ZONAZIONE delle AREE VALANGHIVE a partire SUSCETTIBILITA al DISTACCO di VALANGHE

Una proposta metodologica e operativa dopo un quinquennio di osservazioni e rilievi nivologici nel comprensorio dei Prati di Tivo (Gran Sasso d'Italia, Appennino Centrale)

Massimo Pecci

Ente Italiano della Montagna (EIM), Piazza dei Caprettari, 70 - 00186 Roma; Comitato Glaciologico Italiano

Pinuccio D'Aquila

Università degli Studi "G. D'Annunzio" di Chieti-Pescara Via dei Vestini, 31 - 66013 Chieti (già Assegnista di ricerca IMONT); Geologo Libero Professionista.

Gli studi, i rilievi e la pubblicazione sono stati condotti nell'ambito della convenzione stipulata tra l'IMONT (ora EIM - Ente Italiano della Montagna) e l'Università degli Studi "G. D'Annunzio" di Chieti-Pescara in data 30 gennaio 2006, di cui sono stati nominati Responsabili, rispettivamente, il Dr. Massimo Pecci e il Prof. Leandro D'Alessandro, e nel cui ambito è stato svolto l'assegno di ricerca del Dr. Pinuccio D'Aquila.

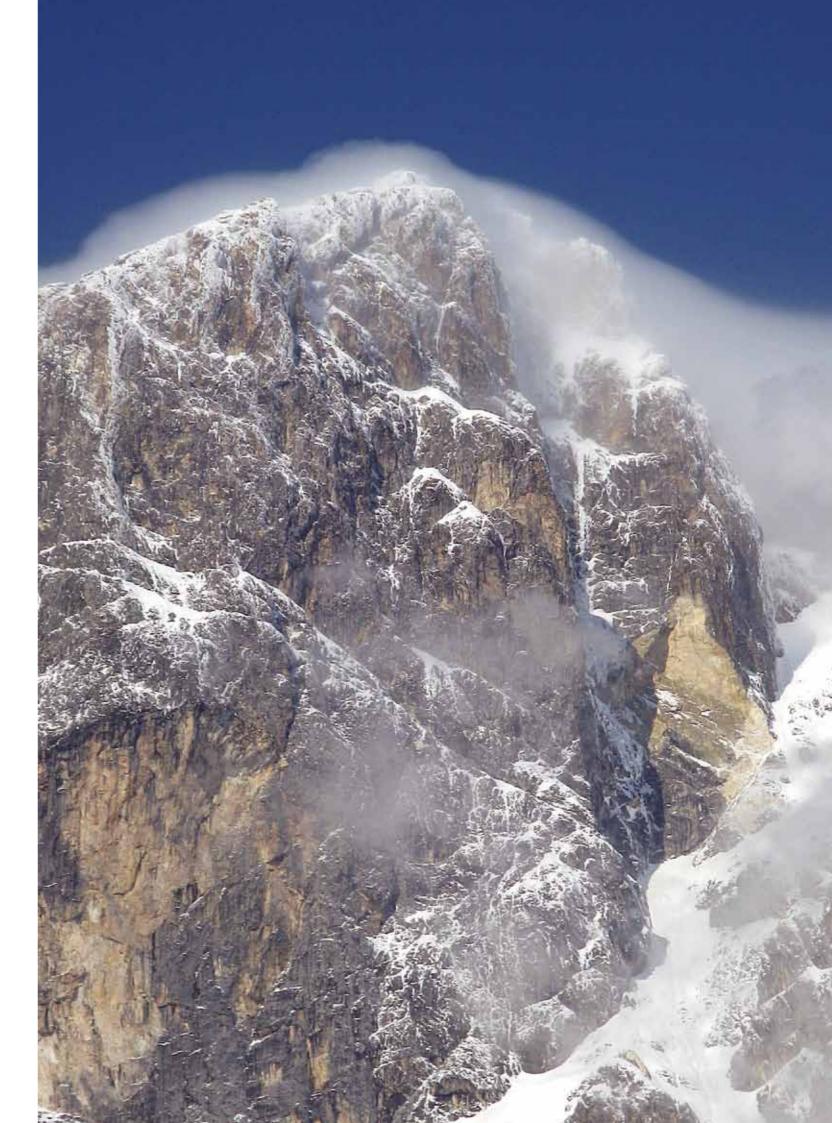
L'uso delle tecnologie GIS (*Geographic Information System*), pur avendo rivoluzionato e migliorato l'archiviazione, l'elaborazione, l'aggiornamento e la presentazione dei dati, non permette ancora la disponibilità di una cartografia di pericolosità relativa alle valanghe (Barbolini & Cappabianca, 2003; Bariffi, 2002; Birkeland et al., 1995; Caliari, 1995; Nevini, 1998). A partire, però, dalla CLPV (Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe), dalla disponibilità di profili del manto nevoso dalla conoscenza della geomorfologia e della morfometria del territorio, è possibile disporre di un modello sperimentale di suscettibilità che offre interessanti applicazioni ai fini della prevenzione e della riduzione del rischio valanga.

Scopo dello studio sono stati, quindi, la definizione, lo sviluppo e il controllo sperimentale di un modello capace di evidenziare le aree suscettibili a generare valanghe, sulla base delle caratteristiche geomorfologiche predisponenti e di quelle nivo-meteorologiche fondamentali nel condizionare l'evoluzione del manto nevoso ai fini della stabilità.

Le attività di ricerca sono state condotte nel comprensorio sciistico dei Prati di Tivo (Gran Sasso d'Italia, Regione Abruzzo, Provincia di Teramo) e hanno compreso la raccolta di dati di terreno nel corso di 5 stagioni invernali dal 2003 al 2008 e la contemporanea archiviazione, validazione ed elaborazione in ambiente *GIS*. Nel lavoro è presentato il modello concettuale e sono operativamente evidenziate le fasi in cui è stata sviluppata la metodologia di zonazione cartografica delle valanghe.

