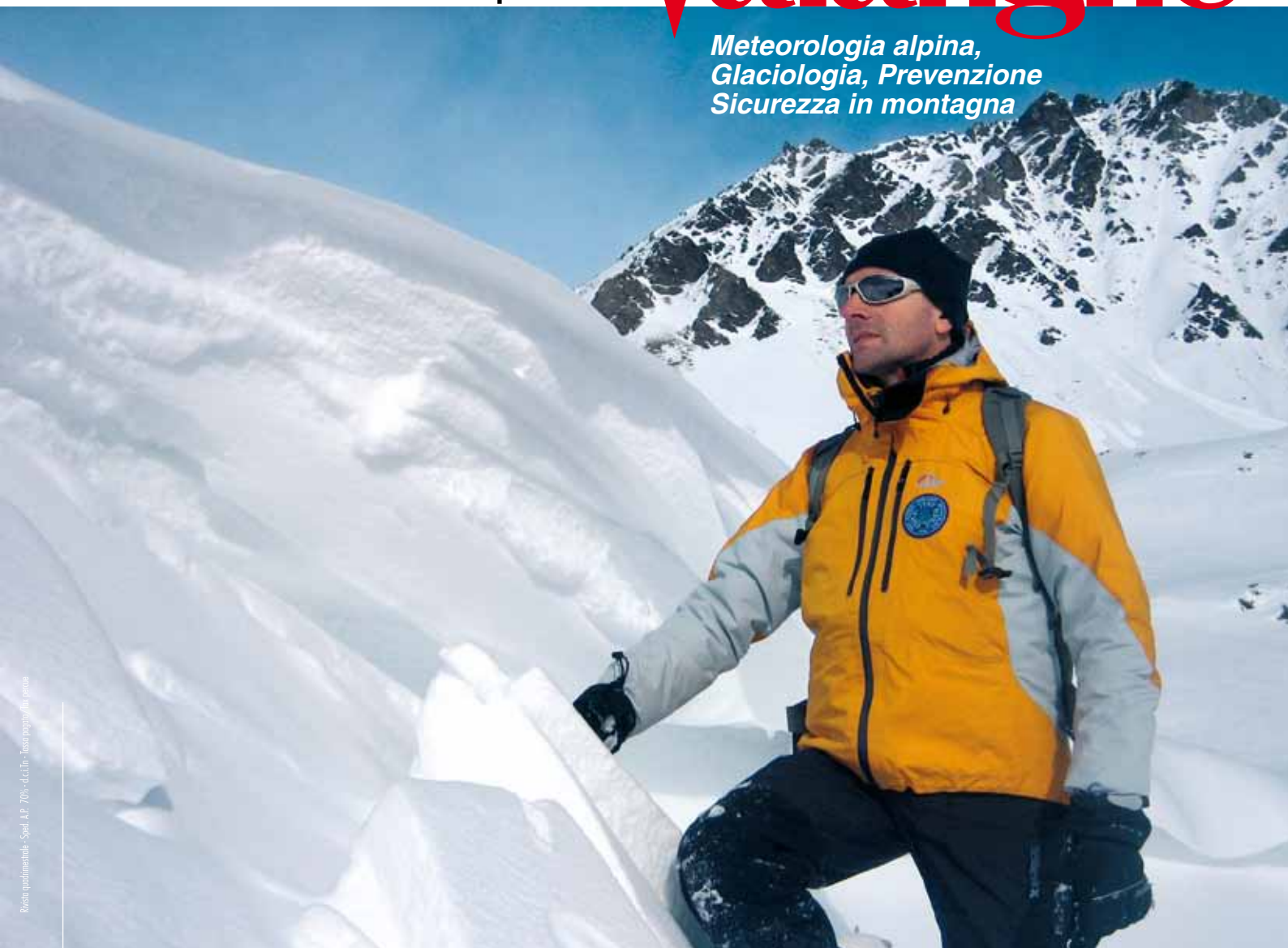


n° 69 - aprile 2010

Neve e Valanghe

*Meteorologia alpina,
Glaciologia, Prevenzione
Sicurezza in montagna*



**L'innevamento nelle Alpi Piemontesi
negli ultimi quindici anni**

Il fenomeno della "neve collosa"

**Contributo allo studio del cambiamento climatico
sulle Alpi occidentali: il caso della Valle Maira**

Il progetto SnowRKnown

**Zonazione delle aree valanghive a partire dalla
susceptibilità al distacco di valanghe**

**Sistema di drenaggio di un ghiacciaio:
modello Geotop**



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

REGIONE PIEMONTE

ARPA Piemonte
Area Previsione e Monitoraggio Ambientale
Via Pio VII 9 - 10135 TORINO
Tel. 011 19681340 - fax 011 19681341
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 011 3185555
<http://www.arpa.piemonte.it>
Televideo RAI 3 pagina 517
e-mail: sc05@arpa.piemonte.it

REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA

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

REGIONE LOMBARDIA

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

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Dipartimento Protezione Civile
Ufficio Previsioni e Organizzazione
Via Vannetti 41 - 38100 Trento
Tel. 0461 494870 - Fax 0461 238309
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 0461 238939
Self-fax 0461 237089
<http://www.meteotrentino.it>
e-mail: ufficio.previsioni@provincia.tn.it

PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO

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

REGIONE DEL VENETO

ARPA-Veneto Centro Valanghe di Arabba
Via Pradat 5 - 32020 Arabba BL
Tel. 0436 755711 - Fax 0436 79319
Bollettino Nivometeorologica
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

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

Sede AINEVA

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

Numero telefonico per
l'ascolto di tutti i Bollettini
Nivometeorologici degli Uffici
Valanghe AINEVA

Tel. 0461/230030

Gli utenti di "NEVE E VALANGHE":

- Sindaci dei Comuni Montani
- Comunità Montane
- Commissioni Locali Valanghe
- Prefetture montane
- Amministrazioni Province Montane
- Genii Civili
- Servizi Provinciali Agricoltura e Foreste
- Assessorati Reg./Provinciali Turismo
- APT delle località montane
- Sedi Regionali U.S.T.I.F.
- Sedi Provinciali A.N.A.S.
- Ministero della Protezione Civile
- Direzioni dei Parchi Nazionali
- Stazioni Sciistiche
- Scuole di Sci
- Club Alpino Italiano
- Scuole di 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 2008: Euro 18,00
da versare sul c/c postale n. 14595383
o su c/c bancario 052 848578360 presso
Banca Bovio Calderari Sede di Trento, ABI
03064 CAB 01800
intestato a: AINEVA
Vicolo dell'Adige, 18 - 38122 Trento

Direttore Responsabile

Giovanni PERETTI
Coordinatore di redazione
Alfredo PRAOLINI
ARPA Lombardia

Comitato di redazione:

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

Comitato scientifico editoriale:

Valerio SEGOR,
Alberto TRENTI, Stefano BOVO,
Francesco SOMMAVILLA,
Luciano DAVANZO, 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)

Stampa:

ALCIONE srl
Trento

Referenze fotografiche:

Foto di copertina: Alfredo Praolini

Lodovico Mottarella: II, 2
Alfredo Praolini: 5, 9, 21, 51, 55
ARPA Piemonte: 7
Antonio Pagliero: 10
Renata Pelosini: 11, 56
Jacopo Gabrieli: 13, 15, 16, 18, 19
Silvia Brunatti: 22, 57
Barbara Frigo: 27, 28, 29, 32, 34
Massimo Pecci: 37, 39, 44, 46
Pinuccio D'Aquila: 40
Ivan Noldin: 52, 53
Matteo Dall'Amico: 49, 50

Hanno collaborato a questo numero:

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

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

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



4



12



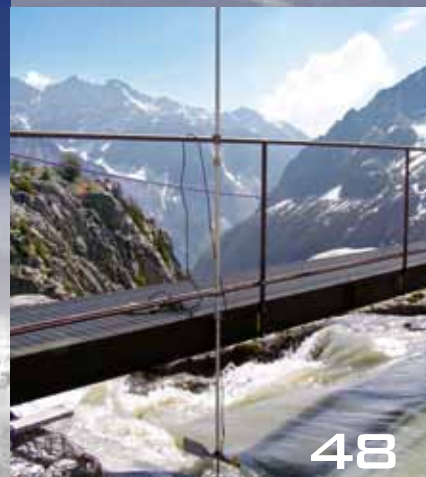
26



36



20



48

4

L'INNEVAMENTO NELLE ALPI PIEMONTESE NEGLI ULTIMI QUINDICI ANNI

■ M. Nicoletta, E. Turrone

12

IL FENOMENO DELLA "NEVE COLLOSA" OSSERVATO NELLE ALPI OCCIDENTALI ITALIANE DURANTE LA PRIMAVERA 2009

■ D. Viglietti, J. Gabrieli, S. de Pieri, R. Caramiello,
M. Freppaz, L. Celi, D. Said-Pullicino, G. Filippa,
C. Siniscalco, A. Gambaro, C. Barbante, E. Zanini

20

CONTRIBUTO ALLO STUDIO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLE ALPI OCCIDENTALI: IL CASO DELLA VALLE MAIRA

■ S. Fratianni, S. Brunatti, F. Acquotta, M. Cordola

26

IL PROGETTO SNORKNOWN

■ P. Dellavedova, B. Frigo, A. Godio, R. Rege, I. Bevilacqua,
S. Ferraris, M. Previati, E. Borgogno Mondino,
E. Cremonese, U. Morra di Cella

36

ZONAZIONE DELLE AREE VALANGHIVE A PARTIRE DALLA SUSCETTIBILITA' AL DISTACCO DI VALANGHE

■ M. Pecci, P. D'Aquila

48

DRENAGGIO DI UN GHIACCIAIO ALPINO

■ I. Noldin, S. Endrizzi, R. Rigon, M. Dall'Amico



Anche questo numero di Neve e Valanghe presenta articoli eterogenei, com'è ormai nello stile della nostra Rivista.

Apri il numero un interessante articolo di *Mariaelena Nicoletta* ed *Elena Turrone* del Dipartimento Sistemi Previsionali di ARPA Piemonte. Lo studio effettuato riguarda **l'Innevamento nelle Alpi Piemontesi negli ultimi quindici anni** e fa particolare riferimento alle condizioni favorevoli alla sciabilità ed alla produzione di neve programmata, prendendo come riferimento i quattro settori geografici alpini della regione (settore Nord, Nord-Ovest, Ovest e Sud), caratterizzabili dal punto di vista geografico e da quello climatico.

Nelle alpi Occidentali italiane (per la verità anche in quelle centrali...) durante la primavera del 2009 fu osservato uno strano fenomeno: la **"Neve Collosa"**. Studiato da una serie di ricercatori piemontesi e veneti, ne è stata determinata l'origine: un elevato contenuto di carbonio organico ed idrocarburi, con un aumento del contenuto rispetto alle concentrazioni medie crostali in alcuni metalli pesanti che hanno indicato che la natura potrebbe essere di origine, almeno parzialmente, antropica (residui di combustione).

Ancora in tema di **Cambiamento Climatico**, un altro gruppo di ricercatori piemontesi ha effettuato una ricerca statistica sulla Val Maira e ancora studiosi piemontesi, in concorso con la valdostana Fondazione Montagna Sicura di Courmayeur, ci illustrano i contenuti del **Progetto SnowRknown**, metodologie per lo studio dell'equivalente in acqua alla scala di bacino.

Insomma una constatazione scaturisce spontanea... questi colleghi e ricercatori delle Alpi occidentali italiane, forse partiti un po' in sordina negli anni ottanta e novanta del secolo scorso nello studio della neve e delle valanghe, ci stanno dando degli importanti contributi: bravi e grazie, continuate così per favore.

Ma ora, in questo numero di Neve e Valanghe, ci spostiamo in Appennino dove un appassionato studioso, il Dott. *Massimo Pecci* dell'Ente Italiano della Montagna (appassionato alpinista e nostro caro amico e collaboratore) assieme al Geologo *Pinuccio D'Aquila* ci illustra un modello sperimentale di "susceptibilità" al distacco di valanghe, che porta ad una **Zonazione delle aree valanghive**, interessante studio condotto nella zona dei Prati di Tivo, noto comprensorio sciistico sul Gran Sasso d'Italia.

Da ultimo, i dottori del Trentino Alto Adige *Noldin, Rigon* e *Dall'Amico* con *Stefano Endrizzi*, del canadese National Hydrology Research Centre, ci illustrano il loro **Studio del sistema di drenaggio di un ghiacciaio alpino** attraverso il modello idrologico distribuito GEOtop e un modello lineare di deflusso a serbatoi lineari multipli.

Buona lettura ed al prossimo numero.

Dott. Geol. Giovanni Peretti
Il Direttore Responsabile

**Condizioni
favorevoli
alla sciabilità e
alla produzione di
neve programmata**

L'INNEVAMENTO NELLE ALPI

**Mariaelena Nicoella,
Elena Turrone**

ARPA Piemonte
Dipartimento Sistemi Previsionali
Via Pio VII, 9 - 10135 Torino
m.nicoella@arpa.piemonte.it
elena.turrone@regione.piemonte.it

La comunità scientifica internazionale, supportata dalle misure meteorologiche strumentali, documenta una fase di riscaldamento globale e ne attribuisce la responsabilità in gran parte all'attività umana. Tali teorie sono avvalorate dal IV rapporto IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), pubblicato nella primavera 2007, che al momento costituisce la fonte più aggiornata, completa e autorevole in tema di cambiamento climatico.

Quale effetto di tale riscaldamento, su quasi tutto il pianeta si assiste a una riduzione dell'innevamento, in termini di quantità di neve caduta, ma anche di spessore e durata del manto nevoso al suolo.

L'analisi effettuata ha l'obiettivo di fornire un quadro climatico dell'innevamento in Piemonte riferito agli ultimi quindici anni. Per ogni singolo anno delle serie di dati considerate è stato analizzato il periodo stagionale compreso tra dicembre e marzo, in quanto ritenuto significativo per valutare l'innevamento funzionale alla pratica dello sci, e sono stati presi come riferimento quattro settori geografici alpini della regione (settore Nord, Nord-Ovest, Ovest e Sud), caratterizzabili dal punto di vista geografico e da quello climatico.

PIEMONTESI

Negli ultimi quindici anni



INTRODUZIONE

Il presente studio ha l'obiettivo di fornire un quadro climatico dell'innevamento in Piemonte riferito al periodo 1990-2009 ed in particolare all'ultimo decennio.

L'analisi è stata svolta con riferimento a quattro settori geografici alpini della regione, caratterizzabili dal punto di vista geografico e da quello climatico e così rappresentati (Figura 1):

- Settore Nord (Alpi Lepontine e Pennine): Ossola, Valsesia e Biellese;
- Settore Nord-Ovest (Alpi Graie): Canavese e Valli di Lanzo;
- Settore Ovest (Alpi Cozie): Valle di Susa, Monviso e Valle Maira;
- Settore Sud (Alpi Marittime): Valle Stura - Valle Vermentagna, Monregalese.

I parametri analizzati sono la quantità di neve fresca, l'altezza della neve al suolo e la temperatura di bulbo umido, legata alle condizioni meteorologiche per la produzione della neve programmata.

Allo scopo di caratterizzare in modo sintetico ed efficace le condizioni d'innevamento relative alla possibilità di praticare lo sci nordico e lo sci alpino, sono state effettuate elaborazioni relative all'altezza della neve al suolo per tre valori di soglia: 10 cm (valore rappresentativo della presenza di neve al suolo), 40 cm (valore minimo per la preparazione delle piste per lo sci nordico) e 70 cm (valore minimo per la preparazione delle piste per lo sci alpino). Per caratterizzare i periodi dell'anno favorevoli alla produzione di neve programmata è stato svolto uno studio sui parametri meteorologici che ne influenzano la produzione, riferito ad alcune stazioni significative per ogni singolo settore alpino analizzato.

Per ogni singolo anno delle serie di dati considerate è stato analizzato il periodo stagionale compreso tra dicembre e marzo, in quanto ritenuto significativo per valutare l'innevamento funzionale alla pratica dello sci.

INNEVAMENTO E CONDIZIONI DI SCIABILITÀ NEGLI ULTIMI QUINDICI ANNI

Al fine di valutare l'evoluzione delle condizioni di innnevamento naturale nelle Alpi piemontesi nell'ultimo decennio, sono state effettuate delle elaborazioni dei dati rilevati dalle stazioni automatiche appartenenti alla rete meteoroidrografica di ARPA Piemonte, integrate da alcune stazioni manuali, in modo da avere un dataset il più rappresentativo possibile dell'innevamento dei quattro quadranti e per diverse fasce altimetriche. Sono state selezionate 46 stazioni nivometeorologiche automatiche e 8 manuali ubicate a quote comprese tra 1200 e 2800 m, riferibili significativamente a località sciistiche delle rispettive valli di ubicazione, dal Cuneese alla Val Formazza, che dispongono di una serie storica sufficientemente estesa nel tempo (riferita mediamente agli ultimi 15 anni, e maggiormente omogenea per gli ultimi 8 anni). L'elenco delle stazioni, con la durata della serie e l'ubicazione sono riportati in Figura 2.

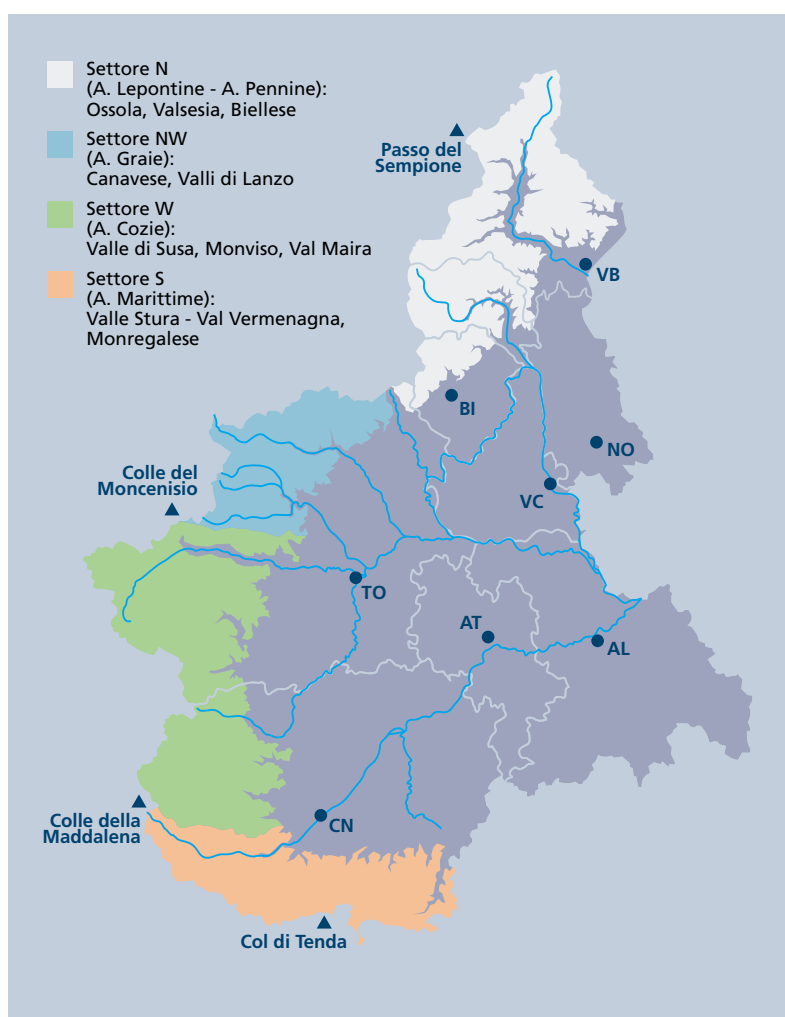
Allo scopo di caratterizzare in modo sintetico ed efficace le condizioni d'innevamento medie sul periodo dicembre-marzo, relative alla possibilità di praticare lo sci nordico e lo sci alpino, sono state effettuate elaborazioni relative all'altezza della neve al suolo ed in particolare:

- numero di giorni con altezza della neve al suolo superiore a 10 cm (valore rappresentativo della presenza di neve al suolo);
- numero di giorni con altezza della neve al suolo superiore a 40 cm;
- numero di giorni con altezza della neve al suolo superiore a 70 cm.

Tali elaborazioni sono rappresentate per settore geografico e per tre diverse fasce altimetriche (1000-1500 m, 1500-2000 m, superiore 2000 m).

Le considerazioni deducibili dalle elaborazioni si riferiscono a condizioni medie dell'ultimo decennio, che ha visto una discreta variabilità nelle condizioni

Fig. 1 - Individuazione dei settori alpini oggetto dello studio



ELENCO STAZIONI NIVOMETRICHE AUTOMATICHE E MANUALI UTILIZZATE PER LE ELABORAZIONI

N°	STAZ	PR	COMUNE	LOCALITA'	QUOTA	PERIODO DI RILEVAMENTO	N°	STAZ	PR	COMUNE	LOCALITA'	QUOTA	PERIODO DI RILEVAMENTO
1	A	CN	Crissolo	Pian Giasset	2150 m	2002-2009	28	A	TO	Locana	Lago di Valsoera	2365 m	1999-2009
2	A	CN	Sampeyre	Pian delle Baracche	2135 m	1993-2009	29	A	TO	Salbertrand	Graviere	1010 m	1992-2009
3	A	CN	Limone Piemonte	Pancani	2009 m	1993-2005	30	A	TO	Giaglione	Val Clarea	1135 m	2005-2009
4	A	CN	Roccaforte Mondovì	Rifugio Havis de Giorgio	1760 m	1999-2009	31	A	TO	Venaus	Barcenisio	1525 m	1994-2009
5	A	CN	Argentera	Argentera	1680 m	1997-2009	32	A	TO	Oulx	Rifugio Rey - Pra' Menier	1800 m	2002-2009
6	A	CN	Acceglio	Colombata	1610 m	1999-2009	33	A	TO	Sauze di Cesana	Valle Argentera	1840 m	1999-2009
7	A	CN	Pontechianale	Castello	1575 m	1999-2009	34	A	TO	Salbertrand	Gran Bosco di Salbertrand- Le Selle	1980 m	1992-2009
8	A	CN	Paesana	Bric Barsaia	1265 m	1997-2009	35	A	TO	Claviere	Claviere Mont Fort du Boeuf	2030 m	2001-2009
9	A	CN	Elva	Martini	1770 m	2001-2009	36	A	TO	Cesana Torinese	San Sicario Soleil Boeuf	2087 m	2001-2009
10	A	CN	Valdieri	Terme di Valdieri	1390 m	1999-2009	37	A	BI	Trivero	Alpe Camparient	1515 m	2000-2009
11	A	CN	Vernante	Palanfrè Gias Chiot	1625 m	2001-2009	38	A	BI	Piedicavallo	Piedicavallo	1040 m	1999-2009
12	A	CN	Castelmagno	San Magno	1755 m	1997-2009	39	A	VC	Alagna Valsesia	Bocchetta delle Pisse	2410 m	1993-2009
13	A	CN	Entracque	Diga del Chiotas	2020 m	2001-2009	40	A	VC	Alagna Valsesia	Miniere	1196 m	2001-2009
14	A	CN	Vinadio	Colle Lombarda	2305 m	1997-2009	41	A	VB	Baceno	Alpe Devero	1634 m	1997-2009
15	A	CN	Canosio	Gardetta	2337 m	2001-2009	42	A	VB	Antrona Schieranco	Alpe Cheggio	1460 m	1997-2009
16	A	TO	Sauze d'Oulx	Lago Pilone	2280 m	1993-2009	43	A	VB	Macugnaga	Pecetto	1360 m	1999-2009
17	A	TO	Cesana Torinese	Colle Bercia	2200 m	1997-2009	44	A	VB	Formazza	Bruggi	1226 m	1999-2009
18	A	TO	Pragelato	Clot della Soma	2150 m	1997-2009	45	A	VB	Montecrestese	Diga di Larechcio	1860 m	1999-2009
19	A	TO	Sestriere	Principi di Piemonte	2020 m	1996-2009	46	A	VB	Formazza	Piano dei Camosci	2453 m	1997-2009
20	A	TO	Usseglio	Malciaussia	1800 m	2000-2009	47	M	VB	Macugnaga	Capoluogo	1300 m	1983-2009
21	A	TO	Ceresole Reale	Villa	1581 m	1999-2009	48	M	VB	Antrona	Alpe Cavalli	1500 m	1983-2009
22	A	TO	Valprato Soana	Piamprato	1555 m	1997-2009	49	M	VB	Formazza	Lago Vannino	2177 m	1986-2009
23	A	TO	Pralay	Villa	1385 m	1999-2009	50	M	VB	Alagna	Capoluogo	1200 m	1983-2009
24	A	TO	Bardonecchia	Prerichard	1353 m	1993-2009	51	M	TO	Ceresole	Lago Serrù	2296 m	1983-2009
25	A	TO	Groscavallo	Forno Alpi Graie	1215 m	1999-2009	52	M	TO	Bardonecchia	Rochemolles	1975 m	1983-2009
26	A	TO	Colleterto Castelnuovo	Santa Elisabetta	1240 m	1999-2009	53	M	CN	Limone Piemonte	Limonetto	1300 m	1986-2009
27	A	TO	Ceresole Reale	Lago Agnel	2304 m	1997-2009	54	M	CN	Entracque	Chiotas	2010 m	1983-2009



dell'innevamento, in particolare nel mese di dicembre.

A tale scopo si è scelto di riferire il quadro dell'innevamento medio per ogni singolo settore alpino indagato a un valore di giornate di funzionamento di una località sciistica pari a 100, considerandolo, sulla base di informazioni tratte dalla bibliografia di settore, il numero minimo di giorni utile a garantire la funzionalità del comprensorio.

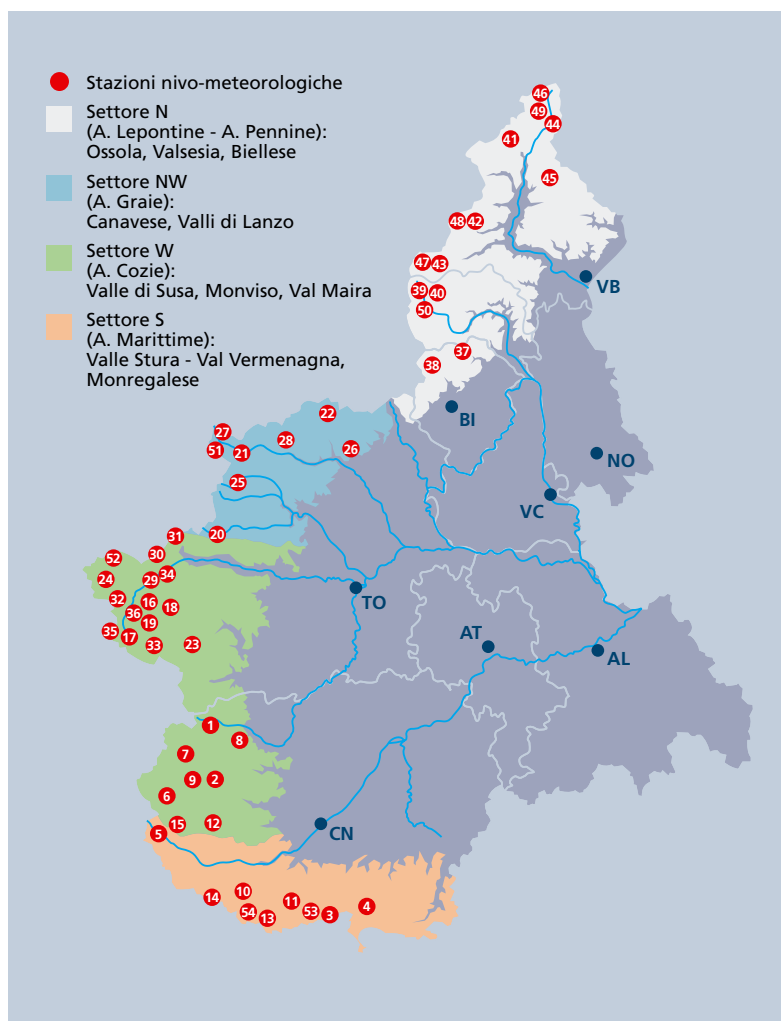


Fig. 2 - (a) elenco, (b) ubicazione delle stazioni nivometriche automatiche e manuali utilizzate per le elaborazioni.

