra un'applicazione del metodo per la stima del volume accumulato alla fine della stagione di accumulo, assunta coincidente con i primi giorni di aprile, per due anni campione.



INTRODUZIONE

La risorsa idrica immagazzinata sotto forma di neve sui versanti rappresenta una fondamentale fonte di approvvigionamento, la cui dinamica temporale caratterizza e condiziona la disponibilità di risorsa utilizzabile agli scopi idro-potabili, energetici o irrigui. Nella stagione estiva, i deflussi dovuti a scioglimento nivale forniscono un contributo fondamentale ai deflussi in alveo e, nello stesso tempo, rappresentano una fondamentale condizione al contorno per la valutazione delle piene estive, talvolta disastrose. Inoltre, la disponibilità idrica nei bacini alpini condiziona in maniera rilevante lo sviluppo degli ecosistemi montani (*p.es.* Coughlan e Running, 1997, Maiolini e Lencioni, 2001).

La stima dell'EIN alla fine della stagione di accumulo, che rappresenta in pratica la quantità d'acqua a disposizione per il deflusso estivo, risulta dunque un problema di enorme rilievo nell'idrologia delle aree montane. L'accumulo della neve, la sua ridistribuzione ed i fenomeni di scioglimento sono guidati da diverse variabili, quali la pendenza locale, la temperatura, il vento e gli scambi di calore con

l'atmosfera e il suolo. La copertura nivale dimostra quindi una enorme variabilità nel tempo e nello spazio (*p.es.* Blöschl, 1999). Di particolare interesse risulta la stima affidabile del valore medio dell'EIN sull'area montana dei bacini fluviali.

La fine della stagione di accumulo nelle aree montane Alpine, sebbene variabile da sito a sito e di anno in anno, si può abbastanza affidabilmente individuare nei primi giorni di Aprile (*p.es.* Swamy e Brivio, 1996, Ranzi et al., 1999). Nel seguito, dunque ci si riferirà al valore di EIN cumulato alla data del 1° di Aprile, convenzionalmente assunta come fine della stagione di accumulo (si noti che tale data viene spesso utilizzata come riferimento anche nella letteratura internazionale, *p.es.* si veda il lavoro di Bohr e Aguado, 2001).

Il problema principale nella stima dell'equivalente idrico su aree di dimensione rilevante (maggiori qualche decina di Km²) è dato dalla densità delle stazioni di misura di dati nivometrici, che presenta, tranne qualche eccezione, valori tendenzialmente bassi, dell'ordine di una stazione ogni 100 Km² o meno. In tale situazione, una stima affidabile

dell'EIN risulta poco agevole, proprio in virtù della grande variabilità spaziale del fenomeno. In tali circostanze, una qualche metodologia è richiesta, che permetta una stima affidabile del valore areale, sulla base delle sole informazioni locali. Qui, tale problema viene affrontato tramite l'utilizzo di una metodologia statistica, detta metodologia di Kriging.

Un ulteriore problema di grande rilievo è dato dalla determinazione delle aree coperte di neve. Infatti, proprio per la già menzionata bassa densità delle stazioni al suolo, risulta di solito difficile individuare correttamente le aree in cui si osserva effettivamente una copertura nivale. Tale copertura, sebbene in linea di principio abbastanza legata alla quota, presenta in realtà una notevole variabilità spaziale, con caratteristiche variabili da zona a zona ed in dipendenza dalla stagione (*p.es.* Ranzi et al., 1999).

In tal senso, uno dei metodi in grado di fornire indicazioni affidabili sembra essere l'utilizzo di immagini telerilevate.

L'uso di immagini da satellite può in effetti fornire utili informazioni sull'estensione della copertura

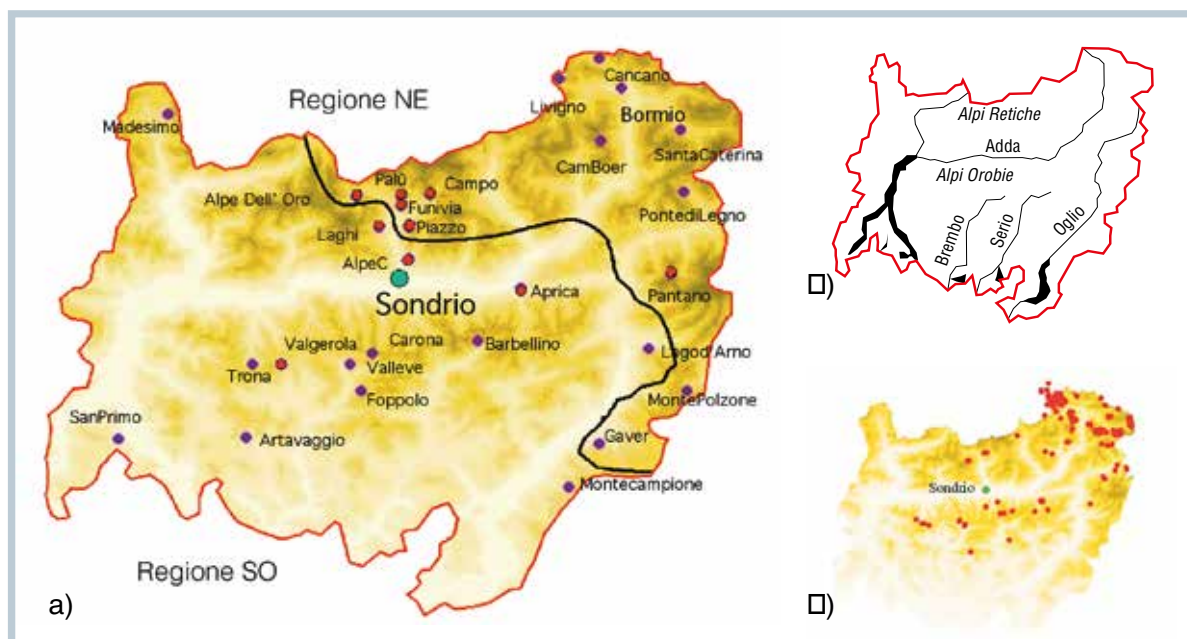


Fig. 1

nivale nell'area investigata. Nel presente lavoro, quindi, si proporrà una metodologia per l'utilizzo accoppiato di misure nivometriche al suolo e di immagini telerilevate per la determinazione dell'EIN su aree di grande estensione.

Considerando il problema della stima dell'EIN su base locale, ossia in una stazione di misura, un problema rilevante è dato dalla possibilità di convertire la misura locale, solitamente di altezza del manto nivale, in una stima di contenuto idrico. Tale passaggio, infatti, richiede la conoscenza, o una stima ragionevolmente affidabile, della densità della neve o peso specifico relativo all'acqua (Kg m^{-3} di volume). Tuttavia, la stima della densità su una base temporale continua rappresenta un obiettivo di difficile realizzazione, poiché le misure di tale grandezza, sebbene in linea di principio molto semplici da realizzare, richiedono un notevole consumo di tempo ed un notevole dispendio di risorse, anche economiche.

Spesso, dunque, per la stima della densità, si utilizzano formule di tipo empirico, che colleghino tale grandezza ad una qualche grandezza climatica, morfologica o stagionale del luogo in esame (*p.es.* Elder et al., 1991).

Per la stima dell'EIN su aree di vasta dimensione, risultano spesso utili metodologie basate su di un approccio regionale.

Con tale termine si intendono quelle metodologie che considerano l'informazione contenuta nelle singole stazioni di misura sulla base di una divisione delle stesse in aree omogenee, ossia in aree che presentino, dal punto di vista climatologico, ed in particolare, nivologico, un comportamento simile (*p.es.* Bohr e Aguado, 2001). Tali aree vengono solitamente definite regioni

omogenee. In tal modo, l'informazione contenuta nelle singole serie storiche delle stazioni viene sfruttata al massimo per ottenere una stima affidabile dell'EIN all'interno della regione stessa.

Nel presente lavoro, l'area di studio viene divisa in due sottoregioni omogenee, con caratteristiche nivologiche differenti l'una dall'altra. Le metodologie statistiche utilizzate per la stima dell'EIN vengono quindi condotte con riferimento alle due regioni individuate.

L'AREA DI STUDIO

L'area di studio interessata copre la parte alpina della regione Lombardia, che comprende le prealpi Orobiche e la alpi Retiche (Figura 1).

Questa regione include i bacini dei fiumi Adda (chiuso a Olginate), Brembo (a Ponte Briolo), Serio (a Ponte Cene) ed Oglio (a Capriolo). L'area coperta ammonta ad un totale di 7614 Km^2 . La rete nivometrica complessiva è composta da 28 stazioni, più o meno uniformemente distribuite sull'area, per una densità media di $1/275 \text{ Km}^2$. In Figura 1, si mostra la matrice delle quote (Modello Digitale delle Quote, DEM) con una risoluzione di 220×230 metri (E-N) rappresentato dal GIS ARC-View® 3.2, utilizzato per tutte le elaborazioni matriciali nel presente lavoro. Una densità maggiore di stazioni si osserva nel bacino del Mallero a Sondrio, in cui sono concentrate 7 stazioni in circa 280 Km^2 . Le stazioni di misura forniscono il valore dell'altezza media giornaliera del manto nevoso, oltre ad altre grandezze, quali la temperatura dell'aria e del manto nevoso e la direzione del vento. L'altitudine delle stazioni varia da un minimo di 1000 m, alla stazione di Laghi ad un massimo di 2475 m a Palù. La densità della neve non è mi-



Stazione	Quota (m)	N anni	A/M	Reg
Alpe Costa	1850	9	A	S-W
Alpe dell'Oro	2325	10	A	N-E
Aprica	1180	8	A	S-W
Artavaggio	1650	11	M	S-W
Barbellino	1880	8	M	S-W
Bormio	1960	9	M	N-E
Cam Boer	2114	7	A	N-E
Campo Moro	1950	7	A	N-E
Cancano	1940	9	M	N-E
Carona	1850	9	M	S-W
Foppolo	1695	5	M	S-W
Funivia Bernina	1965	10	A	N-E
Gaver	1480	7	M	N-E
Laghi di Chiesa	1000	7	A	S-W
Lago d'Arno	1820	9	M	S-W
Livigno	1865	9	M	N-E
Madesimo	1550	9	M	S-W
Monte Polzone	1580	7	M	N-E
Montecampione	1750	11	M	S-W
Pantano	2475	8	M	N-E
Palù	2390	4	A	N-E
Piazzo Cavalli	1560	9	A	N-E
Ponte di Legno	1600	9	M	N-E
San Primo	1075	9	M	N-E
Santa Caterina	2135	9	M	N-E
Trona	1800	9	M	S-W
Valgerola	1840	11	A	S-W
Valleve	1650	9	M	S-W

Fig. 2 Nome, quota ed anni di rilievi a disposizione. Si indica inoltre se la stazione è automatica o manuale. Si indica infine la regione omogenea di appartenenza (si veda più avanti).

surata in alcuna delle stazioni su base sistematica. Per la stima di tale grandezza si è dovuto quindi ricorrere ad una differente metodologia, illustrata nel seguito.

RETE NIVOMETRICA

La rete nivometrica considerata nell'ambito della ricerca presente è costituita dalle stazioni indicate in fig. 2. Nella figura 2, si elenca altresì l'ente gestore delle stazioni. Per ciò che riguarda le stazioni AINEVA, queste si dividono in manuali ed automatiche.

Nelle stazioni manuali (vedi campo di rilevamento di fig. 3) posizionate in funzione delle condizioni topografiche e meteorologiche locali, vengono condotti giornalmente rilievi delle seguenti grandezze nivologiche:

- altezza del manto nevoso, H_s ;
- altezza dell'eventuale neve fresca caduta nelle ultime 24 ore, H_n ;
- peso dell'eventuale neve fresca, H_w ;
- temperatura della neve a 10 cm dalla superficie, T_{s1} ;
- temperatura della neve a 30 cm dalla superficie, T_{s3} .

Fig. 3
Nivometro per la misura dello spessore del manto nevoso e termometro per la misura della temperatura della neve.



Inoltre, vengono rilevate, sempre giornalmente, altre informazioni meteorologiche di tipo qualitativo (copertura del cielo, condizioni meteorologiche dominanti) e quantitativo (velocità del vento, temperatura massima e minima), oltre ad alcune caratteristiche fisiche (resistenza alla penetrazione di una sonda) e morfologiche (forma dei cristalli e stato della superficie) della neve.

Dalle stazioni automatiche vengono invece rilevate, oltre alle condizioni del manto nevoso, le seguenti grandezze meteorologiche e nivometriche:

- temperatura dell'aria (in °C);
- profilo di temperatura della neve ogni 20 cm;
- spessore del manto nevoso (in cm);
- direzione e intensità del vento;
- umidità e pressione atmosferica;
- precipitazioni.

Tali informazioni sono state rese disponibili per la ricerca presente dal personale AINEVA. Più recente rispetto all'istituzione della rete gestita dal Nucleo Previsione e Prevenzione Valanghe di Bormio, è stata l'installazione di alcune stazioni di rilevamento automatico di variabili meteorologiche e nivometriche promossa dall'Assessorato ai Lavori Pubblici della Regione Lombardia; essa è frutto, soprattutto, del forte impulso fornito alle attività di monitoraggio idrometeorologico seguito all'evento alluvionale avvenuto in Valtellina nel 1987. La strategia di allocazione di queste stazioni è stata impostata, in primo luogo, tenendo conto delle necessità di monitorare situazioni di rischio idrogeologico particolarmente allarmanti. Ne è riprova l'installazione di due stazioni nivometriche in prossimità della sommità della frana del Pizzo Coppetto e di otto stazioni

anch'esse automatiche, in Val Malenco, area soggetta a frequenti dissesti in relazione alle piene rovinose del torrente Mallero. La gestione di queste stazioni nivometriche, la teletrasmissione e l'archiviazione di dati da esse rilevati fanno capo al Centro di Monitoraggio istituito a Sondrio dopo gli eventi calamitosi del 1987. Le stazioni automatiche sono tecnologicamente avanzate e, oltre ai parametri oggetto del monitoraggio da parte delle stazioni gestite dall'AINEVA, viene misurato anche l'albedo della neve. I dati relativi a questa rete sono disponibili su supporto informatico (ARPA Regione Lombardia, 2000).

MISURA DELLA DENSITÀ MEDIA DELLA NEVE

La stima della densità locale della neve viene condotta nell'ambito del presente lavoro utilizzando delle formulazioni empiriche. Si sono cioè identificate delle relazioni tra la densità della neve al suolo in un determinato sito ed in un determinato momento dell'anno ed alcune caratteristiche locali del sito. Tali relazioni possono poi essere utilizzate per la stima della densità in punti in cui tale grandezza non sia misurata. Allo scopo di ottenere relazioni empiriche affidabili per la stima della densità, si sono elaborati i dati relativi ad una serie di misure di dettaglio condotte in differenti siti dal personale AINEVA nel periodo 1996-2002 (si veda la mappa dei punti di rilievo in Figura 1c). Durante tale periodo, il personale AINEVA ha condotto circa 200 rilievi. Nell'ambito di tali rilievi, sono state misurate una serie di caratteristiche del manto nevoso (Figure 4 e 5). Sebbene tali rilievi siano espressamente stati realizzati per scopi di studio e previsione dei fenomeni valan-

ghivi, alcune delle grandezze investigate si rivelano di grande importanza anche per lo studio dell'EIN. In Figura 4, ad esempio si mostra la procedura di misura del profilo verticale di temperatura nel manto nevoso durante un rilievo. La misura del profilo verticale di densità della neve (Figura 5) viene eseguita in ogni strato con livelli predeterminati (per esempio 10 cm). Mediante un tubo in materiale plastico del volume di 0.5 dm^3 si estraggono i campioni di neve che vengono pesati con un dinamometro a molla da 500 g.

I valori di densità in dag dm^{-3} , si ricavano dalla relazione 1 di Fig 6 (pg. 5), dove:

γ = densità in dag dm^{-3} ;

P_l = peso lordo in g;

T = tara in g.

I risultati delle elaborazioni sono quindi riassunti in una scheda, come quella indicata in Figura 7. A partire dai dati rilevati, si sono calcolati i valori di densità media della neve sul profilo verticale. Si è poi condotta una analisi di correlazione tra la densità osservata ed alcune grandezze caratteristiche. Tali grandezze sono state scelte in modo tale da essere individuabili senza sforzi ed oneri temporali troppo elevati e da fornire un risultato il più possibile affidabile. Una volta condotta l'analisi di correlazione, si è provato a determinare delle formule empiriche. A tale scopo differenti approcci sono stati utilizzati, considerando formule empiriche di tipo lineare, di potenza ed esponenziali. I risultati migliori si sono comunque ottenuti con formule di tipo lineare. Utilizzando approcci statistici atti a determinare i coefficienti delle formule in maniera affidabile (analisi *Jackknife*, si veda p.es. Efron and Tibshirani, 1993) e considerando solo le variabili effettivamente significative (i.e.