In una fase successiva il modello, che può essere implementato con riferimento ad ulteriori parametri nivo-meteorologici (spessore di neve fresca o di neve trasportata dal vento; aumento di temperatura), geomorfologici locali (litologia, giacitura e rugosità del substrato) e di vegetazione (tipo, densità, ecc.) eventualmente disponibili, è stato validato in aree differenti.

Ulteriore caratteristica del modello è la facilità con cui può essere aggiornato in "tempo reale", grazie ad una serie di applicazioni sviluppate *ad hoc* all'interno del *GIS* e che, in prospettiva ed a seguito di ulteriori studi e sperimentazioni, possono dare un contributo concreto alla previsione del distacco di valanghe.



INTRODUZIONE

L'innesco delle valanghe è connesso al repentino mutamento delle caratteristiche meccaniche del manto nevoso (Navarre, 1992), principalmente a causa dei processi di metamorfismo a cui quest'ultimo è sottoposto, nonché all'andamento meteorologico, alle caratteristiche geomorfologiche del sito e all'eventuale azione di un sovraccarico.

In particolare, i parametri geomorfotopografici (quota, acclività, forma ed esposizione dei versanti) e le condizioni meteorologiche (temperatura, vento e umidità) sono di fondamentale importanza nel generare e quidare l'evoluzione dei processi di metamorfismo della neve. L'attività valanghiva, intesa come dinamica degli eventi con cui si manifestano i fenomeni di distacco della neve, è legata principalmente all'andamento meteorologico, in quanto i fattori geomorfologici (a parte l'esposizione che può giocare un ruolo diverso, a seconda dei versanti, durante le bufere, in relazione alla provenienza del vento, o durante l'arco complessivo dell'inverno, a causa della variazione dell'insolazione), non subisco-

no variazioni alla scala di evoluzione del fenomeno. Per questa ragione, i fattori morfometrici (pendenza, altitudine ed esposizione dell'area) sono stati utilizzati per la realizzazione della zonazione di base, a cominciare dalla CLPV, e che può essere, in seguito, implementata con altri parametri. Cercare di schematizzare l'evoluzione del manto nevoso e delle valanghe è un'operazione complessa, in quanto tutti i processi coinvolti, anche se descritti in modo indipendente, interagiscono sempre fra loro e con processi fisici interdipendenti: basti pensare all'azione del vento in relazione alla provenienza, all'umidità della massa d'aria trasportata e al tipo di interazione con la topografia. Nel presente lavoro si è cercato di realizzare un modello sperimentale in ambiente GIS, il più fedele possibile alla realtà e capace di elaborare il maggior numero di combinazioni delle variabili appena descritte e nella maniera più semplice ed immediata, al fine di poter individuare le aree più critiche per la stabilità del manto nevoso, sulla base delle condizioni del momento, espresse dal bollettino nivo-meteorologico o del pericolo valan-

ghe. Quello che si propone, quindi, è un modello in grado di restituire la zonazione delle aree più suscettibili al distacco delle valanghe, sulla base dei parametri nivo-meteorologici "attuali" (vale a dire disponibili dai rilievi giornalieri e dal profilo del manto nevoso) e delle previsioni meteorologiche per i giorni successivi. Di seguito si illustra schematicamente la metodologia proposta per estrapolare i parametri relativi al modello previsionale del giorno.

Elemento portante del modello è la considerazione, ormai ampiamente condivisa in letteratura, che siti "topograficamente simili" siano soggetti alle medesime condizioni di suscettibilità al distacco di valanghe (Ghinoi, 2004; Bariffi, 2002; Ghinoi e Chung, 2005).

La validazione dei risultati del modello è stata effettuata nell'area test dei Prati di Tivo (Regione Abruzzo, provincia di Teramo) con un ulteriore controllo esterno nell'Italia nord orientale (Provincia Autonoma di Trento, Val di Rabbi).

Nell'applicazione del modello di suscettibilità, allo stato delle conoscenze nel presente lavoro, non è stata fatta una distinzione tra i vari tipi di valanga, in particolare tra valanghe a lastroni e valanghe a debole coesione, così come tra valanghe di superficie e di fondo, perché l'evoluzione di un tipo di valanga rispetto ad altre dipende da condizioni "innescanti" e riquardanti lo stato della neve e dell'evoluzione del manto nevoso nel corso dell'inverno: viceversa, i parametri geomorfo-topografici (pendenza, esposizione e altitudine del versante) costituiscono delle cause "predisponenti".

LOCALIZZAZIONE DELLE SEGNALAZIONI A24 Prati di Tivo Casale S.Nicola Corno Piccol M.te Aquila // M.te Portel Campo Imperatore Л.ti della Scindarella

L'AREA DI STUDIO **DEI PRATI DI TIVO**

L'area in studio è situata nell'Italia centrale, più precisamente nel settore settentrionale della Regione Abruzzo, e ricade nel cuore del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, in corrispondenza del versante teramano (Fig. 1), con quote comprese tra circa 1400 m e oltre 2900 m, frequentemente interessate e spesso danneggiate, in passato, dalle



legati alla presenza di elementi neotet-

tonici e delle forme legate all'azione dei

ghiacciai quaternari.

valanghe (D'Alessandro & Pecci, 2001;

Il clima dell'area può essere classificato, secondo Koppen, come temperato freddo di alta montagna, caratterizzato da estati brevi e fresche ed inverni lunghi e freddi, con il limite delle nevi perenni ovungue più alto delle più alte vette e con temperature che spesso raggiungono -20/-25 °C (D'Aquila & Pecci, 2006; Fazzini et al., 1999).

Il campo di rilevamento neve è ubicato in un'area interdetta al transito del turismo invernale, in vicinanza della stazione di arrivo della seggiovia "Pilone di mezzo" ed è, quindi, facilmente raggiungibile in condizioni di sicurezza anche in caso di cattive condizioni meteorologiche: prevalentemente qui, nel corso dei 5 anni dello studio, sono stati realizzati i rilievi nivo-meteorologici e nivometrici (in accordo con gli standard AINEVA, Cagnati, 2003) al fine di determinare il profilo del manto nevoso, anche con l'intento di valutare la qualità ambientale della neve (Pecci et al., 2006; Pecci et al., 2008; Pecci et al. 2009).