Foto - Stazione nivometrica di Alagna-Bocchetta delle Pisse della rete meteorologica automatica di ARPA Piemonte.

Fig. 3 - Numero di giorni medio degli ultimi dieci anni, nel periodo dicembre-marzo, con altezza della neve al suolo superiore a 10 cm, 40 cm e 70 cm per ciascuno dei quattro settori e per quota compresa tra 1000 e 1500 m. La linea rossa evidenzia i 100 giorni.

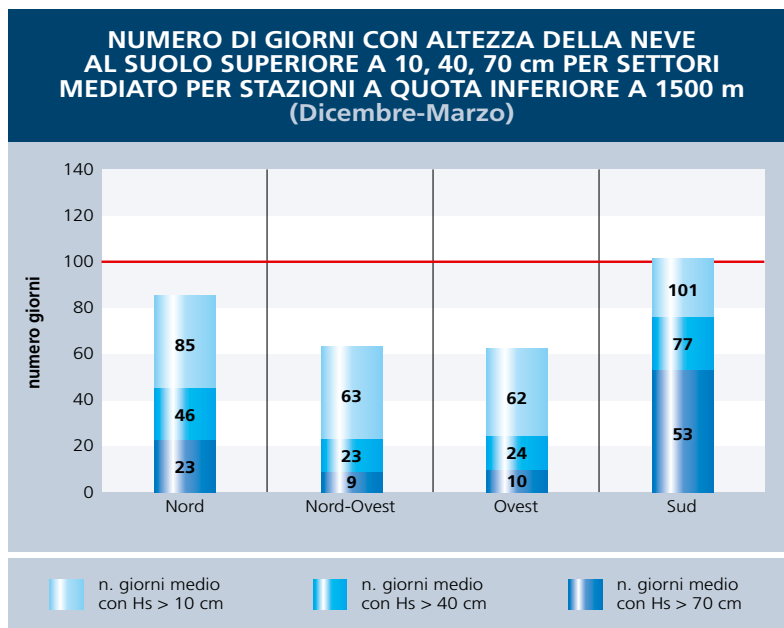


Fig. 4 - Numero di giorni medio degli ultimi dieci anni, nel periodo dicembre-marzo, con altezza della neve al suolo superiore a 10 cm, 40 cm e 70 cm per ciascuno dei quattro settori e per quota compresa tra 1500 e 2000 m. La linea rossa evidenzia i 100 giorni.

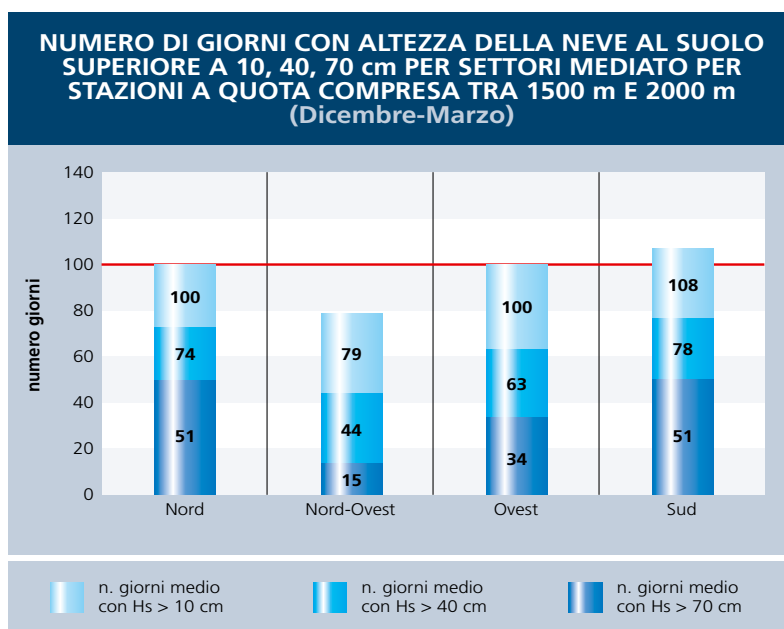
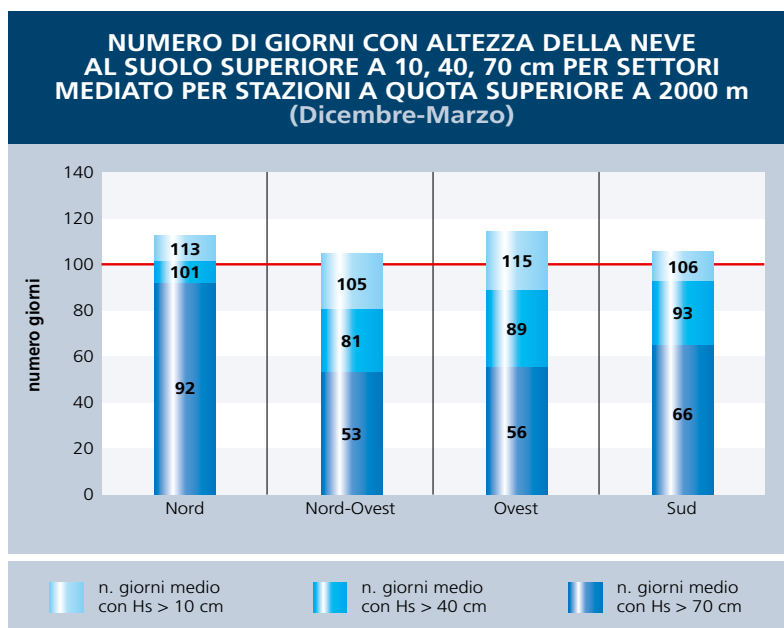


Fig. 5 - Numero di giorni medio degli ultimi dieci anni, nel periodo dicembre-marzo, con altezza della neve al suolo superiore a 10 cm, 40 cm e 70 cm per ciascuno dei quattro settori e per quota superiore a 2000 m. La linea rossa evidenzia i 100 giorni.



Per quanto riguarda i comprensori posti a quote più basse (Figura 3) si osserva un numero limitato di giorni con innevamento naturale sufficiente alla pratica dello sci alpino e dello sci nordico.

In particolare i settori Ovest e Nord-Ovest presentano percentuali di giorni rispettivamente del 20% e del 19% con un innevamento naturale per la pratica dello sci nordico.

Tali percentuali si riducono considerevolmente per lo sci alpino.

Nel settore Nord la percentuale di giorni con innevamento naturale sufficiente alla pratica dello sci nordico è del 38% e sufficiente alla pratica dello sci alpino è del 19%.

Nel settore meridionale del Piemonte le condizioni sono più favorevoli, con percentuali che salgono rispettivamente al 64% e al 44%.

Considerando comunque 100 come il numero minimo di giorni in cui deve essere garantita la funzionalità del comprensorio, anche nel settore con condizioni più favorevoli è necessaria la produzione di neve programmata per i 47 giorni in cui l'altezza di neve al suolo è inferiore ai 70 cm o i 23 giorni in cui l'altezza di neve al suolo è inferiore ai 40 cm. Il ruolo della produzione di neve programmata per comprensori al di sotto dei 1500 m si rivela necessario per tutti e quattro i settori e risulta essere per quelli Nord-Ovest ed Ovest la risorsa prevalente per garantire la pratica dello sci alpino.

Per quanto riguarda i comprensori posti a quote tra i 1500 m e i 2000 m (Figura 4) si osserva che l'innnevamento naturale garantisce una buona percentuale di giorni con altezza neve al suolo sufficiente alla pratica dello sci alpino e dello sci nordico ad eccezione del settore Nord-Ovest. Interessante è notare come a queste quote l'innnevamento nel settore Ovest si avvicini a quello dei settori Sud e Nord. In particolare il settore Nord-Ovest presenta una percentuale di giorni del 36% con un innevamento naturale per la pratica dello sci nordico e del 12% per la pratica dello sci alpino.



I settori Nord e Sud continuano ad essere le zone con un maggior numero di giorni con innevamento naturale sufficiente alla pratica dello sci nordico e dello sci alpino. In particolare per il settore Sud le percentuali (64% dei giorni con altezza della neve al suolo superiore a 40 cm e 42% dei giorni con altezza neve al suolo superiore a 70 cm) non sono dissimili da quelle ottenute per le quote più basse.

Considerando comunque 100 come il numero minimo di giorni in cui deve essere garantita la funzionalità del comprensorio, anche nel settore Sud è necessaria la produzione di neve programmata per i 49 giorni in cui l'altezza di neve al suolo è inferiore ai 70 cm o i 22 giorni in cui l'altezza di neve al suolo è inferiore ai 40 cm.

Il ruolo della produzione di neve programmata per comprensori tra i 1500 m e i 2000 m continua ad essere la risorsa prevalente per il settore Nord-Ovest mentre risulta comunque necessaria negli altri tre settori.

Per quanto riguarda i comprensori posti a quote superiori ai 2000 m (Figura 5) si osserva che l'innevamento naturale garantisce una buona percentuale di giorni con altezza neve al suolo sufficiente alla pratica dello sci alpino e dello sci nordico. Il settore Nord-Ovest, seppure continui ad essere l'area più penalizzata, registra una percentuale di giorni del 44% con un innevamento naturale per la pratica dello sci nordico e del 67% per la pratica dello sci alpino. I settori Nord-Ovest e Sud

presentano un comportamento analogo seppur in quello meridionale il numero di giorni con altezza di neve al suolo significativa risulta superiore.

Interessante è notare come nel settore Nord l'innevamento naturale a queste quote sia pressoché sufficiente anche alla pratica dello sci alpino senza ricorrere all'innevamento programmato (76% dei giorni con altezza della neve al suolo superiore a 70 cm).

Il ruolo della produzione di neve programmata per comprensori superiori a 2000 m risulta quindi di forte necessità per il settore nord-occidentale, necessario per quello occidentale e meridionale e di supporto per quello settentrionale negli inverni più secchi.

LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE PER LA PRODUZIONE DELLA NEVE PROGRAMMATA

Negli ultimi anni tutte le stazioni sciistiche che ne hanno avuto la possibilità si sono dotate di impianti di innevamento programmato per innevare vaste superfici o anche solo per assicurare la continuità del manto nevoso nei punti meno favorevoli e più esposti. La produzione di neve programmata dipende da fattori climatici vincolanti, e precisamente la temperatu-

ra e l'umidità, che determinano la resa, e il vento che presenta una capacità di trasporto proporzionale al cubo della velocità. Per tenere conto dei primi due parametri si considera la temperatura di bulbo umido, un parametro dipendente da temperatura ed umidità relativa.

In media le migliori condizioni per la produzione della neve si trovano per temperature di bulbo umido al di sotto di -4°C . Per temperature di bulbo umido comprese tra -4°C e -2°C è molto costoso produrre neve, mentre per temperature di bulbo umido al di sopra di -2°C non è possibile

la produzione di neve. La temperatura di bulbo umido è stata calcolata per quattro stazioni prese come riferimento per ciascun settore della regione, utilizzando i dati orari ed ipotizzando di poter produrre neve in qualsiasi momento della giornata. Considerando la temperatura di bulbo umido, nella stazione di Alpe Devero (settore Nord), nel periodo dicembre-marzo, si registra una frequenza del 33% di avere buone condizioni meteorologiche per produrre neve, tale percentuale si attesta sul 20% se si fa riferimento ad una temperatura di bulbo umido inferiore a -6°C . Nella stazione di Piamprato, stazione a quota relativamente bassa, ubicata nel settore Nord-Ovest della regione, la percentuale di ore per produrre neve in buone condizioni scende al 19% e si abbassa all'8% considerando invece le condizioni ottimali ($\text{Tw} < -6^{\circ}\text{C}$).

Considerando la temperatura di bulbo umido nella stazione di Sestriere Principi (settore Ovest), nel periodo dicembre-marzo, si registra una frequenza del 29% di avere discrete condizioni per produrre neve, sebbene la frequenza di produrla nelle migliori condizioni scenda al 15%. Anche nel settore meridionale del Piemonte (stazione di Limone Pancani), così come nel settore occidentale, si registra una frequenza del 26% di avere discrete condizioni per produrre neve, sebbene la frequenza di produrla nelle migliori condizioni scenda al 14%.

In generale si può affermare che nei settori Nord, Nord-Ovest e Sud le condizioni meteorologiche per produrre neve nel periodo dicembre-marzo si hanno nel 50% dei casi, tale percentuale scende al 38% nel settore Nord-Ovest. Le migliori condizioni ($\text{Tw} < -4^{\circ}\text{C}$) passano dal 33% nel settore Nord al 19% nel settore Nord-Ovest. Nel settore Nord le condizioni ottimali si verificano più frequentemente che negli altri settori.

E' da osservare che, poiché nel presente studio non è stato considerato il vento, la frequenza delle condizioni favorevoli per la produzione di neve programmata potrebbe essere sensibilmente più bassa, in particolare alle quote più elevate.

Fig. 6 - Temperatura di bulbo umido media (espressa in percentuale) riferita al periodo dicembre-marzo a partire dalla stagione invernale 1997-98 al 2008-09, relativa a quattro stazioni prese come riferimento per ciascun settore della regione.

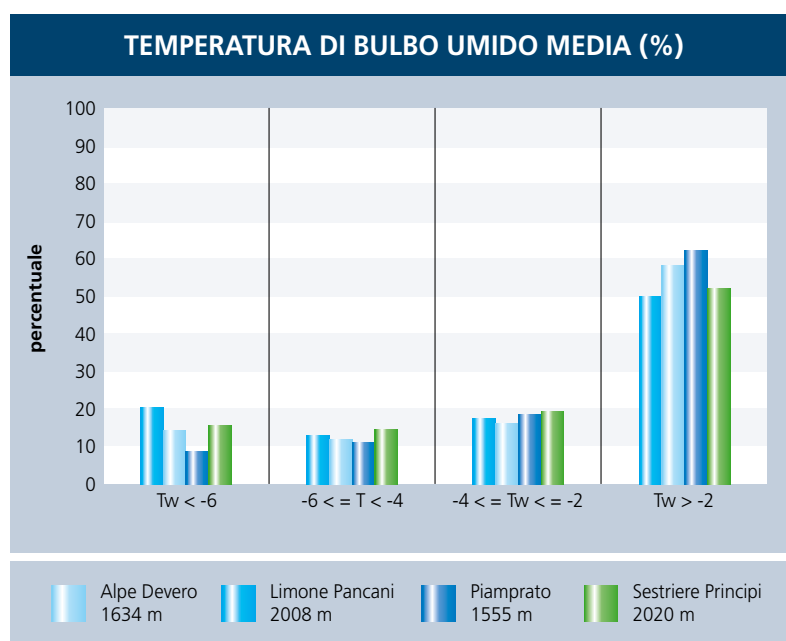


Foto - Versante Nord-Est del Monte Chersogno-Valle Maira.





CONCLUSIONI

L'analisi effettuata mostra come la quantità di neve che cade sulle Alpi Piemontesi sia in diminuzione. Questo si manifesta in modo più marcato alle quote inferiori ai 1500 m ed in particolare nel settore Nord-Ovest considerato nello studio. Anche la temperatura invernale mostra una tendenza all'aumento, con trend più importanti sulle zone montuose, che porta ad avere stagioni invernali meno fredde e che mediamente terminano prima, cioè ad un anticipo dell'episodio più precoce di fusione del manto nevoso. L'effetto risultante si evidenzia soprattutto in termini di decremento dello spessore del manto nevoso al suolo, anche per valori di spessore utile alla pratica dello sci alpino e nordico, più marcato nei mesi di febbraio e marzo. L'innevamento programmato risulta un elemento importante ed essenziale per le quote più basse, per garantire la fruibilità dei comprensori per almeno 100 giorni all'anno. Le condizioni meteorologiche che consentono la produzione di neve

programmata non sono tuttavia quelle più frequenti, e tenderanno a diminuire ulteriormente, richiedendo pertanto una gestione degli impianti sempre più attenta. Lo spostamento via via a quote più elevate delle condizioni di innevamento sufficienti per la pratica degli sport invernali su neve suggerisce che con un buon innevamento programmato è possibile sopperire alla mancanza di neve naturale nei prossimi 15-20 anni, per comprensori che si estendono al di sopra dei 1500 m. Per orizzonti temporali più lunghi le proiezioni sulle condizioni di temperatura diminuiranno sia la possibilità di produrre neve programmata sia il suo mantenimento, se non a quote superiori ai 1800-2000m. L'ultima stagione invernale considerata nello studio (2008-2009) è stata caratterizzata, in Piemonte, da nevicate eccezionali, sia per quantità di neve caduta, sia per estensione delle aree interessate. Tale situazione è anomala rispetto al quadro climatologico degli ultimi 20 anni, ma non sufficiente a modificarne i trend.

Bibliografia

- BARBIER B., BEVILACQUA E., BILLET J., HERBIN J., JULG F., GRAF P., GOSAR A. (1994) - Alpin tourisme, 25° congrès international de Géographie, Paris, 1, VI, 51-168
- BENISTON, M. (2005) - Mountain climates and climatic change: An overview of processes focusing on the European Alps. *Pure and Applied Geophysics* 162, 1587-1606.
- CICCARELLI N., VON HARDENBERG J., PROVENZALE A., RONCHI C., VARGIU A., PELOSINI R. (2008) - Climate Variability in North-Western Italy during the Second Half of the 20th Century, *Global and Planetary Change*, 63, 185-195.
- GIGLI S., AGRAWALA S. (2007) - *Stocktaking of progress on integrating adaptation to climate change into development co-operation activities*. OECD. 83 pp.
- GUMUCHIAN H. (1983) - *La neige dans les Alpes françaises du Nord : une saison oubliée, l'hiver*. Editions des "Cahiers de l'Alpe, Grenoble", 102-124
- HAHN F. (2004) - *Innevamento artificiale nelle Alpi*. AlpMedia. CIPRA

il FENOMENO "NEVE COLLOSA"

osservato nelle
Alpi occidentali
italiane durante
la primavera 2009

**Davide Viglietti,
Michele Freppaz,
Luisella Celi,
Daniel Said-Pullicino,
Gianluca Filippa
ed Ermanno Zanini**

Università degli Studi di Torino,
DIVAPRA-Chimica Agraria e Pedologia,
Via Leonardo da Vinci 44,
10095 Grugliasco (TO)

**Jacopo Gabrieli,
Silvia de Pieri,
Andrea Gambaro
e Carlo Barbante**

Università Ca' Foscari di Venezia,
Dipartimento di Scienze Ambientali e
Istituto per le Dinamiche dei Processi
Ambientali (IDPA-CNR),
Calle Larga santa Marta 2137,
30123 Venezia

**Rosanna Caramiello,
Consolata Siniscalco**

Università degli Studi di Torino,
Dipartimento di Biologia Vegetale,
Viale P.A. Mattioli 25 - 10125 Torino

La determinazione delle specie chimiche, sia organiche che inorganiche, inglobate dalla neve può fornire informazioni di grande interesse ambientale e permettere una valutazione dell'impatto antropico anche in aree alpine remote.

Durante la primavera 2009, numerosi sci alpinisti hanno segnalato la presenza, sotto le solette degli sci, di un materiale nerastro e appiccicoso che rendeva difficile la discesa. Le segnalazioni hanno interessato un'ampia distribuzione: dalle Alpi Liguri alle Alpi Lepontine a quote comprese tra 1500 e 2500 m s.l.m. Sono stati prelevati campioni di materiale solido direttamente dalle solette degli sci e campioni di neve presso le località maggiormente coinvolte dalle segnalazioni: le analisi in laboratorio si sono occupate della determinazione delle concentrazioni di carbonio organico, azoto totale, metalli pesanti ed altri elementi in tracce, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) ed alifatici. I campioni di neve, inoltre, sono stati analizzati per la determinazione di pH, conducibilità elettrica, ioni principali; su alcuni campioni è stata inoltre effettuata la speciazione e la quantificazione dei grani pollinici presenti. I risultati delle analisi hanno evidenziato nei campioni di materiale solido un elevato contenuto di carbonio organico, idrocarburi alifatici a catena lunga e idrocarburi policiclici aromatici. Per alcuni metalli pesanti, tra cui Zn, Cu, Mo, Cd, Sb, Pb e Bi, è stato riscontrato un moderato arricchimento rispetto alle concentrazioni medie crostali, indicando così che l'origine di questi elementi può essere, almeno parzialmente, antropica (residui di combustione). Sui campioni di neve prelevati in superficie sono state rilevate elevate quantità di grani pollinici, soprattutto di specie arboree provenienti dalle aree forestali limitrofe (*Pinus*, *Larix*, *Fagus*). Dalla caratterizzazione chimica dei campioni di neve è emerso un contenuto di carbonio organico disciolto superiore non solo a quello rilevato nel 2009 nelle Alpi Orientali ma addirittura superiore a quello osservato nella neve di Torino. Anche nella neve, analogamente al materiale solido, sono state rilevate elevate concentrazioni di idrocarburi pesanti e IPA. Gli strati più interni del manto nevoso hanno mostrato caratteristiche chimiche in linea con quelle tipiche delle Alpi dimostrando che la contaminazione ha interessato principalmente la porzione superficiale. Dai dati in nostro possesso, sebbene preliminari, è possibile affermare che il fenomeno della "neve collosa" sia riconducibile alla deposizione su larga scala di residui di combustione, simili per composizione chimica a fuliggine o nerofumo. L'origine di questo materiale, così come i relativi processi di trasporto e di deposizione, rimangono tuttora sconosciuti e sono oggetto di indagine.



INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni, la composizione chimica della neve è studiata essenzialmente per ottenere informazioni sulla qualità dell'aria, a volte in aree difficilmente accessibili ove i metodi classici di monitoraggio (centraline, campionatori fissi) sono difficilmente utilizzabili (Della Vedova et al., 2006; Gabrielli et al. 2008; Gabrieli et al., 2010).

L'idea base è quella di analizzare chimicamente il contenuto delle precipitazioni meteoriche considerandole una sorta di "campionatore" naturale dell'atmosfera (Barbante et al., 1998); chiaramente per le Alpi viene naturale pensare alla neve come mezzo indiretto di studio della qualità dell'aria.

La neve, fin dal momento della sua formazione nelle nubi, durante il trasferimento ed il periodo di permanenza al suolo ingloba diverse sostanze chimiche presenti nella troposfera. Dall'analisi delle specie chimiche sia organiche che inorganiche

intrappolate nella neve si possono quindi ottenere informazioni di grande interesse ambientale e valutare indirettamente l'impatto antropico nelle aree alpine remote. Il monitoraggio chimico della neve e del ghiaccio è inoltre molto utile per valutare la qualità della risorsa idrica che nel periodo primaverile, viene principalmente alimentata dalle acque di fusione (Filippa et al., 2009).

Numerose sono le iniziative a livello nazionale ed internazionale volte al monitoraggio delle caratteristiche chimiche del manto nevoso, quali ad esempio il progetto dell'EIM, dedicato alla sperimentazione nel territorio montano italiano del Profilo Chimico-Ambientale Speditivo del Manto Nevoso (Pecci et al., 2006; 2009). Vi sono molti elementi chimici di prevalente origine antropica che è necessario continuare a monitorare nelle nevi alpine, che senza dubbio rappresentano un ottimo indicatore dello stato di inquinamento dell'atmosfera delle nostre regioni.

IL FENOMENO DELLA NEVE "COLLOSA"

Nel corso del mese di maggio 2009, numerosi sci alpinisti, a termine delle loro escursioni, hanno segnalato la presenza, sotto le solette degli sci, di un materiale nerastro, appiccicoso, che rendeva difficoltosa la discesa. Le prime osservazioni sono state riportate in siti internet del settore e, grazie anche all'appello lanciato nel corso della trasmissione della RAI *"Che Tempo Che Fa"*, il numero di segnalazioni è cresciuto significativamente. Il fenomeno sembra aver interessato prevalentemente le Alpi Occidentali e, marginalmente, le Centrali, in particolare dalle Liguri (Artesina, CN) fino alle Lepontine (Foppolo, BG) con una segnalazione anche nell'Appennino Reggiano (Figura 1). Le quote delle segnalazioni sono risultate comprese fra 1500 e 2500 m s.l.m.

CAMPIONAMENTO ED ANALISI

Sono stati prelevati alcuni campioni di materiale, sia raschiandolo dalle solette degli sci (Figura 2), sia campionando il manto nevoso nelle aree interessate dal fenomeno. In particolare, nei siti di Gaby (AO), Mont Grimond de Montgenevre (TO), Monte Sises (TO) e Pian dell'Alpe (TO), i campionamenti del manto nevoso sono stati effettuati lungo gradienti altitudinali, direttamente dal personale del DIVAPRA-Chimica Agraria e Pedologia-Laboratorio Neve e Suoli Alpini dell'Università di Torino (Figura 3). Il materiale solido è stato ottenuto raschiando le solette degli sci al termine di gite sci-alpinistiche in diverse zone delle Alpi Occidentali.

Complessivamente sono stati raccolti 53 campioni di neve e 8 campioni di residuo solido.

I campioni di neve sono stati analizzati per la determinazione della composizione pollinica, nei laboratori del Dipartimento di Biologia Vegetale dell'Università di Torino, mentre la caratterizzazione chimica è stata condotta nei laboratori del Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università Ca' Foscari di Venezia. Il residuo solido è invece stato caratterizzato nei laboratori

Fig. 1





Fig. 2 - Campionamento del materiale colloso dalla soletta di uno snowboard (Prati, TO).



Fig. 3 - Campionamento del manto nevoso presso Mont Gimond, Montgenevre.



del DIVAPRA-Chimica Agraria e Pedologia dell'Università di Torino e nei laboratori del Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università Ca' Foscari di Venezia. Il residuo solido è stato sottoposto ad una caratterizzazione qualitativa tramite spettroscopia ATR-FTIR (Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared), che permette di identificare i principali gruppi funzionali. La frazione organica è stata estratta utilizzando una miscela di solventi (cicloesano/diclorometano in rapporto 1/1) e caratterizzata tramite gascromatografia accoppiata con rivelatore di massa (GC-MS). Per la determinazione dei metalli in tracce, un'aliquota di cam-

pione è stata mineralizzata con una miscela acida di acqua regia (HCl e HNO₃) e perossido di idrogeno e quindi analizzata con uno spettrometro di massa con torcia al plasma. La percentuale di carbonio organico è stata calcolata per differenza gravimetrica dopo trattamento in muffola a 650°C per 24 ore. Nei campioni di neve, sia superficiali che relativi a strati interni del manto nevoso, sono state determinate, oltre a pH e conducibilità elettrica, le concentrazioni di ioni principali (F⁻, Cl⁻, Br⁻, PO₄³⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺), tramite cromatografia ionica. Le concentrazioni di 28 metalli in tracce

sono state misurate con uno spettrometro di massa con torcia al plasma mentre il carbonio organico totale (TOC) è stato determinato tramite ossidazione catalitica con rivelatore ad infrarossi. La quantità di solidi sospesi è stata misurata per via gravimetrica, filtrando un volume di neve fusa pari a 50-100 mL. Sono stati analizzati campioni di neve fusa raccolti in 4 siti compresi tra 1600 e 2000 m di quota: di ciascuno è stato analizzato 1 ml di materiale disperso in acqua e glicerolo e centrifugato a 5000 giri per 3 minuti. Il riconoscimento e il conteggio dei granuli pollinici è stato effettuato al microscopio ottico.