Fig. 4: Misura stratigrafica della temperatura della neve.



Fig. 5: Peso del campione di neve attraverso un dinamometro a molla.

in grado di fornire un incremento dell'1% di varianza spiegata), si sono identificate cinque variabili esplicative. Queste sono il numero di giorni passati dal 1° di settembre D , l'altitudine in metri H , l'esposizione del sito (0° - 360°) A , la pendenza locale (0° - 90°) I e la temperatura media della neve (gradi Celsius, negativa) T . La densità della neve [Kg m^{-3}] si può stimare come dalla relazione 2 di fig. 6.

La formula fornisce un coefficiente di regressione $R = 0.75$. La variabile più importante è D , che da sola fornisce un valore di $R =$

0.55. L'introduzione delle variabili H , A , I e T fornisce valori di R pari a 0.65, 0.69, 0.72 ed infine 0.75, rispettivamente.

La formulazione proposta permette di valutare la densità, o peso specifico della neve a partire dalle caratteristiche del sito (per un confronto con metodi di stima della densità sulle alpi Italiane, si veda p.es. Bacchi e Rosso, 1992 o Ranzi et al., 1999).

La scelta della variabile D deriva dalla circostanza che in tutte le stazioni nivometriche non si è osservata presenza di neve prima del 1° settembre, nell'arco di anni

FORMULE

$$(1) \quad \gamma = \frac{P_l - T}{10} \cdot 2$$

$$(2) \quad \hat{p}_s = 134 + 0.54 \cdot D + 0.06 \cdot H + 0.10 \cdot A - 1.45 \cdot I + 6.09T$$

$$(3) \quad \hat{\mu}_{EINI}^{S-W} = -0.198 + 1.96 \cdot 10^{-4} \cdot H - 2.84 \cdot 10^{-2} \cdot \bar{T}_l - 2.10 \cdot 10^{-3} \cdot I$$

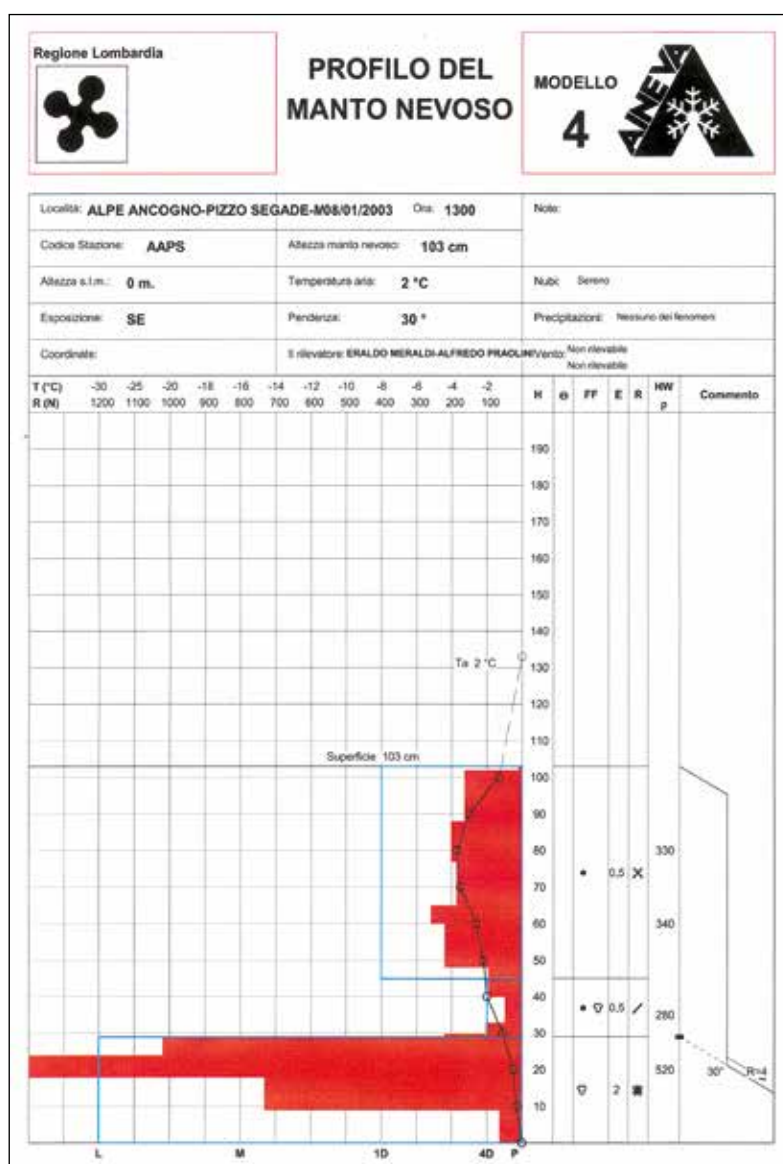
$$(4) \quad \hat{\mu}_{EINI}^{N-E} = 6.74 + 3.02 \cdot 10^{-4} \cdot H - 1.96 \cdot 10^{-6} \cdot N - 1.90 \cdot 10^{-3} \cdot I$$

$$(\square) \quad CV_{EINI}^{S-W} = -64.31 - 1.30 \cdot 10^{-3} \cdot H - 2.74 \cdot 10^{-2} \cdot I - 1.27 \cdot 10^{-5} \cdot N + 4.74 \cdot 10^{-6} \cdot E - 1.00 \cdot 10^{-3} \cdot A$$

$$(\square) \quad CV_{EINI}^{N-E} = -20.57 - 8.00 \cdot 10^{-4} \cdot H - 4.91 \cdot 10^{-6} \cdot N - 1.50 \cdot 10^{-3} \cdot I$$

Fig. 6

Fig. 7: Esempio di profilo penetrometrico e stratigrafico per la valutazione della stabilità del manto nevoso.



considerati. Si osservi che tale variabile racchiude in sé il duplice effetto di compattazione della neve precipitata (*p.es.* si veda Martinec e Rango, 1991) e di

energia sotto forma di radiazione solare complessiva assorbita dalla neve al suolo, dipendente in media dal periodo dell'anno (si veda *p.es.* Elder et al., 1991).

Le rimanenti variabili geo-morfologiche si sono calcolate a partire dal DEM disponibile e rappresentano il valore medio su un'area circostante la stazione. Tali misure dovrebbero essere rappresentative della situazione morfologica locale. In Figura 8 si rappresenta l'adattamento della formula ai dati osservati. Sebbene altre variabili siano state incluse nella procedura di studio, inerenti ad esempio alla copertura vegetale ed all'uso del suolo, oltre che alla temperatura media durante l'anno nivale, queste non hanno portato ad alcun miglioramento della varianza spiegata. In generale, si potrebbe osservare che la variabilità spiegata dalla formula sia abbastanza bassa. Tuttavia, si deve considerare che la regione investigata presenta dimensioni rilevanti e che la densità presenta una distribuzione variabile nel tempo e nello spazio in maniera estremamente complessa. Sulla base di studi preliminari, non si sono peraltro evidenziate dipendenze di tipo regionale della distribuzione delle densità, la cui dipendenza dalle variabili investigate sembra nella sostanza omogenea in tutta l'area studiata.

La formula proposta sembra quindi un utile ausilio nella stima della densità della neve in siti in cui tale variabile non sia stata misurata, da utilizzare nell'area di studio.

La formula così ottenuta è stata utilizzata per la stima delle densità relativa al periodo interessato nelle stazioni di misura. In particolare ponendo $D = 212$ si ottiene una stima della densità p il 11° di Aprile. La stima dell'EIN viene condotta quindi tramite la $EIN_l = \hat{p}_l h_l$, dove il suffisso l indica il valore al primo di Aprile. A titolo indicativo, il valore medio di densità stimato a tale data nei punti osservati è all'incirca 313

Kgm⁻³. Si assume, per la stima dell'equivalente idrico a scala regionale, che il valore stimato sia esatto, ossia che l'errore locale sia trascurabile rispetto a quello globale.

IDENTIFICAZIONE DI CARATTERISTICHE REGIONALI

Per evidenziare proprietà regionali come quelle definite in precedenza, si è proceduto qui ad una analisi statistica basata sull'approccio dell'Analisi delle Componenti Principali (PCA, si veda p.es. Kottegodà e Rosso, 1997, p. 388, Davis, 1973, p. 502). Tale procedura permette di evidenziare la presenza di particolari caratteristiche della distribuzione del manto nevoso, tendenzialmente correlate con qualche proprietà geo-morfoclimatica dell'area in esame. L'analisi è condotta utilizzando il valore cumulato di acqua sottoforma di precipitazione nivale per tutta la stagione di precipitazione indicato con il termine *EIN_y*. Tale valore a priori non coincide con l'*EIN_t*, poiché quest'ultimo in linea di principio discende da una serie di processi di ridistribuzione della neve caduta al suolo per effetti di gravità, vento ed eventuali fenomeni di scioglimento locale (si vedano, per un approccio alla regionalizzazione basato su un criterio simile, Bohr e Aguado, 2001). Senza scendere nei dettagli della procedura, si illustrano i risultati dell'analisi. La suddivisione più significativa (55% della varianza spiegata) ha portato alla definizione di due sottoregioni (indicate in Figura 1). L'introduzione di ulteriori suddivisioni (i.e. componenti) ha portato a risultati geograficamente non significativi e non correlati con alcuna variabile fisica.

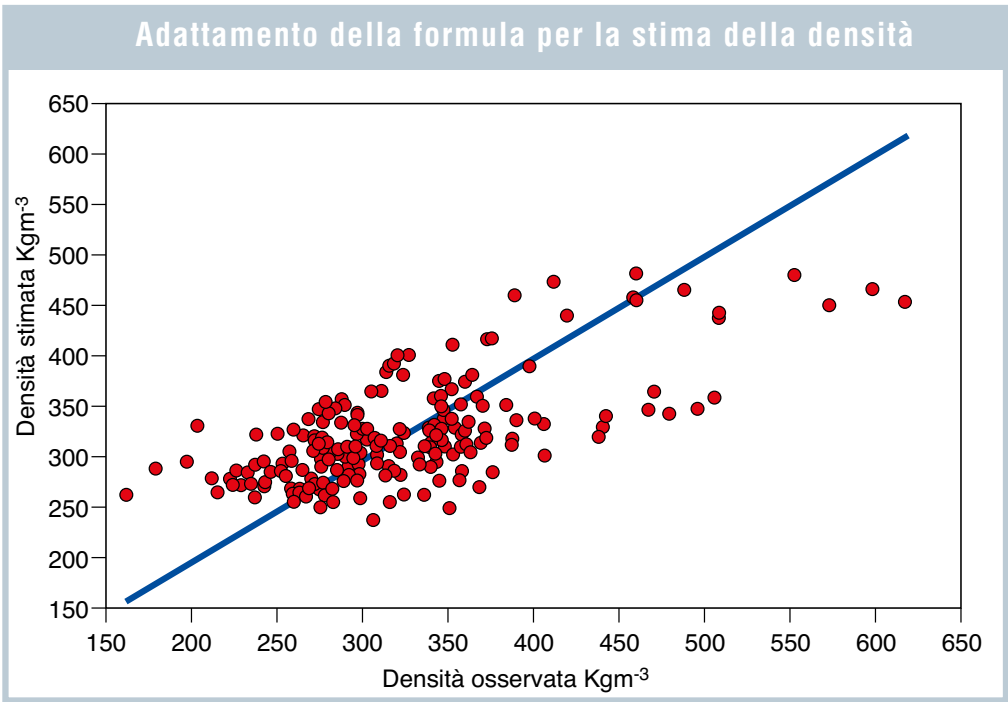


Fig. 8

T-test sul valore medio di SWE _y nelle stazioni di misura				
Region	S-W	N-E	Difference %	P-value
Altitude (m)	1637	1952	19.2	0.015
SWE _y (m)	0.305	0.282	8.3	0.322

Fig. 9

Le due zone individuate sono definite nella sostanza seguendo una divisione geografica che segue un asse ideale orientato da Sud-Ovest a Nord-Est, seguendo approssimativamente la direzione del fiume Adda e Oglio. Le due regioni vengono da qui in poi identificate come *S-W* e *N-O*. Per validare i risultati mostrati e collegare la divisione in regioni ad un fenomeno più strettamente fisico, si è condotto un ulteriore test. Si sono valutati i valori di *EIN_y* medi annuali nelle singole stazioni. Di questi, si è poi calcolato il valore medio all'interno delle due regioni individuate. Si sono poi calcolate le altezze medie delle stazioni di misura nelle due regioni (si veda, per un approccio simile, Elder et al., 1991). In figura 9, si mostra il risultato dei test condotti. Utilizzando un test per le bande di confidenza delle medie (T-test), si mostra come le medie delle altezze delle stazioni siano

significativamente diverse (1637 metri per la regione 1, 1952 metri per la regione 2, p-value 0.015, probabilità che i due valori si possano assumere equivalenti). Al contrario, la media di *EIN_y* è molto simile nelle due regioni (0.305 metri per la regione *S-W* e 0,282 metri per la regione *N-O*, p-value 0.322). Questo significa che nelle due regioni, vi è un valore medio di neve simile, riferito però ad altezze diverse. In pratica, dato che l'accumulo di neve dipende dall'altezza (come si mostrerà anche in seguito), la regione *S-W* mostra a parità di altezza, una quantità di acqua precipitata sotto forma di neve maggiore della regione N-E. Tale differenza può essere vista come un indizio del fatto che le due regioni evidenziate sono effettivamente differenti per ciò che riguarda le proprietà delle precipitazioni nivali. Una spiegazione di tale fenomeno si può cercare nella dinamica delle pre-

cipitazioni sull'area in esame. In particolare, le perturbazioni che portano precipitazione nell'area pedemontana sono condizionate nella loro dinamica dalla forzante orografica fornita dalle alpi Orobic.

Quando l'aria carica di umidità proveniente da sud est incontra tale rilievo, il sollevamento orografico che ne consegue provoca il raffreddamento dell'aria stessa e precipitazioni sottoforma

Fig. 10
Fig. 11

solida e liquida. Quando le perturbazioni oltrepassano il rilievo

e raggiungono la zona *N-O*, il loro carico di umidità è diminuito e le perturbazioni successive generano minori precipitazioni.

Tale comportamento della precipitazione nivale è anche qualitativamente stato confermato dall'esperienza del personale AINEVA (G. Peretti, comunicazione personale, 2002), anche se non si sono mai condotti studi approfonditi. Sebbene la divisione così delineata possa risentire di qualche imprecisione, in particolare lungo le linee di

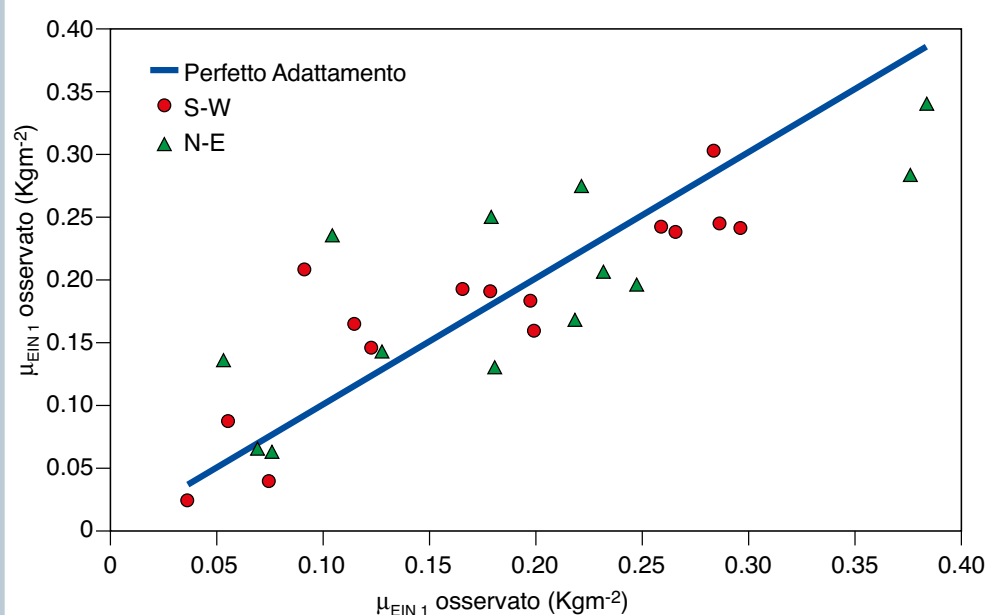
"confine", soprattutto in vista del numero di anni considerato, che è relativamente basso (in alcune stazioni, meno di 10 anni di dati erano disponibili), sembra che la dinamica essenziale del comportamento delle precipitazioni nivali nell'area investigata sia stata descritta correttamente. Nel seguito, dunque, la divisione indicata sarà ritenuta valida, per essere eventualmente ridiscussa quando una maggiore mole di dati sarà disponibile.