METODOLOGIA

Lo studio ha avuto come obiettivo la realizzazione di un modello sperimentale, basato su considerazioni logiche e legate, oltre che a leggi fisiche, anche all'esperienza maturata nell'osservazione dell'evoluzione della neve al suolo cresciuta in ambito nazionale ed internazionale nella pratica dello sci-alpinismo. In questa prospettiva si è provveduto a realizzare una cartografia geomorfolo-

gica dell'area e una Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (CLPV), da utilizzare come documento di base per la taratura e il funzionamento del modello e in ausilio all'analisi dei dati nivo-meteorologici, dei test e dei monitoraggi effettuati nelle stagioni invernali a partire da quella del 2003/2004 fino a

Al rilevamento geomorfologico e nivometeorologico è sequita la digitalizzazione dei dati in ambiente GIS, dove, oltre a inserire i dati puramente spaziali, sono stati inseriti e calcolati anche altri parametri relativi agli aspetti geomorfologici di interesse, come pendenza, esposizione, morfometria (area, lunghezza, dislivelli); tale metodologia è stata seguita sia per i dati di terreno, sia per i dati derivanti dall'indagine storica, al fine di ottenere una migliore descrizione dei fenomeni ed ottenere ulteriori parametri per le successive elaborazioni cartografiche, atte a ricercare le correlazioni esistenti tra morfometria e fenomeni valanghivi osservati. Scopo del modello è la definizione, sia in termini cartografici, sia matematici, della relazione esistente tra i fenomeni di distacco delle valanghe, l'evoluzione del manto nevoso al suolo e l'analisi della situazione meteorologica antecedente gli eventi valanghivi stessi.

Un tale approccio ha permesso di ottenere, anche, un modello capace di evidenziare le aree suscettibili al distacco di valanghe, sulla base del bollettino meteo-nivologico giornaliero.

quella del 2008-09.

mnrensorio sciistico dei Prati di Tivo Il campo di rilevamento neve (evidenziato dal cerchio giallo) è localizzato in corrispondenza della stazione di arrivo della seaaiovia Pilone di mezzo, circa 50 m sulla sinistra orografica (guardando la foto). Nella foto le valanghe a lastroni di fondo sono racchiuse all'interno dell'ellisse di colore rosso più grande ed alcuni crepacci di inciniente distacco in quella di colore rosa più piccola; da notare, anche, nella zona a sinistra della stazione di arrivo in prossimità del campo evamento neve, le superfici di distacco di grandi lastroni ricoperti successivamente da nuove precipitazioni L'intero comprensorio giace ai piedi del

versante nord del Corno

Piccolo (2655 m).

Fig. 2 - Panoramica del

Fig. 1 - Schema

del Gran Sasso

topografico dell'area

d'Italia, con indicati

gli allineamenti delle

dell'area in studio

creste, la distribuzione

delle vette e l'ubicazione

centrale del massiccio



Fig. 3

FASI METODOLOGICHE SEGUITE NELLO STUDIO

Rilievi di terreno e raccolta, validazione ed archiviazione dei dati (in ambiente GIS).

Derivazione di un *DEM* (dimensione della cella: 55 m) dall'ortofotocarta vettoriale della Regione Abruzzo (1982) e generazione automatica delle carte di altimetria, pendenza e esposizione dei versanti (parametri morfometrici) finalizzate al riconoscimento - tramite *overlay* grafico - e alla delimitazione delle aree suscettibili all'innesco di valanghe.

Digitalizzazione della localizzazione (probabile) delle valanghe (CLPV - Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe) ottenuta dal monitoraggio dell'area durante la stagione invernale 2003-2004 (70 valanghe; D'Aquila, 2004) e 2005-2006 (49 valanghe), integrato negli anni successivi anche dai dati di archivio disponibili e di ulteriori rilievi. In particolare si fa riferimento ai 77 fenomeni valanghivi inclusi nel catasto valanghe del Servizio Meteomont del CFS (Corpo Forestale dello Stato), ai 28 eventi storici e alle 38 valanghe individuate tramite fotointerpretazione. Tutte le valanghe sono state cartografate in accordo con la metodologia individuata dall'AINEVA per la realizzazione della CLPV (ad esempio Fruet et al., 2003)

Elaborazione dei dati CLPV, utilizzando la *Kriging analysis* e il successivo *overlay* grafico (Johnston et al., 2001), finalizzato alla zonazione delle aree suscettibili.

Dopo la zonazione della fase 4, successivo overlay grafico del raster contenente la distribuzione spaziale dell'"indice di sicurezza al distacco".

Implementazione, in tempo reale e insieme agli altri parametri nivometeorologici (ad esempio il bollettino valanghe) per un contributo in termini di previsione.

Controllo e validazione della cartografia ottenuta alla fine della fase 4 con ulteriori 49 valanghe distaccatesi durante la stagione invernale 2005-2006 nella medesima area e in una test area esterna (Val di Rabbi in Trentino, vedi paragrafo validazione).

Contemporaneamente alla raccolta dei dati nivometrici, sono state analizzate, giornalmente, le mappe termo-bariche, per meglio comprendere l'evoluzione della situazione meteorologica. Terminata la fase di acquisizione dei dati e completata la cartografia, dai dati derivati dalla CLPV sono stati ricavati alcuni parametri relativi alla distribuzione spaziale delle valanghe per la costruzione di un modello di previsione delle aree suscettibili al distacco di valanghe. Il geodatabase utilizzato nel corso dello studio include un totale di 262 valanghe, sia rilevate direttamente, sia provenienti dal catasto valanghe del Servizio Meteomont del Corpo Forestale dello Stato, di cui, in accordo con Fraser (1970):

- 21 valanghe a lastroni di superficie
- 37 valanghe a lastroni di fondo
- 125 valanghe di neve a debole coesione di superficie
- 6 valanghe di neve a debole coesione di fondo
- 73 valanghe non ben classificabili (derivanti da testimonianze storiche, fotointerpretazione ecc.)