**GRANULI POLLINICI RILEVATI IN 4 CAMPIONI DI NEVE
RACCOLTI IN 4 SITI DELLE ALPI OCCIDENTALI
E IN 1 CAMPIONE DI RESIDUO SOLIDO
PRELEVATO SOTTO LA SOLETTA DEGLI SCI**

	CAMPIONE DI "NEVE COLLOSA"								MATERIALE COLLOSO	
	PIAN DELL'ALPE		GABY		MONGINEVRE		PIAN MERA		PIAN DELLA MUSSA	
	n/mL	%	n/mL	%	n/mL	%	n/mL	%	n/mL	%
Pinus	24500	43.6	5200	6.93	4875	16.6	725	1.26	5	9.43
Albies	1175	2.09	1700	2.27	3.25	1.10	2725	4.74		
Picea	1000	1.78	5325	7.10	100	0.34	200	0.35		
Larix	21725	38.6	54000	71.9	23250	78.9	850	1.48	27	50.95
Salix	450	0.80	1750	2.33			1150	2.00		
Quercus	450	0.80	600	0.80	400	1.36	900	1.57	2	3.77
Fagus	6700	11.9	4250	5.66	250	0.85	50300	87.5	8	15.1
Cupressaceae	50	0.09	50	0.07	100	0.34				
Corylus	75	0.13	950	1.27					3	5.66
Betulla	100	0.18	1000	1.33	150	0.51	650	1.13	6	11.3
Acer	25	0.04								
Carpinus			50	0.07						
Alnus			175	0.23					2	3.77
TOTALE	56300	100	75050	100	29450	100	57500	100	53	100

Fig. 4



RISULTATI DELL'ANALISI POLLINICA

Nei campioni sono state rilevate grandi quantità di polline (da 30000 a 70000 granuli/ml di campione di neve fusa) e si sono osservati soltanto granuli di specie arboree o arbustive che, in alta quota, sono in fioritura nel mese di maggio mentre non si sono trovati granuli di erbacee, fiorite nello stesso periodo in fondovalle (Fig. 4): questo suggerisce che il trasporto da quote molto più basse è trascurabile. I granuli pollinici rilevati hanno quindi origine prevalentemente locale, sono cioè provenienti dalle medie e dalle alte quote della stessa valle in cui il campione è stato raccolto o dalle valli vicine, poiché vi

è corrispondenza tra distribuzione delle specie arboree dominanti nei boschi vicini alle zone di campionamento e granuli rilevati. Questo è particolarmente evidente per il polline di larice, abbondantissimo a Gaby e a Monginevro, vicino ai lariceti, o per il polline di pino a Pian Alpe in presenza di pinete. Allo stesso modo in Valsesia a Pian Mera il polline di faggio proveniente dalle faggete che coprono gran parte del territorio della valle rappresenta circa il 90% del totale mentre nelle altre valli in cui il faggio è meno abbondante le percentuali di questo polline sono notevolmente più basse.

Granuli di Cupressaceae o di nocciolo, betulla e acero, presenti sempre in percentuali basse rispetto alle arboree

dominanti, provengono da media quota. Il campione relativo al residuo solido prelevato al Pian della Mussa sotto le solette degli sci presenta un numero più basso di granuli pollinici a riprova del fatto che la "massa collosa" non è di origine vegetale. Quanto rilevato in relazione al trasporto locale di granuli pollinici o da media distanza trova conferma in numerosi studi sulla deposizione dei granuli lungo il gradiente altitudinale (Ortu et al., 2008).

RISULTATI DELL'ANALISI CHIMICA SUL MATERIALE COLLOSO

Ad un esame visivo tale materiale appariva pastoso, di color scuro tra il marrone e il nero e caratterizzato da un odore acre ed aromatico, tipico degli idrocarburi pesanti. L'analisi elementare ha dimostrato che la frazione carboniosa, sia organica che inorganica, risultava particolarmente elevata e compresa tra il 35% e il 65% del totale. Dall'analisi dei composti organici sono state rilevate grandi quantità di idrocarburi lineari ad elevato peso molecolare, con un numero di atomi di carbonio compreso tra 20 e 30. Si sono inoltre riscontrate concentrazioni elevate di idrocarburi policiclici aromatici (IPA), una classe di composti molto interessante dal punto di vista ambientale in quanto prodotti esclusivamente a seguito di processi di combustione. È stato stimato che meno del 10% delle emissioni di idrocarburi policiclici aromatici siano di origine naturale (incendi, vulcani) mentre per il restante 90% essi derivano da combustioni di origine antropica, sia di idrocarburi liquidi (benzina, gasolio, nafta, cherosene), solidi (carbone) che di biomasse (legna, materiale organico di varia origine) (Ravindra et al., 2008). Alcuni IPA sono inoltre considerati degli agenti cancerogeni e mutageni e per questo motivo il loro monitoraggio, sia nell'aria che nell'acqua, è di particolare interesse sanitario. Dal punto di vista chimico-fisico, gli IPA sono composti organici semi-volatili, spesso associati al particolato atmosferico fine (PM10) ed

ultra-fine (PM2.5), con il quale possono essere trasportati anche a grandi distanze dal luogo di origine.

Gli spettri ottenuti dalle analisi spettroscopiche hanno evidenziato delle bande relative alla presenza di idrocarburi alifatici a lunga catena, esteri di acidi e alcoli alifatici a lunga catena e, in misura minore, a composti aromatici. Gli spettri dei diversi campioni analizzati hanno evidenziato una similarità nella composizione chimica del materiale sia in prossimità, sia in lontananza dalle piste da sci.

Per quanto riguarda l'analisi elementare, sono state rilevati valori elevati di alcuni metalli di origine crostale quali Ca, Mg, Al, Fe, K, presenti in concentrazioni comprese tra lo 0.5 e il 4.6% rispetto al totale. Tra i metalli in tracce, i più abbondanti sono risultati essere Zn, Pb, Cu, Ni, Mo. Al fine di valutare l'origine di questi metalli, le concentrazioni sono state normalizzate utilizzando come riferimento le concentrazioni medie elementari della crosta terrestre superficiale. Per alcuni metalli tra cui Cu, Zn, Cd, Sb, Pb e Bi si sono registrati valori dei fattori di arricchimento rispetto alla media crostale superiori a 10, suggerendo che per questi elementi vi sia un considerevole contributo non crostale, probabilmente dovuto a sorgenti antropiche. Tutti questi metalli pesanti sono infatti presenti nelle polveri provenienti dalle combustioni urbane ed industriali e caratterizzano l'aerosol presente in aree fortemente antropizzate.

RISULTATI DELL'ANALISI CHIMICA SUI CAMPIONI DI NEVE

Nei campioni di neve superficiale prelevati a Gaby, Pian dell'Alpe, Monte Sises Sestriere e Mont Gimond de Mongenevre era ben visibile la presenza di materiale solido più o meno grossolano, di color scuro. Le quantità di materiale contenute nei campioni nevosi sono risultate estremamente elevate, con concentrazioni comprese tra 0.76 (Pian dell'Alpe) e 2.6 g/kg. La speciazione dei composti organici contenuti in questi campioni di

particolato dimostra, similmente ai campioni di materiale colloso, concentrazioni molto elevate di idrocarburi lineari e di idrocarburi policiclici aromatici.

Nella figura 5 sono riportati i valori medi e i range di alcuni parametri chimici tra cui pH, conducibilità elettrica e concentrazioni di ioni principali. Mentre i valori di pH non variano in maniera sensibile tra strati superficiali ed interni, la conducibilità elettrica di quest'ultimi è circa doppia. Le concentrazioni di NO_3^- , SO_4^{2-} non variano significativamente mentre per Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} e NH_4^+ , Mg^{2+} , K^+ e DOC (carbonio organico disciolto) sono maggiori negli strati superficiali rispettivamente di circa un fattore 2 e di una fattore 5-7. In particolare, la concentrazione media di DOC negli strati superficiali è di 4650 ng/g (valore massimo 13800 ng/g) contro i 630 ng/g degli strati interni. La concentrazione media di DOC in campioni di neve urbana prelevati a Torino nel corso dell'inverno 2008 è stata 1355 ng/g mentre in campioni di neve stagionale prelevati sul sito remoto di Monti Alti di Ornella (Arabba, Dolomiti, BL) di soli 270 ng/g.

Da questo confronto appare evidente che le concentrazioni di carbonio organico presenti negli strati nevosi superficiali dei siti interessati dal fenomeno della "neve collosa" siano assolutamente anomale e probabilmente dovute a consistenti ap-

porti di materiale di origine antropica. Interessante è anche il comportamento delle concentrazioni dello ione fosfato che risultano particolarmente elevate nei campioni superficiali (valore medio 450 ng/g) mentre sono spesso inferiori al limite di rivelabilità negli altri.

Valori superiori ai 20-50 ng/g sono assolutamente anomali per campioni di neve alpina.

Per quanto riguarda i metalli in tracce, anche per questi si nota un aumento generalizzato delle concentrazioni negli strati superficiali (Fig. 6), sia per gli elementi di origine tipicamente crostale (Fe, Al, Ba, Ti, Sc, Li) che per quelli che solitamente risentono di un considerevole arricchimento antropogenico (Zn, Pb, Bi, Cu, Cd, As, Mo, V). Il confronto tra campioni di neve prelevati in aree alpine remote e nei campioni di neve superficiale interessata dal fenomeno della "neve collosa" indica come in questi ultimi le concentrazioni di metalli pesanti siano maggiori di 1-2 ordini di grandezza. Livelli così elevati di contaminanti, sia organici che inorganici, possono rappresentare un rischio in quanto, nel periodo primaverile, ingenti quantità di inquinanti vengono rilasciate in un tempo relativamente breve, entrando nel ciclo idrologico ed impattando fortemente sia la qualità della risorsa idrica che il terreno circostante.

Fig. 5

MEDIE ED INTERVALLI DI VALORI PER pH, CONDUCIBILITÀ ELETTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$), DOC (CARBONIO ORGANICO DISCIOLTO) E CONCENTRAZIONI DI IONI PRINCIPALI (ng/g) RELATIVE AGLI STRATI SUPERFICIALI ED INTERNI DEL MANTO NEVOSO I.F. indica il fattore di aumento tra strati interni e strati superficiali							
	STRATI INTERNI (n = 17)			STRATI SUPERFICIALI (n = 7)			I.F.
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	
pH	6.07	5.68	6.51	5.99	5.74	6.09	1
Conducibilità	3.3	2.0	6.1	6.6	2.8	13.7	2
Cl^-	143	36	335	321	29	1667	2
NO_3^-	182	46	479	143	11	493	1
PO_4^{3-}	1.8	<1	28	452	<1	1338	175
SO_4^{2-}	69	12	153	95	60	217	1
Na^+	124	30	285	250	20	1190	2
NH_4^+	80	12	317	410	32	1370	5
K^+	98	14	228	501	14	1814	5
Mg^{2+}	21	4	81	120	18	394	6
Ca^{2+}	150	11	766	305	117	828	2
DOC	634	274	1215	4648	255	13817	7



Fig. 6

MEDIE ED INTERVALLI DI VALORI (pg/g) PER I METALLI IN TRACCE RELATIVE AGLI STRATI SUPERFICIALI ED INTERNI DEL MANTO NEVOSO I.F. indica il fattore di aumento tra strati interni e strati superficiali							
	STRATI INTERNI (n = 17)			STRATI SUPERFICIALI (n = 7)			I.F.
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	
Li	16	4.4	34	340	11	961	21
Be	4.4	3.1	6.9	34	4.7	97	8
Al	12029	937	44067	298864	6278	831573	25
Sc	31	28	41	66	30	120	2
Ti	505	157	2070	5545	369	15660	11
V	44	13	133	781	30	2165	18
Cr	146	84	633	833	89	2361	6
Mn	2049	308	18091	17497	847	66029	9
Fe	17618	12848	33937	166368	16323	490821	9
Co	22	4.5	132	278	13	1060	13
Ni	210	79	781	1099	59	3542	5
Cu	995	331	2097	4558	175	12677	5
Zn	3881	976	10231	11899	3000	37772	3
Ga	27	10	77	266	11	809	10
As	14	6.1	29	174	9.2	517	13
Rb	88	16	305	794	26	1742	9
Sr	461	67	2615	2234	210	9224	5
Zr	2.8	0.6	8.3	40	2.9	140	14
Mo	13	4.7	46	144	6.7	334	11
Ag	2.1	1.1	5.9	6	1.2	14	3
Cd	10	5.3	20	33	4.9	102	3
Sn	44	30	97	68	33	116	2
Sb	18	5.8	46	158	7.5	438	9
Ba	876	315	3013	7338	282	24086	8
Ce	42	3.7	157	1757	33	5037	42
Pb	223	67	650	5259	112	16300	24
Bi	4.0	0.45	14	63	1.4	176	16
U	3.5	0.31	30	48	1.5	130	14

EVOLUZIONE METEOROLOGICA ANTECEDENTE ALLE SEGNALAZIONI

L'analisi dell'andamento meteorologico nelle giornate precedenti le prime segnalazioni potrebbe contribuire a comprendere l'origine delle masse d'aria che hanno originato tale fenomeno.

A partire da domenica 26 aprile, l'Europa centro-occidentale è risultata interessata da vaste ondate depressionarie alimentate da saccature nord atlantiche incapaci di forzare, in un primo momento, il blocco anticiclonico sulla Russia.

Ne deriva l'attivazione di intense correnti sciroccali responsabili di piogge diffuse sul Nord Italia. L'aria fresca di origine nord atlantica presente a medie altitudini ha favorito precipitazioni nevose, anche sottoforma di rovesci, in media montagna. Le abbondanti precipitazioni sono state accompagnate da venti da est e successivamente da sud-ovest, di intensità da moderata a forte. Da mercoledì 29 l'anticiclone delle Azzorre è tornato ad espandersi dalle coste atlantiche verso l'Europa centrale, favorendo il graduale movimento verso est del minimo depressionario e riportando condizioni di tempo stabile e soleggiato. Tuttavia, proprio la lentezza con cui il minimo si è allontanato ha mantenuto ancora basse le temperature fino ai primi giorni di maggio. Dal 5 maggio una vasta area di alta pressione di origine nord-africana estesa sul bacino del Mar Mediterraneo ha garantito giornate soleggiate con temperature in progressivo rialzo. Tra l'8 ed il 10 maggio l'Italia nord-occidentale si è trovata al confine tra l'alta pressione di origine afro-mediterranea ed una saccatura di origine atlantica presente a ridosso dell'Europa occidentale che ha provocato infiltrazioni umide.

La prevalenza di correnti in quota mediamente sudoccidentali ha determinato un'attività cumuliforme pomeridiana con fenomeni temporaleschi relegati perlopiù ai rilievi montuosi. A partire da lunedì 11 maggio, si è assistito ad un incremento di infiltrazioni umide sudoccidentali

pilotate da una depressione sull'ovest europeo: i fenomeni temporaleschi sulle Alpi occidentali tra le ore pomeridiane e serali sono divenuti più intensi. Le temperature hanno subito un sensibile rialzo. Giovedì 14 maggio si è assistito al ritorno di aria fredda in quota che ha determinato il culmine delle precipitazioni sui settori occidentali. Da domenica 17 maggio la pressione ha subito un brusco aumento riportando condizioni di tempo soleggiato con temperature in netto aumento a causa dell'aria calda proveniente dal continente africano. L'aumento dei moti convettivi nel periodo primaverile può aver comportato un rimescolamento delle masse d'aria, con il trasporto di particolato anche dalle aree di bassa quota, come riportato ad esempio per il Tirolo da Kuhn et al. (1998). Nella stessa ricerca gli autori hanno inoltre evidenziato come avvezioni d'aria da SE e SW possano essere associate al trasporto a media distanza di specie chimiche dalle aree industriali del Nord Italia, e a volte anche a lunga distanza, dal deserto del Sahara.

CONCLUSIONI PRELIMINARI

Nel corso del mese di maggio 2009, numerosi sci alpinisti, a termine delle loro escursioni, hanno segnalato la presenza, sotto le solette degli sci, di un materiale nerastro, appiccicoso, che rendeva difficoltosa la discesa. Otto campioni di materiale colloso e 24 di neve sono stati sottoposti ad analisi chimica e pollinica, al fine sia di studiarne la natura che di valutarne l'origine. Il materiale colloso è composto per il 35-65% da carbonio organico ed elementare (nerofumo) e presenta elevate concentrazioni di idrocarburi pesanti ed idrocarburi policiclici aromatici. Diversi metalli pesanti, tra cui Cu, Zn, Cd, Sb, Pb e Bi risultano arricchiti rispetto al valore crostale naturale e pertanto è ipotizzabile un considerevole apporto di materiale di natura antropica. Le caratteristiche chimiche di questo materiale sono simili a quelle della fuliggine, ed è pertanto correlabile ad un residuo di combustione. La neve superficiale

campionata presenta concentrazioni di polveri, carbonio organico disciolto, ioni maggiori e metalli pesanti molto elevate, molto più alte rispetto agli strati interni e ai dati presenti in letteratura relativi a simili campioni di neve alpina. L'analisi chimica del particolato presenta elevate concentrazioni sia di idrocarburi pesanti che di idrocarburi policiclici aromatici, ed è pertanto compatibile con il materiale colloso recuperato dalle solette degli sci. Dai dati in nostro possesso, sebbene preliminari, è possibile affermare che il fenomeno della "neve colloso" sia riconducibile alla deposizione su larga scala di residui di combustione, simili per composizione chimica a fuliggine o nerofumo. L'origine di questo materiale, così come i relativi processi di trasporto e di deposizione, rimangono tuttora sconosciuti e sono oggetto di indagine.

RINGRAZIAMENTI

Un sincero ringraziamento a tutti coloro che hanno segnalato il fenomeno e contribuito alla raccolta del materiale solido, anche grazie all'appello lanciato dalla trasmissione televisiva "Che tempo che fa".

Bibliografia

- Barbante C., Gabrielli P., Cozzi G., Cescon P. (1998) La neve come indicatore della qualità dell'aria nelle Alpi. *Neve e Valanghe*, 34, 16-21.
- Della Vedova P., Cheney T., Filippa G., Freppaz M. (2006) Pamir Chinese: osservazioni ed analisi della neve. *Neve e Valanghe*, 59, 42-49.
- Filippa G., Freppaz M., Williams M.W., Zanini E. (2009) Major element chemistry of inner alpine snowpacks, Aosta Valley (NW Italian Alps). *International Snow Science Workshop, Davos 2009, Proceedings*: 165-169.
- Gabrieli J., Decet F., Luchetta A., Pastore, P., Barbante C. (2010) Occurrence of PAH in the seasonal snowpack of the Eastern Italian Alps. *Environmental Pollution*, submitted.
- Gabrielli P., Cozzi G., Torcini S., Cescon P., Barbante C. (2008). Trace elements in winter snow of the Dolomites (Italy): A statistical study of natural and anthropogenic contributions. *Chemosphere* 72, 1504-1509.
- Kuhn M., Hashofer J., Nickus U., Schellander H. (1998) Seasonal development of ion concentration in a high alpine snowpack. *Atmospheric Environment*, 32(23), 4041-4051.
- Ortu E., Beaulieu J. L. de, Caramiello R., Siniscalco C., 2008 – Late glacial and Holocene variation in the vegetation zonation in the Ellero Valley (Maritime Alps, Italy). *Ecoscience*, 15(2), 200-212.
- Pecci M., D'Aquila P., Valt M., Kappenberger G., Freppaz M., Della Vedova P., Filippa G. (2006) Il profilo chimico-ambientale speditivo del manto nevoso. *Neve e Valanghe*, 58, 90-105.
- 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. *Neve e Valanghe*, 66, 32-41.
- Ravindra K., Sokhi R., Van Grieken R. (2008) Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation. *Atmospheric Environment*, 42, 2895-2931.



CONTRIBUTO ALLO STUDIO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLE ALPI OCCIDENTALI: IL CASO DELLA VALLE

**Simona Fratianni,
Silvia Brunatti,
Fiorella Acquaotta
e con la collaborazione
di Marco Cordola**

Dipartimento di Scienze della Terra -
Università degli Studi di Torino,
via Valperga Caluso 35 - 10125 Torino
simona.fratianni@unito.it

La scelta sulla Valle Maira è dovuta alla disponibilità di dati climatici giornalieri a partire dal 1923, mai digitalizzati, per due stazioni meteorologiche: Acceglio Saretto (1530 m) e Combamala (915 m). Si sono considerati i dati di spessore del manto nevoso, di altezza della neve fresca, di precipitazioni e temperature registrate dall'ENEL disponibili negli archivi dell'ex Ufficio Idrografico del Po di Torino, presso ARPA Piemonte.

L'analisi di serie storiche condotte nel periodo da novembre a maggio, ha fornito le tendenze principali e, per comprendere meglio l'entità del cambiamento, si sono calcolati gli indici climatici su tutto il periodo considerato e sul periodo di riferimento trentennale dell'OMM (Organizzazione Meteorologica Mondiale, 1971-2000). Inoltre sarà possibile confrontare l'intero periodo analizzato utilizzando anche altre serie meteorologiche rilevate in valle.



MAIRA

INTRODUZIONE

I fenomeni meteorologici riguardano la vita di tutti i giorni e determinano le condizioni climatiche delle zone in cui abitiamo (Biancotti, 2003). Il clima evolve secondo modalità e ritmi a noi ancora sconosciuti e capire le condizioni climatiche a mesoscala, ossia a scala regionale, è importante per comprendere le connessioni che si instaurano sia con l'uomo che con l'ambiente che lo circonda. E' con questa fondamentale finalità che si è affrontato lo studio di climatologia condotto sulle serie meteorologiche di temperatura e precipitazioni liquide e solide in Valle Maira, presso le località di Acceglio Saretto (1530 m slm) e di Combamala (915 m slm). La ricerca condotta

è molto importante perché in Valle Maira non si sono mai svolti lavori sistematici di climatologia, ad eccezione di qualche articolo relativo allo studio dell'andamento nevoso dell'area (Biancotti et al., 1998) e comunque mai nell'ottica del cambiamento climatico in atto. Inoltre, i dati utilizzati, dal 1924 al 1983, erano presenti solo su supporto cartaceo e sono stati per la prima volta digitalizzati a livello giornaliero. Occorre quindi fin da subito rimarcare l'estremo interesse dei dati raccolti e digitalizzati su cui è stato possibile eseguire un'accurata ricerca storica al fine di ottenere i metadati, ossia le preziose informazioni riguardanti eventuali cambiamenti di posizione e/o strumentazione che accompagnano e segnano la vita di

una stazione meteorologica. Tale procedimento è essenziale per discriminare ogni cambiamento di natura non climatica avvenuto presso o nella stazione meteorologica analizzata e per valutare quindi in modo corretto l'andamento delle variabili in gioco, come espressamente suggerito dai working groups dei progetti internazionali MEDARE (The Mediterranean climate Data REscue) e COST-ES0601 (Homogenisation and quality control in climatological databases) che si occupano di affrontare e risolvere questi problemi.

L'AREA DI STUDIO

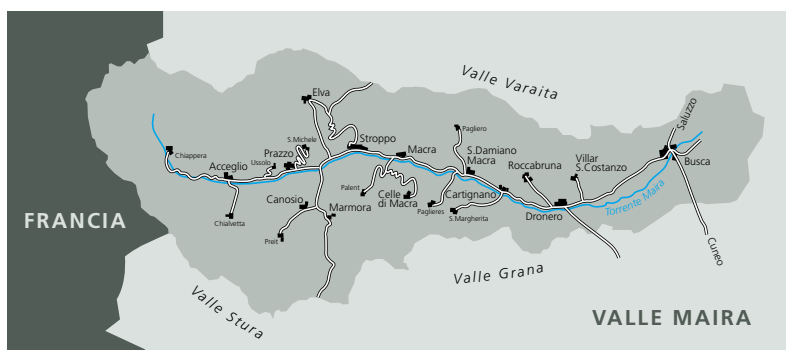
La Valle Maira si trova nella parte sud-occidentale del Piemonte (Fig. 1), nelle Alpi Cozie meridionali e confina a Nord

Fig. 1



A destra dall'alto - fig. 2, fig. 4 e fig. 5

Sotto, fig. 3 - Stazione termopluviometrica e nivometrica di Acceglio-Saretto.



LOCALIZZAZIONE E CARATTERISTICHE DELLE STAZIONI CONSIDERATE IN VALLE MAIRA

STAZIONI	COMUNE	QUOTA (m)	LATITUDINE N	LONGITUDINE E	PERIODO	PARAMETRI
Acceglio Saretto	Acceglio	1530	44°26'40"	6°57'31"	1923-2009	Hs Hn TM Tm P
Combamala	S. Damiano Macra	915	44°28'50"	7°13'50"	1930-1997	Hs Hn TM Tm P

Hs = Altezza della neve al suolo, Hn = Altezza della neve fresca, TM = Temperatura massima, Tm = Temperatura minima, P = Precipitazioni

PRINCIPALI PARAMETRI CLIMATICI CALCOLATI PER LA STAZIONE DI ACCEGLIO DURANTE IL PERIODO 1930-2009 (AD ECCEZIONE DEI DATI DI PRECIPITAZIONE CHE TERMINANO NEL 2000) E PER LA STAZIONE DI COMBAMALA (915 m) DURANTE IL PERIODO 1930-1997

ACCEGLIO	Hn	Gn	En	EnM	Enm	TM	Tm	Gg	Gsd	P	Gp
Novembre	56	4	13	39	1	7,5	-2,3	20	1	70	7
Dicembre	79	6	39	75	15	3,7	-5,7	28	6	67	7
Gennaio	69	5	57	90	37	3,6	-6,6	28	7	61	7
Febbraio	74	6	65	101	39	5,5	-6	26	3	51	6
Marzo	68	5	59	96	32	8,3	-3,2	23	1	73	8
Aprile	38	3	25	60	6	10,4	0	12	0	103	10
Totale	384	29	43,0	76,8	21,7	6,5	-4,0	137	18	425	45
COMBAMALA	Hn	Gn	En	EnM	Enm	TM	Tm	Gg	Gsd	P	Gp
Novembre	17	2	3	15	0	7,3	-0,7	15	0	78	6
Dicembre	37	3	12	33	3	3,8	-3,8	26	1	51	5
Gennaio	53	4	28	52	14	2,9	-5,1	28	6	41	5
Febbraio	40	4	32	52	18	4,4	-4,4	24	4	40	5
Marzo	28	3	20	43	4	7,6	-1,4	18	0	70	7
Aprile	7	1	1	9	0	11,3	1,9	6	0	103	9
Totale	182	17	16,0	34,0	6,5	6,2	-2,3	117	11	383	37

Hn = Altezza della neve fresca (cm), Gn = Giorni nevosi, En = Altezza della neve al suolo (cm), EnM = Altezza massima della neve al suolo (cm), Enm = Altezza minima della neve al suolo (cm), TM = Temperatura massima (°C), Tm = Temperatura minima (°C), Gg = Giorni di gelo, Gsd = Giorni senza disgelo, P = Precipitazioni (mm), Gp = Giorni piovosi. Totale = media o somma.



con la valle Varaita, che le corre parallela; a Sud confina con le valli Grana e Stura di Demonte; a Ovest confina con la Francia e a Est si immette nella Pianura Padana. È lunga circa 45 km ed è tagliata a metà dal torrente che le dà il nome: il Maira (Fig. 2). Presenta un'orientazione costante lungo la direttrice Est-Ovest ed è delimitata da due massicce catene montuose che si originano a partire dal compatto rilievo del Brec de Chambeyron formando dei definiti spartiacque con le valli dell'Ubayette (in territorio francese) a Ovest, della Stura di Demonte e Grana a Sud e Varaita a Nord.