LA METODOLOGIA DI KRIGING

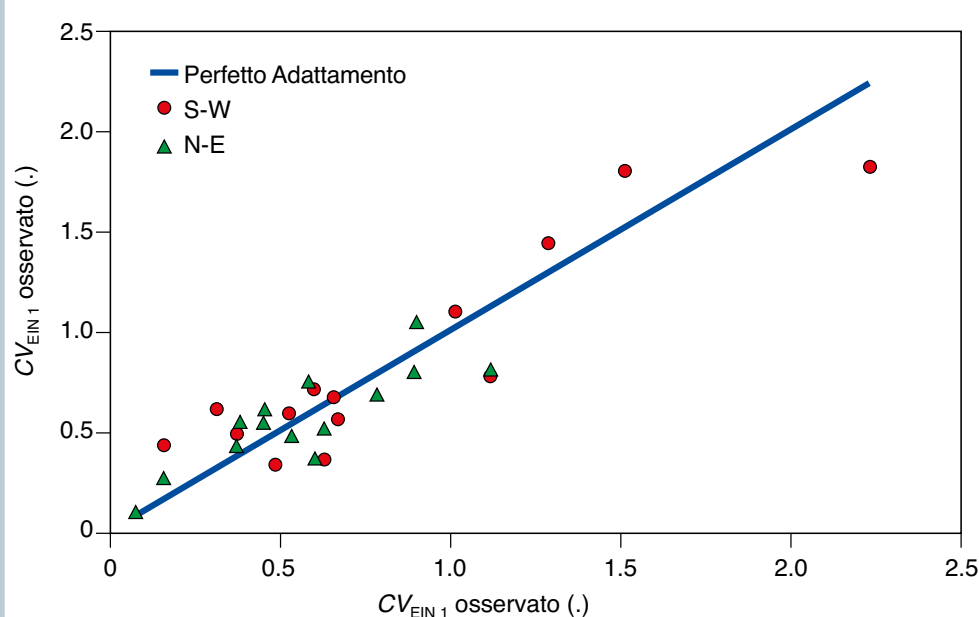
Il metodo del Kriging è spesso utilizzato per l'interpolazione spaziale di valori di variabili naturali a partire da dati puntuali (p.es. Kottegoda e Rosso, 1997). Le equazioni necessarie per lo sviluppo del metodo, che sono ben note nella bibliografia scientifica, vengono qui tralasciate e se ne delineano invece i tratti principali, di maggiore interesse per il lettore. Nella sostanza, tale metodologia permette la stima dell'*EIN* sull'area in esame tramite una media pesata dei valori osservati ai singoli nivometri. La peculiarità della metodologia di Kriging consiste nella particolare modalità di calcolo dei pesi, che fornisce una stima finale con caratteristiche di ottimalità (p.es. Cressie, 1993). In particolare, la stima finale è statisticamente priva di errore sistematico (o bias) e fornisce, tra le possibili metodologie, quella di minima varianza.

Tale metodologia richiede in particolare la stima della media (sui vari anni) del valore di *EIN*_{*i*} nei punti si misura e nell'area di studio. La stima locale nelle stazioni viene condotta come semplice media aritmetica dei valori annuali. Risulta di particolare interesse lo studio della relazione tra l'*EIN*_{*i*} medio in

Adattamento delle Equazioni 3 e 4, regioni S-W e N-E



Adattamento delle Equazioni 5 e 6, regioni S-W e N-E

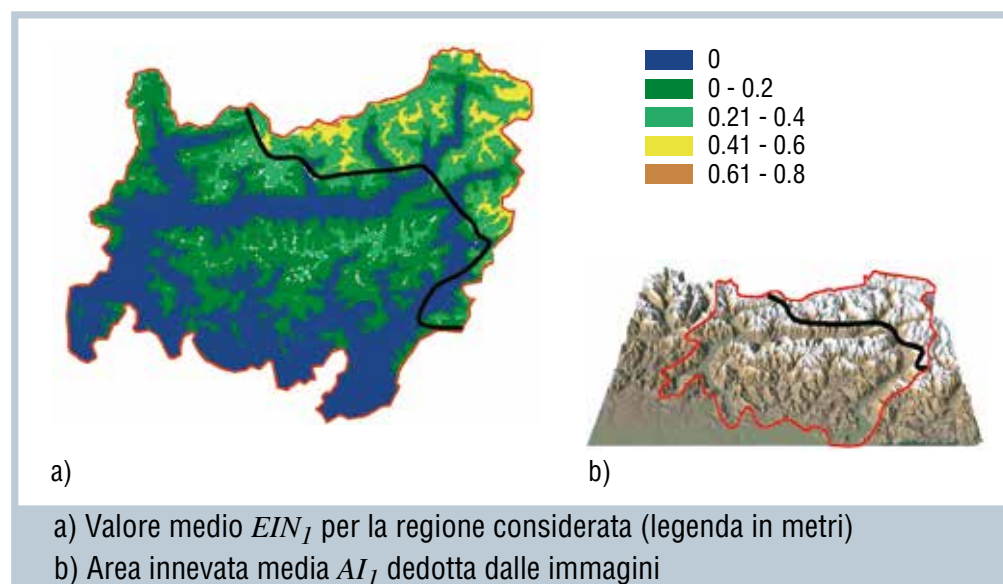


funzione delle caratteristiche dei vari siti. Tale informazione è di grande importanza in fase di previsione della risorsa idrica in senso medio, utile per scopi di pianificazione.

Il valore di EIN medio μ_{EIN} è infatti una funzione delle caratteristiche del sito di interesse e caratterizza la quantità d'acqua che ci si può attendere sotto forma nivale alla fine della stagione di accumulo.

Tale informazione permette, ad esempio, di valutare il valore atteso di acqua cumulata sul lungo periodo in un determinato sito. L'estensione di tale informazione all'area di uno o più bacini sembra di fondatore interesse. A tale scopo, si è condotta l'analisi seguente. Il valore medio locale nelle varie stazioni è stato correlato ad alcune variabili morfologiche e climatiche, come fatto per la densità media in precedenza. L'analisi è stata condotta in maniera differente per le due regioni omogenee trovate in precedenza. I risultati dell'analisi hanno portato a due formule empiriche di tipo regressivo che permettono la stima dell' EIN_I medio al primo di Aprile, in quei siti in cui tale valore non può essere calcolato. Per le due regioni investigate, le formule sono la 3 e la 4 di fig. 6. Dove $\bar{T}_I$ è la temperatura media dal 1° di settembre al 1° di Aprile gradi Celsius. Nessuno altra variabile ha mostrato di fornire una significativa varianza spiegata. Il coefficiente di determinazione è $R = 0.83$ con la quota come variabile più importante ($R = 0.71, 0.81, 0.83$), più alto che per la densità (si noti anche in minor numero di punti). Per la regione 2, si ha la formula 4 di fig. 6, con N coordinata nord del sito (Gauss Boaga).

Il coefficiente di determinazione è $R = 0.78$ ($FSA R = 0.72, 0.74,$



0.78 finale), è ancora la variabile più importante è la quota. Tale indicazione è una conferma a posteriori del fatto che la quota è una variabile di grande influenza sulla quantità di neve caduta e accumulata, come detto in precedenza. Per la stima con il metodo di Kriging, si deve anche stimare il coefficiente di variazione (o la varianza) del valore di EIN in siti non noti e sull'area di interesse. A tale scopo, una analisi simile alla precedente è stata condotta per la stima di tale grandezza in siti non misurati.

Il coefficiente di variazione è stato calcolato come $CV_{EIN} = \sigma_{EIN} / \mu_{EIN}$ dove σ_{EIN} è lo scarto quadratico medio del valore di EIN locale. Le formule ottenute sono per la Regione $S-W$ si ha la formula 5 di fig. 6, con coefficiente di determinazione $R = 0.87$ ($R=0.81, 0.83, 0.85, 0.86, 0.87$ finale). Per la regione $N-E$ si ha formula 6 di fig.6, con coefficiente di determinazione $R = 0.82$ ($R=0.76, 0.79, 0.82$ finale).

La variabile più importante si osserva essere la quota, che influenza la variabilità dell' EIN nel sito. Più alta la quota, più bassa la variabilità.

Questo è consistente con l'idea che alle alte quote, poca influenza è esercitata sulla quantità di

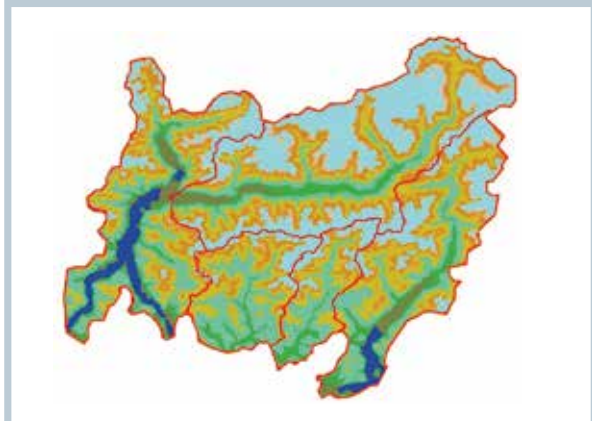
neve accumulata dai fenomeni fisici di scambio termico, che portano a scioglimento e metamorfismo della neve.

Nelle Figure 10 e 11 si mostra l'adattamento delle equazioni da 3 a 6. Si osserva che le Equazioni dette sono empiriche e devono essere usate tendenzialmente nelle regioni per le quali sono state valutate. Inoltre si devono sempre condurre dei controlli di affidabilità per la sensatezza dei risultati ottenuti (p.es. valori negativi non devono essere presenti).

In Figura 12a, si mostra il valore atteso dell' EIN_I stimato, ossia della quantità d'acqua (in metri) media che ci aspetta si trovi accumulata sotto forma di neve al primo di Aprile. Si mostra inoltre l'area in media innevata (Figura 12b, si veda il paragrafo successivo). La rappresentazione è condotta su di una griglia di dimensioni 220*230 metri. Si osservi come immediatamente si nota la differenza tra le due regioni. In particolare, si osserva come la regione $N-E$ è molto più ricca di acqua sotto forma di neve. Tale informazione risulta in apparenza contraddittoria rispetto a quanto detto in precedenza, ossia che la regione $S-W$ presenta più precipitazione sotto forma

Fig. 12

Area innevata AI al 20 aprile 1992



Area innevata AI al 20 aprile 1993



Fig. 13
Fig. 14

nivale. Tuttavia, considerando il processo di accumulo nivale, ci si rende conto del significato del dato osservato. Nella regione S-W, sebbene più ricca di precipitazione, la neve rimasta nel periodo primaverile è inferiore a quella rimasta nella regione N-E. Questo significa che nella regione S-W la precipitazione nivale viene in grande parte persa durante la stagione per fenomeni di scioglimento e all'inizio della primavera tale risorsa è in realtà minore che nella regione N-E. Tale comportamento è sicuramente dovuto al differente regime di temperature nelle due regioni, per via della diversa latitudine media. Per condurre l'interpolazione spaziale dei dati locali sull'intera area, si è anche dovuto studiare il campo di correlazione tra il valore di *EIN* in differenti punti. La procedura non viene mostrata qui per

brevità, ma ha permesso di collegare il valore della correlazione tra punti non noti in funzione di alcune variabili morfologiche similmente alle grandezze finora mostrate (per una descrizione della procedura di Kriging il lettore è rimandato, p.es., a Cressie, 1993, e per una applicazione allo studio dell'*EIN*, p.es. a Carrol, 1995, Carrol e Cressie, 1997). Lo studio ha comunque evidenziato un differente comportamento di tale correlazione tra le due regioni, fornendo un elemento in più per validare la scelta di dividere l'area in due regioni omogenee. Una volta determinato il campo di correlazione, la procedura di Kriging è stata implementata e testata producendo risultati statisticamente validi sul set di dati di stazione a disposizione (si veda Bocchiola et al., 2003). Quindi è possibile utilizzarla per la stima su scala areale del valore di *EIN*, opportunamente accoppiata con le misure da satellite di aree nivale coperta.

IDENTIFICAZIONE DELL' AREA INNEVATA TRAMITE MISURE SATELLITARI

Il remote sensing delle aree coperte da neve (Aree Innevate, AI) è utilizzato correntemente nel campo delle risorse idriche (p.es. Dozier et al., 1981, Martinec et al., 1991, e.g. Ranzi et al., 1999). L' identificazione dell'AI si può condurre, per condizioni di buona visibilità, approfittando della riflettività della neve nelle bande del visibile. Infatti, la neve possiede una riflettività nel visibile maggiore che nell'infrarosso vicino, al contrario di grande parte dei terreni naturali. In questo lavoro, alcune immagini provenienti dal satellite NOAA-AVHRR® (Advanced Very High Resolution Radiometers, 11 si veda p.es. Simpson et al., 1998)

vengono utilizzate per la identificazione dell'AI. L'analisi complessiva è stata condotta considerando un set di immagini relative a cinque anni (1990, 1991, 1992, 1993 1998). La risoluzione al suolo delle immagini è di circa 1 km² (1100 per 1100 m). Le immagini processate sono state gentilmente fornite dal Prof. Ranzi, dell'università di Brescia, che qui gli autori ringraziano. Dall'elaborazione di tali immagini, nei casi in cui la visibilità fosse tale da permetterla, è stato possibile ricostruire la copertura nivale per le date relative ai passaggi del satellite sull'area investigata (per i dettagli del trattamento delle immagini si veda Ranzi et al., 1999). Le date delle immagini a disposizione in generale non coincidono con il 1° di Aprile. L'informazione sull'area innevata deve perciò essere ricostruita considerando le immagini disponibili (solitamente in date vicine). Da tale analisi, si è potuta ricostruire l'informazione sulle aree innestate, considerando le curve di scioglimento osservate. In particolare, in Figura 12b si rappresenta l'area innevata media al 1° di Aprile ricostruita con tale procedura. Tale grandezza risulta di grande interesse nella stima del volume medio di acqua accumulato. Considerando comunque i singoli anni, la ricostruzione dell'*EIN* per quell'anno può essere condotta in maniera più affidabile in riferimento alla data di passaggio del satellite. Se tale data non è molto diversa dal 1° di Aprile, le metodologie statistiche utilizzate si possono ancora considerare valide. Tale inconveniente è un esempio tipico delle problematiche a cui si può andare incontro nella stima dell'accumulo di acqua nei bacini montani. Si mostra qui, a titolo di esempio, la procedura di calcolo per due anni campione.

Nelle Figure 13 e 14 si mostrano le aree innevate osservate al 20 Aprile del 1992 e nella stessa data del 1993. Tali immagini sono state scelte poiché mostrano la grande variabilità del fenomeno esaminato. Infatti, per due anni consecutivi, la stima dell'AI mostra, a parità di data, due valori molto differenti. In particolare, nella tabella di fig.15, si mostrano le aree innevate per i due anni per i 4 singoli bacini fluviali inclusi nella regione e le relative percentuali rispetto all'area drenata.

STIMA DELL'EIN AREALE PER I DUE CASI DI STUDIO

Si mostra qui la stima dell'EIN a scala areale, indicato con la sigla EIN_A , per l'area in esame. L'area di copertura nivale AI riveste fondamentale importanza per il calcolo dell'EIN_A. Infatti, tale area deve essere nota per la stima delle funzioni necessarie per il calcolo dei pesi per la procedura di Kriging. Inoltre, una volta determinato il valore medio areale EIN_A la conoscenza dell'area innevata AI consente la stima del volume di risorsa idrica accumulata al suolo.

Di conseguenza, si utilizzano qui a scopo dimostrativo le coperture osservate per le date indicate nella tabella di fig. 15. Dato che tali immagini si riferiscono ad una data abbastanza prossima a quella di riferimento, ossia il primo di Aprile, si fa l'ipotesi che le statistiche dei valori di EIN accumulati nelle aree innevate siano sostanzialmente uguali a quelle osservate per il primo di aprile e precedentemente indicate. Tale ipotesi è realistica, nell'ipotesi che non avvenga scioglimento nei siti innevati, come testimoniato, almeno in prima approssimazione, dalla presenza di neve osservata da

satellite. Si è inoltre condotto un controllo delle stazioni per verificare l'assenza di nevicate nel periodo tra le due date, che ha fornito risultato positivo.