Dal punto di vista operativo, sono state sequite le fasi riportate nella tabella di figura 3, basandosi, come già precedentemente ricordato, sul principio che aree morfologicamente simili abbiano il medesimo comportamento dal punto di vista valanghivo; sulla base di ciò, dunque, partendo dall'analisi spaziale delle valanghe conosciute e riportate nella CLPV, sono state ricavate alcune superfici virtuali in grado di riprodurre spazialmente i parametri morfometrici (pendenza, altitudine, esposizione) favorevoli alle valanghe (Fasi 1-3). Queste superfici, confrontate tramite relazioni logiche empiriche con il DEM (Digital Elevation Model - Modello digitale del terreno) dell'area, hanno permesso di realizzare la zonazione di base (Fase 4) ulteriormente implementata con altri parametri nivo-meteorologici (Fasi 5-6) e validata in seguito (Fase 7). Tutte le informazioni disponibili sono state digitalizzate e georeferenziate nel sistema di coordinate UTM - European Datum 1950 Zona 33N, per essere visualizzate, gestite ed analizzate nella maniera migliore in ambiente GIS.

TABELLA ESPLICATIVA DELLE RELAZIONI LOGICHE TRA LE SUPERFICI VIRTUALI DEL MODELLO, ESTRAPOLATE A PARTIRE DALLA CLPV, E I PARAMETRI MORFOMETRICI DELL'AREA DERIVABILI DAL DEM

Legenda

Punti di distacco Punti di scommento Punti di arresto

Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghi Elementi critici (crepacci nella neve)

> sintetica delle valanghe, contenente la CLPV, gli elementi di rischio e le forme e i fenomeni utilizzati come dati di input del modello ed avente come sfondo le foto aeree regionali (Regione Abruzzo, 1982).

Fig. 4 - Cartografia

250 500 1000

DERIVADILI DAL DEIVI			
	PER ALTITUDINE	PER ESPOSIZIONE	PER PENDENZA
SUSCETTIBILITA AL DISTACCO	Se l'altitudine della super- ficie virtuale (range di 75 m) è simile a quella reale, allora quest'area è suscet- tibile al distacco valanghe per similitudine	Se l'esposizione della superficie virtuale (range 15°) è simile a quella reale, allora quest'area è suscettibile al distacco valanghe per similitudine	Se la pendenza della superficie virtuale è minore di quella reale, allora quest'area è suscet- tibile al distacco valanghe, in quanto si attendono valanghe già per penden- ze minori
SUSCETTIBILITA ALLO SCORRIMENTO	Se l'altitudine della su- perficie virtuale (range di 12,5 m) è simile a quella reale, allora quest'area è suscettibile allo scorri- mento di valanghe per similitudine	Se l'esposizione della superficie virtuale (range di 15°) è simile a quella reale, allora quest'area è suscettibile allo scorri- mento di valanghe per similitudine	Se la pendenza della su- perficie virtuale è minore di quella reale, allora quest'area è suscettibile allo scorrimento di valan- ghe in quanto la massa nevosa scorre già per pendenze minori
SUSCETTIBILITA ALL'ARRESTO	Se l'altitudine della su- perficie virtuale è minore di quella reale, allora quest'area è suscettibile allo scorrimento di valan- ghe in quanto è stimata una quota di arresto più bassa	Se l'esposizione della superficie virtuale (range di 15°) è simile a quella reale, allora quest'area è suscettibile di valanghe per similitudine	Se la pendenza della su- perficie virtuale è minore di quella reale, allora quest'area è suscettibile allo scorrimento di valan- ghe in quanto la massa nevosa scorre già per pendenze minori

Fig. 5 - Tabella esplicativa delle relazioni logiche tra le superfici virtuali del modello, estrapolate a partire dalla CLPV, e i parametri morfometrici dell'area derivabili dal DEM

e Valanghe

DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL MODELLO DI ZONAZIONE DELLE VALANGHE

per una previsione parziale di suscettibilità, o totale nel caso del box rosso

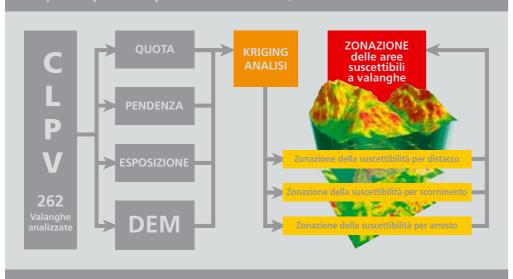
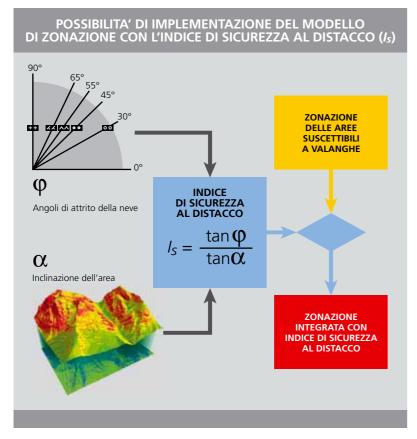


Fig. 6 - Diagramma di flusso del modello di zonazione delle valanghe. La zonazione all'interno dei box in giallo può essere utilizzata per una previsione parziale di suscettibilità, o totale nel caso del box in rosso.



Fia. 7 - Possibilità di implementazione del modello di zonazione con l'Indice di sicurezza al distacco (Is)

Il progetto Cartografico è stato sviluppato con il software ESRI ArcGIS Rev. 9.1 (Johnston et al., 2001): un geodatabase dedicato ha raccolto tutti i dati geografici disponibili, sia in formato raster, sia vector, così come le elaborazioni risultanti. Tenendo conto dei dati relativi alle valanghe, nonché di altri elementi di particolare rilievo (come, ad esempio, la presenza di crepacci sulla neve - Fig. 2) sono stati cartografati (Fig.