STAZIONI METEOROLOGICHE ANALIZZATE E DATI DISPONIBILI

Il comune di Acceglio, posto nella parte terminale della Valle, ha una vastissima estensione territoriale, composta da grandi pascoli circondati da monti che oltrepassano i 3000 m. La stazione meteorologica si trova in frazione Saretto, ad una quota di 1530 m s.l.m., in prossimità della omonima diga, alle coordinate geografiche 44°26'40" di latitudine Nord e 6°57'31" di longitudine Est (Fig. 3). Nel comune di San Damiano Macra, presso la località di Combamala, a 915 metri s.l.m. e alle coordinate geografiche 44°28'N e 7°13'E, si trova la seconda stazione analizzata (vedi tabella di Fig. 4).

Ai fini dello studio, si sono utilizzati i dati giornalieri di tali due stazioni meteorologiche a rilevamento manuale. Si tratta di dati presenti soltanto su supporto cartaceo, che sono stati digitalizzati a partire dal 1923 per Acceglio e dal 1930 per Combamala. I dati in questione provengono in parte dagli Annali conservati presso gli archivi di ARPA Piemonte (periodi 1923/1958 e 1971/2009) e in parte (periodo 1950/1970) dai registri conservati presso la sede dell'ex ENEL della diga di San Damiano Macra, in provincia di Cuneo. Le serie risultano complete, ad eccezione di una lacuna presente nella stazione di Combamala riferita alle stagioni 1963-64 e 1964-65 e all'ultimo periodo, a

causa della cessata attività avvenuta alla fine del 1997. Si sono considerati i dati giornalieri di spessore del manto nevoso, di altezza di neve fresca, di precipitazioni e di temperatura massima e minima.

METODI DI ANALISI

La prima fase del lavoro ha riguardato il reperimento e la digitalizzazione dei dati cartacei a cui ha fatto seguito la ricerca storica e un accurato controllo di qualità, eseguito con il software RClimDex (Zhang et Yang, 2004).

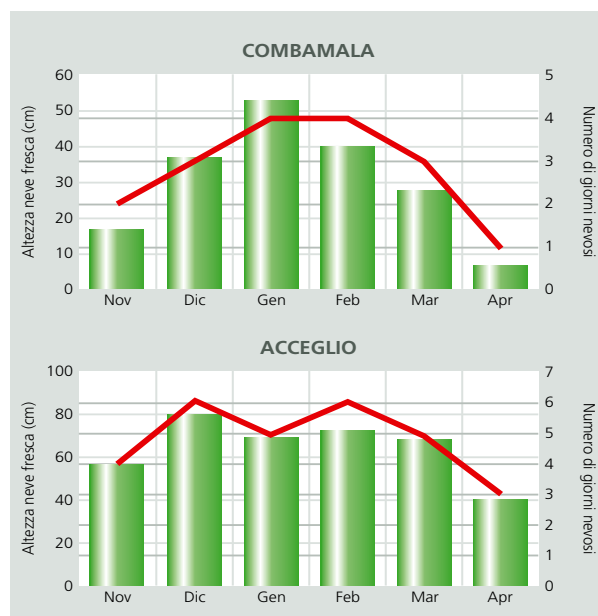
Per ogni mese, da novembre ad aprile, sono stati aggregati i parametri nivometrici giornalieri, come l'altezza della neve al suolo e l'altezza di neve fresca, i valori di temperatura massima e minima e le precipitazioni, al fine di ottenere i seguenti parametri mensili:

- $H_n = \sum H_{ng}$ = altezza mensile della neve fresca cumulata in cm;
- G_n = numero di giorni nevosi ($H_{ng} \geq 1$ cm);
- E_n , E_{nM} , E_{nm} = altezza media, massima e minima mensile della neve al suolo;
- T_M , T_m = temperatura massima e minima mensile;
- G_g = numero di giorni di gelo ($T_{mg} \leq 0^\circ\text{C}$);
- G_{sd} = numero di giorni senza disgelo ($T_{mg} \leq 0^\circ\text{C}$);
- P = precipitazione cumulata mensile in mm;
- G_p = numero di giorni piovosi ($P_g \geq 1$ mm).

Si sono calcolati i valori medi su tutto il periodo considerato e sull'ultimo periodo trentennale (1971-2000) come definito dalla WMO (2007) (tabelle di Figg. 5 e 7). L'analisi condotta sulle serie storiche ha fornito le tendenze climatiche principali grazie al software Anclim (Stèpànek, 2005) e il test non parametrico di Mann-Kendall (Sneyers, 1990; Wilks, 2006) è stato utilizzato per comprendere il significato statistico dell'andamento.

RISULTATI

Occorre fin da subito sottolineare che non è possibile confrontare direttamente i risultati provenienti dall'analisi delle due stazioni di misura, a causa del diverso periodo disponibile. Tuttavia, se si considera l'insieme dei valori di entrambi i siti, è possibile osservare una loro distribuzione



ACCEGLIO	Hn	Gn	En	EnM	Enm	TM	Tm	Gg	Gsd	P	Gp
Novembre	44	4	10	29	1	8,7	-1,8	19	0	70	7
Dicembre	67	6	30	66	10	6,2	-4,5	27	1	67	7
Gennaio	84	6	56	93	31	5,5	-5,7	28	3	61	7
Febbraio	70	6	67	99	42	6,8	-5,5	26	2	51	7
Marzo	61	6	61	97	35	9,3	-2,8	22	1	73	8
Aprile	49	4	30	69	9	11,1	-0,4	14	0	103	10
Totale	375	32	42,3	75,5	21,3	7,9	-3,5	136	7	425	46

Hn = Altezza della neve fresca (cm), Gn = Giorni nevosi, En = Altezza della neve al suolo (cm), EnM = Altezza massima della neve al suolo (cm), Enm = Altezza minima della neve al suolo (cm), TM = Temperatura massima (°C), Tm = Temperatura minima (°C), Gg = Giorni di gelo, Gsd = Giorni senza disgelo, P = Precipitazioni (mm), Gp = Giorni piovosi. Totale = media o somma.

Neve al suolo	a	Err a	b	Err b	p	Media	Dev st
Novembre	-0,14	0,07	19	3,2	0,04	12,9	15,6
Dicembre	-0,25	0,13	49,9	6,8	0,06	38,8	31,6
Gennaio	-0,19	0,16	66	8	0,23	57,5	37,6
Febbraio	-0,31	0,18	78,3	9,2	0,09	64,5	42,1
Marzo	-0,47	0,18	80,1	9,3	0,01	59,4	44,4
Aprile	-0,19	0,12	33	6	0,14	24,7	29,5

in funzione della quota e dei fattori geografici. Infatti, ad Acceglio Saretto i valori di temperatura minima risultano meno elevati rispetto a Combamala, con conseguente aumento del numero di giorni di gelo e senza disgelo, mentre i valori di temperatura massima risultano maggiormente elevati in alcuni mesi (novembre, gennaio, febbraio, marzo), a causa della sua esposizione orientata verso Sud. Inoltre Combamala presenta circa la metà del quantitativo di neve fresca cumulata e di giorni nevosi rispetto ad Acceglio, mentre risultano simili i quantitativi di precipitazioni liquide e il numero di giorni

Dall'alto - fig. 6, fig. 7 e fig. 8

piovosi (Fig. 5). Per entrambe le stazioni, il regime nivometrico é unimodale con il massimo concentrato nel mese di gennaio per la stazione di Combamala e di dicembre per Acceglio (Fig. 6). Inoltre, quest'ultima stazione, presenta dei valori di neve fresca pressoché equivalenti in dicembre, gennaio, febbraio e marzo, mostrando il tipico andamento del regime nivometrico equilibrato (Besancenot, 1990). La quantità media di neve al suolo risulta massima in febbraio per entrambe le stazioni ed é pari a 65 cm per Acceglio e di 32 cm per Combamala. Il mese di febbraio é quello in cui la copertura nevosa é maggiormente presente anche in altri settori delle alpi piemontesi, come il nord-occidentale (Fratianni e Motta, 2002). Durante il periodo 1971-2000 non si evidenziano notevoli variazioni dei risultati rispetto a tutto

il periodo analizzato (1923-2009) (Fig. 7). Tuttavia risulta evidente l'aumento dei valori di temperatura massima e minima durante l'ultimo periodo trentennale che si ripercuote maggiormente sulla curva della temperatura massima, facendo registrare una conseguente diminuzione del numero di giorni senza disgelo (che passano da 18 a 7). E' stata quindi condotta l'analisi statistica dello spessore del manto nevoso ad Acceglio Saretto, al fine di verificarne il trend mensile (tabella di Fig. 8) e stagionale (tabella di Fig. 10). Nel corso degli anni la quantità di neve al suolo é diminuita, soprattutto durante il mese di marzo e tale andamento negativo é anche messo in evidenza dalla retta di regressione (Fig. 9). Negli anni Trenta i valori medi risultano molto elevati, con un massimo durante la stagione invernale

1933-1934 in cui si registrano 129 cm di neve al suolo. Anche durante la stagione 1959-1960, i valori risultano molto elevati con 117 cm presenti al suolo, mentre negli anni Settanta é presente una discreta variabilità in cui i valori oscillano tra 50 e 113 cm. Dagli anni 1980-81 si può osservare invece una netta diminuzione del manto nevoso rispetto agli anni precedenti. Dalla ricerca storica é però emerso il motivo di natura non climatica di questa repentina variazione: la stazione di rilevamento ha subito uno spostamento e dalla posizione di origine, vicino alla diga nel versante Nord, é stata collocata a Sud, su una piazzola di cemento. Si é individuata quindi tale discontinuità nella serie, utile per interpretare correttamente gli andamenti delle principali variabili osservate. Al fine di ottenere le tendenze principali, si é analizzato l'andamento stagionale di tutte le variabili climatiche disponibili. Per Acceglio Saretto, si é osservata una diminuzione delle precipitazioni, dello spessore del manto nevoso, dell'altezza di neve fresca e del numero di giorni nevosi ed é inoltre possibile sottolineare una notevole variabilità interstagionale (Fig. 11). Si é inoltre verificato un aumento significativo delle temperature massime e minime: infatti, per le serie delle temperature massime si é registrato un aumento stagionale di 0,07 °C e per le temperature minime di 0,03 °C (Fig. 12). Anche a Combamala i valori di temperatura massima e minima risultano significativi e registrano un aumento sostanziale nel tempo.

Tuttavia, secondo il test non-parametrico di Mann-Kendall, non tutti i risultati ottenuti sono significativi (Fig. 10).

CONCLUSIONI

Le stazioni posizionate a quota superiore ai 900 m della Valle Maira sono state scelte in quanto prive dei fattori antropogenici, quali isole di calore ed effetti legati all'influenza degli inquinanti dell'attività urbana ed industriale, e quindi maggiormente rappresentative ed utili a meglio identificare la tendenza climatica in atto su questa porzione ancora poco indagata delle Alpi piemontesi. Inoltre, i dati

Fig. 9

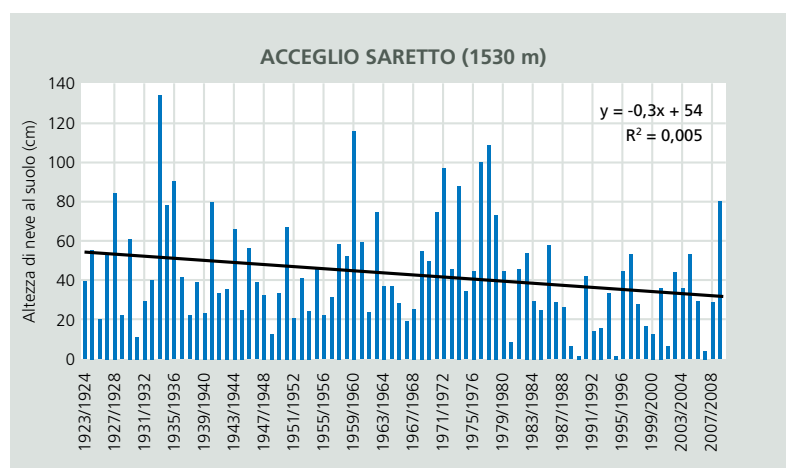


Fig. 10

PRINCIPALI TRENDS CALCOLATI DA NOVEMBRE AD APRILE, ERRORI RELATIVI, MEDIA E DEVIAZIONE STANDARD PER I DIVERSI PARAMETRI CLIMATICI DI ACCEGLIO SARETTO (SOPRA) E COMBAMALA (SOTTO)								
ACCEGLIO	Periodo	a	Err a	b	Err b	Sign. 95%	Media	Dev st
P (mm)	1923-2000	-1,7	1,1	567,5	47,2	0,05	504,2	204,6
Gp	1923-2000	0,14	0,06	33	3	0,07	38,7	12,7
TM (°C)	1930-2009	0,07	0,01	3,5	0,3	0,01	6,5	2,1
Tm (°C)	1930-2009	0,03	0,01	-5,3	0,3	0,01	-4	1,3
Hn (cm)	1930-2009	-1,2	0,7	425	30	0,15	382	134
En (cm)	1930-2009	-0,3	0,1	55	6	0,03	43	27
Gn	1930-2009	-0,04	0,04	32	2	0,31	30	9
PA	1930-2009	0,01	0,05	148	2	0,6	149	11
PU	1930-2009	-0,05	0,04	32	2	0,3	30	9
COMBAMALA	Periodo	a	Err a	b	Err b	Sign. 95%	Media	Dev st
P (mm)	1930-1997	-0,24	0,94	385	36	0,84	376,5	141,9
Gp	1930-1997	0,02	0,06	36	2	0,98	36,4	9,4
TM (°C)	1930-1997	0,07	0,01	3,8	0,3	0,01	6,2	1,8
Tm (°C)	1930-1997	0,03	0,01	-3,3	0,3	0,01	-2,3	1,2
Hn (cm)	1930-1997	-0,18	0,53	186	21	0,71	180	83,4
En (cm)	1930-1997	-0,02	0,07	17	3	0,51	16,2	11,8
Gn	1930-1997	0,01	0,04	16	2	0,99	17	6,4
PA	1930-1997	-0,03	0,07	150	3	0,94	149,0	11,0
PU	1930-1997	0,04	0,06	29	2	0,60	30,0	9

P = Precipitazioni, Gp = Giorni piovosi, TM = Temperatura massima, Tm = Temperatura minima, Hn = Altezza della neve al suolo, En = Spessore della neve al suolo, Gn = Giorni nevosi, PA = Periodo arido, PU = Periodo umido.

meteorologici di cui si ha usufruito per lo studio sono inediti, in quanto per la prima volta recuperati e digitalizzati a livello giornaliero. L'andamento stagionale di Acceglio Saretto e Combamala individua una diminuzione delle precipitazioni, dello spessore del manto nevoso e dell'altezza di neve fresca, anche se occorre sottolineare la presenza di una notevole variabilità interstagionale.

Si è invece verificato un aumento nel tempo delle temperature massime e minime e del numero di periodi aridi, più evidente nell'ultimo periodo analizzato (1971-2000), che ha portato ad una forte riduzione del numero di giorni senza disgelo, in linea con quanto rilevato dalla letteratura nazionale ed internazionale (Acquaotta et al., 2009; Moberg et Jones, 2005). L'altezza di neve fresca presenta un lieve incremento solo per la stazione di Combamala, anche se i periodi presi in esame per i due siti risultano diversi. I risultati ottenuti non sempre sono statisticamente significativi, rendendo la corretta interpretazione degli stessi molto fragile. A tal fine occorrerebbe, e lo si sta già attuando, estendere l'area di indagine ad altre valli piemontesi dotate di lunghe serie temporali, lavoro essenziale per comprendere con un adeguato grado di accuratezza non solo le tendenze in atto in quanto la raccolta, la gestione e l'elaborazione dei dati nivometeorologici rientrano nelle azioni necessarie per formulare previsioni relative alla stabilità del manto nevoso ed al grado di pericolo valanghe. Tale approfondimento di conoscenze climatiche in Piemonte rientra in un progetto più ampio di ricostruzione ed omogeneizzazione delle serie, possibile solo con il recupero e la digitalizzazione dei dati. A tal fine, gli Autori partecipano a un working group sull'omogeneizzazione e il controllo di qualità dei dati climatici, nell'ambito del progetto internazionale COST-ES0601 (Advances in homogenisation methods of climate series: an integrated approach) che si prefigge il compito di risolvere questi problemi e di adottare un metodo unico di ricostruzione ed omogeneizzazione delle serie.

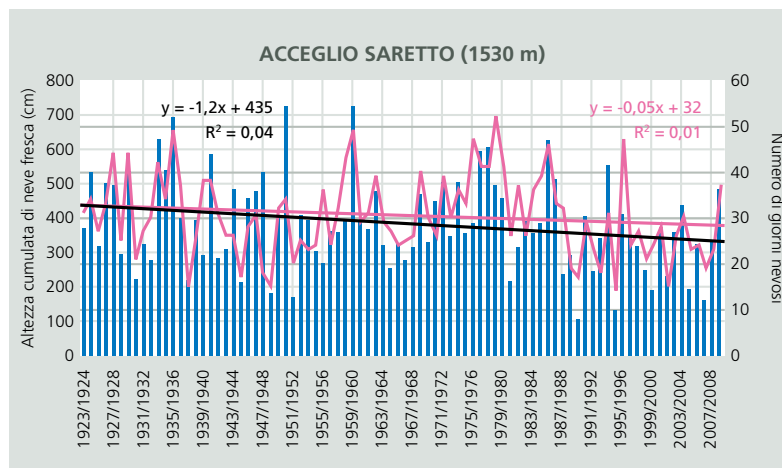


Fig. 11

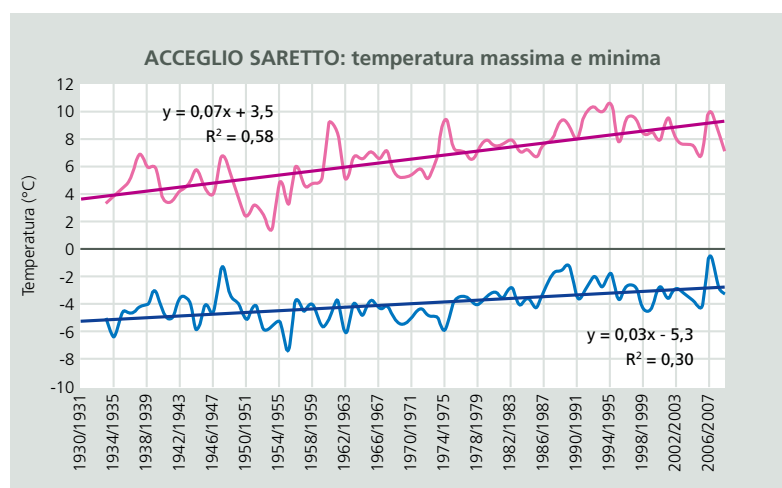


Fig. 12

Questa indagine risulta essenziale al fine di ottenere una base di dati universalmente riconosciuta dalla comunità scientifica internazionale su cui sarà possibile discutere in modo univoco ed interpretare in modo corretto gli scenari futuri.

RINGRAZIAMENTI

Al personale della diga di San Damiano Macra per aver fornito l'accesso ai dati climatici cartacei dei periodi risultati lacunosi dagli archivi di ARPA Piemonte e disponibili invece presso gli uffici dell'ex ENEL.

Bibliografia

- ACQUAOTTA F., FRATIANNI S., CASSARDO C., CREMONINI R., 2009: On the continuity and climatic variability of the meteorological stations in Torino, Asti, Vercelli and Oropa. *Meteorological and Atmospheric Physics*, 103, pp. 279-287.
- BIANCOTTI A., CAROTTA M., MOTTA L., TURRONI E., 1998: Le precipitazioni nevose sulle alpi piemontesi. *Studi climatologici in Piemonte*, 2, Regione Piemonte, 80 p.
- BIANCOTTI, A., 2003: Problema clima - *Avventura scientifica* pp. 22-30.
- FRATIANNI S., MOTTA L., 2002: Andamento climatico in alta Valle Susa negli anni 1990-99. *Studi climatologici in Piemonte*, 4, Regione Piemonte, 91 p.
- FRATIANNI S., BRUNATTI S., ACQUAOTTA F., TERZAGO S., 2009: Tendence de températures et précipitations neigeuses en Vallée Maira (Piémont Sud-Occidental, Italie). *Geographia Technica*, Numéro Spécial 2009, pp. 187-192.
- BESANCENOT, J.P., 1990: *Climat et tourisme*. Masson, Paris.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report*, p. 22.
- MOBERG A., JONES P., 2005: Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in Central and Western Europe, 1901-99. *International Journal of Climatology*, 25, pp. 1149-1171.
- SNEYERS, 1990 - On the statistical analysis of series of observations, Ginevra, *Nota Tecnica* N° 143, WMO, p. 192.
- ŠTĚPÁNEK P., 2005: *AnClim - software for time series analysis*. Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, MU, Brno. 1.47 MB.
- ZHANG X., YANG F., 2004: *RclimDex (1.0) User manual*, 23 p.
- WILKS D., 2006: Statistical methods in the atmospheric sciences. *Elsevier International Geophysics Series*, 91, p. 627.
- WMO, 2007: *Guide to climatological practices draft*. Third edition, 3 may 2007, 117 p.

IL PROGETTO SNOW KNOWN

Metodologie innovative per la stima dello SWE a scala di bacino

Paola Dellavedova

Fondazione Montagna sicura, Courmayeur (AO)

Barbara Frigo

Fondazione Montagna sicura, Courmayeur (AO)
DISTR, Politecnico di Torino

Alberto Godio, Roberto Rege

DITAG, Politecnico di Torino

**Ivan Bevilacqua, Stefano Ferraris,
Maurizio Previati ed**

Enrico Borgogno Mondino

DEIAFA, Università degli Studi di Torino

Edoardo Cremonese,

Umberto Morra di Cella

Arpa, Valle d'Aosta

Il progetto "SnowRKnown", finanziato dalla Fondazione CRT ha avuto lo scopo di investigare il volume idrico equivalente di un manto nevoso di copertura (Snow Water Equivalent - SWE) a scala di bacino con l'utilizzo di metodologie innovative.

La stima dello SWE, prodotto tra l'altezza del manto nevoso ed il rapporto fra le densità della neve e quella dell'acqua, è solitamente basata su misure puntuali effettuate con tecnica tradizionale (escavazione manuale di trincee in manto nevoso e successivo rilievo dei profili verticali di densità per ciascuno strato). Quest'ultima risulta però molto onerosa sia per le tempistiche di realizzazione che per il forte impiego di risorse umane, soprattutto se applicate ad ampi bacini alpini.

Il progetto ha quindi previsto la verifica dell'uso di metodologie elettromagnetiche, quali il georadar (*Ground Penetrating Radar*- GPR), la riflettometria nel dominio del tempo (*Time Domain Reflectometry*- TDR) e la riflettometria del contenuto idrico (*Water Content Reflectometry*- WCR) per una rapida misura indiretta delle proprietà fisiche della neve necessarie alla stima dello SWE.

Lo studio è stato condotto attraverso ripetute campagne di rilievi effettuate su una porzione di bacino del Breuil (Valtournenche - AO) durante l'aprile 2008 e l'aprile 2009.



INTRODUZIONE

In quest'ultimo trentennio è andata via via aumentando la sensibilità verso la risorsa idrica nivo- glaciale, soprattutto al fine di una sua più razionale utilizzazione per usi civili, potabili, irrigui, energetici, nonché a fini scientifici, per una miglior gestione delle problematiche relative ai modelli di deflusso idrico e al monitoraggio dei cambiamenti climatici (v. Birkeland 2001, Conway and Abrahamson 1984). Ciò ha portato alla necessità di stimare in modo più speditivo e per ampi bacini, il volume idrico equivalente, definito come il prodotto dell'altezza del manto nevoso ed il rapporto tra la densità della neve e dell'acqua. Il volume idrico equivalente viene solitamente stimato a seguito di misure puntuali con tecnica tradizionale le quali prevedono l'escavazione manuale di trincee nel manto nevoso e il rilievo dei profili verticali di densità. La tecnica tradizionale, quando applicata a scala di bacino, risulta onerosa a causa della variabilità della morfologia della copertura nevosa (ad es., esposizione, pendenza e quota), per le tempistiche di rilievo e il rilevante impiego di risorse umane.

Nella pagina precedente, fig. 3 - Rilievo GPR - aprile 2009. In primo piano l'antenna TX-RX; in secondo piano l'unità di controllo.

Fig. 1 - Confronto fotografico della situazione nivo-meteorologica durante le campagne d'indagine negli inverni 2007/08 e 2008/09. (a) Cervinia 5 Aprile 2008 (b) Cervinia 7 aprile 2009.



Per valutare il volume idrico equivalente (SWE) su un vasto territorio, occorre quindi utilizzare strumenti più veloci, affidabili ed accurati per la misura dei parametri nivologici della copertura, quali spessore, densità del manto e permittività apparente del "sistema neve". Sulla base di queste motivazioni, nel biennio di attività 2008/2009 del progetto "SNOWRKNOWN: applicazione di metodologie innovative per la stima della variabilità spaziale e temporale dello spessore e della densità del manto nevoso a scala di versante e di bacino" – Bando Alfieri – finanziato dalla Fondazione CRT, si è proceduto alla verifica dell'applicabilità ed affidabilità di metodologie d'indagine non convenzionali e speditive per la caratterizzazione dello *Snow Water Equivalent* su ampia scala.

Lo studio, di carattere prevalentemente sperimentale, si è svolto nel test site del Breuil (Valtournenche – Valle d'Aosta) grazie a rilievi congiunti di metodologie elettromagnetiche (GPR, TDR e WCR) e manuali per la caratterizzazione dello spessore e della densità della neve. Tali attività sono state realizzate in collaborazione tra la *Fondazione Montagna sicura – Montagne sûre*, il DITAG (Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie) del Politecnico di Torino, la sezione di Idraulica Agraria del DEIAFA (Dipartimento Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale) della Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Torino e l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta, grazie al supporto logistico della società d'impianti a fune Cervino S.p.a., il Comune di Valtournenche (AO) e la Società delle Guide del Cervino.

L'INDAGINE

Il bacino di indagine

Lo studio si è articolato a scala di bacino su una parte di comprensorio di Breuil – Cervinia (Valtournenche, Valle d'Aosta). La scelta di indagare pendii appartenenti a tale comprensorio (ovviamente in condizioni di neve naturale, esterna alle piste da sci) è stata dettata dalla loro complessa morfologia causata dall'attività glaciale

(tuttora in atto) che ha generato profonde depressioni alternate a rilievi localizzati, sia dai favorevoli fattori logistici e di accessibilità del sito grazie alla presenza degli impianti a fune.

L'area di indagine è stata individuata tra il Colle Superiore di Cime Bianche a quota 2.980 m s.l.m., Plateau Rosa a quota 3.450 m s.l.m. e il Lago Goillet a quota 2.516 m s.l.m.. Allo scopo di ottimizzare i rilievi, essa è stata suddivisa in tre differenti settori d'indagine per comuni caratteristiche morfologiche, esigenze di sicurezza del rilievo e accessibilità:

- **settore n. 1** *Colle superiore di Cime Bianche – Lago del Goillet* (da quota 3.000 m a 2.700 m s.l.m.) ;
- **settore n. 2** *Plateau Rosa – Laghi di Cime Bianche* (da quota 3.450 m a 3.150 m s.l.m.);
- **settore n. 3** *Plateau Rosa – Lago del Goillet* (da quota 3.470 m a 2.700 m s.l.m.).