Considerando le aree innevate individuate ed i valori di EIN cumulati al suolo, si è potuto condurre la procedura di Kriging. I risultati forniti sono indicati nella tabella di figura 16. Nella sostanza, si tali risultati includono i valori di EIN_A stimato per i due anni, il relativo errore standard di stima (fornito anch'esso dalla procedura di Kriging, si veda p.es. Carrol e Cressie, 1997) in metri, σ_{EIN_A} . Quest'ultimo fornisce l'ordine di grandezza dell'errore commesso nella stima, di grande importanza in fase di pianificazione. Si noti che molte delle semplici metodologie solitamente utilizzate per la stima dell'EIN_A non forniscono alcun indicazione di tale ordine di errore. Noto l'EIN_A, è possibile stimare per ognuno dei bacini considerati il volume d'acqua accumulato sottoforma di neve, VA, moltiplicando il valore medio areale EIN_A per l'ammontare dell'area innevata AI. Si fornisco-

no in fig. 16 tali stime, in m³. Si fornisce anche il relativo scarto quadratico medio σ_{VA} , sempre in m³, dipendente da σ_{EIN_A} . Tale informazione fornisce il grado atteso di variabilità del valore di volume liquido stimato sottoforma nivale nell'area investigata. In tale modo, il pianificatore non possiede soltanto, anno per anno, un valore atteso del volume VA, ma anche una sua "banda di confidenza" attesa. Tale banda di confidenza permette di condurre anche un'analisi di affidabilità (si veda p.es. Kotegoda e Rosso, 1997, pag. 554) sui volumi attesi e di considerare opportune politiche di gestione della risorsa. Come si osserva dalla tabella di figura 16 e come deducibile facilmente dalle immagini in Figura 13 e 14, la quantità di neve accumulata al suolo è molto diversa per i due anni considerati. In particolare, mentre nell'anno 1992 si osserva una copertura nivale al suolo che copre una buona parte dell'area interessata, nell'anno successivo, 1993, la copertura al suolo risulta essere assai più modesta (come si osserva

Copertura nivale per i due anni considerati				
Bacino fluviale	Adda a Olginate	Brembo a P.Briolo	Serio a Ponte Cene	Oglio a Capriolo
A [Km²]	4552	765	455	1842
AI 1992 [Km²]	1024	135	120	510
AI 1993 [Km²]	223	15	29	108
AI 1992 [%]	22.5	17.6	26.4	27.7
AI 1993 [%]	4.9	2.0	6.4	5.9

Fig. 15

EIN e volume idrico disponibile per i due anni considerati				
Bacino fluviale	Adda a Olginate	Brembo a P.Briolo	Serio a Ponte Cene	Oglio a Capriolo
EIN 1992	0.455	0.425	0.425	0.461
EIN 1993	0.319	0.159	0.159	0.319
σ_{EIN_A} 1992 [m³]	0.053	0.035	0.035	0.058
σ_{EIN_A} 1993 [m³]	0.047	0.030	0.030	0.053
V _A 1992 [m³]	4.7E+08	5.7E+07	5.1E+07	2.4E+08
V _A 1993 [m³]	7.1E+07	2.4E+06	4.6E+06	3.4E+07
σ_{VA} 1992 [m³]	5.4E+07	4.7E+06	4.2E+06	3.0E+07
σ_{VA} 1993 [m³]	1.1E+07	4.5E+05	8.7E+05	5.7E+06

Fig. 16

dalle percentuali nella tabella di fig. 15). Da un anno all'altro, quindi, ci si aspetta che risulti inferiore il volume di acqua accumulato. Questo avviene per due differenti motivi. Prima di tutto, diminuisce l'area coperta da neve. Tale circostanza induce a pensare, che, anche parità di altezza d'acqua al suolo EIN_A , il volume totale sia inferiore, proprio perché inferiore è l'area su cui tale EIN_A si distribuisce. Inoltre, come si osserva dalle prime due righe di

Nella tabella di fig. 16, il valore di EIN medio areale stimato è inferiore nell'anno 1993. Tale risultato conferma la circostanza intuitiva che nell'anno 1993 non solo si sia osservata un'area innevata inferiore a quella di pari data del 1992, ma che si sia anche accumulata sul suolo innevato una quantità di acqua sottoforma di neve inferiore a quella osservata nel 1992. I volumi idrici stimati per i vari bacini sono indicati anch'essi nella tabella di fig. 16 e, come si osserva, sono molto superiori (in alcuni casi

di un ordine di grandezza) nel 1992 che nel 1993. Per ciò che riguarda l'incertezza di stima, indicata con σ_{EIN_A} , si osserva che essa è maggiore per l'anno 1992 e, in generale, che è maggiore per i bacini Adda e Oglio, che per i bacini Grembo e Serio. Tale circostanza è collegata, nella sostanza, alla posizione dei due bacini maggiori. Infatti, tali bacini ricadono entrambi, come si osserva dalla divisione in Figura 1b, in entrambe le regioni considerate. La procedura di Kriging mostra, in generale, una maggiore variabilità della stima nella regione *N-W*. Tale circostanza dipende dalla distribuzione osservata delle correlazioni tra le stazioni in questa regione, che sono in generale più basse che nella regione *S-W* (si veda Bocchiola et al., 2003). Tale circostanza risulta in una stima finale meno affidabile. Si osservi che lo scarto quadratico medio di stima varia da 3 a circa 6 cm, in dipendenza dall'anno e dal bacino.

Tale fluttuazione si ripercuote nella stima finale del volume idrico, come indicato nelle ultime due righe della tabella di fig. 16. Tale fluttuazione, come si può facilmente calcolare, è dell'ordine del 10% del valore atteso. Tale fluttuazione deve essere considerata in una pianificazione affidabile.

CONCLUSIONI

Si mostra qui un semplice approccio alla stima della quantità di risorsa idrica accumulata sottoforma di neve per vaste estensioni areali a partire da reti nivometriche sparse. Analizzando il caso di quattro bacini a componente nivale inclusi nell'arco alpino lombardo, si mostra come l'utilizzo congiunto di una procedura statistica di Kriging, basata su un approccio geomor-

fologico, con l'utilizzo di immagini satellitari permetta la stima di tale grandezza, con la relativa incertezza. Si è qui mostrato un caso di studio relativo alla stima dell'acqua cumulata sottoforma di neve all'inizio della stagione di scioglimento nivale, convenzionalmente individuata ai primi di Aprile, per due anni campione. La procedura statistica mostrata gode di desiderabili proprietà statistiche, che ne fanno una procedura affidabile per l'utilizzo in sede di calcolo. Il valore così stimato di accumulo nivale per differenti bacini è di grande importanza, in quanto rappresenta una variabile di grande interesse per la pianificazione della risorsa idrica, oltre a rappresentare una condizione al contorno per tutti i modelli di scioglimento nivale, atti a rappresentare la dinamica del deflusso da scioglimento negli alvei montani, di grandissima importanza sia per i suoi differenti usi antropici, sia per la dinamica degli ecosistemi fluviali in ambiente montano.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano qui ringraziare l'Ing. Giovanni Peretti e tutto il personale AINEVA per l'inestimabile lavoro di raccolta di dati nivometrici, per l'aiuto nella organizzazione di tale base ed i preziosi suggerimenti e consigli forniti. Gli autori ringraziano il prof. Ranzi, dell'università di Brescia, per l'aiuto fornito per il trattamento delle immagini da satellite. Parte dei dati utilizzati vengono dalla raccolta su base informatica di dati climatologici della REGIONE LOMBARDIA, che gli autori qui ringraziano. I risultati qui presentati hanno beneficiato dei fondi e del lavoro di ricerca condotto nell'ambito del progetto VAPI (Valutazione delle Piene) del CNR-GNDCI (contratto 00.00545.PF42).



BIBLIOGRAFIA

- ARPA Regione Lombardia, Centro monitoraggio geologico (2002). Dati idrometeorologici 1987-2000, CD.
- Bacchi, B. e Rosso, R. (1992). Studio dei criteri di progettazione delle reti di misure nivometriche, Convenzione tra il Politecnico di Milano e la Regione Lombardia (26 febbraio 1992).
- Blöschl, G. (1999). Scaling issues in snow hydrology, *Hydrol. Process.*, 13, 2149-2175.
- Bocchiola, D., De Michele, C., Rosso, R., (2003). Modelling snow water equivalent in Italian Alps, Oral presentation and proceedings: "II Snow and Avalanches Workshop", Sewell, Chile, 15-17 April 2003. Editore: Dr. Jose Vergara, in stampa su CD o direttamente disponibile dall'autore.
- Bohr, G. S. e Aguado, E. (2001) Use of April SWE measurements as estimates of peak seasonal snowpack and total cold-season precipitation. *Water Resour. Res.*, 37, 1, 51-60.
- Carrol, S. S. (1995). Modeling measurements errors when estimating snow water equivalent, *J. of Hydrol.*, 172, 247-260.
- Carrol, S. S. e Cressie, N. A. C. (1997). Spatial modeling of snow water equivalent using covariances estimated from spatial and geomorphic attributes, *J. of Hydrol.*, 190, 42-59
- Coughlan, J. C. e Running, S. W. (1997). Regional ecosystem simulation: A general model for simulating snow accumulation and melt in mountainous terrain, *Landscape Ecology*, 12, 119-136.
- Cressie, N. A. C. (1993), *Statistics of spatial data*, Wiley, N. Y.
- Davis, J. C. (1973). *Statistics and data analysis in Geology*, J. Wiley and Sons.
- Dozier, J., Schneider S. R. e McGinnis, D. F. (1981). Effect of grain size and snow pack water equivalence on visible and near infrared satellite observations of snow, *Water Resour. Res.*, 17: 1213-1221.
- Efron, B. e Tibshirany, R.J. (1993). *An introduction to the bootstrap*, Chapman e Hall.
- Elder, K, Dozier, J. e Michaelsen, J. (1991), Snow accumulation and distribution in an alpine watershed, *Water Resour. Res.*, 27(7), 1541-1552.
- Kottegoda, N. e Rosso, R. (1997). *Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers*, Mc Graw-Hill.
- Maiolini, B. e Lencioni, V. (2001), Longitudinal distribution of macro-invertebrate assemblages in a glacially influenced stream system in the Italian Alps, *Freshwater Biology*, 46, 12, 1625-1639.
- Martinec, J. e Rango, A. (1991), An indirect evaluation of snow reserves in mountain basins, *Proceedings of the congress: Snow, Hydrology and forest in high alpine areas*, Vienna, IAHS publ. 205.
- Martinec, J., Seidel, K., Burkart, U. e Baumann, R. (1991). Areal modeling of snow water equivalent based on remote sensign techniques, *Proceedings of the congress: Snow, Hydrology and forest in high alpine areas*, Vienna, IAHS publ. 205.
- Ranzi, R., Grossi, G. e Bacchi, B. (1999). Ten years of monitoring areal snow pack in the Southern Alps using NOAA-AVHRR imagery, ground measurements and hydrological data, *Hydrol. Process.*, 13, 2079-2095.
- Simpson, J. J., Stitt, J. R. e Sienko, M. (1998). Improved estimates of the areal extent of snow cover from AVHRR data, *J. of Hydrol.*, 204, 1-23.
- Swamy, A.N. e Brivio, P.A (1996). Hydrological modeling of snowmelt in the Italian Alps using visible and infrared remote sensing, *Int. J. Remote Sensing*, vol. 17. no. 16, pp. 3169-3188.



il LAGO SUL GHIACCIAIO

**Monitoraggio e simulazione
numerica del fenomeno
finalizzata alla previsione e
gestione dell'emergenza**

**Salandin Alessio, Rabuffetti Davide,
Barbero Secondo, Cordola Marco,**
ARPA Piemonte

Volontè Giorgio, Mancini Marco
POLITECNICO di Milano

Il ghiacciaio del Belvedere, ai piedi della parete Est del M.Rosa, nel territorio di Macugnaga (VB) in Piemonte, è soggetto, dall'estate dell'anno 2001, ad un fenomeno, interpretato come esempio di surge glaciale, di raro riscontro sull'arco alpino, consistente in un rapido aumento della velocità di scorrimento e in un conseguente progressivo sollevamento della superficie della massa glaciale. A questo fenomeno si è associata la periodica formazione di un lago epiglaciale che raccoglie le acque di fusione dei ghiacciai e dei nevai sovrastanti, raggiungendo nei mesi estivi dimensioni preoccupanti per la sicurezza dei luoghi e delle persone in caso di tracimazione o di svuotamento improvviso per sifonamento. Dal mese di giugno 2002, a seguito di un repentino innalzamento del livello del lago, con l'intervento



EFFIMERO

DEL BELVEDERE

del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile venivano individuate misure precauzionali urgenti per garantire la pubblica incolumità e veniva avviato un piano di monitoraggio strumentale del fenomeno. Al fine di studiare il ruolo della fusione nivale nella formazione del lago è stato appositamente sviluppato un modello del bilancio energetico del manto nevoso fisicamente basato che riesce a considerare i singoli fenomeni legati alla fisica della neve alla piccola scala. Il modello così sviluppato è stato impiegato nella simulazione del fenomeno di formazione del lago epiglaciale formatosi nelle estati 2002 e 2003 ed i risultati ottenuti, oltre a testare la validità del modello sulla base delle misure idrometeorologiche

disponibili, hanno consentito di analizzare i fattori che hanno causato il fenomeno e quelli che ne hanno influenzato la dinamica. In particolare si è verificata l'importanza della fusione della neve accumulatasi durante l'inverno ricostruendo le portate di afflusso al lago. Utilizzando poi le misure di livello idrometrico rilevate con continuità, si è provveduto alla stima delle portate defluite a valle del lago. Tali risultati offrono un utile quadro delle possibilità che il modello offre per meglio interpretare i dati provenienti dal monitoraggio e rispondere alle esigenze operative legate all'attività di allertamento ai fini di protezione civile messe in atto durante la formazione del lago.



INTRODUZIONE

Il ghiacciaio del Belvedere è la lingua terminale del complesso dei ghiacciai che scendono sul versante orientale del Monte Rosa e che coprono le pareti comprese fra la Cima Tre Amici (3516 m), la Punta Nordend (4612 m) e la Punta Dufour (4633 m). Si tratta quindi di un ghiacciaio vallivo composto la cui lingua, lunga oltre tre chilometri, è quasi interamente coperta da materiale detritico e si sviluppa tra le quote 2200 m e 1750 m circa, presso la morena boscosa del Rifugio Belvedere, dove si divide in due rami. La sua superficie complessiva è valutabile in circa 6 Km² (Foto pg. 58-59 e Fig. 1).

Dall'anno 2001 è soggetto ad una modificazione morfologica attualmente piuttosto rara tra i ghiacciai alpini; infatti il Belvedere risulta essere uno dei pochi ghiacciai alpini in fase di espansione.

Molto probabilmente si tratta di un fenomeno di "surge" cioè una rapida e improvvisa avanzata della massa glaciale, non attribuibile tanto ad una variazione positiva del bilancio di massa, quanto ad una modificazione del comportamento meccanico del ghiaccio e dei depositi glaciali

di fondo, dovuta ad un aumento della disponibilità di acqua all'interfaccia ghiaccio-substrato, e favorita dalle temperature elevate delle ultime estati.

A partire dalla primavera 2001 la massa glaciale ha cominciato a mostrare una notevole crepacciatura ed un progressivo innalzamento della superficie di circa 20-30 m rispetto all'anno precedente.

L'accelerazione dello scorrimento del ghiacciaio ha provocato la formazione nel settore superiore, situato a quota 2150 m, di una depressione topografica di elevate dimensioni; questa, è stata parzialmente e periodicamente colmata dalle acque di fusione dei ghiacciai e delle nevi soprastanti dando origine a laghi epiglaciali temporanei, soggetti comunque a spontaneo svuotamento.

Nell'estate 2002 il lago epiglaciale, detto "Effimero" in conseguenza della sua durata stagionale, ha raggiunto la massima estensione (fig. 2) in corrispondenza del periodo di caldo del 15-25 giugno caratterizzato da un flusso di aria molto calda di origine subtropicale che ha invaso il bacino del Mediterraneo portando in Italia temperature massime molto superiori alla

media stagionale. La conseguente ingente e rapida fusione del manto nevoso invernale e del ghiaccio di parete ha prodotto un considerevole apporto d'acqua verso il lago, il cui livello è considerevolmente aumentato; all'inizio dell'ultima decade di giugno l'innalzamento è risultato superiore a 1 m in sole 24 ore, mentre la superficie del lago ha raggiunto 150.000 m² con una profondità di oltre 40 m. In quel momento è stata effettuata la stima di un volume pari a circa 3 milioni di metri cubi.