4), per ogni valanga:

- · Il punto di distacco/innesco della valanga (quota massima del poligono rappresentante la valanga);
- Il punto di scorrimento/scivolamento (punto medio del poligono rappresentante la valanga);
- Il punto dell'area di accumulo (quota minima del poligono rappresentante la valanga):

I punti sono stati utilizzati, rispettivamente, per ricostruire singole superfici virtuali (probabili) di zonazione di:

- · suscettibilità al distacco:
- per altitudine
- · per esposizione
- per pendenza
- suscettibilità allo scorrimento:
- per altitudine
- · per esposizione
- pendenza
- · suscettibilità all'arresto:
- per altitudine
- · per esposizione
- · pendenza

Successivamente, queste nove superfici virtuali, sono state comparate, usando delle relazioni logiche con il DEM dell'area (e altri parametri morfometrici quali: esposizione e pendenza, derivabili da esso), per estrapolare la zonazione "reale" delle aree suscettibili a valanghe (Fig. 6).

L'operazione di overlay (Fig. 6) di queste nove superfici virtuali determina la zonazione delle aree suscettibili alle valanghe (McLung e Schaerer, 1993; McLung, 2001). La zonazione potrebbe essere ulteriormente implementata (Fig. 7) con altri parametri nivo-meteorologici di interesse, come lo spessore di neve fresca, il rialzo termico e la neve ventata (in accordo con Föhn and Meister, 1983; Meister, 1989), oppure con caratteri geomorfologici locali, come caratteristiche litologiche e di resistenza, giacitura, stabilità e rugosità del substrato, o, ancora, con le caratteristiche della vegetazione (in particolare, tipo e densità), con la tipologia di valanga da considerare (a lastroni, di superficie, bagnata ecc.) e, infine, con la distribuzione spaziale dell'"Indice di sicurezza al distacco", definibile come:

$I_s = tanq\phi/tanq\alpha$

Is è funzione del rapporto tra angolo di attrito interno statico (φ), stimato per il manto nevoso anche sulla base dei valori di letteratura e pendenza del verL'indice I_s permette, anche, di tenere in conto la stabilità della neve in relazione alle caratteristiche cristallografiche (funzione dell'angolo di attrito interno della neve) del manto nevoso.

Tutti questi parametri implementabili pos-

sono essere utilizzati come fattori moltiplicativi del modello (Fig. 7) e/o come "filtro" per la selezione mirata di aree potenzialmente suscettibili alle valanghe, in accordo ad esempio con l'esposizione (sulla base della direzione del vento dominante o sull'insolazione), con la guota (sulla base dello spessore di neve fresca e/o della classificazione dei cristalli attesi con il variare della quota), con la tipologia di valanga attesa (a lastroni, di superficie, bagnata ecc., permettendo la realizzazione di un modello di base non più generico, ma implementato e costruito ad hoc per ogni tipologia di valanga) o con il bollettino valanghe del giorno (Fig. 8). In questo ultimo caso il grado di pericolo può essere utilizzato per aggiornare il modello di zonazione in tempo reale, in accordo con le condizioni della neve. Nella cartografia riportata, in concomitanza di bassi valori della pericolosità emessi dal bollettino valanghe, è possibile concentrare l'attenzione solamente in quelle aree dove la zonazione del modello evidenzia elevati valori (aree viola, Fig. 8); d'altro canto se il bollettino prevede un grado di pericolo medio-alto è possibile concentrare l'attenzione a partire già dalle aree con valore del codice di zonazione più basso.

In questo modo è possibile ottenere, oltre alla zonazione delle aree suscettibili alle valanghe, anche la zonazione di previsione del pericolo valanghe, aggiornabile in tempo reale.

RISULTATI

Sulla base dell'analisi spaziale della CLPV è stato possibile implementare una zonazione delle aree suscettibili alle valanghe, anche nelle aree dove i fenomeni non erano stati rilevati o di cui non si aveva notizia.

L'operazione di *overlay* grafico delle aree ha reso possibile estrapolare la cartogra-

Zonazione delle aree suscettibili a valanghe: modello aggiornato in tempo reale SELEZIONE AREE CON CODICE **MODELLO** MAGGIORE O **UGUALE A** 6

OUTPUT DEL MODELLO DI ZONAZIONE DI SUSCETTIBILITA'

DELLE VALANGHE E "PREVISIONE IN TEMPO REALE" PER IL COMPRENSORIO SCIISTICO DEI PRATI DI TIVO

Zonazione delle aree suscettibili a valanghe

modello base

fia finale, come descritto nel diagramma di flusso (Fig. 6) o, rispettivamente, di distinguere scenari differenti di previsione. Oltre a ciò, l'implementazione, utilizzando un "Indice di sicurezza al distacco" (Fig. 7), permette di tenere in conto le caratteristiche spaziali del manto nevoso, nonché altri parametri nivo-meteorologici, il bollettino neve o il bollettino valanghe, consentendo di fare una previsione, anche in tempo reale, del pericolo valanghe (Fig. 8).

BOLLETTINO PERICOLO VALANGHE

GRADO

Pericolo

marcato

LA CARTA DI ZONAZIONE DELLE VALANGHE

Il principale prodotto dell'elaborazione digitale è la carta di zonazione delle valanghe del comprensorio dei Prati di Tivo, prodotta automaticamente e riportata in Fig. 8, parte superiore.

Oltre a ciò, come mostrato nel confronto tra la fig. 8 e la fig. 4, l'output digitale estrapola le aree suscettibili alle valan-

ghe, anche nelle aree dove i dati di input non sono disponibili, rappresentando, di consequenza, un ulteriore strumento di predizione delle valanghe e, più generalmente, di pianificazione e gestione della sicurezza.

VALIDAZIONE DELLA METODOLOGIA NELL'AREA DEI PRATI DI TIVO (TE)

La frequenza sul versante dei punti di distacco per la maggior parte delle valanghe (in particolare per quelle a lastroni) è in accordo con quanto riportato in Letteratura, con valori compresi tra 27° e 55° (fig. 9) e conferma una distribuzione per classi di pendenza analoga, con picchi di distacchi raggiunti per "grid code model" = 5 e pendenza media del versante (ave $rage\ slope$) = 38° (Fig. 10).