Le campagne di rilievo

L'attività di indagine è articolata in 2 campagne di misure (aprile 2008 e 2009), ciascuna di tre giorni, secondo il seguente schema:

- **rilievo tradizionale** mediante misura puntuale dello spessore del manto nevoso con sonde graduate ed esecuzione di trincee per la stima della densità di campioni di neve al fine della verifica e delle informazioni ottenute dai metodi non convenzionali;
- **rilievo GPR** mediante esecuzione di una serie di sezioni radar per la stima dello spessore del manto nevoso;
- **rilievo TDR** con misure con sonde verticali e orizzontali per la stima dei parametri elettromagnetici e per la calibrazione della correlazione con la densità della neve;
- **rilievo WCR** con misure in continuo grazie a strumentazione fissa per il monitoraggio dell'evoluzione temporale del contenuto idrico del manto nevoso e con sistemi portatili per la realizzazione di misure periodiche variamente distribuite all'interno dell'area di indagine.

L'obiettivo del primo anno ha consen-

tito di testare *in situ* la strumentazione verificandone la propensione all'impiego in condizioni tecniche e logistiche complesse. La verifica della bontà dei dati del rilievo dell'aprile 2008 ha quindi portato alla massimizzazione del numero di misure *in situ* durante l'aprile 2009 consentendo la raccolta di numero di dati adeguato per irrobustire le correlazioni ricavate dall'analisi dei dati raccolti nel 2008 e verificare le possibili correlazioni di altezza neve e densità con gli aspetti morfologici quali quota, esposizione e morfologia.

Le condizioni nivo-meteorologiche

Il bacino di indagine è solitamente caratterizzato da una copertura nevosa eterogenea indotta da uno spiccato metamorfismo, con elevata stratificazione in zone di accumulo e croste superficiali, a causa dell'elevata quota (tra i 2.500 ed i 3.400 m s.l.m.) e delle critiche condizioni meteorologiche, caratterizzate da venti intensi, forte insolazione e temperature molto rigide. Nel periodo 1990-2005 (dati stazione meteorologica automatica "Lago Goillet" - 2.526 m s.l.m.), lo spessore medio del manto nevoso ha registrato potenze variabili tra i pochi centimetri tipici dell'inizio di ottobre, fino a valori massimi di circa 170-180 cm in marzo. Il mese di aprile ha sempre evidenziato invece una condizione stazionaria intorno ai 150 cm (da qui la scelta di effettuare il rilievo in aprile) con l'avvio del processo di fusione a fine mese ed una conseguente rapida diminuzione dello spessore del manto anche per tutto il mese di maggio. La temperatura media invernale a questa quota nel trentennio considerato si è attestata intorno ai -5°C. Durante le due stagioni di indagine, la stazione automatica "Lago Goillet" ha registrato, per la stagione 2007/08, 52 giorni con precipitazione di neve fresca per un totale di 533 cm e, per l'anno 2008/09, 80 giorni con precipitazione di neve fresca per un cumulo complessivo di 1270 cm. Il manto nevoso è stato soggetto all'azione del vento con trasporto o fusione per un numero di giorni pari a 38 nella stagione 2007/08 e 55 nella stagione 2008/09.

Questa forte disparità ha consentito di osservare una netta differenza della copertura nevosa: sebbene infatti in entrambe le annate l'andamento dell'altezza della neve al suolo sia stato estremamente variabile e differente, il primo inverno (2007/08) è stato caratterizzato da un manto nevoso discontinuo con molte zone erose, mentre il successivo (2008/09) ha presentato una copertura totale e diffusa del suolo grazie ad un manto nevoso pressoché omogeneo (Fig. 1).

Durante la fase di rilievo, per entrambe le campagne d'indagine, la temperatura della neve è sempre stata inferiore a 0°C, con un manto nevoso caratterizzato da assenza di acqua di fusione.

Rilievo con tecnica classica

In entrambe le campagne d'indagine, le misure di spessore e densità del manto nevoso mediante tecnica tradizionale erano finalizzate a verificare l'affidabilità dei risultati delle indagini GPR e TDR. In particolare sono stati rilevati:

a) altezza del manto nevoso

misurata puntualmente grazie all'uso di sonde metalliche di altezza massima pari a 3 m, graduate e con punta conica. Si sottolinea che gli spessori di neve superiori ai 3 m sono stati semplicemente identificati con la dicitura "altezza > 3m";

b) densità dei singoli strati del

manto nevoso misurata nei singoli strati del profilo verticale mediante campionamento orizzontale (cfr. sotto);

c) densità media del manto nevoso

(Fig. 2) misurata tramite il valor medio della densità della neve ottenuta dal profilo verticale successivo all'escavazione di trincee in manto nevoso. La misura della densità è stata ottenuta carotando orizzontalmente ogni 50 cm il manto nevoso dal suo limite superiore al suolo, lungo il profilo verticale della trincea (senza considerare la stratigrafia del manto nevoso), mediante un cilindro metallico di volume pari a 0,5 dm³.

La Tabella 1 riporta il numero di rilievi svolti per la misura dell'altezza del manto nevoso e densità effettuati durante le campagne

d'indagine 2008 e 2009 grazie all'impiego di 15-18 tecnici al giorno per ciascuna delle 3 giornate di indagine a campagna.

Il georadar

Rilievi geofisici di tipo elettromagnetico per la caratterizzazione del manto nevoso sono ormai piuttosto diffusi, sia per la stima dello spessore della neve (Godio 2008), sia per la caratterizzazione degli strati e delle proprietà meccaniche del manto (Koh et al. 1996, Marshall et al. 2007). In particolare, l'indagine georadar, applicata in questo studio, consiste nella misura delle modalità di propagazione di un segnale elettromagnetico ad alta frequenza (nel caso specifico attorno a 900 MHz), allo scopo di stimare lo spessore e le



Fig. 2 - (a) Escavazione di trincea per rilievo della densità media del manto nevoso con tecnica classica. (b) Profilo verticale della trincea per la misura della densità media del manto nevoso. Sono visibili le impronte lasciate dal carotatore [Campagna rilievo 2009].

Tab. 1

NUMERO DI RILIEVI CON TECNICA CLASSICA PER LA MISURA DELL'ALTEZZA DEL MANTO NEVOSO E DENSITÀ EFFETTUATI DURANTE LE CAMPAGNE D'INDAGINE 2008 E 2009

RILIEVI TRADIZIONALI		APRILE 2008	APRILE 2009
Altezza manto nevoso	Settore 1	191	601
	Settore 2	238	440
	Settore 3	118	823
	Totale bacino	547	1.864
Densità	Settore 1	5	6
	Settore 2	3	3
	Settore 3	2	4
	Totale bacino	10	13

proprietà elettromagnetiche del materiale (neve) oggetto dell'indagine.

La neve dal punto vista elettromagnetico si comporta come un materiale elettricamente resistivo caratterizzato da permittività elettrica dipendente dalla densità e dal contenuto in acqua libera: in neve asciutta, i valori di permittività elettrica relativa presentano valori compresi tra 1.5 (neve soffice) a 3 (ghiaccio) sono infatti direttamente correlabili ai valori di densità (Evans 1965). La strumentazione georadar di riferimento consiste in una coppia di antenne (trasmittente-ricevente) e di un'unità centrale che controlla sia l'invio dell'impulso radar che la ricezione dello stesso, permettendo di acquisire, visualizzare e registrare i segnali captati (Fig. 3, vedi foto a pagina 27).

Il metodo di acquisizione più diffuso è quello per riflessione semplice, dove la coppia di antenne viene tralata in superficie lungo un profilo prestabilito e il segnale captato si riferisce alla parte di energia del segnale elettromagnetico che propagatosi all'interno della neve, viene riflessa all'interfaccia tra la neve e il substrato e torna indietro. La stima del tempo di percorso del segnale elettromagnetico riflesso, noto il valore di velocità delle onde elettromagnetiche nel mezzo, permette di individuare lo spessore del manto nevoso. Le misure GPR sono state realizzate attraverso una serie di dispositivi radar con sorgente impulsata: in particolare si sono utilizzati georadar GSSI (USA) e IDS (Italia) entrambi operanti con antenne a frequenza principale di 900 MHz. Le misure sono state realizzate lungo una serie di profili nell'inverno 2007-2008 e ripetute nelle stesse aree nell'inverno 2008-2009. Nel primo inverno il rilievo ha consentito l'acquisizione di circa 9 km di profili radar; nel

secondo inverno si sono registrati circa 15 km di profili georadar.

Ciascuna informazione puntuale (traccia radar) è stata georeferenziata per mezzo di dispositivi GPS con acquisizione in modalità RTK. L'elaborazione dei dati radar, attraverso procedure tradizionali di filtraggio e amplificazione delle singole tracce radar, ha infine permesso l'identificazione accurata dei tempi di percorso del segnale elettromagnetico riflesso all'interfaccia neve-suolo (Fig. 4). L'applicazione di procedure semi-automatiche di picking del segnale riflesso ha consentito l'individuazione di "tempi di percorso" del segnale riflesso su tutte le tracce radar con un'accuratezza stimabile tra il 5 e 10 %.

I principali risultati divisi per sottobacino nei due anni di attività hanno evidenziato le seguenti considerazioni:

- **nel primo settore:** manto caratterizzato, nel primo inverno, da una marcata variabilità spaziale con spessore per lo più compreso tra pochi cm e 4 metri di spessore; accumuli marcatamente più consistenti si osservano nel secondo inverno;
- **nel secondo settore** (zona glacializzata): condizione operativa complessa, la presenza di interfaccia tra la neve vecchia e la neve stagionale non sempre ha consentito una corretta valutazione del tempo di percorso dei segnali riflessi;
- **nel terzo settore:** manto nevoso caratterizzato da estese zone di accumulo, con valori massimi osservati al primo anno fino a 5 metri di spessore e circa 8 metri nel secondo anno.

L'analisi statistica dei dati effettuata ha permesso di ricavare una stima dei valori di spessore medio e varianza, nonché la curva di probabilità di distribuzione e frequenza cumulata per i tre differenti settori.

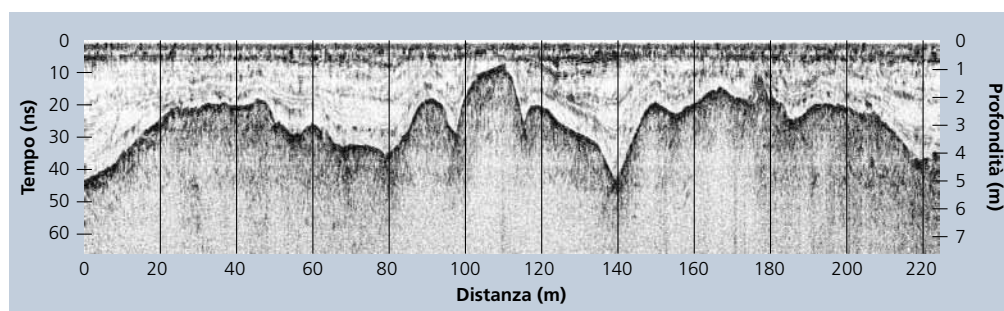
I risultati dell'analisi statistica, relativi alle acquisizioni del 2009 sui tre settori, sono riportati in figura 5. Gli spessori di neve sono stati calcolati ipotizzando una velocità media dell'impulso nella coltre nevosa di 0.22 m/ns; il confronto tra la distribuzione dei valori di spessore ottenuti dalle misure georadar ed il modello teorico ha evidenziato il *best fit* per una distribuzione di tipo gamma. In particolare nel 2009 nei settori 1 e 3, il valore più ricorrente si attesta in corrispondenza di spessori di poco inferiori a 2 m; nel secondo settore tale valore risulta circa 2.5 m. In tutti e tre i settori la coda superiore della distribuzione di probabilità evidenzia valori di spessore neve compresi tra 7 e 8 metri. La correlazione tra gli spessori di neve e le proprietà morfologiche, in particolare quota e curvatura ha considerato i dati, suddivisi in intervalli, in base alla quota di acquisizione e alla curvatura del terreno, ricavati dal DTM regionale con risoluzione di 10 metri. Per ogni classe si è quindi ottenuta una funzione di distribuzione di probabilità, e la relativa media. In figura 6 sono riportati per ogni classe i valori medi e le relative incertezze (deviazione standard).

L'interpolazione lineare dei valori medi delle funzioni di probabilità dello spessore neve in funzione di quota e curvature è altresì indicata in figura 6 in cui si nota una buona significativa correlazione tra i valori medi di funzione di probabilità e un modello lineare di comportamento. In particolare si ottiene:

- i valori medi delle funzioni di probabilità dei segnali radar (spessori neve) aumentano linearmente con la quota, tra i 2600 e 3000 m s.l.m.; per quote più elevate, tale correlazione non è più valida;
- i valori medi delle funzioni di probabilità dei segnali radar (spessori neve) sono inversamente proporzionali ai valori di curvatura nel substrato.

I risultati dell'analisi statistica consentono di definire le funzioni di probabilità dello spessore neve nei tre diversi settori per eventuali estrapolazioni del comportamento su scala di bacino, per settori con morfologie e condizioni climatiche locali tra loro simili.

Fig.4 - Esempio di sezione georadar lungo un profilo, settore 3 - anno 2009; è evidente la marcata variazione dello spessore del manto nevoso con alternanze di accumulo e zone in erosione.



Time Domain Reflectometry (TDR)

La permittività elettrica del materiale neve può essere misurata in modo accurato con la tecnica *Time Domain Reflectometry* - TDR (Stein and Kane 1983). L'apparecchiatura TDR invia un impulso elettromagnetico, caratterizzato da un ripido fronte di salita, in una guida metallica infissa in un mezzo poroso (circa 200 ps = circa 1.75 GHz) (Gerdel 1954; Heimovaara et al. 1994). La neve risulta una miscela di cristalli di ghiaccio, acqua allo stato liquido e aria. La velocità dell'impulso elettromagnetico generato dal TDR è funzione della permittività ϵ_r , direttamente correlata alla densità della neve. Pertanto l'equazione di velocità può essere scritta come

$$V_{phase} = 2l/t$$

dove l è la lunghezza della sonda TDR e t il tempo di viaggio, (oppure

$$V_{phase} = c / \sqrt{\epsilon_r}$$

dove c è la velocità della luce ($3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$) e ϵ_r la permittività relativa del mezzo).

In condizioni di neve anidra, la velocità dell'impulso può esser quindi convertita in valori di densità attraverso formule fisicamente basate oppure, con miglior approssimazione, attraverso la realizzazione di una curva di calibrazione empirica realizzata ad hoc con un campione di adeguata numerosità (e.g. Looyenga 1965), che può approssimare i dati sperimentali:

$$\epsilon_{r,snow}^{1/3} - 1 = X \cdot (\epsilon_{r,ice}^{1/3} - 1)$$

dove

$$X = \frac{\rho_{mixture}}{\rho_{ice}}$$

è il rapporto tra la densità della miscela nevosa e quella del ghiaccio (920 kg/m^3) con valori di permittività relativa pari a

$$\epsilon_{ice} = 3.2$$

$$\epsilon_{water} = 78 \text{ (a } 0^\circ \text{ Celsius)}$$

$$\epsilon_{air} = 1$$

(v. Matzler 1996).

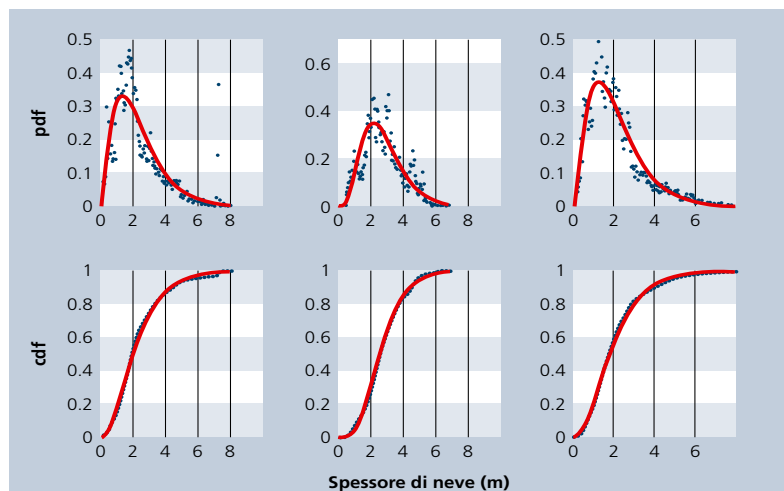


Fig. 5 - Funzioni di distribuzione di probabilità (alto) e frequenza cumulata (basso) ottenute considerando i dati acquisiti nei tre diversi settori nel mese di aprile 2009; da sinistra verso destra si riportano le curve per i settori 1, 2 e 3; le curve in rosso rappresentano le risposte teoriche ottenute con funzioni di probabilità di tipo gamma.

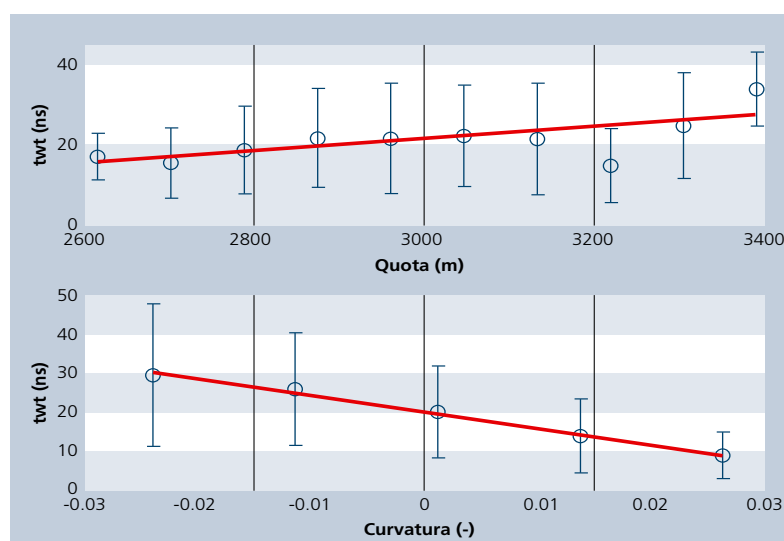


Fig. 6 - Correlazione ottenuta tra tempo di percorso dei dati georadar e le caratteristiche topografiche, (alto) quota e (basso) curvatura.

Le misure con tecnica TDR sono state effettuate all'interno del bacino d'indagine mediante un apparecchio TDR Tektronix 1502C collegato a un notebook per l'acquisizione computerizzata tramite software WinTDR (Or et al. 2004). Per il convogliamento del segnale nel mezzo poroso è stato utilizzato un kit di sonde a due aste metalliche (Fig. 7) (v. Robinson 2003), costituite da coppie di aste in acciaio inox di 8 mm di diametro e lunghezza compresa tra i 300 e i 2000 mm, montate su distanziatori in nylon con interasse 8 cm (Knight 1992).

I cablaggi sono stati realizzati con cavo coassiale RG58 con impedenza 50Ω , mentre per le connessioni al Tektronix 1502C sono stati impiegati connettori BNC in ottone nichelato. Le caratteristiche dielettriche della neve anidra presentano alcune analogie con quelle dell'aria e del suolo secco, e la fragilità del sistema di riferimento esige alcuni accorgimenti atti a scongiurare il rischio di compattazione, il rischio di fu-

sione in fase di misura e il rischio di misure falsate dalla presenza di vuoti d'aria.

Tuttavia, il segnale TDR risulta nitido e chiaro, nonostante si possano verificare difficoltà nella determinazione del punto di prima riflessione, corrispondente con l'ingresso del segnale nel mezzo poroso (Fig.8). Nelle medesime porzioni di sottobacino indagate con sistema GPR sono state quindi effettuate misure TDR il cui campionamento è stato svolto sia con misure verticali finalizzate all'ottenimento di un dato medio di densità, sia con misure orizzontali in profili nivologici diretto all'ottenimento di valori di diversi strati sovrapposti. Per quanto riguarda il **campionamento con sonde poste in direzione verticale**, nel primo anno di progetto, è stata condotta un'indagine finalizzata alla verifica di applicabilità del sistema TDR e sono state individuate 24 postazioni di misura comprese tra quota 3.416 e 2.729 m s.l.m. in cui le misure sono state acquisite

tra la superficie della neve e, rispettivamente, 50, 100 e 200 cm.

Nel secondo anno di studi invece si è proceduto con un campionamento speditivo attuato con sola sonda da 1200 mm finalizzato alla raccolta di un numero di punti di misura sufficiente per la spazializzazione del dato con tecniche geostatistiche.

La georeferenziazione di tutte le postazioni di misura è avvenuta tramite l'utilizzo di apparecchiatura GPS impostata in coordinate UTM riferite a sistema ED 1950.

Il campionamento con sonde poste in direzione orizzontale ha invece preso

in considerazione, in entrambi gli anni, più profili nivologici, sia in zone di erosione che in zone di accumulo (legate al fenomeno della deflazione) posti a varie quote nel bacino. Tale campagna di misura è stata rivolta alla realizzazione di una curva di calibrazione per la misura della densità attraverso le misure manuali effettuate negli stessi punti.

Per quanto concerne i risultati ricavati dalle misure TDR, è stato possibile:

1. verificare l'applicabilità dei sistemi TDR su manto nevoso anidro;
2. ottenere misure precise di permittività

del manto nevoso per profondità comprese tra 500 e 2000 mm;

3. individuare la presenza di differenti comportamenti dielettrici per i differenti orizzonti;

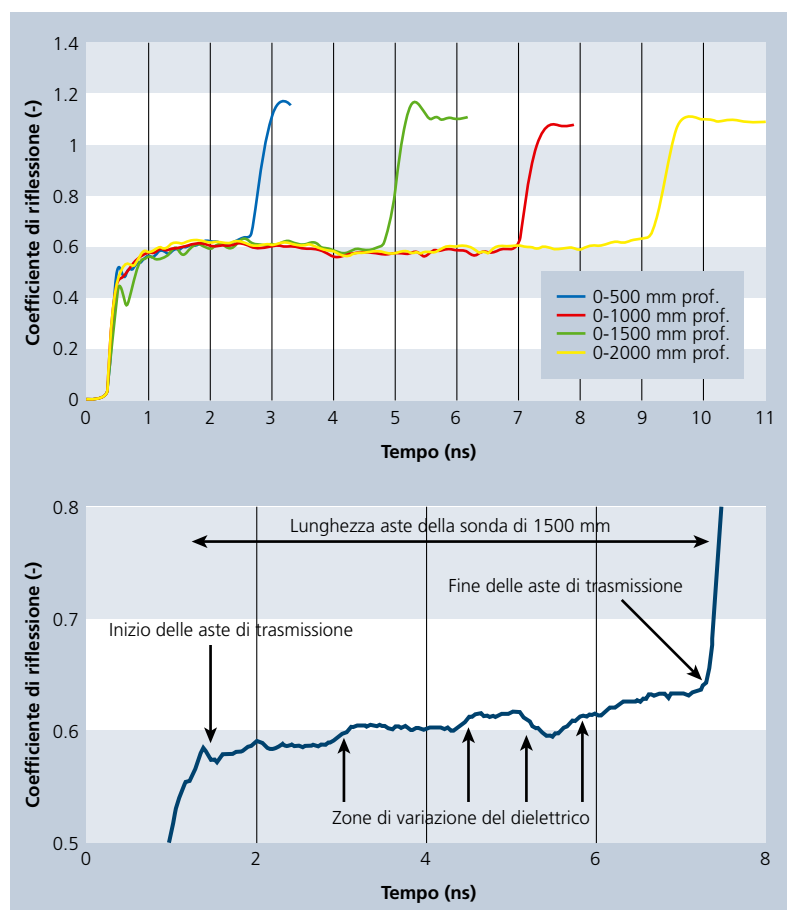
4. ottenere misure di densità del manto nevoso a diverse profondità.

I test hanno evidenziato l'efficienza di monitoraggi TDR in condizioni logistiche complesse, con un approccio conveniente e affidabile per la mappatura delle caratteristiche fisiche ed elettromagnetiche del manto nevoso. L'accuratezza del risultato rimane però subordinata alla possibilità di acquisizione di misure ad elevata precisione nella determinazione dei punti di ingresso del segnale nella neve e di riflessione. A causa delle caratteristiche stesse della misura TDR, le misure effettuate con guide d'onda più lunghe, pur presentando valori più accurati per via del minore errore relativo, forniscono un dato mediato degli strati misurati, dal quale non si riescono più ad ottenere informazioni dettagliate dei singoli orizzonti, ma possono divenire fondamentali per implementare modelli di velocità 2D, ottenere valori dello SWE e consentire la conversione di immagini radar in sezioni di profondità (Fig. 9). Escludendo la presenza di acqua di fusione, le informazioni connesse con la variabilità temporale di ciascuno strato possono infatti essere dedotte dal profilo di velocità ottenuto dalle misure TDR. Tale applicazione è infatti in grado di fornire una sorta di "istantanea" delle condizioni della neve e delle informazioni relative allo stato fisico e meccanico del manto. Il campionamento con sonde verticali consente di ottenere informazioni spazializzate indispensabili per l'ottenimento di un'informazione diretta di variabilità del manto nevoso fino ad arrivare alla vera e propria costruzione di carte tematiche dedicate (e.g. permittività, densità, SWE, ecc...) diversamente non realizzabili se non con un impiego cospicuo di uomini e risorse: si consideri che in una giornata di lavoro una "squadra TDR" (n. 2 persone) ha eseguito 70 campionamenti verticali spazializzati contro 3-4 profili nivologici che normalmente rappresentano la soglia

Fig. 7 - Strumentazione utilizzata nel rilievo: TDR cable tester TEKTRONIX 1502C e kit di sonde a due conduttori metallici paralleli di differente lunghezza.



Fig. 8 - (a) Curve TDR acquisite nel medesimo punto con sonde di differente lunghezza. (b) Punti caratteristici di un'acquisizione TDR, con evidenziati i numerosi picchi secondari collegabili alle variazioni di permittività che determinano riflessioni di segnale.



massima di campionamento realizzabile con metodo classico da una "squadra tradizionale" (di 2 persone) Fig. 10. Il campionamento orizzontale invece ha consentito la costruzione di un'apposita curva di taratura per la correlazione fra permittività del mezzo e densità (nell'ipotesi di neve anidra) caratterizzata da un elevato valore di coefficiente di correlazione e con un andamento analogo a diverse curve simili proposte in altri studi (cfr. Looyenga 1965). Allo stesso modo, l'analisi dei dati rilevati consente di ottenere informazioni approfondite sulle condizioni del manto nevoso, permettendo di comprendere con dettaglio elevato l'evoluzione spaziale e temporale della copertura.