Si trattava di una quantità d'acqua ragguardevole che, qualora avesse trovato repentinamente vie di deflusso all'interno del ghiaccio o fosse tracimata dall'invaso naturale, sarebbe stata in grado di causare un'onda di piena in grado di trasportare a valle ingenti quantità di detriti rocciosi, con possibili gravi conseguenze per i nuclei abitati di Macugnaga e dei Comuni più a valle, le infrastrutture e i frequentatori della zona.

Nella storia recente del ghiacciaio del Belvedere si sono d'altronde verificati frequenti fenomeni di piena improvvisa, l'ultimo dei quali legato al cedimento di un settore della morena che conteneva il lago delle Locce nel 1979 (Fig. 3).

LE AZIONI DI SALVAGUARDIA

Attraverso l'intervento del Dipartimento Nazionale di Protezione Civile nel luglio del 2002 si procedette all'installazione di un sistema di pompaggio per l'abbassamento controllato del livello dell'invaso (Fig. 3).

Al fine di garantire la pubblica incolumità vennero adottate misure restrittive per impedire l'accesso delle persone alle aree potenzialmente a rischio in caso di piena improvvisa del T. Anza e vennero

Fig. 1: Posizione del ghiacciaio e lingua terminale nel 2001

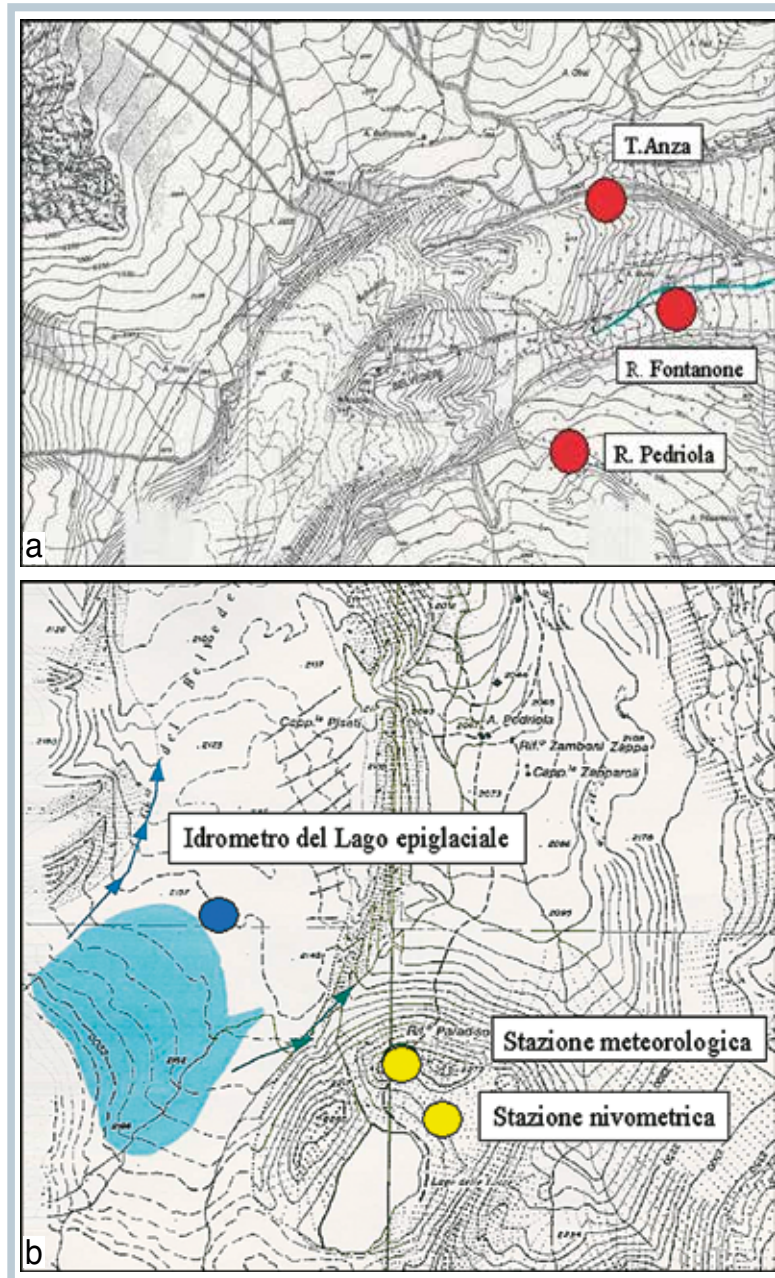
Fig. 2: Foto del ghiacciaio Belvedere e del lago Effimero nel 2002 (sopra) e 2003 (sotto)

Fig. 3: Sistema di pompaggio per l'abbassamento controllato del livello del lago Effimero

Fig. 4: Ubicazione delle fotocamere per il controllo dei deflussi e delle stazioni di misura automatiche



Fig. 4



perimetrare, sulla base delle caratteristiche geomorfologiche e di apposite verifiche idrauliche, le aree a diversa pericolosità, per le quali vennero definite procedure di evacuazione e di Protezione Civile da porre in atto in caso di emergenza. In parallelo alla definizione delle misure di sicurezza, venne definito un sistema di monitoraggio del ghiacciaio del Belvedere e del lago epiglaciale, con il supporto tecnico dell'ARPA Piemonte. La figura 4 mostra il posizionamento delle stazioni di misura e delle fotocamere, mentre la figura 5 rappresenta alcune immagini

riprese. La gestione della strumentazione installata venne affidata all'ARPA Piemonte che, attraverso la Sala Situazione Rischi Naturali a Torino effettuò il controllo in remoto con continuità negli orari di operatività; quale supporto alla programmazione dei lavori di cantiere per l'installazione del sistema di pompaggio venne inoltre emesso un bollettino di previsione meteorologica



Fig. 2a



Fig. 2b



Fig. 3

Fig. 5: Immagini in tempo reale dalle fotocamere per il controllo dei deflussi



locale giornaliero. Una struttura operativa gestita da volontari della locale stazione del Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico era incaricata di attivare le procedure di allertamento in caso di raggiungimento delle situazioni di preallarme e allarme, definite sulla base di soglie critiche della velocità di abbassamento della superficie del lago, che potevano preludere ad una piena improvvisa. Il progressivo svuotamento dell'invaso si protrasse in modo regolare per tutto il mese di agosto 2002, giungendo a compimento alla fine del mese, senza che si verificassero situazioni tali da richiedere l'adozione di misure di protezione civile.

Il fenomeno della formazione del lago epiglaciale si è ripetuto a partire dalla fine di maggio 2003 raggiungendo l'invaso massimo il 16 giugno con 2,4 milioni di metri cubi.

A seguito del riformarsi del fenomeno l'Arpa Piemonte, sulla scorta dei compiti affidati e delle intese operative intercorse con il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile, della Direzione Opere Pubbliche regionale e del Comune di Macugnaga, si è attivata per ripristinare la componente di monitoraggio a

supporto delle azioni di salvaguardia intraprese dalla Regione per la messa in sicurezza del territorio di Macugnaga. A partire dal 4 giugno 2003 è entrato in funzione il rilevamento continuativo automatico del livello del lago ed è stata ripristinata la centrale di acquisizione di Macugnaga, con il relativo servizio di allertamento.

Il 17 giugno 2003 aveva inizio un rapido svuotamento del lago a seguito dell'innescò di un fenomeno di "rotta" glaciale, ovvero attraverso un'improvvisa attivazione dei canali endoglaciali. Il fenomeno, in una prima fase di rapido sviluppo, ha comportato l'adozione di misure di salvaguardia per garantire la pubblica incolumità, ma si è esaurito in tempi brevi (15 giorni circa) riducendo al minimo i disagi e senza che comunque si verificassero danni. Il sistema di monitoraggio ha permesso l'elaborazione dei dati meteorologici e idrologici acquisiti e la verifica della dinamica del lago sia nel 2002 che nel 2003.

IL MODELLO DI FUSIONE DISTRIBUITO

La dinamica del manto nevoso è stata oggetto di simulazione al fine di poter stimare i volumi

idrici effettivamente immagazzinati sotto forma di neve nel bacino e valutare quindi l'effettivo ruolo della fusione della neve nella formazione del lago epiglaciale.

Il modello utilizzato nel presente studio è stato realizzato in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, e Rilevamento sez. Idraulica del Politecnico di Milano nell'ambito di una tesi di Laurea [Salandin A. e Volontè G., 2003].

Il modello riproduce l'accumulo della neve al suolo, la fase di fusione e la propagazione dell'acqua generata all'interno del manto nevoso (Fig. 6). Le grandezze modellate sono l'equivalente idrico (SWE) immagazzinato nel bacino sotto forma di manto nevoso e le portate di acqua di fusione generate dallo scioglimento della neve; non vengono considerate le proprietà legate alla meccanica della neve come, ad esempio, le variazioni di spessore e densità del manto nevoso. Le forzanti meteorologiche utilizzate (precipitazione, temperatura e radiazione solare) distribuite su tutto il bacino sono ricostruite dai dati misurati puntualmente attraverso delle procedure di interpolazione spaziale tenendo conto della topografia del bacino. Nel distinguere il tipo di precipitazione, a partire dalle misure pluviometriche, viene utilizzata la temperatura atmosferica mentre il modello di fusione proposto è basato sul bilancio energetico del manto nevoso in cui vengono calcolati i vari flussi termici che contribuiscono alla fusione della neve (radiazione ad onde corte, lunghe, calore dal terreno e dalla precipitazione, flussi convettivi).

Una volta calcolati i valori distribuiti nello spazio del volume d'acqua di scioglimento, se ne simula la propagazione all'interno del man-

to nevoso, attraverso un modello concettuale; successivamente, le portate generate vengono immesse nel deflusso superficiale e affluiscono alla sezione di chiusura del bacino (Fig. 6).

LAGO 2002

Il sottobacino che alimenta il lago epiglaciale copre un'estensione di circa 6Km² con un'altitudine media di 3180m e comprende la parte più alta della catena montuosa del Monte Rosa.

Il primo risultato ottenuto dalla simulazione è l'andamento del volume idrico immagazzinato sotto forma di neve nel bacino del lago Effimero. In figura 7 si nota come l'andamento temporale del SWE nel bacino del lago subisca una brusca riduzione in corrispondenza del periodo maggio-giugno 2002; il confronto qualitativo con la misura puntuale a Passo del Moro (2820mslm) consente la verifica dei principali periodi di accumulo e scioglimento (Fig. 7). Nella figura 8 viene evidenziato il volume del lago Effimero modellato e misurato. Nota la variazione del volume dell'invaso a partire dal 28 giugno 2002, e calcolate le portate in ingresso attraverso il modello di scioglimento nivale, è stato possibile ricavare le portate uscenti dall'invaso (Fig. 9).

Nella fase di riempimento dell'invaso, le portate uscenti dal lago effimero e quindi entranti nel ghiacciaio, sono basse; una volta che il livello dell'invaso ha raggiunto il suo massimo valore, modificazioni strutturali, note come rotta glaciale, causate dalle elevate pressioni idrostatiche esercitate, hanno consentito il naturale svuotamento dell'invaso attraverso canali sotterranei di svuotamento. La discontinuità nelle portate uscenti è dovuta proprio al cambiamento delle caratteristiche idrauliche dell'in-

vaso non prevedibile dai modelli utilizzati. I modelli implementati hanno permesso di verificare il legame diretto tra lo scioglimento della neve e il livello dell'invaso in termini di volumi. La dinamica del manto nevoso riesce a spiegare in modo soddisfacente la formazione del lago Effimero.

LAGO 2003

Nel periodo fine maggio-giugno 2003 si è riproposto il fenomeno di riempimento dell'invaso. L'analisi dello SWE immagazzinato nel bacino del lago e il confronto qualitativo con l'altezza di

neve misurata a Passo del Moro conferma anche per quest'anno la stretta correlazione tra la formazione del lago e lo scioglimento della neve accumulata a monte dell'invaso (Fig. 10).

E' stata condotta la stessa analisi sulle portate entranti ed uscenti dal lago con la stima del volume dell'invaso (Fig. 11).

Evidenze sperimentali hanno mostrato come la fase di riempimento del lago sia simile per il 2002 e 2003 mentre la fase di svuotamento risulta essere diversa in quanto nel 2003 la rotta dell'invaso è stata molto più

Fig. 6: Schema semplificato del modello utilizzato

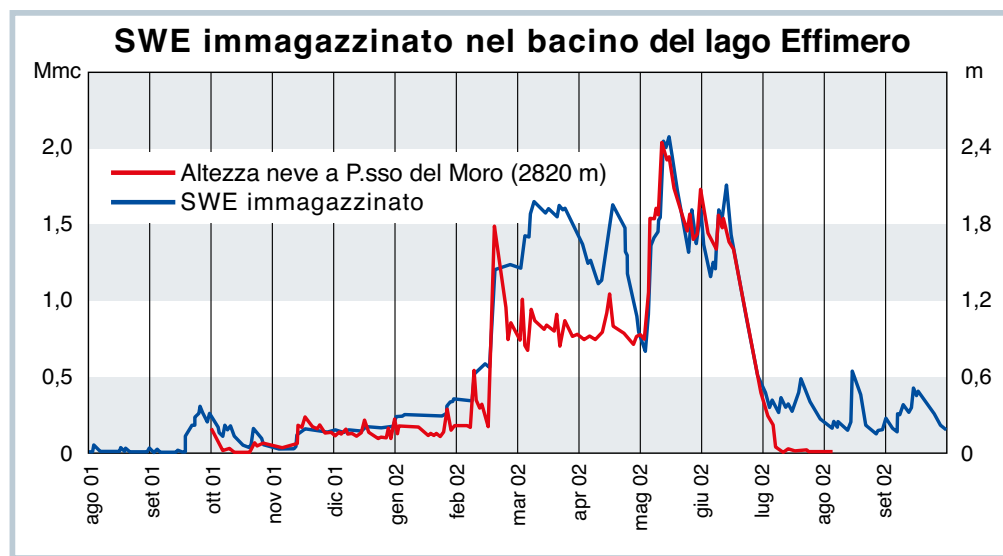
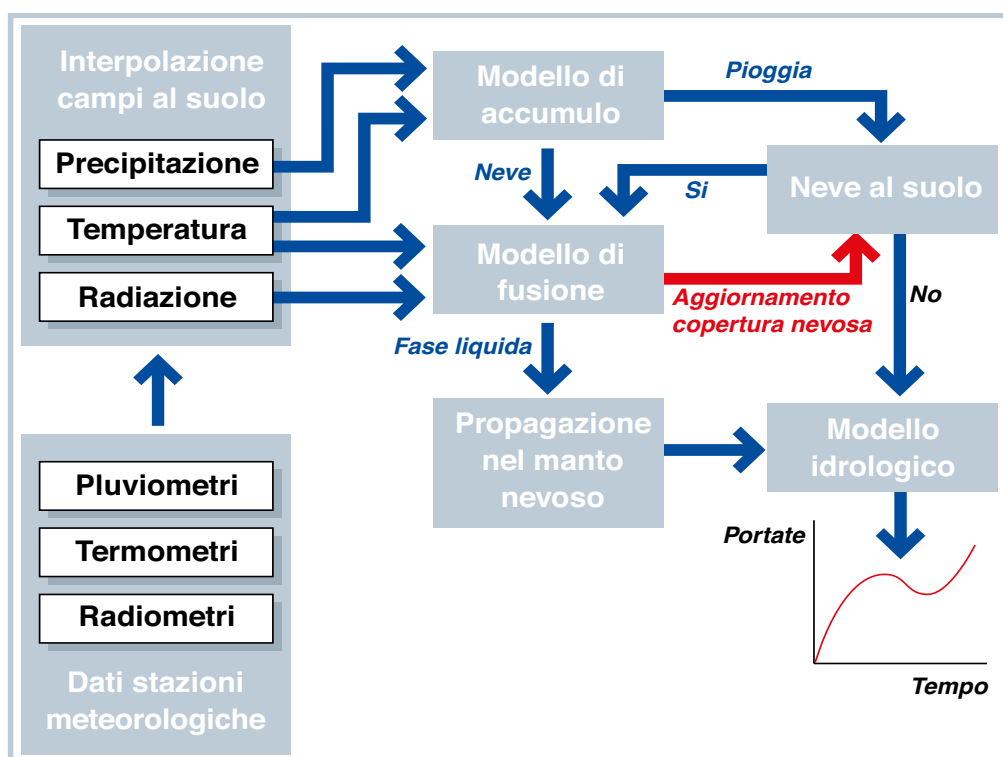


Fig. 7

rapida con un aumento notevole delle portate uscenti (Fig. 12). Si noti come lo svuotamento del lago sia avvenuto in un limitato periodo, circa 15 gg, mentre per il 2002 il fenomeno si è prolungato per circa 2 mesi.