Come mostrato nel grafico "valori del punto di distacco" (Fig. 10), la maggiore frequenza di distacco avviene per pixel

di suscettibilità delle valanghe e "previsione in tempo reale" per il comprensorio sciistico dei Prati di Tivo. La scala dei colori di suscettibilità è relativa e può essere associata a condizioni di suscettibilità alle valanghe assente (verde), bassa (giallo), moderata (arancione) e alta (rosso). Il violetto nella carta inferiore corrisponde a codici della griglia del modello maggiori o uguali a 6 e può essere associato a un grado di pericolosità per valanghe corrispondente al valore 3 della scala europea (marcato), riportato nei hollettini valanahe giornalieri emessi dai servizi valanghe.

Fig. 8 - Output del

modello di zonazione

e Valanghe



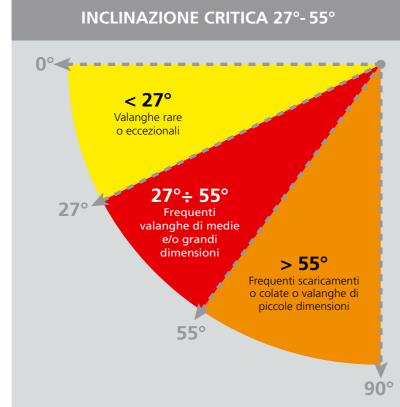


Fig. 9 - Grafico della distribuzione delle valanghe in riferimento alla pendenza del versante e allo sviluppo areale (modificato da McClung and Schaerer, 1993 and Cresta, 2000).

> che hanno un "grid code model" pari a 5; allo stesso modo, nel grafico della Fig. 10, si osserva come per "grid code model" pari a 5 abbiamo una pendenza media pari a 38°, in accordo con il diagramma della distribuzione delle valanghe (Fig. 9). Oltre a ciò, si è pensato di completare le operazioni di validazione soltanto con alcune delle valanghe car

tografate nella CLPV, in maniera tale da usare le rimanenti a scopo di controllo: durante queste fasi è stato possibile verificare che le valanghe con caratteristiche particolari comuni (come nel caso delle sole valanghe di neve asciutta) migliorano la zonazione in tempo reale.

Per tale motivo si ritiene che la realizzazione di modelli di base implementati e realizzati ad hoc per ogni tipologia di valanga attesa (di neve a lastroni, di neve bagnata, di fondo, ecc.) permettano di definire in modo più dettagliato la zonazione effettuata con il modello di base.

VALIDAZIONE DELLA METODOLOGIA NELL'AREA ESTERNA DI RABBI (PROVINCIA **AUTONOMA DI** TRENTO)

Ai fini di un'ulteriore validazione, il modello per l'area dei Prati di Tivo è stato fatto "girare" utilizzando i dati geografici relativi al geodataset del comprensorio di Rabbi (e mai visti e gestiti prima di allora da parte degli autori del presente lavoro): la CLPV è stata gentilmente fornita dalla Provincia Autonoma di Trento (PAT - Dipartimento Protezione Civile e Tutela del Territorio - Ufficio Previsioni ed Organizzazione) e, successivamente, acquisita ed elaborata nel geodatabase del modello qui presentato. Il processo di validazione è riassunto nelle cartografie delle figure 11, 12 e 13; in particolare in figura 13 il buon accordo esistente tra predizione spaziale delle aree suscettibili (in arancio/rosso) e valanghe osservata (poligoni in blu) conferma la risposta positiva del modello, tenendo anche in conto che la cartografia mostra una zonazione delle valanghe indipendente dal versante e più localizzata rispetto ad una semplice zonazione del versante per classi di pendenza di Fiq. 11. È importante evidenziare che il modello è anche in grado di predire una zonazione delle valanghe nelle aree confinanti non coperte dai dati di input, come mostrato dalle aree arancioni non interessate dai fenomeni in Fig. 13, dovute ad una mancanza di testimonianze storiche, ma considerate "critiche" in base alle evidenze rilevate sul terreno.

50

40

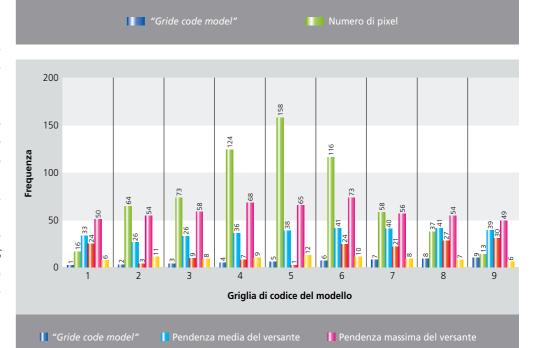
30

20

CONSIDERAZIONI FINALI

Sulla base di un limitato dataset, composto dalla CLPV e da altri fattori di controllo e precursori delle valanghe (Fig. 4), normalmente disponibili anche sul web a partire dalle ultime stagioni invernali, è possibile generare in maniera semplice e veloce una zonazione spaziale delle aree suscettibili delle valanghe, anche "in tempo reale" e in relazione a diversi parametri nivo-meteorologici (Figg. 6 e 7). Grazie ad un'applicazione espressamente sviluppata dagli autori in ambiente GIS per un facile utilizzo, l'uso del modello risulta, a parere degli autori, particolarmente rapido e a costi molto contenuti permettendo di ottenere:

- · la zonazione delle aree suscettibili alle valanghe, interpolando anche quelle di aree confinanti e non coperte da CLPV;
- · la pianificazione di rilievi di "pre-identificazione" della zonazione delle valanghe in aree non studiate e non conosciute (anche sulla base di CLPV realizzate da interpretazione da foto aerea), con risparmio e razionalizzazione di tempo e di denaro;
- · l'aggiornamento in tempo reale della zonazione già esistente, grazie allo sviluppo di strumenti espressamente realizzati nell'applicazione, in accordo con l'implementazione dei parametri desiderati;
- in prospettiva, la pubblicazione di bollettini di localizzazione spaziale di valanghe, da integrare con il bollettino tradizionale relativo al grado di pericolo.