Water Content Reflectometry (WCR)

Obiettivo di questa parte progettuale è stata la valutazione dell'applicabilità e dell'affidabilità di strumentazione automatica e commerciale per il rilievo in continuo e automatico (quindi anche in remoto) di alcune proprietà del manto nevoso. In particolare, è stato scelto il sensore WCR, sviluppato per l'impiego nel suolo, che consente di stimare il contenuto idrico impiegando il periodo (tempo in μs). Nel caso specifico, l'interesse è stato indirizzato verso la verifica delle possibilità di derivare con un certa accuratezza, il valore di densità media di uno strato del manto nevoso impiegando una relazione con il periodo. Ciò ha portato alla realizzazione di una stazione fissa, in località "Cime Bianche", costituita da una stazione meteorologica completa dei principali sensori "tradizionali", integrata con i sensori dedicati alla misura di parametri specifici relativamente al manto nevoso e al suolo per la caratterizzazione e il monitoraggio dell'evoluzione temporale del contenuto idrico della neve, mediante tecnica WCR (Fig. 11). Durante l'estate sono state quindi installate e connesse al datalogger 4 sonde WCR poste a diverse altezze dal suolo (-20, 25, 85, 145 cm da piano campagna) in modo che potessero successivamente esser ricoperte dalla neve durante l'inverno. Nel corso del secondo anno di attività (inverno 2008/09),

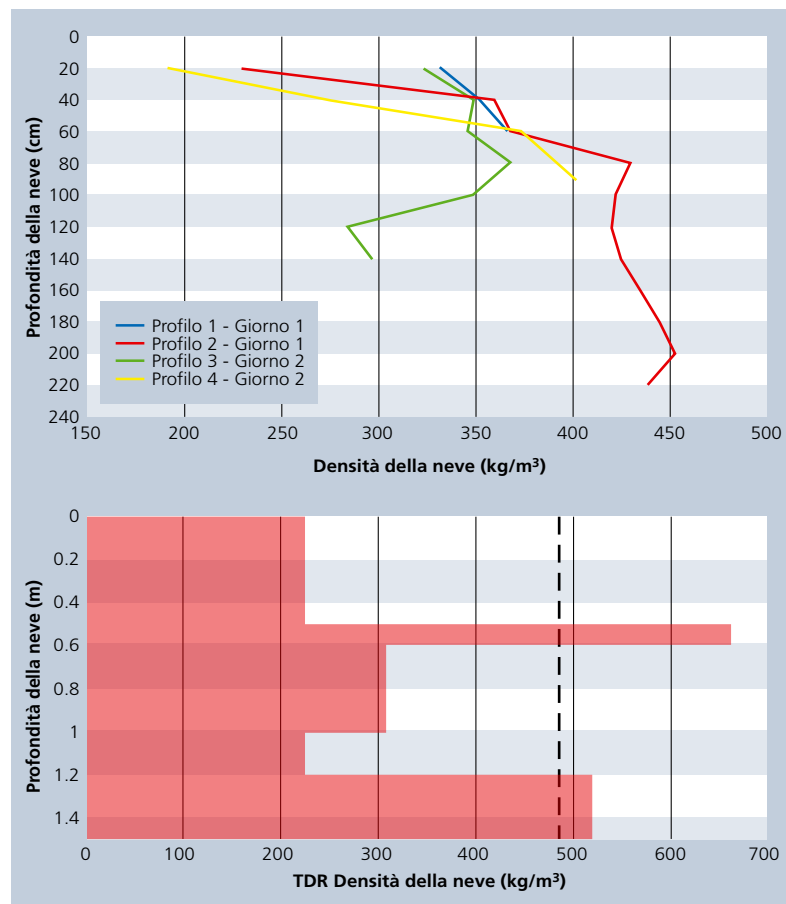


Fig. 9 - (a) Misure TDR orizzontali realizzate in trincea in due differenti date nell'inverno 2008 (lo zero è la superficie del terreno). Due differenti situazioni sono evidenziate: 7 aprile 2008 - un metro di neve compatta (con densità di circa 350 kg/m³) adagiato su uno strato meno denso (con densità di circa 180-200 kg/m³); 24 aprile 2008 - manto caratterizzato da 60-80 cm di neve primaverile che progressivamente è evoluto in strato con densità elevate affetti da un metamorfismo costruttivo (con densità fino a 450 kg/m³). (b) Stratigrafia del manto nevoso dedotta dalla campagna di misure verticali TDR condotta da n. 5 sonde di lunghezza differente. Attribuendo a ciascuna misura il relativo valore ponderato sulla lunghezza della sonda è possibile dedurre la differente stratigrafia del manto nevoso (linea continua). Interessante evidenziare la potenziale perdita di informazioni che avverrebbe con la semplice misura dal valore di densità media del manto (linea tratteggiata).

è stata mantenuta operativa la stazione di monitoraggio e il relativo funzionamento è stato garantito per l'intera stagione invernale anche se le abbondanti e ripetute nevicate stagionali, hanno periodicamente compromesso la funzionalità della stazione a causa della completa sommersione della stessa per periodi prolungati. Nell'area di studio è stata quindi realizzata una serie temporale di misure continue WCR CS616 seppur occorra evidenziare che la continuità e significatività dei dataset acquisiti è stata strettamente connessa con il corretto funzionamento dei singoli sensori e con le condizioni ambientali risultanti al momento dell'acquisizione. Lo scopo è quello di applicare una relazione empirica trovata tra la densità della neve ed il periodo del CS616 per avere un monitoraggio continuo della densità della neve.

La tecnica WCR può ottenere la stima della densità della neve seguendo lo stesso approccio della tecnica TDR ma, a differenza di quest'ultimo, le sonde WCR presentano una circuiteria elettronica integrata nella testa della sonda stessa che genera ed analizza le onde elettromagnetiche in

modo diretto, eliminando la necessità di uno strumento TDR esterno (Hansson and Lundin 2006) e una soggettività di analisi in post-processing.

Entrando in dettaglio, il circuito elettronico genera un'onda elettromagnetica che si propaga lungo i sensori e fornisce un'onda quadra identificabile anche con il segnale di output del sensore WCR.

Bilskie (1997) suggerisce una relazione generale per il periodo P di onde quadre:

$$P = 2 \cdot t_{circuit} + 2L\sqrt{K_a} / c$$

dove $t_{circuit}$ rappresenta il time delay.

Il periodo di onda quadra P è ridimensionato dal circuito elettronico nella testa del sensore per renderlo compatibile con il sistema convenzionale di acquisizione dati. L'output della sonda P_{op} , così può quindi essere riscritto come $P_{op} = CP$ dove C rappresenta una costante dipendente dal modello di sonda.

Hansson and Lundin (2006) spiegano come l'output P del WCR possa essere usato per ottenere il valore di permittività

Fig. 10 - Mappa di densità della neve (kg/m³) dedotta, per i due sottobacini, attraverso l'analisi multivariata ottenuta interpolando alcune variabili topografiche dedotte dal DEM campionato con maglia 5x5 m. Le misure TDR sono indicate dai punti neri.

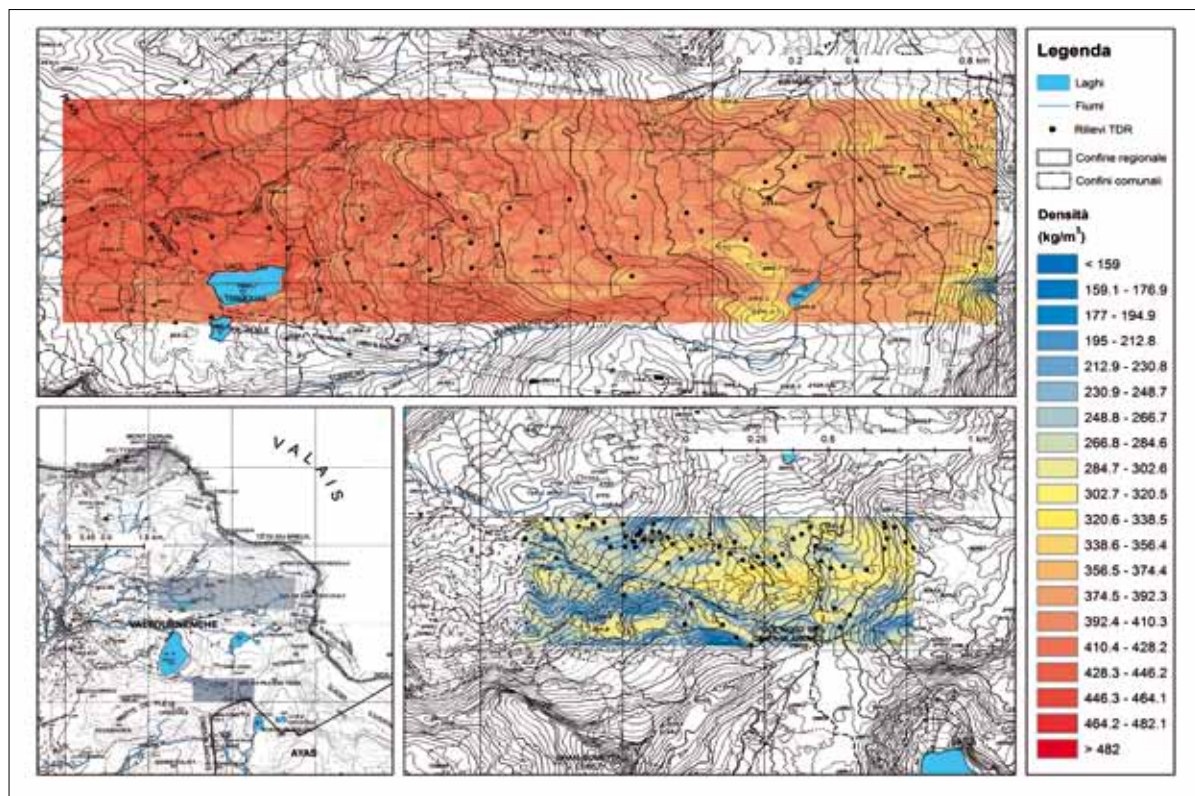


Fig. 11 - Stazione di monitoraggio installata nel 2008. I sostegni in legno e il palo in plexiglas sono destinati alle piastre di flusso, ai sensori WCR e alle sonde di temperatura.



Fig. 12 - Sistema James, costituito da valigia compatta e impermeabile contenente batteria, acquisitore e collegabile tramite connettori stagni a 3 sonde WCR. Strumentazione DITAG - Politecnico di Torino.



dieletrica apparente del mezzo usando:

$$K_a = \left(\frac{(P - 2a)}{(2a_2 + \frac{4L}{C})} \right)^2$$

dove a_1 e a_2 sono i coefficienti di calibrazione delle sonde.

Le sonde WCR usate in questo studio sono le CS616 - Campbell Scientific. Lo scopo dell'acquisizione dati trovare può quindi tradursi nella ricerca di una relazione empirica tra la densità della neve e l'output WCR (ovvero P periodo d'onda quadra). Al fine di verificare il funzionamento del WCR per applicazioni spazializzate, nel primo anno di attività sono stati inoltre realizzati campionamenti diffusi nella parte più interna del bacino (zona "Bontadini") caratterizzata da esposizioni meridionali e maggiore protezione dalle correnti dominanti. In tale settore (tra i 2.800 ed i 3.400 m s.l.m.), le indagini sul

manto nevoso sono state effettuate, con condizioni di elevata densità del manto nevoso, impiegando un sistema portatile (Fig. 12) composto da acquisitore (CR850, Campbell Scientific Inc.), batteria e 3 sonde WCR (aste da 30 cm) analoghe a quelle installate in stazione. Il sistema è stato reso disponibile dal DITAG del Politecnico di Torino.

Per ciascun punto di misura, oltre al valore del periodo delle sonde WCR CS616 sono stati misurati i valori di densità dello strato nevoso corrispondente.

Le misure sono state condotte da inizio inverno fino a tarda primavera per poter esplorare un ampio range di valori di densità. I risultati preliminari relativi al primo anno hanno inizialmente suggerito la possibilità di ricavare una relazione accettabile tra la densità della neve ed il periodo di output fornito dalle sonde WCR CS616. Le immagini in figura 13 mostrano infatti una relazione (seppur debole) con i valori rilevati nella neve tardo-primaverile, ovvero, quando è presumibile un incremento del contenuto di acqua libera.

Durante il secondo anno si è invece evidenziato che, allo stato attuale delle conoscenze, la relazione lineare fra misure di densità (in campo) e misure di periodo

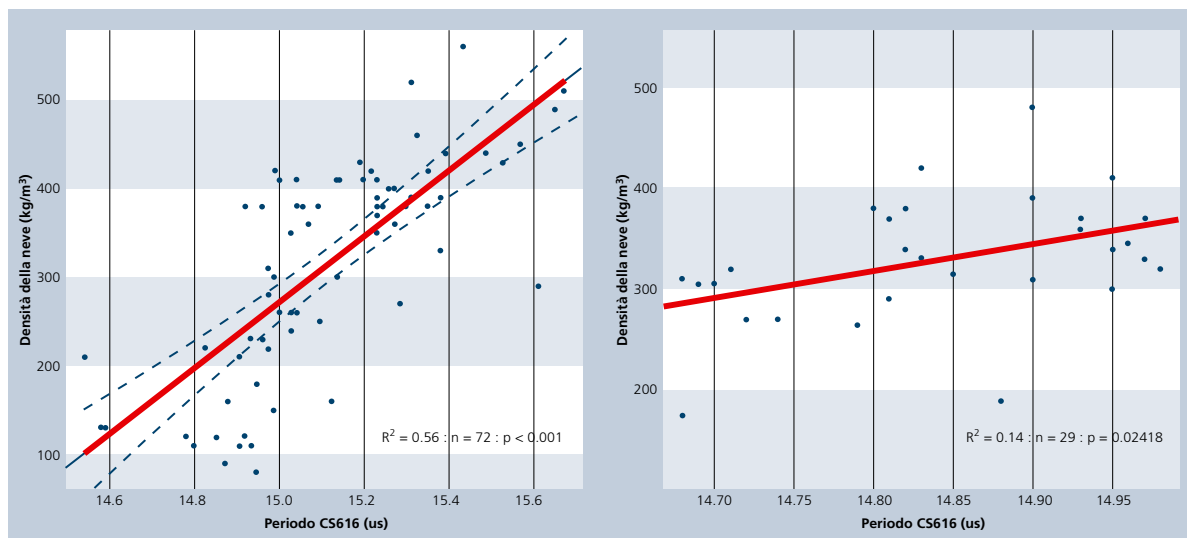


Fig. 13 - Relazione lineare sperimentale tra densità della neve e periodo CS616 ottenuto con i dati ottenuti con sistema portatile James (a) e stazione fissa (b).

delle sonde WCR CS616 sottostima chiaramente il parametro di densità rispetto alle misure manuali o alle misure TDR (che invece ha evidenziato una elevata potenzialità applicativa). Ciò può essere anche dovuto alla scarsa conoscenza della risposta dei sensori CS616 all'interno di materiale nevoso.

CONCLUSIONI

I principali risultati raggiunti di questo biennio di attività, possono essere discussi sulla base di quanto ottenuto da un punto di vista metodologico e dal punto di vista delle informazioni complementari, ottenibili dall'utilizzo di tecniche d'indagine non convenzionali (elettromagnetiche) per la misura dei parametri necessari alla stima dello *Snow Water Equivalent* a scala di bacino. Questo studio è stato principalmente svolto per verificare l'effettiva applicabilità ed attendibilità dei dati ottenuti da tre tecniche elettromagnetiche mobili (GPR, TDR e WCR) ed un sistema fisso (WCR), rispetto ai risultati delle metodologie tradizionali più onerose in termini di tempo e risorse umane, nonché difficilmente applicabili a scala di bacino. Sul piano dei metodi, il progetto ha permesso di confermare l'applicabilità delle tecniche elettromagnetiche mobili GPR e TDR (sebbene l'accuratezza del risultato rimanga subordinata alla possibilità di acquisizione di misure ad elevata qualità) al fine del rilievo a scala di bacino dello spessore del manto nevoso e della sua densità media.

Elevata correlazione è stata inoltre indi-

viduata tra valori di densità ricavati da misure tradizionali (manuali) e misure di velocità di propagazione del segnale TDR nel mezzo nevoso con grandi potenzialità applicative soprattutto per i rilievi su larga scala.

Risultati differenti si sono invece presentati per la tecnica WCR, usualmente impiegata in suoli. Al di là delle problematiche incontrare per l'installazione di centraline fisse WCR, con i dati a disposizione non è stato possibile verificare l'impiego di sensori WCR fissi per il rilievo in continuo del valore di densità media di uno strato del manto nevoso. In conclusione, il progetto conferma la possibile efficace applicazione di strumenti "veloci", affidabili ed accurati per la misura dei parametri nivologici della copertura, quali spessore, densità del manto e permittività apparente del mezzo al fine di valutare il volume idrico equivalente (SWE).

Ciò è indispensabile per la quantificazione in ambiente alpino della stima dello SWE a scala di bacino o regionale di interesse per la disponibilità di risorsa idrica a fini idrologici, potabili ed energetici, nonché per la valutazione dell'influenza dei cambiamenti climatici sulle dinamiche di accumulo e di fusione della neve.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Fondazione CRT per il supporto finanziario, la società d'impianti a fune Cervino S.p.a., il Comune di Valtournenche (AO) e la Società delle Guide del Cervino per il supporto logistico.

Bibliografia

- Bilskie J. *Using dielectric properties to measure soil water content*. Sensors Magazine 1997;14:26-32.
- Birkeland, K.W., (2001). *Spatial patterns of snow stability throughout a small mountain range*. J. Glaciol. 47, pp. 176-186.
- Conway, H., Abrahamson, J., (1984). *Snow stability index*. J. Glaciol. 30, 321-327.
- Evans, S. (1965). *Dielectric properties of ice and snow*. J. Glaciol., 5, 773-792.
- Gerdel, R.W., 1954. *The transmission of water through snow*. Transactions, American Geophysical Union, 35(3), pp. 475-485.
- Godio A. (2008). *Performance and experimental evidence of GPR in density estimates of snowpack*, Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata. 49, 279-298.
- Knight, J.H. 1992. *Sensitivity of time domain reflectometry measurements to lateral variation in soil water content*. Water Resour. Res., 28, pp. 2345-2352.
- Koh G., Yankielun N.E., Baptista A.I. 1996. *Snow cover characterization using multiband FMCW radars*. Hydrol. Process. 10, pp. 1609-1617.
- Hansson, K. and Lundin, L. 2006. *Water Content Reflectometer Application to Construction Materials and its Relation to Time Domain Reflectometry*. Vadose Zone J., Mar 2006; 5: 459 - 468.
- Harper J. T., Bradford J. H. 2003. *Snow stratigraphy over a uniform depositional surface: spatial variability and measurement tools*. Cold Reg. Sci. Technol. 37, pp. 289- 298.
- Heimovaara, T.J., W. Bouten, and J.M. Verstraten, 1994. *Frequency domain analysis of time domain reflectometry waveforms. 2. A four component complex dielectric mixing model for soils*. Water Resour. Res. 30, pp. 201-209.
- Looyenga, H., 1965. *Dielectric constant of heterogeneous mixtures: Physics*, 31, pp. 401-406.
- Marshall H-P., Schneebeli M., Koh G. (2007). *Snow stratigraphy measurements with high-frequency FMCW radar: Comparison with snow micro-penetrometer*. Cold Reg. Sci. Technol. 47, 108-117.
- Mätzler, C., 1996. *Microwave permittivity of dry snow*. IEEE Transactions Geosc. and Rem. Sens., 34, pp. 573 - 581.
- Or, D., S. B. Jones, J. R. VanSchaar, S. D. Humphries, and L. Koberstein, 2004. *WinTDR v. 6.1: A Windows-based Time Domain Reflectometry program for measurement of soil water content and electrical conductivity*. User Manual. freedownloadbooks.net/wintdr-pdf-3.html
- Robinson, D.A., S.B Jones, J.M. Wraith, D. Or, S.P. Friedman, 2003. *A review of advances in dielectric and electrical conductivity measurement using time domain reflectometry: simultaneous measurement of water content and bulk electrical conductivity in soils and porous media*. Vadose Zone J. 2, pp. 444-475.
- Sand K, Bruland O. 1998. *Application of georadar for snow cover surveying*. Nordic Hydrology 29, pp. 361-370.
- Stein, J., D.L. Kane, 1983. *Monitoring the unfrozen water content of soil and snow using time-domain reflectometry*. Water Resour. Res. 19, pp. 1573-1584.

ZONAZIONE delle AREE VALANGHIVE a partire dalla SUSCETTIBILITÀ 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; Caliarì, 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'innescò 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 guidare 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 (Ghini, 2004; Bariffi, 2002; Ghini 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 riguardanti lo stato della neve e dell'evoluzione del manto nevoso nel corso dell'inverno: viceversa, i parametri geomorfotopografici (pendenza, esposizione e altitudine del versante) costituiscono delle cause "predisponenti".

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

Fig. 1 - Schema topografico dell'area centrale del massiccio del Gran Sasso d'Italia, con indicati gli allineamenti delle creste, la distribuzione delle vette e l'ubicazione dell'area in studio.





valanghe (D'Alessandro & Pecci, 2001; De Sisti et al., 2004; Pecci, 2009a). Più in particolare, il settore studiato si estende, per buona parte, nel territorio comunale di Pietracamela (TE) ed è compreso, da Nord a Sud, rispettivamente, tra i Prati di Tivo bassi e lo spartiacque passante per la vetta occidentale del Corno Grande, che con i suoi 2912 m rappresenta la vetta più alta dell'Appennino. Per quanto riguarda l'estensione lungo i meridiani, l'area è limitata a Est dal "Paretone" della Vetta Orientale del Corno Grande e dal Bosco di San Nicola, e a Ovest dallo spartiacque passante per la vetta del Pizzo Intermesoli (2635 m); dal punto di vista geologico il substrato è caratterizzato dall'affioramento di rocce principalmente carbonatiche e, subordinatamente, silico-marnose con abbondanti coperture detritiche alternate a coperture vegetali (generalmente riconducibile al genere *Festuca*) e prato/pascolo. Ci si trova in corrispondenza della zona del sovrascorrimento principale del Gran Sasso d'Italia, che impronta in maniera incisiva il paesaggio, con forme controllate principalmente dalla morfotettonica e dai processi glaciali, crionivali e paraglaciali (D'Alessandro et al., 2003; Pecci, 2009b); sono state, infatti, rilevate numerose strutture legate al diretto effetto dei "fattori strutturali" o da questi promossi (D'Aquila, 2004), come nel caso degli abbondanti fenomeni gravitativi legati alla presenza di elementi neotettonici e delle forme legate all'azione dei ghiacciai quaternari.

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 ovunque più alto delle più alte vette e con temperature che spesso raggiungono $-20/-25^{\circ}\text{C}$ (D'Aquila & Pecci, 2006; Fazzini et al., 1999).

Il campo di rilevamento neve è ubicato in un'area interdotta 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 monitoraggio effettuati nelle stagioni invernali a partire da quella del 2003/2004 fino a quella del 2008-09.

Al rilevamento geomorfologico e nivo-meteorologico è seguita 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.

Fig. 2 - Panoramica del comprensorio sciistico dei Prati di Tivo.

Il campo di rilevamento neve (evidenziato dal cerchio giallo) è localizzato in corrispondenza della stazione di arrivo della seggiovia 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 incipiente distacco in quella di colore rosa più piccola; da notare, anche, nella zona a sinistra della stazione di arrivo, in prossimità del campo rilevamento neve, le superfici di distacco di grandi lastroni ricoperti successivamente da nuove precipitazioni nevose.

L'intero comprensorio giace ai piedi del versante nord del Corno Piccolo (2655 m).

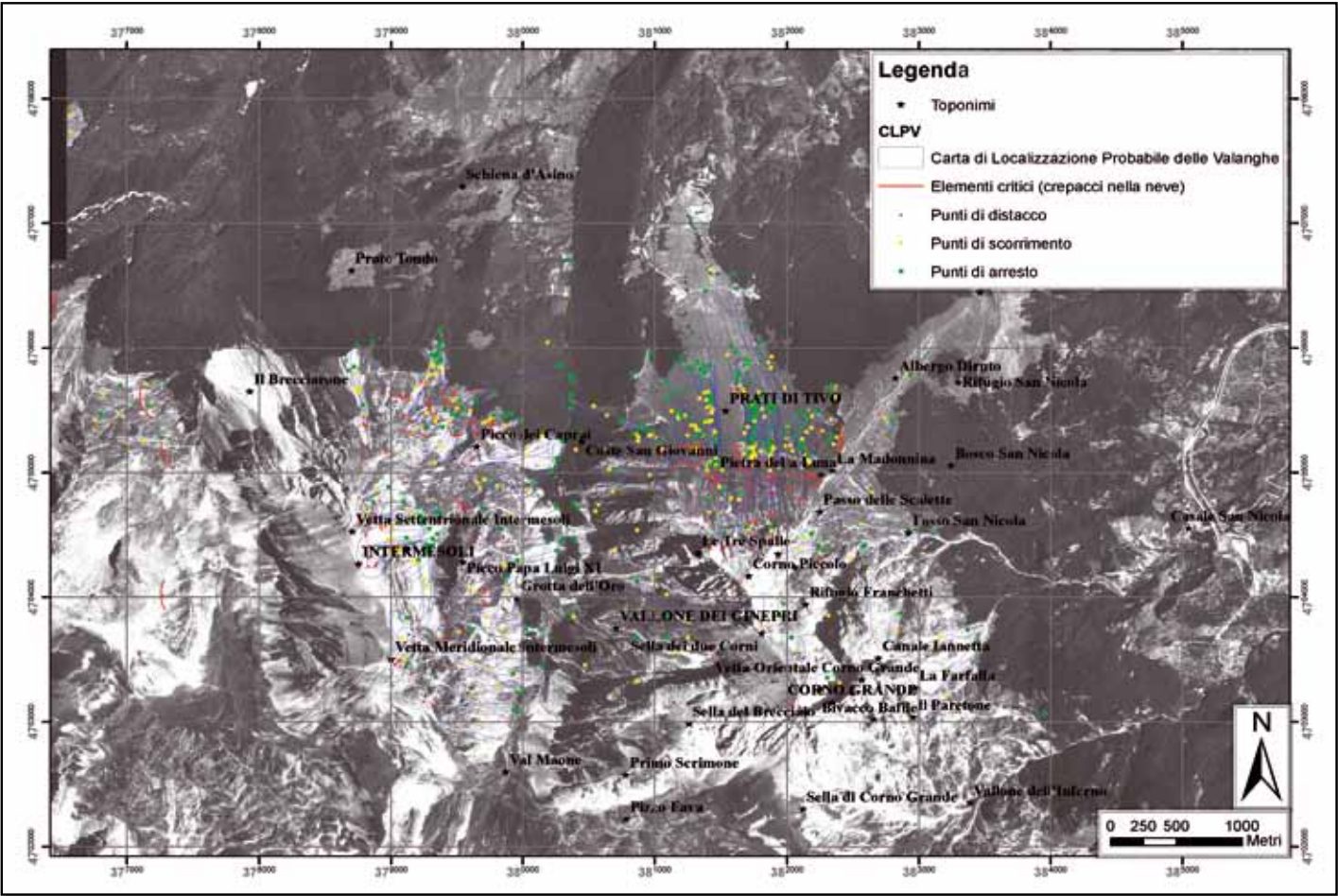


Fig. 3

FASI METODOLOGICHE SEGUITE NELLO STUDIO	
FASE 1	Rilievi di terreno e raccolta, validazione ed archiviazione dei dati (in ambiente GIS).
FASE 2	Derivazione di un <i>DEM</i> (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 <i>overlay</i> grafico - e alla delimitazione delle aree suscettibili all'innescio di valanghe.
FASE 3	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)
FASE 4	Elaborazione dei dati CLPV, utilizzando la <i>Kriging analysis</i> e il successivo <i>overlay</i> grafico (Johnston et al., 2001), finalizzato alla zonazione delle aree suscettibili.
FASE 5	Dopo la zonazione della fase 4, successivo <i>overlay</i> grafico del <i>raster</i> contenente la distribuzione spaziale dell' "indice di sicurezza al distacco".
FASE 6	Implementazione, in tempo reale e insieme agli altri parametri nivometeorologici (ad esempio il bollettino valanghe) per un contributo in termini di previsione.
FASE 7	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 seguite 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			
	PER ALTITUDINE	PER ESPOSIZIONE	PER PENDENZA
SUSCETTIBILITÀ AL DISTACCO	Se l'altitudine della superficie virtuale (range di 75 m) è simile a quella reale, allora quest'area è suscettibile al distacco valanghe per similitudine	Se l'esposizione della superficie virtuale (range di 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 suscettibile al distacco valanghe, in quanto si attendono valanghe già per pendenze minori
SUSCETTIBILITÀ ALLO SCORRIMENTO	Se l'altitudine della superficie virtuale (range di 12,5 m) è simile a quella reale, allora quest'area è suscettibile allo scorrimento di valanghe per similitudine	Se l'esposizione della superficie virtuale (range di 15°) è simile a quella reale, allora quest'area è suscettibile allo scorrimento di valanghe per similitudine	Se la pendenza della superficie virtuale è minore di quella reale, allora quest'area è suscettibile allo scorrimento di valanghe in quanto la massa nevosa scorre già per pendenze minori
SUSCETTIBILITÀ ALL'ARRESTO	Se l'altitudine della superficie virtuale è minore di quella reale, allora quest'area è suscettibile allo scorrimento di valanghe 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 superficie virtuale è minore di quella reale, allora quest'area è suscettibile allo scorrimento di valanghe in quanto la massa nevosa scorre già per pendenze minori

Fig. 4 - Cartografia 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. 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

DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL MODELLO DI ZONAZIONE DELLE VALANGHE

La zonazione all'interno dei box gialli può essere utilizzata per una previsione parziale di suscettibilità, o totale nel caso del box rosso

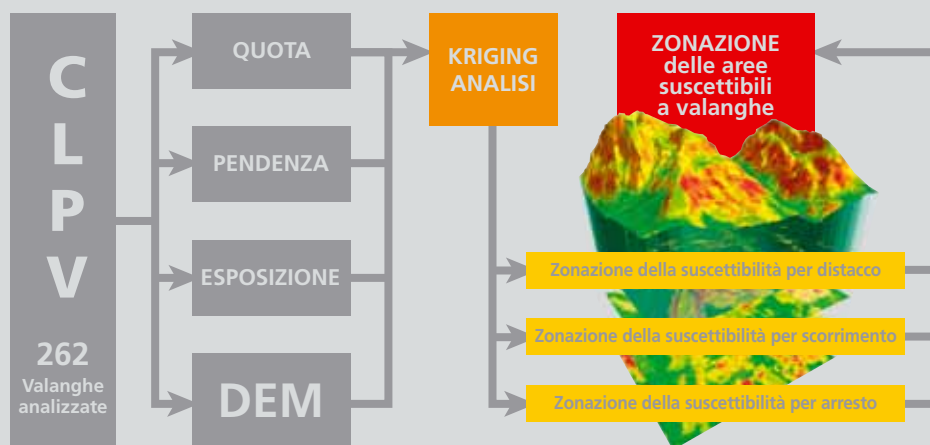


Fig. 6 - Diagramma di flusso del modello di zonazione delle valanghe. La zonazione all'interno dei box in giallo può essere utilizzata per una previsione parziale di suscettibilità, o totale nel caso del box in rosso.