CONCLUSIONI

Il fenomeno di surge glaciale del Belvedere è associato alla periodica formazione di un lago epiglaciale che raccoglie le acque di fusione dei ghiacciai e dei nevai sovrastanti, raggiungendo nei

mesi estivi dimensioni preoccupanti per la sicurezza dei luoghi. Dal mese di giugno 2002, veniva avviato un piano di monitoraggio strumentale del fenomeno, con l'intervento di ARPA Piemonte e del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile.

I dati raccolti nelle campagne di misura e nel monitoraggio sono stati utilizzati in una applicazione sperimentale del modello idrologico di scioglimento nivale. Ciò ha consentito anzitutto, di verificare il legame tra le temperature elevate del Giugno 2002 e la formazione del lago, quindi di verificare che il fenomeno del lago Effimero fosse spiegabile quasi esclusivamente attraverso lo scioglimento di massa nevosa. E' stato riscontrato come anche nel mese di giugno 2003, con condizioni meteorologiche analoghe a quelle del 2002, persista il fenomeno a conferma delle ipotesi effettuate riguardo il legame con lo scioglimento nivale. In generale, osservando le diverse leggi d'efflusso che caratterizzano le fasi di riempimento e svuotamento dell'invaso, è stato possibile rilevare le mutazioni nell'assetto dell'apparato glaciale nel suo complesso, e quindi del quadro delle situazioni di rischio. In questo contesto il modello implementato diventa un utile strumento per il monitoraggio del fenomeno. Il modello così validato assume anche una importante valenza in fase previsionale: una volta stimata la copertura nevosa accumulata nell'inverno, grazie alla simulazione numerica, e ipotizzando diversi scenari climatici, è possibile valutare la successiva fase di scioglimento e calcolare il volume di formazione del lago nella stagione primaverile-estiva.

Ringraziamenti

Si ringrazia Federico Volpati per l'elaborazione delle immagini digitali.

Volume del lago Effimero

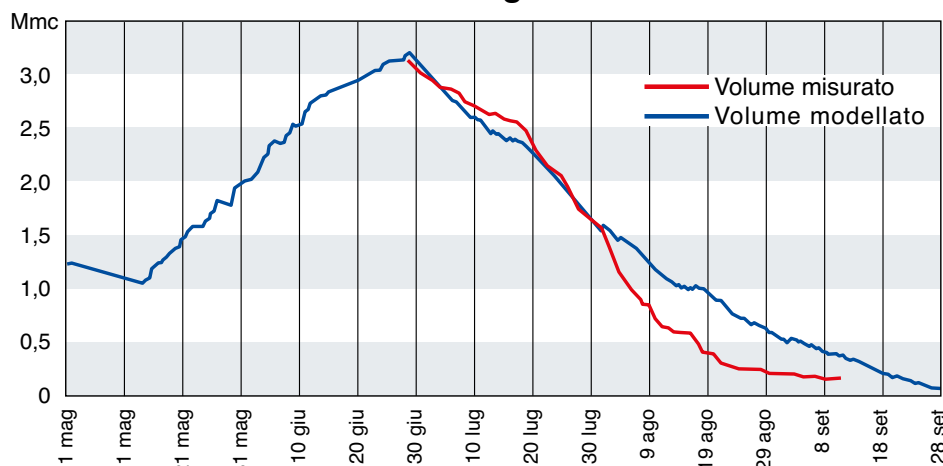


Fig. 8

Portate entranti e uscenti

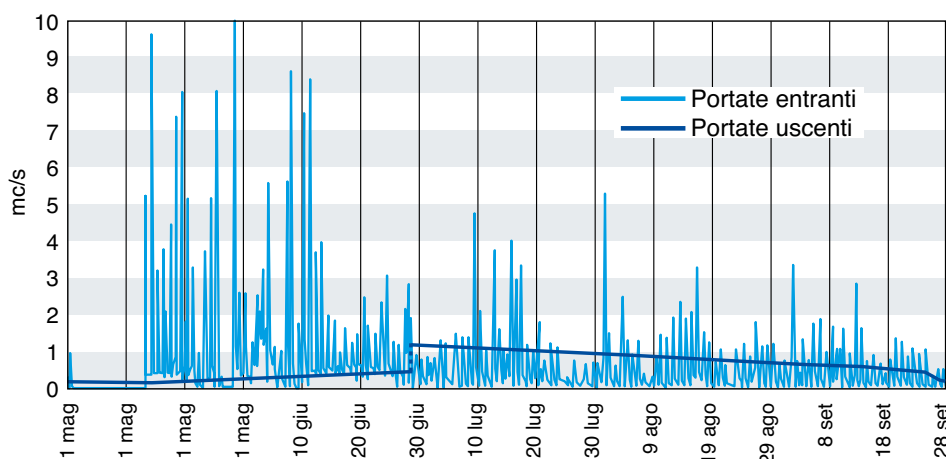


Fig. 9

SWE immagazzinato nel bacino del lago Effimero

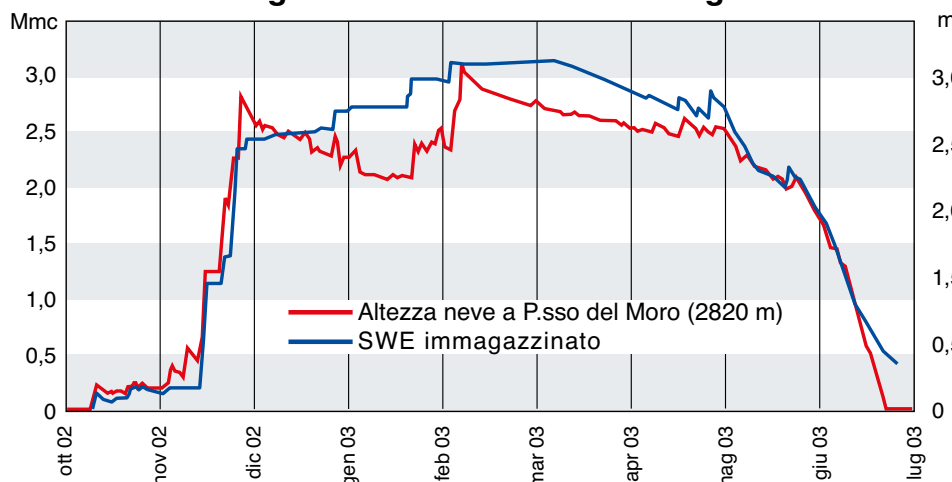


Fig. 10

Bibliografia

- Haeberli W., Mazza A., Mortara G., Richardson S., "A surge-type movement at Ghiacciaio del Belvedere and a developing slope instability in the east face of Monte Rosa,
- Macugnaga, Italian Alps", Norwegian Journal of Geography Vol. 56, 2002.
- Ranzi R., Un modello idrologico distribuito, su base fisica, dello scioglimento nivale, Tesi di laurea, Politecnico di Milano, relatore Prof. R. Rosso, 1989.
- Regione Piemonte, Direzione dei servizi tecnici di prevenzione, "Il lago epiglaciale del Belvedere a Macugnaga (VB) ", 2002.
- Salandin A., Volontè G., Un modello idrologico per la simulazione del manto nevoso. Applicazione al caso di studio del lago epiglaciale del ghiacciaio del Belvedere, Tesi di laurea, Politecnico di Milano, relatore Prof. M. Mancini, 2003.
- Tarboton David G., Chowdhury, Tanveer G., Jackson Thomas H. "A Spatially Distributed Energy Balance Snowmelt Model", Utah Water Research Laboratory, 1994.
- U.S. Army Corps of Engineers, "Runoff from snowmelt", 1998.

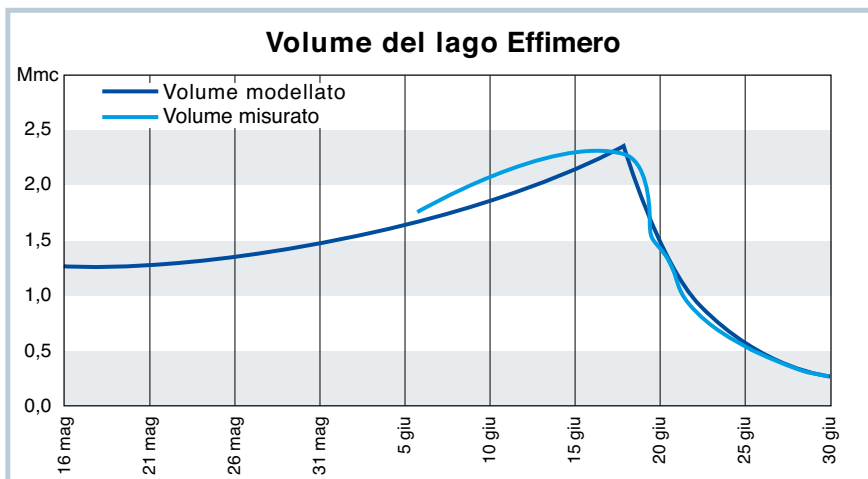


Fig. 11

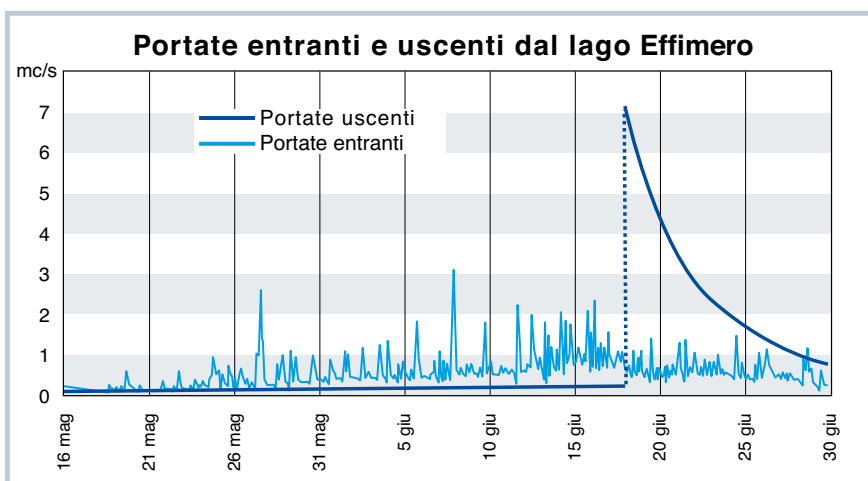


Fig. 12

ORGANIZZAZIONE E SICUREZZA



m2 • EXPERT • CARBON PRO 240 • STRATUS 32 • SAFETY PLATE

www.ortovox.com

ORTOVOXX

ARFANG

VALANGHE SOTTO BUONA SORVEGLIANZA

Nella località di Bonneval-sur-Arc dal 1999 è in uso ARFANG, un sistema per il rilevamento automatico della caduta di valanghe. Al verificarsi di una valanga in uno dei 16 settori del sito controllati dal sistema, Arfang invia immediatamente l'informazione ai responsabili locali della sicurezza, via SMS, fax o e-mail. Per giungere ad un livello ottimale di operatività e di affidabilità, nel corso di questi quattro anni sono stati apportati numerosi miglioramenti: migliorie tecniche, ottimizzazione dell'algoritmo di riconoscimento, ottimizzazione dei sensori. L'articolo delinea le finalità del sistema, fa il punto sulle sue prestazioni e presenta gli usi potenziali futuri. Dal punto di vista della protezione dei demani sciabili e delle vie di comunicazione, Arfang sarà interessante per quei siti ove la conoscenza dell'attività valanghiva è condizione indispensabile per l'assunzione di decisioni riguardanti la sicurezza. Da un punto di vista scientifico Arfang è interessante sia come strumento per migliorare la conoscenza generale nel campo della neve e delle valanghe, sia per il miglioramento della rete di osservazione.

INTRODUZIONE

La conoscenza dell'attività valanghiva è un'informazione preziosa per il previsore e per il responsabile della sicurezza. Tale conoscenza si basa attualmente sulle osservazioni fatte dai rilevatori che sono difficili o impossibili di notte, con tempo brutto o in settori posti al di fuori del campo di visuale. A Bonneval-sur-Arc (Savoia, Francia) è in prova dal 1999 Arfang, un sistema per il rilevamento automatico della caduta di valanghe. Si tratta della prima versione di un sistema integrato, installato a livello di prova nell'ottica di una validazione operativa. Ogni qual volta cade una valanga in uno dei colatoi del sito, su entrambe le sponde del fiume Arc, Arfang invia un messaggio SMS ai cellulari dei responsabili della sicurezza dell'area (o un fax o una e-mail). Per giungere ad un livello d'operatività e d'affidabilità apprezzabile dagli utenti,

numerosi miglioramenti sono stati apportati al sistema nel corso degli ultimi tre anni. L'articolo tratta dello scopo del sistema, fa il punto sulle prestazioni dello stesso e presenta i potenziali usi futuri.

SCOPO DEL SISTEMA

Scopo di un sistema di rilevamento delle valanghe del genere di Arfang è quello di originare automaticamente, al verificarsi di una valanga, un'informazione del tipo "data, ora, settore, grandezza" e di inviarla in tempo reale agli utenti. A differenza dei sistemi che controllano singoli colatoi, un sistema "a lunga portata" deve permettere, partendo da una posizione centralizzata, la copertura di una molteplicità di percorsi valanghivi.

In pratica questo sistema può essere utilizzato:

- per segnalare l'inizio di un picco di attività valanghiva in caso

di cattive condizioni di visibilità (segnalazione del possibile verificarsi di parecchie valanghe nell'arco di qualche ora)

- per confermare il verificarsi di una particolare valanga in un settore, precisando l'ora esatta per potere, ad esempio, prendere una decisione circa la riapertura di una strada in scarse condizioni di visibilità

- per confermare (o negare) l'esito di un distacco artificiale

- per diminuire, eventualmente, il tempo di allerta in una stazione, quando ci si trovi a gestire un settore con visibilità pessima.

D'altro canto il riconoscimento automatico delle valanghe è un mezzo per migliorare, alla fin fine, la rete di osservazione, ad integrazione delle osservazioni dei rilevatori. Con l'evoluzione dei mezzi di comunicazione si può altresì immaginare che la diffusione automatica dell'informazione sull'attività valanghiva

Eric Van Lancker e Vincent Chritin

IAV Engineering PSE/B-EPFL,
CH - 1015 Lausanne (Svizzera)



Fig. 1: Settori di rilevamento delle valanghe a Bonneval-sur-Arc

Fig. 2: Sensore Arfang a Bonneval-sur-Arc

Fig. 3: Firma acustica di una piccola valanga ad una distanza di 4 km, verificatasi il 19/01/2001, alle ore 09.51 nel settore "Dom Jean Maurice", con un distacco stimato di m 0.5, una larghezza di circa m 200 e un dislivello di circa m 400



possa costituire un giorno un utile servizio per il pubblico, alla pari, ad esempio, delle carte dei temporali diffuse dal Servizio meteorologico. Al giorno d'oggi i soli sistemi noti di riconoscimento automatico delle valanghe a distanza sono quelli basati rispettivamente sull'analisi delle onde acustiche (infrasuoni o suoni di frequenza inferiore a circa 16 Hz) che si propagano nell'aria) e quelli basati sul rilevamento delle onde sismiche, due tipi di onde generate dallo scorrimento delle valanghe e che si propagano per parecchi chilometri.

STADIO DI SVILUPPO DEL SISTEMA ARFANG

Parecchi prototipi del sistema Arfang sono stati sviluppati e provati ad Anzère (Vallese, Svizzera) tra il 1994 e il 1997 (v. Neige et Avalanches, n° 78, giugno 1997). Nel 1999 una prima versione integrata è stata installata a Bonneval-sur-Arc, per il controllo dei 16 settori del sito (v. fig. 1), in vista del miglioramento previsto a breve della sicurezza della strada dipartimentale 902 tra il villaggio e Bessans.

La configurazione del sistema a Bonneval-sur-Arc, con i suoi quattro sensori (v. fig. 2), prefigura fedelmente quella che sarà la versione industriale del sistema.