Griglia di codice del modello

Il modello potrebbe essere anche ulteriormente utilizzato e sperimentato come strumento utile per la pianificazione del territorio finalizzata alla gestione del rischio valanghe e, più in generale, lo schema logico potrebbe essere utilizzato per la conoscenza e la gestione di eventi naturali che hanno una particolare connessione con condizioni geomorfologiche specifiche (ad esempio la distribuzione generale del *permafrost* sulla base delle sue evidenze sul terreno o alcune tipologie di rischio naturale).

Per il futuro immediato, il modello dovrà essere sperimentato in ulteriori aree, differenti per condizioni climatiche e geomorfologiche, e implementato anche rispetto agli altri parametri nivometeorologici, geomorfologici locali e vegetazionali, già discussi nel dettaglio.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof. Leandro D'Alessandro, Preside della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell'Università "G. D'Annunzio" di Chieti e Pescara per i preziosi suggerimenti, il Corpo Forestale dello Stato ed il Servizio Meteomont per la disponibilità dei dati storici sulle valanghe; in particolare il Dott. V. Romeo e l'Ing. Giorgio Morelli della Direzione CTA di Assergi (AO), nonchè la Stazione CFS di PietraFig. 10 - Distribuzione rispettivamente nel grafico superiore ed inferiore, dell'estensione areale delle aree suscettbili al distacco di valanghe (numero di pixel) e della pendenza del versante in funzione del valore di output del modello ("Grid code

e Valanghe

Fig. 11 - CLPV dell'area di Rabbi e classi di pendenza dei versanti. La classificazione di pendenza dei versanti è stata derivata automaticamente a partire dal Modello di Elevazione del Terreno (DEM) e rappresentata dai colori riportati in legenda (DEM fornito da "PAT - Sistema Informativo Ambiente e Territorio"; CLPV fornita da "PAT - Dipartimento Protezione Civile e Tutela del Territorio -Ufficio Previsioni ed Organizzazione").

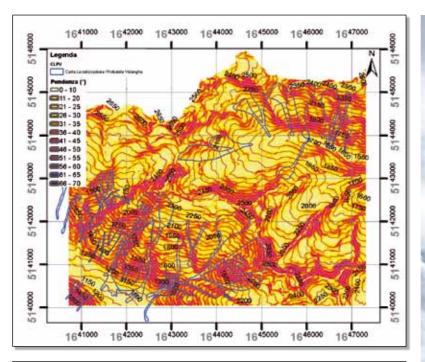
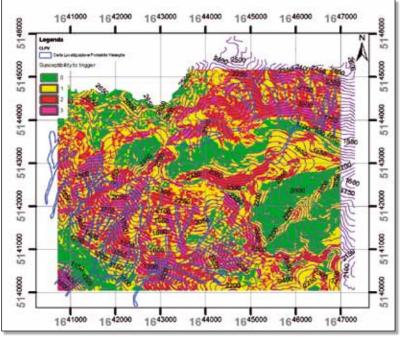
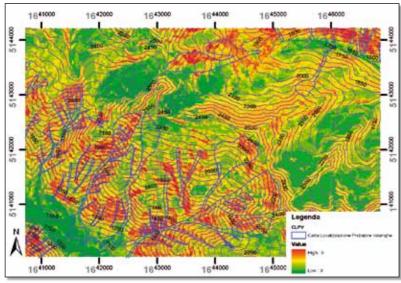


Fig. 12 - CLPV dell'area di Rabbi ed esempio di zonazione delle aree suscettibili al distacco di valanghe, secondo quanto schematizzato nel diagramma di fig. 6 (previsione parzialebox in colore giallo) La scala di colori della suscettibilità è relativa e può essere associata a condizioni di suscettibilità alle valanghe assente (verde), bassa (giallo), moderata (rossa) e alta (fuxia). (DEM fornito da "PAT - Sistema Informativo Ambiente e Territorio"; CLPV fornita da "PAT - Dipartimento Protezione Civile e Tutela del Territorio -Ufficio Previsioni ed Organizzazione")

Fig. 13 - CLPV dell'area di Rabbi ed esempio di zonazione delle aree suscettibili al distacco di valanghe secondo quanto schematizzato nel diagramma di fig. 6 (previsione completabox in colore rosso). La scala di colori della suscettibilità è relativa e può essere associata a condizioni di suscettibilità alle valanghe assente (verde), bassa (giallo). moderata (arancione) e alta (rosso). (DEM fornito da "PAT - Sistema Informativo Ambiente e Territorio"; CI PV fornita da "PAT -Dinartimento Protezione Civile e Tutela del Territorio - Ufficio Previsioni ed Organizzazione")





Si ringrazia, ancora, l'Ente Parco Nazionale Gran Sasso e Monti della Laga per la cartografia messa a disposizione, la società di gestione degli impianti funiviari del comprensorio dei Prati di Tivo (SIGET) per la collaborazione prestata e la Provincia Autonoma di Trento, Dipartimento Protezione Civile e Tutela del Territorio, Ufficio

Previsioni e Organizzazione (in particolare Gianluca Tognoni) per il *DEM* e la CLPV del comprensorio di Rabbi.

Un ringraziamento particolare a tutti i frequentatori del Gran Sasso d'Italia che hanno contribuito, con testimonianze e disponibilità, alla realizzazione di questo lavoro.