POSSIBILITA' DI IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI ZONAZIONE CON L'INDICE DI SICUREZZA AL DISTACCO (I_s)

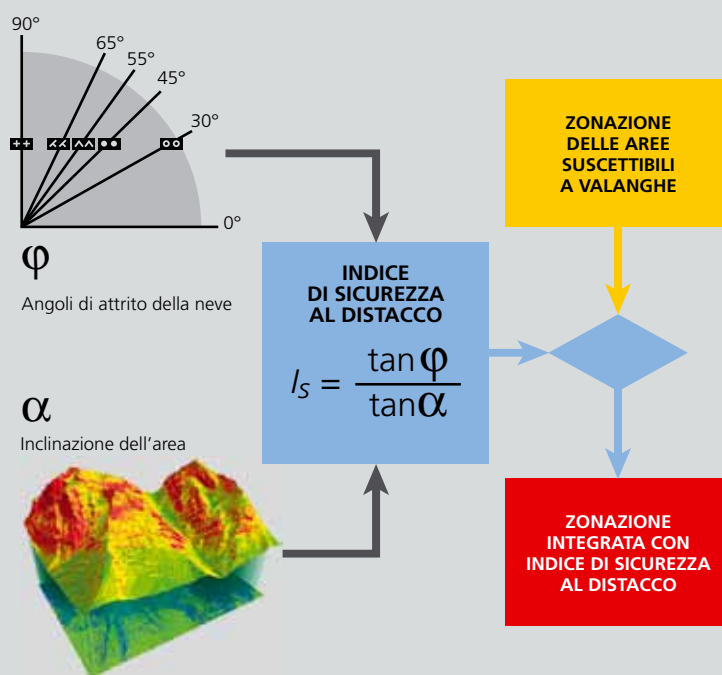


Fig. 7 - Possibilità di implementazione del modello di zonazione con l'Indice di sicurezza al distacco (I_s)

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:

$$I_s = \tan \phi / \tan \alpha$$

I_s 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 versante (α).

L'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.

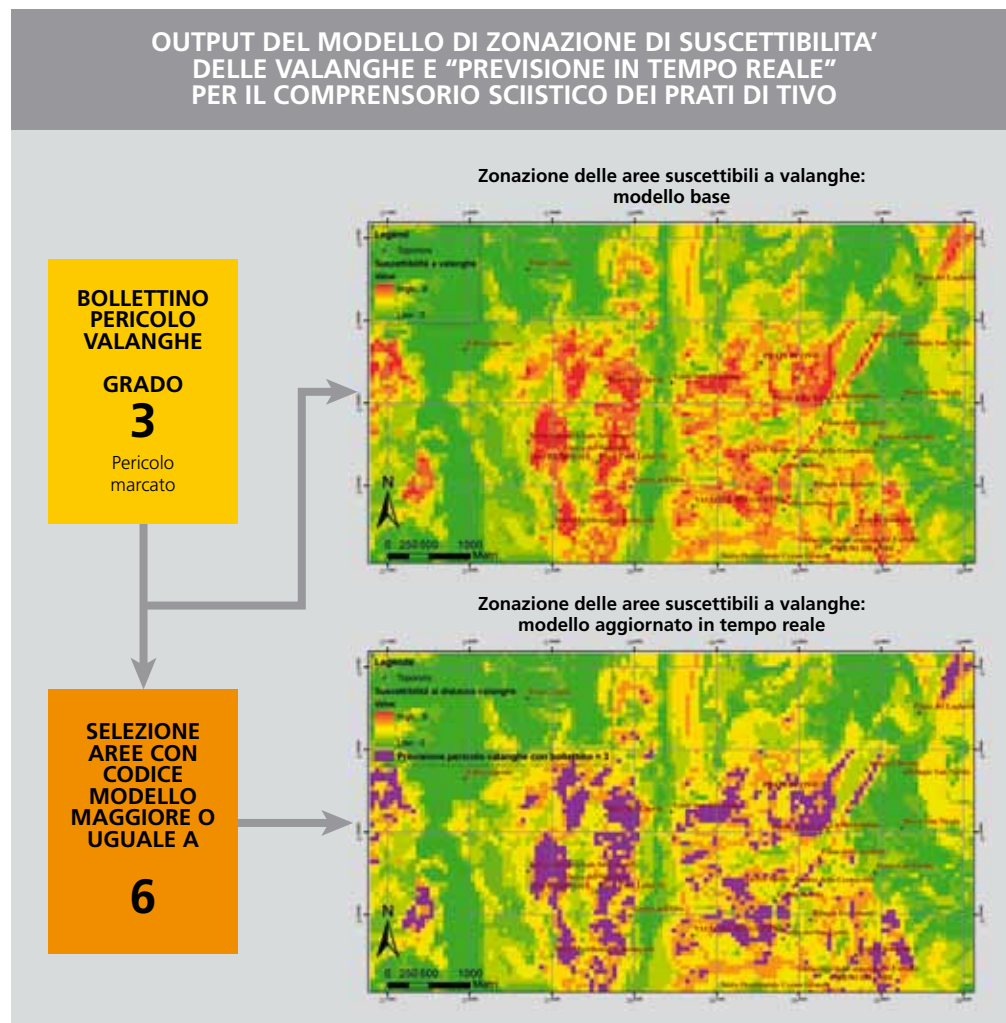
Tutti questi parametri implementabili possono essere utilizzati come fattori moltiplicativi del modello (Fig. 7) e/o come "filtro" per la selezione mirata di aree potenzialmente suscettibili alle valanghe, in accordo ad esempio con l'esposizione (sulla base della direzione del vento dominante o sull'insolazione), con la quota (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-



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).

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 conseguenza, 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 (*average slope*) = 38° (Fig. 10).

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

Fig. 8 - Output del modello di zonazione 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 bollettini valanghe giornalieri emessi dai servizi valanghe.

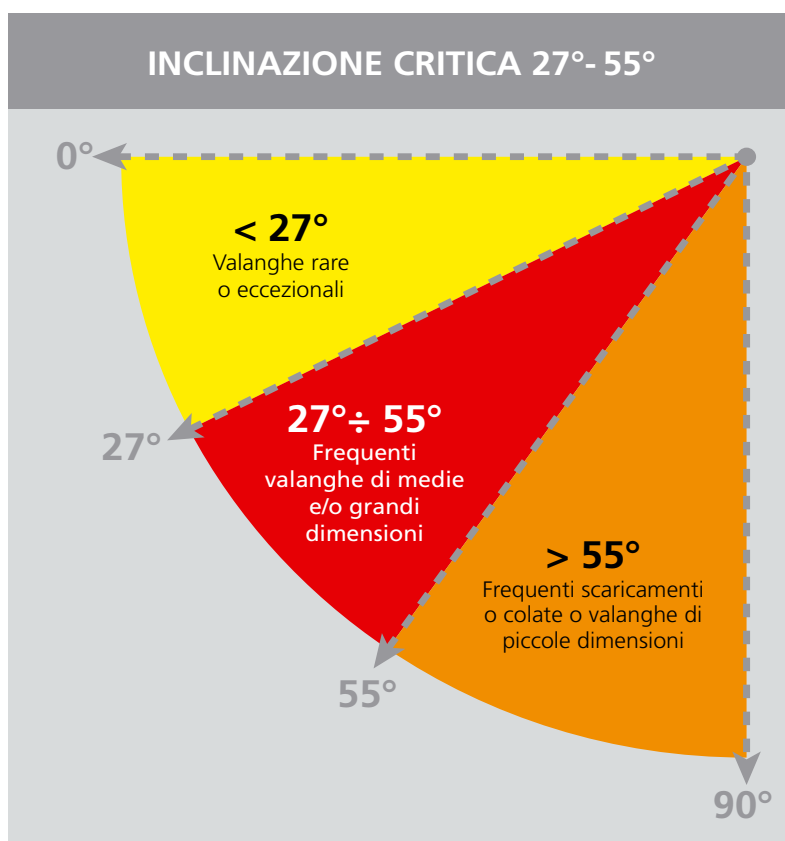


Fig. 9 - Grafico della distribuzione delle valanghe in riferimento alla pendenza del versante e allo sviluppo areale (modificato da McClung and Schaerer, 1993 and Cresta, 2000).

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)

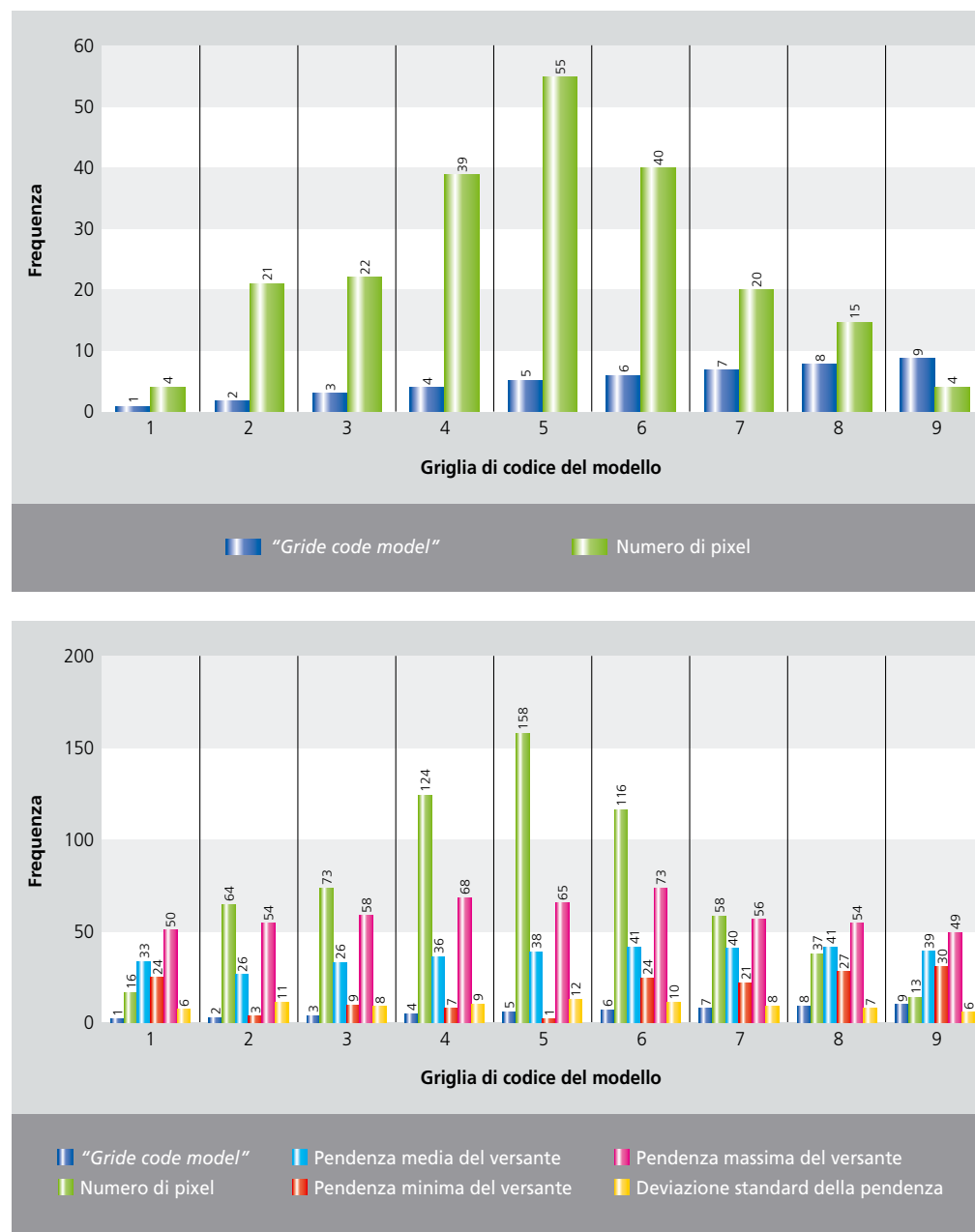
Ai fini di un'ulteriore validazione, il modello per l'area dei Prati di Tivo è stato fatto "girare" utilizzando i dati geografici relativi al geodataset del comprensorio di Rabbi (e mai visti e gestiti prima di allora da parte degli autori del presente lavoro): la CLPV è stata gentilmente fornita dalla 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 Fig. 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.

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.



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 an-

che rispetto agli altri parametri nivo-meteorologici, 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 (AQ), nonché la Stazione CFS di Pietracamela (TE).

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").

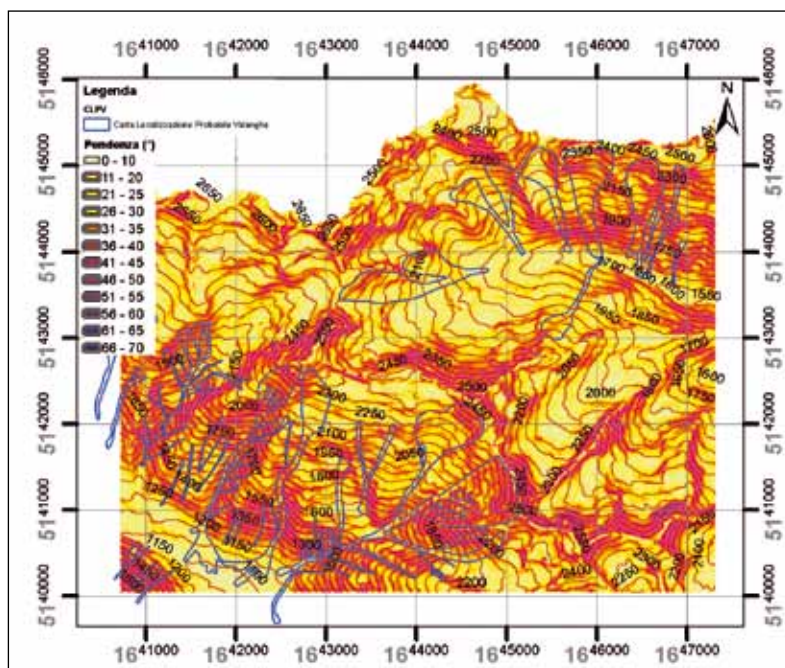


Fig. 12 - CLPV dell'area di Rabbi ed esempio di zonazione delle aree suscettibili al distacco di valanghe, secondo quanto schematizzato nel diagramma di fig. 6 (previsione parziale-box in colore giallo). La scala di colori della suscettibilità è relativa e può essere associata a condizioni di suscettibilità 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").

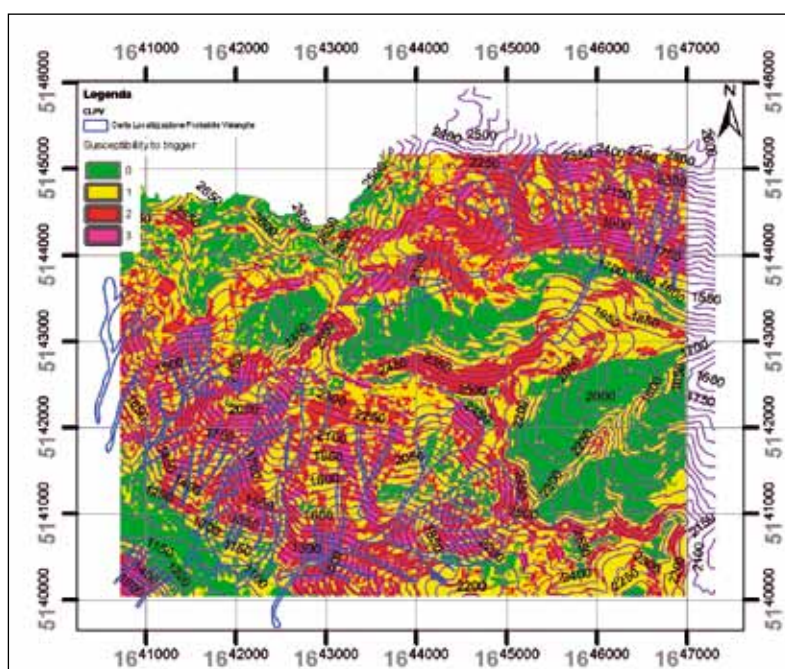
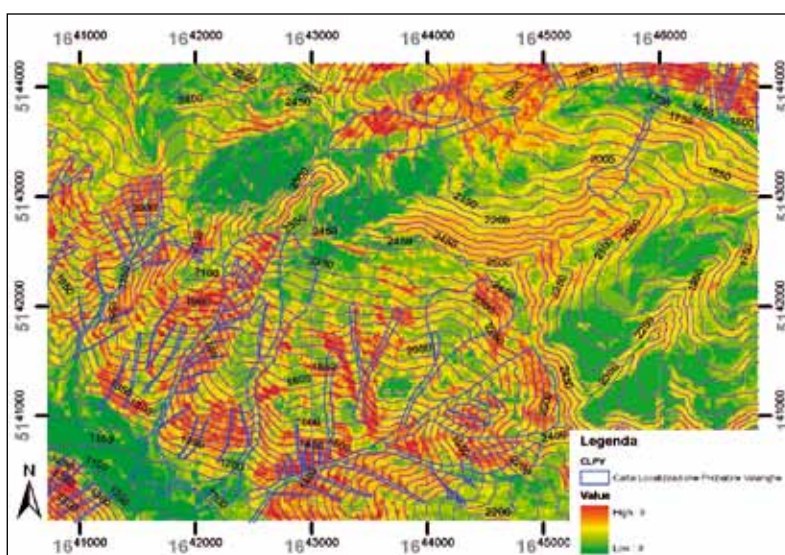


Fig. 13 - CLPV dell'area di Rabbi ed esempio di zonazione delle aree suscettibili al distacco di valanghe, secondo quanto schematizzato nel diagramma di fig. 6 (previsione completa-box in colore rosso). La scala di colori della suscettibilità è relativa e può essere associata a condizioni di suscettibilità alle valanghe assente (verde), bassa (giallo), moderata (arancione) e alta (rosso). (DEM fornito da "PAT - Sistema Informativo Ambiente e Territorio"; CLPV fornita da "PAT - Dipartimento 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 Valanghe, 45, <http://www.aineva.it/pubblica/neve45/gis.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, Mulaturo 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 meteorologiche 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 meteorologiche 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. & SCHAEERER 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) - *Il 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://www.eim.gov.it>
- REGIONE ABRUZZO (1982) - *Ortofotocarta del territorio regionale*.

SISTEMA DI DRENAGGIO di un GHIACCIAIO ALPINO

Studio del sistema di drenaggio di un ghiacciaio alpino attraverso il modello idrologico distribuito GEOtop, fisicamente basato, e un modello di deflusso a serbatoi lineari multipli

Ivan Noldin

ingegnere ambientale,
Cles, Trento

Stefano Endrizzi

Environment Canada,
National Hydrology Research Centre,
Saskatoon, Saskatchewan, Canada

Riccardo Rigon

Dipartimento di Ingegneria Civile ed
Ambientale, Università Degli Studi di Trento

Matteo Dall'Amico

Mountain-eering srl,
via Siemens 19 Bolzano
matteo@mountain-eering.com

I ghiacciai rivestono una funzione fondamentale per le zone alpine. L'acqua di scioglimento glaciale, infatti, oltre a donare vita alla fauna e alla flora in alta montagna, garantisce lo sviluppo dell'agricoltura nel fondovalle. In questo contesto, una conoscenza più approfondita dell'evoluzione del sistema idrologico dei ghiacciai, permetterebbe di comprendere tempi e modalità con cui lo scioglimento dei ghiacci rende fruibile l'acqua in valle, soprattutto alla luce del cambiamento climatico in atto.

Il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Trento, assieme al Comitato Glaciologico della SAT ed il Museo Tridentino di Scienze Naturali, è impegnato dal 2004 nel "Progetto di Studio Sperimentale e di Monitoraggio dei Ghiacciai Alpini" volto a misurare e simulare il ciclo idrologico pluriennale dei ghiacciai trentini.

Il presente contributo, basato sulla tesi di laurea dell'ing. Ivan Noldin, si pone l'obiettivo di simulare la dinamica spazio-temporale del ghiacciaio del Mandron (Gruppo Adamello-Presanella) attraverso l'accoppiamento tra un modello idrologico distribuito ed un modello lineare di deflusso a serbatoi. Questo permette di determinare le portate a valle del ghiacciaio sulla base dell'effettivo bilancio termico e dell'evoluzione della superficie del ghiacciaio coperta da neve.

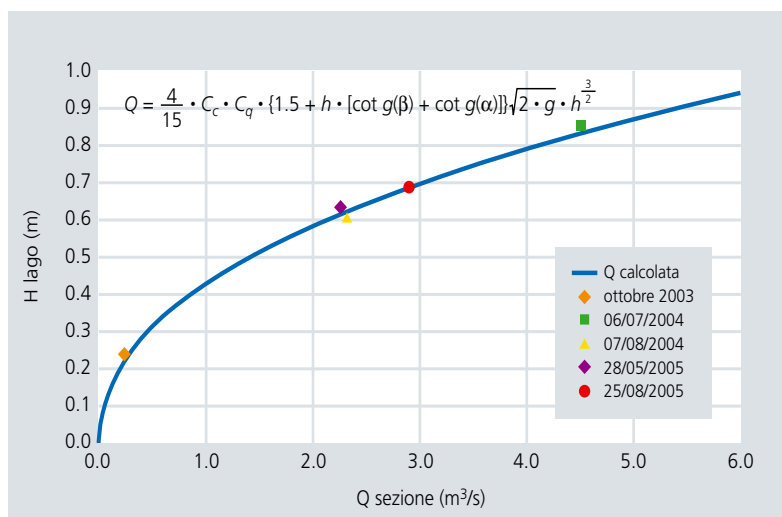




Fig. 1 - Lago Nuovo in prossimità della fronte del ghiacciaio del Mandron (gruppo Adamello-Presanella, Provincia di Trento).

Nella pagina precedente, fig. 2 - Installazione dell'idrometro e misurazione della velocità.

Fig. 3 - Curva delle portate uscenti dal Lago Nuovo in funzione dell'altezza del lago.



BILANCIO DI MASSA E DI ENERGIA

Il deflusso generato da un ghiacciaio alpino è il risultato della relazione esistente tra bilancio di massa e di energia durante la stagione di ablazione, indicativamente da giugno a ottobre. Il bilancio di energia può essere descritto come:

$$R_n + P - H - L = \Delta U$$

dove R_n è la radiazione netta, che si può a sua volta suddividere in una componente a lunghezza d'onda corta, dovuta alla radiazione solare, e ad onda lunga, emessa dalla superficie e dall'atmosfera. P è il flusso di calore fornito dalla precipitazione, H è il flusso di calore sensibile dovuto al gradiente di temperatura tra superficie e atmosfera, e L rappresenta il flusso di ca-

lore latente, effetto della differenza di umidità tra superficie e atmosfera. La somma algebrica di tali forzanti superficiali si traduce in una variazione di energia interna del corpo glaciale ΔU . Il bilancio di massa dipende invece dalle condizioni iniziali di innevamento all'inizio della stagione di ablazione, e quindi dall'accumulo avvenuto nella stagione invernale, e dalla precipitazione caduta nel ghiacciaio nel periodo di ablazione.

Appare chiaro come i due bilanci siano fortemente interconnessi: il processo fusione è infatti controllato dal bilancio di energia che, a sua volta, influenza il bilancio di massa. Inoltre, la presenza di neve sul ghiacciaio aumenta l'albedo della superficie, e quindi influisce sul bilancio termico, diminuendo l'assorbimento della radiazione solare e quindi ritardando lo

scioglimento. La perdita di massa glaciale si traduce in una portata d'acqua che esce dalla fronte del ghiacciaio che si immette nel lago.

I tempi e i modi con cui l'acqua giunge alla fronte del ghiacciaio dipendono dal sistema di drenaggio glaciale, solitamente costituito da un insieme di inghiottitoi e cunicoli sotterranei interconnessi.

DEFLUSSO MENSILE E GIORNALIERO

Per misurare le portate in uscita dal ghiacciaio del Mandron è stato posizionato un idrometro in prossimità del Lago Nuovo, posto alla fronte del ghiacciaio (Figura 1), per determinare la quota del pelo libero del lago (Figura 2, foto a pagina 49).

Dal 2003 al 2006 apposite campagne di misura hanno permesso di determinare la velocità dell'acqua in uscita dal lago derivandone una scala delle portate (Figura 3). La Figura 4 riporta le portate misurate durante la stagione di ablazione 2006.

Si possono notare tre macroperiodi: il mese di giugno, ad inizio estate, si caratterizza da piccole variazioni giornaliere, dovute alla copertura nevosa presente su tutto il ghiacciaio che inibisce un rapido scioglimento del ghiaccio.

Il mese di luglio, media estate, si differenzia per una grande variazione giornaliera di portate, con una media attorno ai $6 \text{ [m}^3 \text{ s}^{-1}]$. In questo periodo il ghiacciaio si trova in gran parte scoperto dalla neve e quindi soggetto a basso albedo e elevati flussi energetici entranti. Infine il periodo fine agosto-settembre, fine estate, è caratterizzato da minori portate, derivanti da una nevicata ad inizio mese e da temperature negative notturne che provocano brina superficiale e un aumento di albedo.