PORTATA DEL SISTEMA

La portata di Arfang dipende da due fattori:

- la rumorosità infrasonora della valanga, a sua volta funzione del tipo e del volume di neve messa in movimento dalla valanga, della velocità di scorrimento e delle caratteristiche topografiche;
- le condizioni di propagazione del segnale tra valanga e Arfang, e il rumore infrasonoro di fondo, che dipendono dai rilievi presenti tra valanga e sistema, dalle condizioni meteorologiche e dalle fonti infrasonore parassite, anche lontane.

Le condizioni ottimali per il riconoscimento delle valanghe si hanno dunque con valanghe dal livello di emissione elevato, con propagazione diretta (assenza di rilievi tra la valanga e i sensori che mascherino il segnale) e con vento debole (le altre condizioni meteorologiche non influiscono significativamente sulla portata del sistema). Durante l'inverno 2000/2001, a Bonneval-sur-Arc, Arfang ha confermato, in siffatte condizioni, una valanga di pic-

cole dimensioni, osservata da un pisteur, che si era verificata sul versante opposto, ad una distanza di circa 4 chilometri.

Nelle condizioni di rilevamento peggiori, la portata del sistema rimane nell'ordine di 5 km per le valanghe di grandi dimensioni, ma diminuisce per le valanghe di piccole dimensioni.

LOCALIZZAZIONE E PRECISIONE DELLA LOCALIZZAZIONE

Per localizzare le valanghe, Arfang determina la direzione di provenienza delle onde sonore basandosi sugli sfalsamenti temporali di arrivo degli infrasuoni su ciascuno dei quattro sensori che costituiscono il sistema, ripartiti sul terreno entro un raggio di 30 m (vedi fig. 4).

Il sistema valuta in tempo reale le direzioni ottenute, le compara con gli azimut dei settori predefiniti d'intesa con i gestori del sito e decide di non tenere in conto l'evento sia qualora esso si verifichi fuori dai settori, sia qualora l'evento venga considerato troppo lontano (angolo d'incidenza dei suoni troppo stretto). In caso contrario, l'evento viene analizzato con criteri supplementari di riconoscimento della firma acustica (in particolare la ripartizione dell'energia per classi di frequenza e la durata del segnale) e, se del caso, lo classifica come valanga in un determinato settore. L'angolo di incidenza dell'onda è determinato sul piano orizzontale con una precisione di $\pm 1^\circ$. Considerando gli effetti della variazione di incidenza legati al rilievo locale, ai profili di temperatura dell'aria e alla velocità del vento, la precisione globale della localizzazione azimutale è di $\pm 2^\circ$, che comporta un arco di 350 m alla distanza di 5 km. In definitiva, la scelta del sito di installazione del sistema

è più importante della precisione angolare del sistema stesso: la prassi è di scegliere un posizionamento centrale che permetta una buona discriminazione angolare dei colatoi da sorvegliare. In particolare è meglio evitare localizzazioni che leggano più colatoi in allineamento, a meno di accontentarsi di un'informazione più scarna, e cioè che un evento si è verificato su uno qualsiasi dei colatoi monitorati. A Bonneval-sur-Arc, per esempio, Arfang è stato installato al centro del sito, per massimizzare la discriminazione angolare sia dei colatoi in sponda destra dell'Arc che di quelli in sponda sinistra lungo un tratto di strada di 4 chilometri.

INDICE DI GRANDEZZA DELLE VALANGHE

Per fornire un'indicazione circa la grandezza della valanga, l'apparecchio si basa sul criterio della durata dell'evento (grandezza della firma) e sulla ripartizione frequenziale dell'energia infrasonora (c'è più energia in bassa frequenza nel caso di grandi valanghe). L'esperienza acquisita con parecchie centinaia di rilevamenti, corroborati da osservazioni, indica che è possibile un classamento automatico su tre classi di grandezza.

POSSIBILITÀ DI FALSI ALLARMI

Una pratica di più di 10 anni ha consentito di identificare la maggior parte del rumore di fondo infrasonoro, che quindi non può più interferire col sistema, e ciò indipendentemente dal sito considerato. Le sorgenti infrasonore parassite propriamente dette, legate ad attività umane (aerei, industrie pesanti, ecc.) o naturali (temporali, trombe d'aria, ecc.) sono filtrate sulla base di un criterio di riconoscimento della firma acustica e della localizza-

zione. Per esempio, tutti gli eventi che si presentino con un angolo di incidenza più stretto dell'angolo minimo possibile per una piccola valanga che si verifichi ai limiti del sito sotto controllo, vengono automaticamente eliminati.

EFFETTO DEL VENTO

Senza essere, in senso stretto, una fonte di infrasuoni, il vento produce localmente sui sensori degli infrasuoni parassiti che potrebbero mascherare segnali deboli di valanga (valanghe piccole o valanghe lontane). Con vento forte, l'aumento del rumore ambientale sui sensori assorda progressivamente il sistema. Per ovviare a tale inconveniente, sono stati apportati al sistema due miglioramenti importanti:

- per prima cosa, l'aggiunta di silenziatori integrati all'ingresso del suono nei sensori, basati su un principio di resistenze acustiche che permettono di riportare la presa del suono a filo del livello del manto nevoso (cioè una zona dove le velocità del vento sono in media meno elevate che a qualche metro al di sopra del suolo);

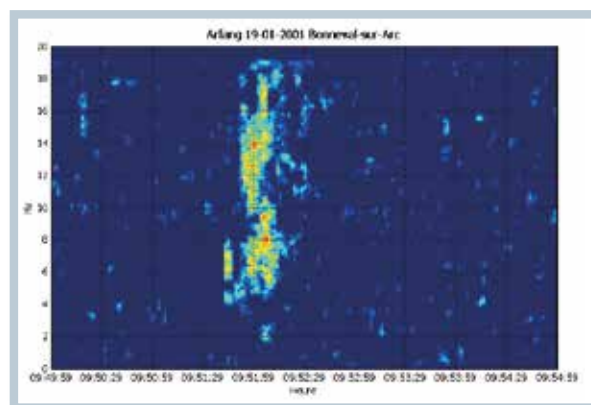


Fig. 4: Disposizione sul terreno dei quattro sensori Arfang (colonne nere), con una distanza di 30 metri di tre sensori rispetto al sensore centrale

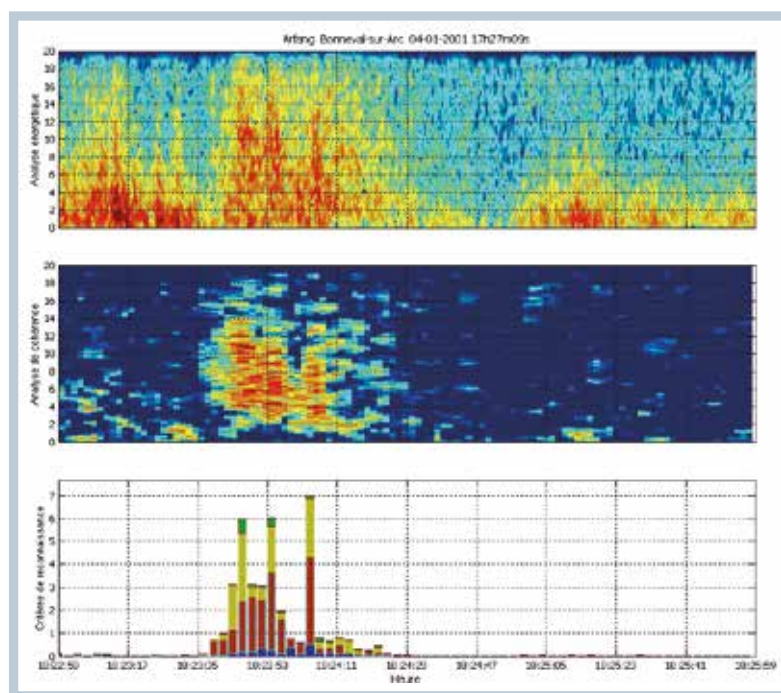
- in secondo luogo, una tecnica di filtraggio numerico detta di coerenza (v. fig. 5), basata sul fatto che le componenti infrasonore causate dal vento su ciascun sensore non sono affatto correlate fra di loro (sfregamento aerodinamico), mentre quelle delle valanghe lo sono (onda di propagazione).

A questi due soluzioni si aggiunge la possibilità di scegliere un sito di installazione al riparo dal vento.

RISULTATI INVERNO 2000-2001 E 2001-2002

Durante l'inverno 2000-2001, su un periodo di prova operativo di 119 giorni, Arfang ha funzionato al pieno della sua capacità di analisi per 95 giorni, vale a

Fig. 5: Risultati del filtraggio numerico: in alto, l'analisi energetica grezza del segnale fornito da un sensore; in mezzo il risultato del calcolo di coerenza che ha fatto uscire dal segnale grezzo, tra le ore 16.23'35" e le ore 16.24'11", una tacca oblunga, caratteristica dell'infrasuono da valanga; in basso i criteri di riconoscimento automatico che emergono in concomitanza di una valanga



dire l'80% del tempo, coprendo un raggio medio di 5 km, sull'ordine, quindi, del centinaio di km².

Durante questo periodo sono state registrate dal sistema 140 valanghe, contro 26 osservazioni dirette alle quali vanno aggiunte 58 osservazioni di tracce o di depositi effettuate dopo l'evento. Questa considerevole carenza di osservazioni tradisce il fatto che, a dispetto di un notevole impegno da parte dei rilevatori

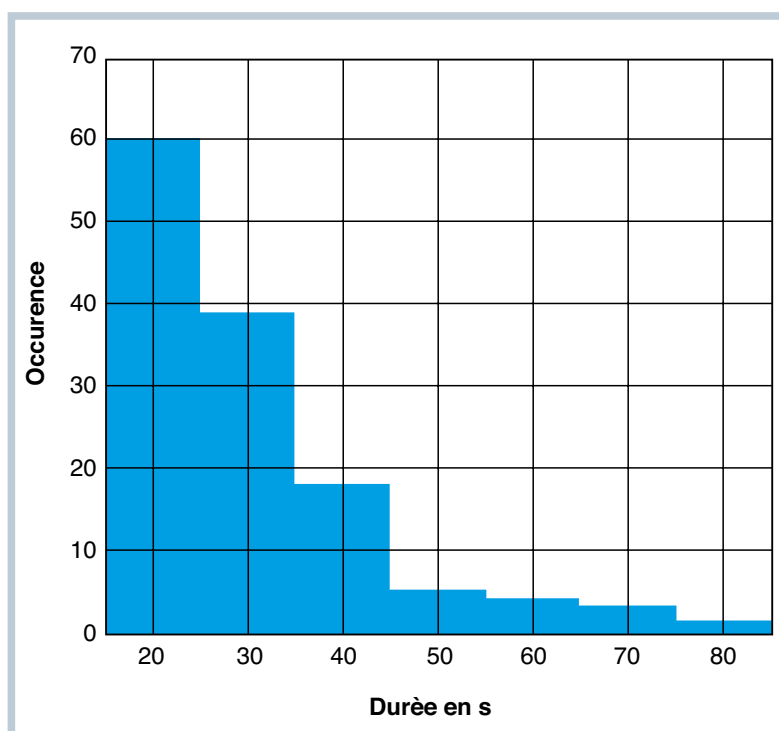
sul posto, si stima essere la copertura a vista solo il 20% del tempo totale, tenendo in considerazione solo le ore del giorno con buona visibilità e con presenza degli osservatori, ricordando infine che la copertura è di soli 10 km² (settore in sponda destra dell'Arc in vista diretta dal posto di osservazione).

A causa del vento 8 valanghe osservate non sono state rilevate dal sistema e, al contrario, due rilevamenti classificati come

valanga si sono rivelati, dopo verifica, falsi allarmi. La durata media delle valanghe rilevate, calcolata su 140 casi, è di 30 secondi; da un lato si situano le più piccole valanghe rilevate, di durata intorno ai quindici secondi, e dall'altro quelle di grandi dimensioni il cui segnale infrasonoro oltrepassava il minuto [Fig. 6]. Durante l'inverno 2001-2002 il funzionamento del sistema è stata ancora migliore.

È stato osservato che le valanghe di grandi dimensioni si verificano in genere durante o subito dopo un aumento consistente del numero di valanghe rilevate, osservazione che vale la pena d'essere verificata su più stagioni e che potrebbe, col tempo, costituire un utile indicatore di pericolo.

Fig. 6: Istogramma della durata delle immissioni acustiche da valanga durante l'inverno 2000/2001 a Bonneval-sur-Arc (totale: 140 valanghe)



PROSPETTIVE OPERATIVE

Sicuramente Arfang amplia considerevolmente la copertura temporale e spaziale di valutazione dell'attività valanghiva di un sito. In particolare, si è notato che per effetto della sua copertura estesa l'apparecchio fornisce una buona indicazione dei picchi d'attività valanghiva.

LÖFFEL

LASAR

In armonia con la Natura
La natura, musa ispiratrice delle nostre creazioni per l'arredo urbano.

Modelli di barriera per la protezione dei versanti
In relazione a neve, terreno, ghiaia, acqua.

QUALITÀ D'ALTA QUALITÀ

Per ulteriori informazioni, rivolgetevi senza impegno ai nostri tecnici:

Betonform S.r.l.
Stabilimento GATS - Zona Industriale, 3
39030 Gais (BZ) - Tel. 0474 504180
Fax 0474 504117 - info@betonform.it

Stabilimento MEDISANO - Loc. Brozzoli
27 - 43014 Medesano (PR)
Tel. 0525 420 549 - Fax 0525 420 029
informazioni@betonform.it - www.betonform.it

A titolo d'esempio durante gli inverni 1999, 2000 e 2001, a Bonneval-sur-Arc si sono verificati da uno a, più frequentemente, quattro o cinque picchi d'attività valanghiva aventi una durata rilevata variabile da 1 a 3 giorni. Sul piano della protezione dei demani sciabili e delle vie di comunicazione, Arfang sarà interessante per i siti dove la conoscenza dell'attività valanghiva risultava essere una componente fondamentale delle decisioni in materia di sicurezza. Sul piano scientifico, Arfang si dimostra interessante come strumento per il miglioramento sia della conoscenza generale in materia di neve e valanghe sia delle reti di osservazione.

Il progetto pilota di Bonneval-sur-Arc è stato finanziato dal Conseil Général de Savoie.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamenti al Comune, agli abitanti ed al Servizio piste di Bonneval-sur-Arc per la loro preziosa collaborazione.

[Quest'articolo è apparso sul n° 96 (dicembre 2001) della Revue de l'ANENA (Association national pour l'étude de la neige et des avalanches), che si ringrazia per averne concessa la pubblicazione. Traduzione dal francese a cura di E. Filafarro]

Note

Hz (Hertz): numero di oscillazioni per minuto

Notizie



Corsi

Due interessanti corsi specialistici sono previsti per la primavera/estate 2004:

LA CONVEZIONE ATMOSFERICA ED I FENOMENI AD ESSA COLLEGATI

Udine, 31 maggio - 04 giugno 2004

Nell'ambito di un sistema fisico o chimico esistono meccanismi per la distribuzione dell'energia che hanno lo scopo di renderlo stabile; a questo principio debbono sottostare anche le atmosfere dei pianeti. L'atmosfera terrestre viene continuamente, ma non omogeneamente né costantemente, forzata dall'esterno, essenzialmente dal Sole, verso stati instabili.

Si pensi alla notevole disparità di riscaldamento tra le aree intertropicali e quelle polari, oppure ai forti gradienti termici verticali e orizzontali esistenti in aree dall'orografia complessa, conseguenza della diversa esposizione all'irraggiamento solare. Fortunatamente la nostra atmosfera, sia globalmente che localmente, si trova mediamente in condizioni di stabilità e ciò garantisce le condizioni ambientali generali che stiamo osservando da milioni di anni. Su scala planetaria il complesso di perturbazioni sinottiche, unitamente al contributo degli oceani, costituisce il meccanismo preposto alla distribuzione dell'energia dall'equatore ai poli. Diversa è la situazione alla mesoscala dove un ruolo importante è rivestito dalla con-

vezione atmosferica. Lo scopo principale della convezione è quello di trasferire molto rapidamente ed efficientemente gli eccessi energetici presenti nei bassi strati atmosferici a quelli più alti. Tramite la convezione le masse d'aria macroscopiche si muovono all'interno dell'atmosfera, dal basso verso l'alto contro l'azione gravitazionale, quindi con esse vengono trasferite le loro proprietà quali l'energia e il vapore acqueo. In queste situazioni i fenomeni atmosferici tipici sono le nubi cumuliformi ed il temporale, dalle forme più innocue a quelle più pericolose come la supercella. Le zone montane, nei periodi estivi, sono pressoché quotidianamente interessate dal fenomeno della convezione atmosferica.