Bibliografia

- BARBOLINI M. & CAPPABIANCA F. (2003) Calcolo della pericolosità e analisi di suscettibilità. Neve e Valanghe, 50. 62-71
- 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.
- BARIFFI A. (2002) GIS e rischio valanghe. Neve e Valanqhe, 45, http://www.aineva.it/pubblica/neve45/qis.html
- CAGNATI A. (2003) *Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici*. AINEVA, Trento, 186 pp.
- CALIARI R. (1995) Speciale previsione valanghe e informatica. L'applicazione dei nuovi modelli numerici. L'intelligenza artificiale e le valanghe. Neve e Valanghe, 24, 6-9.
- CRESTA R. (2000) *La neve e le valanghe*. Ivrea, Mulatero Edizioni.
- D'ALESSANDRO L. & PECCI M. (2001) Valanghe sul Gran Sasso d'Italia: nota preliminare. Mem. Soc. Geol. It., 56, 315-320

 D'ALESSANDRO L., DE SISTI A., D'OREFICE M., PECCI M. & VENTURA R. (2003) Geomorphology of the summit area of the Gran Sasso d'Italia (Abruzzo, Italy). Geogr. Fis. Dinam. Quat. 26, 125-141
- D'AQUILA P. (2004) Caratterizzazione geomorfologica e analisi nivologica delle valanghe sul versante settentrionale del Gran Sasso d'Italia (Comprensorio dei Prati di Tivo Teramo). Università degli Studi "G. D'Annunzio" Chieti, Corso di Laurea in Scienze Geologiche, Tesi di Laurea inedita, A A 2003-2004
- D'AQUILA P. & PECCI M. (2006) Condizioni meteoclimatiche in Appennino Centrale nel corso dell'inverno 2005-06 ed implicazioni sulla stabilità del manto nevoso. Neve e valanghe, 58, 14 21. http://www.aineva.it/pubblica/neve58/2_appennino.html
- DE SISTI G., MONOPOLI S. & PECCI M. (2004) Valanghe sul Gran Sasso d'Italia. Analisi delle condizioni meteoclimatiche e implicazioni dell'assetto geomorfologico con particolare riferimento all'attività valanghiva dell'inverno 2002/2003. Neve e Valanghe, 52, http://www.aineva.it/pubblica/neve52/3 pecci.html
- FAZZINI M., BISCI C., DE LUCA E. (1999) Clima e neve al Gran Sasso. Neve e Valanghe, 36, 36-45.
- FÖHN M.B. & MEISTER R. (1983) Distribution of snow drifts on ridge slopes: measurements and theoretical approximations. Annals of Glaciology, 4, 52-57.
- FRASER C. (1970) L'enigma delle valanghe. Zanichelli
- FRUET G., CESTARI P. & GADOTTI M. (2003) Trentino: la nuova carta valanghe digitale. Neve e Valanghe, 48, 36-47.
- GHINOI A. (2004) *STARTER Un metodo per la valutazione della suscettibilità valanghiva*. Neve e Valanghe, 51, 12-25. http://www.aineva.it/pubblica/neve51/2_starter.html
- GHINOI A. & CHUNG C. (2005) STARTER: a statistical GIS-based model for the prediction of snow avalanche susceptibility using terrain features-application to Alta Val Badia, Italian Dolomites. Geomorphology, 66 (1-4), 305-325.

– JOHNSTON K., VER HOEF J. M., KRIVORUCHKO K. & LUCAS N. (2001) – *Ebooks: Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. ESRI MCCLUNG, D.M. & SCHAERER P. (1993) – *The avalanche*

handbook. Seattle, The Mountaineers Books.

- MCCLUNG, D.M. (2001) Characteristics of terrain, snow supply and forest cover for avalanche initiation caused by logging. Annals of Glaciology, 32, 223-229.
- MEISTER R. (1989) Influence of strong winds on snow distribution and avalanche activity. Annals of Glaciology, 13, 195-201
- NAVARRE J. P. (1992) *Proprietà meccaniche della neve.* Neve e Valanghe, 19, 60-68.
- NEVINI R. (1998) La zonazione del pericolo di valanghe. La gestione della problematica valanghe all'interno di un Sistema Informativo Geografico. Neve e Valanghe, 33, 14-27,
- PECCI M., D'AQUILA P., VALT M., CAGNATI V., CORSO T., CREPAZ A., CREPAZ G., GABRIELI J., PRAOLINI A., MERALDI E., BERBENNI F., KAPPENBERGER G., FREPPAZ M., DELLA VEDOVA P., FILIPPA G. (2006) *Profilo chimico ambientale del manto nevoso*. Neve e Valanghe, 58, 90-105. http://www.aineva.it/pubblica/neve58/10_chimica.html
- PECCI M., D'AQUILA P., VALT M., CAGNATI V., CORSO T., PRAOLINI A., MERALDI E., BERBENNI F., KAPPENBERGER G., FREPPAZ M., DELLA VEDOVA P. & FILIPPA G. (2008) *II lato oscuro della neve*. SLM Sopra il Livello del Mare, 33, 38–47. http://www.eim.gov.it/?q=it/node/1107
- PECCI M., D'AQUILA P., VALT M., CAGNATI V., CORSO T., PRAOLINI A., MERALDI E., BERBENNI F., KAPPENBERGER G., FREPPAZ M., DELLA VEDOVA P. & FILIPPA G. (2009) La qualità ambientale della neve "in trincea" Risultati del triennio di attività di rilevamento dei dati chimico-ambientali speditivi nel corso dell'esecuzione di profili del manto nevoso. Neve e Valanghe, n. 66, 32-41. http://www.aineva.it/pubblica/neve66/4 pecci.html
- PECCI M. (2009a) Neve e sabbia sull'Appennino centrale Quadro nivo-meteorologico generale e risposta del manto nevoso, caratterizzato dall'alternanza di nevicate e sciroccate nell'inverno 2008-2009 in Appennino Centrale.

 Neve e Valanghe, 67, 20-27. http://www.aineva.it/pubblica/neve67/3 pecci.html
- PECCI M. (2009b) *Il Gran Sasso d'Italia, un laboratorio* naturale per lo studio e la prevenzione dei fenomeni ambientali, SLM Sopra il Livello del Mare, 35, 58-63. http://
- REGIONE ABRUZZO (1982) Ortofotocarta del territorio regionale.