L'Osservatorio Meteorologico Regionale del Friuli Venezia Giulia (OSMER) da molti anni si occupa dei problemi atmosferici alla mesoscala, in particolare di quelli prodotti dalla convezione. L'orografia complessa della regione Friuli e la sua particolare posizione geografica, che favoriscono le interazioni tra le aree marine-lagunari e quelle montuose, hanno stimolato l'Osservatorio a studiare e a ricercare tecniche adatte alla previsione dei fenomeni convettivi alla mesoscala, in particolare quelli violenti e localizzati. Tenuto conto dell'esperienza maturata su queste tematiche e delle collaborazioni esistenti con altri esperti europei e d'oltre oceano, l'OSMER ha deciso di organizzare un corso completamente dedicato alla convezione atmosferica ed alle problematiche meteorologiche ad essa connesse.

In questo intento, l'Osservatorio è stato affiancato dal prof. Reinhold Steinacker, dell'Università di Vienna e dal CISM, il Centro Internazionale di Scienze Meccaniche, che ha sede ad Udine.

Il corso coprirà un'intera settimana e si

terrà ad Udine dal 31 maggio al 4 giugno 2004. Verranno rivisitati i fondamenti fisici della convezione atmosferica e successivamente si entrerà nel merito dei fenomeni meteorologici convettivi con particolare enfasi su quelli violenti. Si parlerà della classificazione e delle caratteristiche dinamiche e termodinamiche di complessi convettivi, mesocicloni e supercelle, temporali in genere, tornado, groppi di vento e precipitazioni localizzate ed intense. Saranno trattate le problematiche convettive in aree orograficamente complesse, quali le zone alpine, e saranno illustrate le interazioni esistenti tra il mare, le lagune e l'atmosfera con le loro ripercussioni sul manifestarsi della convezione atmosferica. Buona parte del corso verterà sulle tecniche di previsione dei fenomeni meteorologici convettivi e sulle modalità di verifica e valutazione della bontà delle previsioni stesse.

Lo scopo del corso è quello di trasmettere ai partecipanti le esperienze e le conoscenze aggiornate sull'argomento, per questo motivo i relatori provengono da diverse realtà impegnate nel settore, quali Harold Brooks del National Severe Storm Laboratory (<http://www.nssl.noaa.gov/>), Paul Markowski della Pennsylvania State University (<http://www.met.psu.edu/>), Reinhold Steinacker dell'Università di Vienna e Renzo Mosetti dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste.

Il corso è aperto a tutti ed è principalmente indirizzato a chi si occupa della convezione atmosferica sia dal punto di vista della ricerca che dell'operatività come ad esempio i previsori, meteorologi, ricercatori, dottorandi, post-dottorati che desiderano approfondire le tematiche trattate. Grazie al supporto logistico ed economico del CISM, saranno disponibili delle agevolazioni per i partecipanti provenienti da istituti che hanno difficoltà a garantire la copertura finanziaria dei costi di partecipazione. Data la sua natura internazionale, il corso si terrà in lingua inglese.

A disposizione dei partecipanti ci saranno delle dispense che in tempi successivi verranno raccolte organicamente in un



Effetti di un "gap flow" sul versante di una montagna Friulana - Rifugio Marinelli, 16 novembre 2003-. In questo caso la corrente discendente di una cella convettiva -temporale- è stata incanalata dall'orografia sino a produrre i risultati osservati.

20 YEARS OF MOUNTAIN METEOROLOGY, PREVENTION AND SAFETY

Erica Filafferro

The meeting "Twenty years of prevention in the snow and avalanche sector" took place on 14 January 2004 at the Sala del Parlamento of the magnificent Udine castle. The conference was organised by Aineva to celebrate the association's 20 years of activity.

In addition to representatives of the regional and provincial avalanche institutes linked to Aineva, numerous Italian and foreign speakers talked before an audience of some 120 people, dealing with several problems concerning prevention and safety in the mountain. Several hosts attended the meeting, including people from Anena of Grenoble, from the Swiss federal institute of Davos and the Austrian forecast centre of Salzburg, in addition to representatives of Servizio Meteomont of Corpo Forestale dello Stato (Corps of foresters), Mountain Guides and Club Alpino Italiano.

After illustrating the all objectives reached through a constant evolution, with the achievement of a number of projects, speakers exhaustively dealt with the forecasting activity, addressing issues like vocational training, land planning, collaboration with the other institutions dealing with the problems linked to avalanche danger.

A method for evaluating natural avalanche susceptibility STARTER A statistical model in GIS environment

Alessandro Ghinoi

The article describes a method for locating the areas most affected by snowcover instability under particular meteorological conditions. Location is based on the statistical analysis of existing relations between all possible combinations of topographical elements and the avalanche areas determined in the past. The processing environment of the maps used integrates two different Territorial Information Systems (GIS); the analysis of data was carried out by a special software system. Results of statistical analyses were then verified on trial avalanche detachment areas and then compared using graphics. Three avalanche susceptibility maps resulted from the comparison, one for each meteorological situation examined, where pixels with the

Tornado del 4 giugno 1999 a San Quirino (PN). Questi eventi sono legati alle forti correnti convettive ma soprattutto alla stratificazione termica nei pressi del suolo. Pur non raggiungendo normalmente le intensità segnalate in altri paesi, i tornado, o trombe d'aria, sono molto frequenti anche in Italia.

degrado (e manutenzione) delle stesse; approccio metodologico per la perimetrazione delle aree esposte a valanga; metodologie utilizzabili per l'analisi dei dati storici di valanghe e per l'analisi statistica dei dati di innevamento (con riferimento a casi di studio reali); metodologie utilizzabili per i calcoli delle valanghe (dense e polverose), con riferimento ad approcci caratterizzati da differente livello di complessità; valutazione del rischio in aree esposte al pericolo di valanga e progettazione degli interventi di messa in sicurezza con riferimento ad analisi costi-benefici ed a valutazioni di impatto ambientale; principali risultati "applicativi" di progetti di ricerca europei (presenti e passati) sulle valanghe di neve (SAME, CADZIE, SATSIE)

Maggiori informazioni alla pagina web www.risknat.org

ERRATA CORRIGE

rif. nr. 49 di "Neve e valanghe", agosto 2003:

- nell'articolo del dr. Roberto Nevini "Le valanghe dei Monti Sibillini", a pag. 39 nelle conclusioni è saltata la seguente frase: "Si ringrazia il Corpo Forestale dello Stato, Servizio Meteomont, per la collaborazione fornita sia per sopralluoghi sul terreno, sia per la consultazione dei dati nivometeorologici"
- nell'articolo di M.Fazzini, C.Bisci, M.Gaddo e M.Russo "Le temperature sull'Appennino abruzzese molisano", a pag.56 ove trattasi della temperatura record registrata nel febbraio 2003 a Rocca di Cambio, è omessa la precisazione: "dato rilevato dal Corpo Forestale dello Stato - Servizio Meteomont, Ufficio di Rocca di Cambio".

testo che verrà edito dalla Springer Verlag. Il corso prevede anche una sessione finale, completamente a disposizione degli iscritti, nella quale chiunque lo desiderasse potrà illustrare le attività nelle quali è coinvolto e le attinenze che esse hanno con le problematiche della convezione atmosferica. E' in questa sessione che i docenti e i partecipanti potranno apprezzare le reciproche attività ed auspicabilmente gettare le basi per future collaborazioni, allargando così la comunità di persone che si occupano del fenomeno della convezione atmosferica.

Ulteriori informazioni si possono trovare sulla pagina web del corso: <http://www.cism.it> oppure si possono richiedere all'OSMER ai seguenti indirizzi: dario.giaioti@osmer.fvg.it, fulvio.stel@osmer.fvg.it

(Dario B. Giaioti e Fulvio Stel
OSMER - ARPA FVG)

Università Europea d'Estate
sui rischi naturali

VALANGHE: GESTIONE DEL RISCHIO, ZONIZZAZIONE E PROTEZIONE

13-18 settembre 2004

Villa Cameron - Courmayeur - Valle d'Aosta

Il corso, organizzato è dal Centro di studi e ricerche per la prevenzione dei rischi naturali di Grenoble, con la collaborazione del Dipartimento di ingegneria idraulica e ambientale dell'Università di Pavia, dello studio professionale dott. Ceriani e della

Regione Autonoma Valle d'AOSTA, ed è rivolto agli operatori del settore per un confronto sulla gestione del pericolo di valanghe nonché agli studenti interessati a svolgere una tesi di laurea o una ricerca su questo tema. Il corpo docente sarà composto da specialisti svizzeri, spagnoli, italiani e francesi.

Il programma del corso prevede:

- 2 mezze giornate di corso teorico
- 3 mezze giornate di uscite sul terreno
- 3 giornate dedicate ad esercitazioni pratiche
- 2 conferenze

Gli argomenti trattati nel corso teorico (10 moduli della durata di 45 minuti) saranno i seguenti:

evoluzione e stabilità del manto nevoso, classificazione delle valanghe, cenni alla fisica del fenomeno valanghivo; previsione a scala regionale e a scala locale delle valanghe, con riferimento agli aspetti sia teorici sia pratici e presentazione dei software disponibili; dinamica delle valanghe, con riferimento sia agli aspetti teorici del problema sia alla ricerca sperimentale; modelli per il calcolo delle valanghe; strumenti cartografici tipicamente utilizzati per la delimitazione delle aree esposte al pericolo di valanghe (carte su base storica, mappe di pericolosità, etc.), e metodologie di redazione degli stessi; tipologie di opere di difesa dalle valanghe, con riferimento ai relativi pregi/difetti, agli aspetti progettuali (dimensionamento, posizionamento, etc.) ed ai problemi di

highest susceptibility values for the whole area under examination were highlighted. The tests carried out have demonstrated that these maps have a reliability degree of more than 60% in detecting future detachment areas.

SNOWDRIFT MEASUREMENT BY MEANS OF IMAGES ANALYSIS

S. Malavasi, A. Bianchi, P. Angiolini, E. Bragastini from Politecnico di Milan

Snowdrift depends on many atmospheric and geomorphologic factors and on the snow and snow pack conditions. Inspire of this, the formulas for snowdrift only take in account a few of them, for instance the Pomeroy and Gray formula that is one of the best known and most used. Also the field data are a limiting factor for the correct approach to the phenomenon. At present snowdrift measurements are carried out mostly with Driftometer and sometimes with FlowCapt. Both of them present some operational problems.

A new snowdrift and wind velocity measurement apparatus, based on the acquisition and analysis of snowdrift images by means of PIV (Particle Image Velocimetry) technique, has been set up. The system, composed by a halogen lamp and a webcam, has been tested at Stretta in Valchiavenna (Sondrio) at 1874 m a.s.l. during the 2002-2003 winter season. Images of the snowdrift have been acquired, filtered and analysed with blob-analysis algorithms, to count and measure the path of each snow particles. From these, the instantaneous velocity of the wind and the mass of the transported snow have been calculated. Both show great instability and, although the expected dependence of the snowdrift on the wind has been confirmed, the transportation capacity has evidenced a significant dependence to the unsteadiness of wind. The mean values of the field data seem to confirm the Pomeroy and Gray equation.

The first tests of the proposed system have demonstrated the good measurements capacity of the apparatus and its largely improved margin.

GO WITH THE "CIASPOLE"....!

Alberto Bianchi

Another way to enjoy winter mountain is to use "ciaspole" or snowshoes. In spite of belonging to a remote tradition, snowshoes are ideal for unskilled young and less young people, allowing them

to explore even the hidden recesses of snow-covered areas. Snowshoes are also more and more frequently used by the numerous snowboard fans to reach the classical ski touring routes in order to enjoy wonderful off-track snowboarding. As always, it is necessary to choose the right equipment, learn to use it and know all precautions to take when travelling with snowshoes.

MAINTENANCE OF ACTIVE AVALANCHE BARRIERS GUIDELINES FOR THE PLAN SETTING UP

Carlo Benigni, Sergio Benigni

In the last few years, several avalanche barriers have been set up in the Trento province in order to reduce the risk of avalanche detachment near residences. These works can be mainly subdivided in three types: wood racks, which are considered "temporary" defence works and are installed in those areas where reforestation, facilitated by protection offered by the barrier, will gradually replace the artificial structure; steel bridges and steel nets, which are considered "permanent" works.

SNOW AS A WATER RESOURCE EVALUATION IN LOMBARD MOUNTAINS

Ombretta Martinelli, Deborah Modena Daniele Bocchiola, Carlo De Michele Renzo Rosso

Due to its important social, economic and ecological implications, water resource management needs accurate evaluation. In the mountain and piedmont basins characterised by considerable snow downflow in the area of Lombard Prealps and Alps, the available water resource is mostly represented by snowfalls that have accumulated, forming snowcover. During the spring-summer period, snow melting accounts for almost the totality of downflow into rivers, whose temporal dynamics characterises the availability of water and regulates the development of fluvial and perfluvial biotopes.

This article analyses the amount of water that has accumulated as snow in Lombard Prealps and Alps, referring to the basins of Adda, Serio, Brembo and Oglio rivers. An innovative approach to the study of the snow water equivalent (SWE) on a statistical base is shown. At the start of the snow-melting period, the SWE parameter is evaluated on the

basis of the nivometric data supplied by Aineva stations and Regione Lombardia, for the 1989-2002 period. Basing on the snow depth figures, the local snow water equivalent is estimated. Using some measurement values gathered during Aineva surveying sessions, researchers have determined a formula for the indirect estimate of snowcover density, which is fundamental for estimating the amount of water accumulated. The study of snow accumulation dynamics shows that two zones, or sub regions, with different characteristics, can be pointed out in the area under examination. A geo-statistical study is carried out for these zones for spatialization of information and the estimate of the average SWE areal value, which is expressed as water depth. In order to estimate the accumulated water volume, the snow covered area is pointed out using NOAA satellite images. An application of the method for the estimate of the accumulated volume at the end of the accumulation period, which is assumed as coinciding with the first days of April, is shown for two sample years.

THE EPIGLACIAL LAKE ON THE BELVEDERE GLACIER

Monitoring and numerical simulation of the phenomenon aimed at forecasting and managing emergency

Salandin A., Rabuffetti D., Barbero S., Cordola M.,

Belvedere Glacier, east face of Monte Rosa, in the territory of Macugnaga (VB) in Piemonte, is subject, from summer 2001, to a phenomenon particularly rare on the Alps, interpreted as an example of surge-type flow acceleration, consisting in an increase of the sliding speed and in progressive raising of the surface of the glacial mass. The periodic formation of an epiglacial lake that collects snow melting water has been associated to this phenomenon. In the summery months the lake reaches worrisome dimensions for the safety of places and people either in case of overflowing or unexpected rapid emptying for glacier breaking. Since the month of June 2002, the National Department of the Civil Protection have been taking urgent precautionary measures in order to guarantee the public safety and a plan of instrumental monitoring of the phenomenon started as a result of the fast increase of the lake level. In addition it has been developed a model for snow cover accumulation and melting

that considers the single phenomena of the energetic budget of the snow at a small scale. The model was used in the simulation of the epiglacial lake formation in summer 2002 and 2003 exploiting the available meteorological measures; the results were used to analyze the factors that caused the phenomenon and those that have influenced its dynamics. In particular the importance of the melting of the snow accumulated during the winter season is highlighted. Using the measures of the lake level, it was also possible to evaluate the outlet from the lake. These results offer several possibilities in order to fully understand data coming from the monitoring and were used in the activity of civil protection to control the formation of the lake.

ARFANG – Avalanche under careful observation

Eric Van Lancker, Vincent Chritin

Since 1999 at Bonneval-sur-Arc (Savoy, France) Arfang is operating, a remote system for large-scale detection of avalanches. Should an avalanche occur in one of the 16 sectors of the site covered by the system, Arfang sends immediately the information to the persons in charge of the security of the site (SMS messages on a mobile phone, or fax or e-mail). To achieve a threshold of performance and reliability valid for the users, many improvements were brought during last years: technical integration, optimisation of the recognition algorithm, and optimisation of sensors. The article points out the goal of the system, gives a progress report of its performances, and presents the potential uses to come. In the field of the protection of ski areas and road protection, Arfang will be interesting on the sites where the knowledge of avalanche activity is a significant condition for the securisation decisions. On the scientific level, Arfang is of interest as a tool for general increase of knowledge in the snow and avalanches field, and for the improvement of the observation networks.