La forma dell'idrogramma giornaliero cambia quindi durante l'intera stagione di ablazione (Figura 5): a giugno e ottobre la curva è caratterizzata da fluttuazioni giornaliere relativamente ridotte, mentre a metà estate la portata ha un picco alle ore 16.00 e oscillazioni giornaliere accentuate. Tali variazioni sono il frutto della diversa entità delle forzanti termiche e della crescente efficienza del sistema di drenaggio

del ghiacciaio nell'avanzare della stagione di fusione.

Si nota infatti che il picco a settembre anticipa di due ore quello di giugno. Tali aspetti, per altro sono concordi a quanto rilevato in letteratura (Hannah et al, 1999,2000 a, Gurnell, 1995).

SISTEMA DI DRENAGGIO DI UN GHIACCIAIO

In Figura 6 è riportato uno schema semplificato dei sistemi di drenaggio di un ghiacciaio alpino secondo Collins (1998). Si può notare come il sistema drenante si differenzi tra zona di ablazione e zona di accumulo.

Nella parte bassa del ghiacciaio (zona di ablazione) l'acqua deriva generalmente dallo scioglimento del ghiaccio in loco e si infila attraverso i crepacci o i condotti endoglaciali (Figura 7) per arrivare velocemente verso la fronte del ghiacciaio.

In questo caso i tempi di residenza dell'acqua sono relativamente brevi.

Nella parte alta del ghiacciaio (zona di accumulo) l'acqua di scioglimento della neve drena verso il lago principalmente tramite moto di filtrazione nella neve stessa, con tempi di residenza più elevati.

Una parte invece drena attraverso canali preferenziali superficiali e sotterranei (Figura 8), con tempi di residenza paragonabili a quelli della zona di ablazione. Data questa schematizzazione, è possibile semplificare i deflussi di un ghiacciaio attraverso un modello lineare a serbatoi, ognuno rappresentante sistemi di drenaggio con caratteristiche e tempi di residenza differenti, come riportato in Figura 9 (Elliston, 1973; Richards et al., 1996).

MODELLO A SERBATOI LINEARI

L'efflusso da un serbatoio lineare, presumendo assenza di ricarica, può essere espresso come:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\frac{t-t_0}{K}}$$

dove Q_t [$m^3 s^{-1}$] è la portata uscente al tempo t [s]; Q_0 [$m^3 s^{-1}$] è la portata uscente al

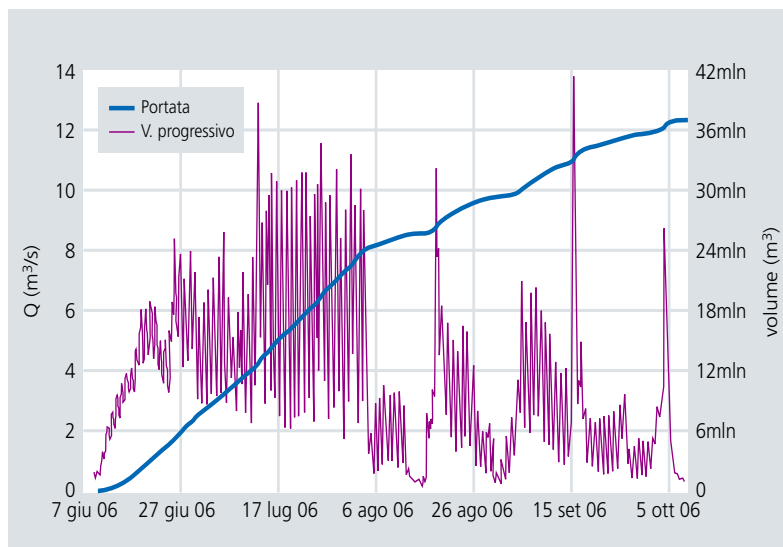


Fig. 4 - Portate al Lago Nuovo durante la stagione di fusione 2006 (curva rossa) e andamento dei volumi defluiti (curva blu).

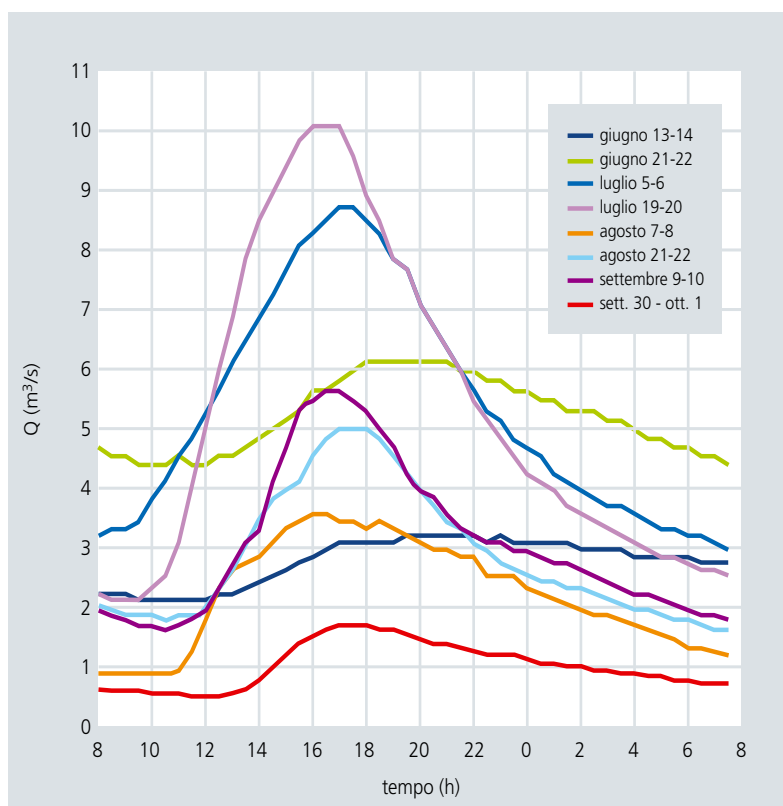


Fig. 5 - Portate giornaliere al Lago Nuovo. Da notare che il massimo di portata giornaliera viene raggiunto verso le ore 17.00 e la curva si spanci con il proseguire della stagione di ablazione.



Fig. 6 - La struttura dei sistemi di drenaggio di un ghiacciaio alpino (Collins 1998, modificato).

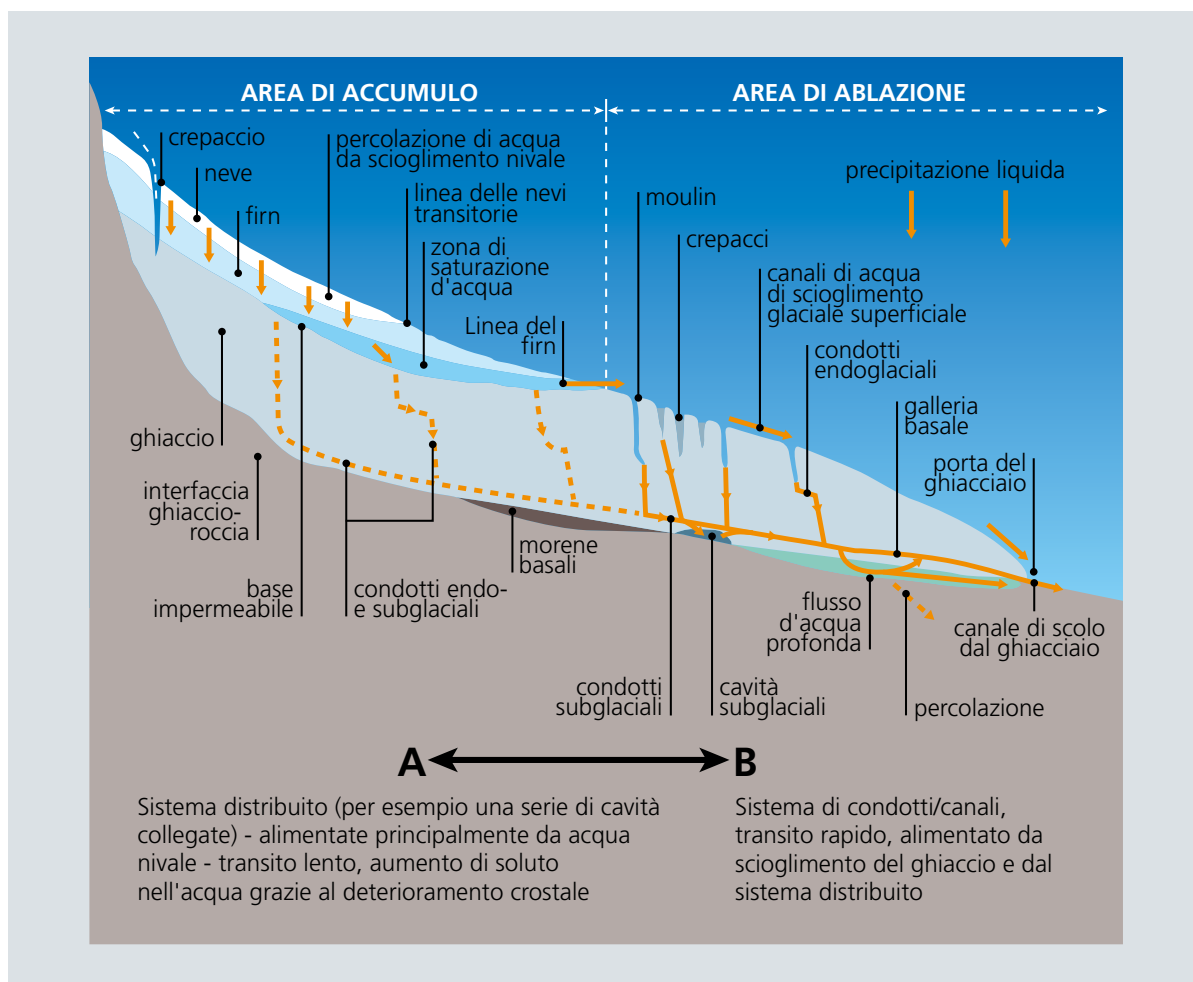


Fig. 7 - Acqua di scioglimento si infila velocemente nell'inghiottitoio del ghiacciaio.



tempo iniziale t_0 [s] mentre K [s] è il tempo di residenza medio all'interno del sistema di drenaggio stesso.

Sulla base di un'analisi delle porzioni discendenti degli idrogrammi giornalieri (Figura 5), si sono identificati due serbatoi in parallelo: uno lento per la porzione del ghiacciaio coperta da neve, uno veloce per

quella quota scoperta, con valori dei relativi tempi di residenza K pari rispettivamente a 30 e 5 ore (Figura 10).

Oerter et al (1981) identificano valori di ritenzione per i relativi serbatoi di 4-4.5 ore e 28.75-30 ore per il Vernagtferner, un ghiacciaio austriaco per estensione superficiale simile.

MODELLAZIONE A SCALA STAGIONALE E GIORNALIERA

La modellazione delle portate in uscita dal lago richiede quindi:

1. la quantificazione dello scioglimento del ghiaccio e della neve, derivante dall'interconnessione tra il bilancio di massa e di energia;
2. la localizzazione della superficie del ghiacciaio ricoperta da neve durante la stagione di ablazione, per determinare l'entità dei serbatoi;
3. una taratura finale sui tempi di residenza: residenza lenti (K_{slow}) e veloce (K_{fast}).

I primi due punti possono essere ottenuti tramite l'applicazione di un modello fisicamente basato, che tenga conto dei fattori topografici (esposizione, pendenza, ombre) e meteorologici (temperatura, precipitazione, vento, umidità relativa) locali. GEOtop (Rigon et al., 2006; Endrizzi 2007, Dall'Amico 2010) è un modello idrologico distribuito e fisicamente basato che risolve le equazioni di bilancio termico e di mas-

sa di un corpo glaciale. Esso permette di quantificare la massa glaciale soggetta a fusione, e localizzarla spazialmente sulla base della quota, le caratteristiche di esposizione e ombra locali e le precipitazioni cadute. La massa liquida di fusione dal ghiacciaio viene quindi data in ingresso a un modello a serbatoi lineari, in grado di descrivere l'effetto del sistema di drenaggio e restituire la portata alla sezione di chiusura. In Figura 10 è riportata la modellazione delle portate derivanti dallo scioglimento nivale (serbatoio lento - linea azzurra) e le portate derivanti dalla fusione del ghiaccio (serbatoio veloce - linea viola), in relazione con le portate misurate al Lago Nuovo (linea blu) su scala temporale stagionale, assumendo il tempo di residenza veloce (K_{fast}) pari a 5 h, e quello lento (K_{slow}) pari 30 h costanti nel periodo. Tale risultato può essere migliorato considerando che i tempi di residenza non siano statici, ma dipendano dall'evoluzione del percorso che l'acqua compie all'interno del ghiacciaio per raggiungere la fronte (Hannah and Gurnell, 2001). Sono stati selezionati cinque periodi di cinque giorni nella stagione di ablazione, uno ad inizio estate e l'altro a metà estate, durante i quali si è calcolata la percentuale del ghiacciaio coperta da neve e i tempi di residenza dei due serbatoi. In Figura 11 sono riportate le analisi dei due periodi. Nel primo si evince come le portate derivino da scioglimento nevoso, differenziato da percorso veloce (Q neve fast), derivante dalla presenza di canali di scolo superficiale preferenziali e da un sistema di drenaggio profondo preesistente, e da un percorso lento (Q neve slow) che rappresenta il moto di filtrazione nella neve. Durante il mese di luglio, le fluttuazioni giornaliere sono da attribuirsi alla fusione del ghiaccio e ad un sistema di drenaggio veloce (Q ghiaccio fast), mentre la quota di portata derivante dalla neve è minoritaria. Da tale analisi possono essere determinati K_{fast} e K_{slow} nella stagione di ablazione (Tabella 1). Per quanto riguarda il serbatoio lento, a inizio giugno K_{slow} è elevato (100 h), in quanto il drenaggio avviene per moto principalmente di filtrazione attraverso neve satura, per arrivare



Fig. 8 - Acqua di scioglimento ruscella in canali solcati nella neve superficiale.

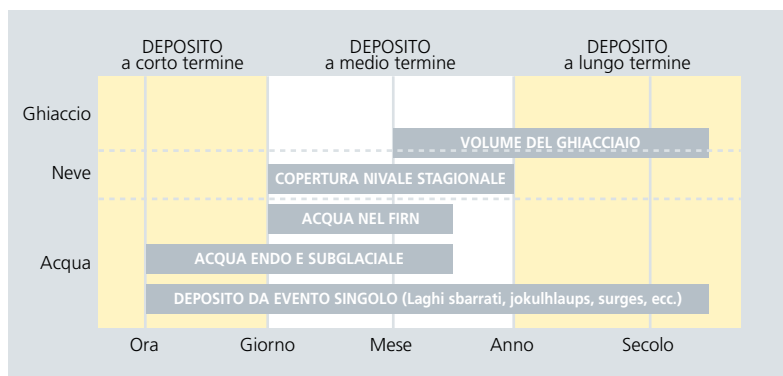


Fig. 9 - Schema rappresentante le differenti forme di immagazzinamento (serbatoi) e tempi di residenza di un ghiacciaio (Jansson P. et al., 2003).

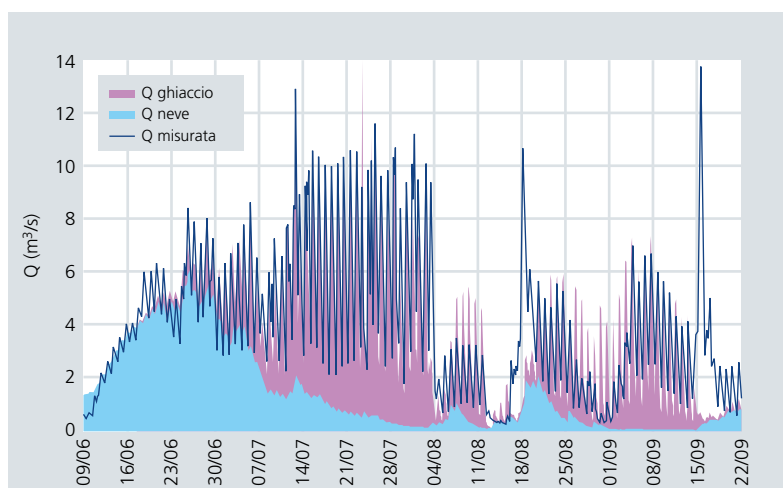
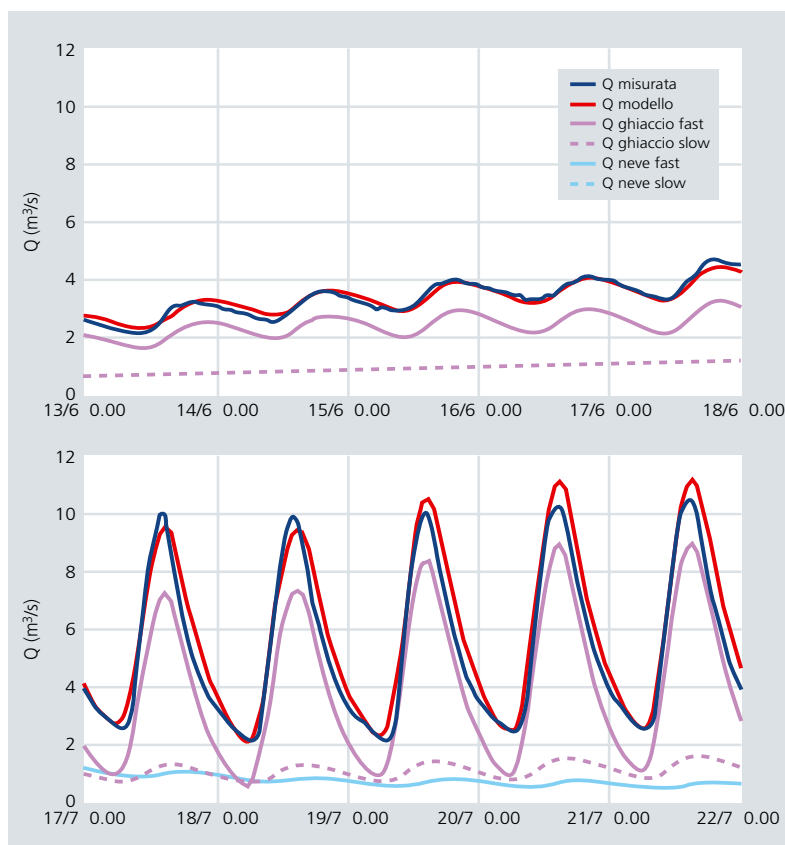


Fig. 10 - Idrogramma modellato su scala temporale stagionale e misurato nell'estate 2006 presso il Lago Nuovo assumendo $K_{fast}=5$ h e $K_{slow}=30$ h costanti nel periodo.

Fig. 11 - Portata misurata e modellata in vari periodi della stagione di ablazione



Tab. 1

TEMPI DI RESIDENZA K [H] dei vari serbatoi stimati nella modellazione del sistema di drenaggio del ghiacciaio del Mandron a scala temporale giornaliera			
PERIODO	K _{slow} [h]	K _{fast} [h]	% SUP COPERTA
13/06 - 17/06	100	2	100.0
27/06 - 01/07	20	4	80.5
17/07 - 21/07	16	4	8.0
06/08 - 10/08	12	8	35.0
08/09 - 12/09	20	2	3.0

a 12 h in piena stagione di fusione. Per quanto riguarda il serbatoio veloce, K_{fast} in generale è dell'ordine delle 2-4 h, tuttavia risente delle precipitazioni solide che possono ostruire i canali e quindi aumentare il tempo di residenza repentinamente, cosa che accade ad inizio agosto quando K_{fast} passa da 4 a 8 h a seguito ad una nevicata.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro propone l'accoppiamento del modello idrologico GEOTop con un modello a serbatoi per il calcolo del deflusso in uscita dal ghiacciaio del Mandron sul gruppo Adamello-Presanella. Le portate simulate sono state confrontate con le portate misurate durante la stagione 2006 in prossimità del Lago Nuovo, e successivamente tarate sulla base dei valori dei tempi di residenza dei serbatoi. I risultati

suggeriscono che i tempi di residenza variano nel tempo in conformità con l'evoluzione del sistema di drenaggio glaciale. Lo studio inoltre suggerisce la presenza di una sistema di drenaggio veloce, attivo e pienamente sviluppato già in primavera. Per il Ghiacciaio del Mandron questo potrebbe rappresentare la conseguenza delle numerose recenti annate di bilanci di massa negativi, che hanno incentivato la formazione di canali superficiali preferenziali e condotti endoglaciali ad efficiente capacità di drenaggio.

RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento al Comitato Glaciologico della SAT di Trento per l'aiuto logistico nel reperimento delle misure, in particolare all'ing. Fabrizio Zanotti, Mario Chemelli, Vittorino Betti e Giuseppe Alberti.

Bibliografia

- COLLINS D.N. (1998) - Rainfall-induced high-magnitude runoff events in highly-glacierized Alpine basins, IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences, vol. 248, pag. 69-78.
- DALL'AMICO M. (2010) - *Coupled water and heat transfer in permafrost modeling*, Tesi di Dottorato in Ingegneria Ambientale, Università di Trento.
- ELLISTON G.R. (1973) - Movement of water through the Gornergletscher Symposium on the Hydrology of Glaciers (Proceedings of the Cambridge Symposium) vol. 95, IAHS publication pp. 79-84.
- ENDRIZZI S. (2007) - *Snow cover modelling at local and distributed scale over complex terrain*. Tesi di Dottorato in Ingegneria Ambientale, Università di Trento, 2007.
- GURNELL A.M. (1995) - *Sediment and Water Quality in River Catchments*, Wiley, Chichester, pp. 407-435.
- HANNAH D.M., GURNELL A.M., MCGREGOR G.R. (1999) - *A methodology for investigation of the seasonal evolution in poroglacial hydrograph form*, Hydrological Processes 13, pp. 2603-2622.
- HANNAH D.M., SMITH B.P.G., GURNELL A.M., MCGREGOR G.R. (2000 a) - An approach to hydrograph classification, Hydrological Processes 14, pp. 317-338.
- HANNAH D.M., GURNELL A.M. (2001) - A conceptual, linear reservoir runoff model to investigate melt season changes in cirque glacier hydrology. Journal of Glaciology, 246, pp. 123-141.
- NOLDIN I. (2008) *Bilancio idrologico e modellazione del sistema di drenaggio di un ghiacciaio alpino*. Tesi di laurea in Ingegneria Ambientale, Università di Trento.
- OERTER H., BAKER D., MOSER H. AND REINWARTH O. (1981) - Glacial-hydrological investigations at the Vernagtferner Glacier as a basis for a discharge model, Nordic Hydrology 12, pp. 335-348.
- RICHARDS K.S., SHARP M., ARNOLD N., GURNELL A.M., CLARK, M., TRANTER M., NIENOW P., BROWN G., WILLIS I. and LAWSON W. (1996) - *An integrated approach to modelling hydrology and water quality in glacierized catchments*. Hydrological Processes 10, pp. 479-508.
- RIGON R., G. BERTOLDI, T. (2006) - Over, GEOTop: A distributed hydrological model with coupled water and energy budgets. Accettato per pubblicazione su Journal of Hydrometeorology.
- ZANOTTI F., S. ENDRIZZI, G. BERTOLDI, and R. RIGON, (2004) - *The GEOTop snow model*, Hydrological Processes, 18, 3667-3679.



PREMIO "PAOLO VALENTINI" Edizione 2010

L'AINEVA - Associazione interregionale di coordinamento e documentazione per i problemi inerenti alla neve e alle valanghe, in memoria dell'ing. Paolo Valentini, attivo collaboratore sin dalla fondazione, istituisce il PREMIO "PAOLO VALENTINI" EDIZIONE 2010 a favore di studi, tesi di laurea e altre iniziative inerenti alle problematiche oggetto dell'attività dell'Associazione, quale si evince dall'articolo 3 dello Statuto*.

ART. 1

Il Comitato Tecnico Direttivo dell'AINEVA nomina un'apposita Commissione giudicatrice che provvede ad esaminare le proposte pervenute e a stilare una graduatoria delle iniziative partecipanti.

ART. 2

Sarà premiato il lavoro giudicato di maggior interesse o l'iniziativa giudicata più meritevole, con l'assegnazione di un importo di 2.500,00 euro.

A giudizio della Commissione preposta, il premio potrà essere diviso tra più lavori o iniziative.

ART. 3

Le tesi di laurea partecipanti al concorso dovranno essere depositate presso la Segreteria dell'AINEVA (è possibile consegnare copia del lavoro su cd-rom allegando una fotocopia in bianco e nero) non oltre il termine del 31 dicembre 2010; copia dei lavori sarà trattenuta presso la Segreteria. Eventuali altre iniziative benemerite sviluppate durante l'anno potranno essere segnalate all'AINEVA entro la stessa data. La premiazione avverrà in occasione di una specifica cerimonia che si svolgerà presso la Sede AINEVA in Trento.

ART. 4

Sulla rivista "NEVE E VALANGHE", organo ufficiale dell'Associazione, potranno essere pubblicati estratti del lavoro premiato, come pure, se ritenuti meritevoli, di tutti quelli partecipanti al concorso.

**Art. 3 dello STATUTO AINEVA: L'Associazione si propone di garantire il coordinamento delle azioni e delle iniziative che gli Enti associati svolgono in materia di prevenzione e studi inerenti alla neve e alle valanghe.*

Essa, in particolare, ha lo scopo di: a) promuovere lo scambio di informazioni, notizie, dati concernenti la neve e le valanghe; b) favorire l'adozione di mezzi e strumenti di informazione uniformi, anche nel campo del trattamento elettronico dei dati; c) promuovere la sperimentazione di mezzi ed attrezzature nello specifico settore; d) curare e diffondere pubblicazioni sulle materie oggetto di studi; e) curare l'aggiornamento e l'informazione dei tecnici del settore.

INCONTRO TECNICO GIURIDICO TRA OPERATORI DELLA MONTAGNA Courmayeur, 1 aprile 2010

Giovedì 1 aprile 2010 si è svolto a Courmayeur (AOSTA) un incontro tecnico giuridico tra operatori della montagna, organizzato dalla Fondazione montagna sicura, dal Comune di Courmayeur e dalla Fondazione Courmayeur.

Al tavolo erano presenti, oltre agli organizzatori, i rappresentanti di diverse istituzioni quali: Unione valdostana guida alta montagna, Soccorso alpino valdostano, Soccorso Alpino Guardia di Finanza della Valle d'Aosta, Azienda USL Valle d'Aosta, Procura della Repubblica di Aosta, Procura della Repubblica di Genova, Ufficio neve e valanghe Valle d'Aosta, Delegazioni del Soccorso Repubblica Polacca e Slovacca.

Ottima occasione di confronto su diversi temi legati agli operatori della montagna

tra cui: funzione e limiti della "scala regionale" del bollettino neve e valanghe, normativa sulla movimentazione su terreno innevato, limite dei soccorritori negli incidenti in valanga, obblighi doveri e responsabilità degli stessi, fattori psicologici; impatto emotivo dell'opinione pubblica sugli addetti al soccorso nelle tragedie in montagna, concetto di auto responsabilità, ruolo della prevenzione, della sensibilizzazione, dell'educazione, e formazione dei professionisti della montagna.

Paola Dellavedova
Ufficio Valanghe di Aosta

CORSO AINEVA MODULO 2a PER LE GUIDE ALPINE DELLA LOMBARDIA

Si è svolto a Bormio dal 25 al 29 gennaio il Corso Modulo 2a per Osservatore Nivologico AINEVA, finalizzato alla formazione di Guide Alpine per le attività di rilievo e monitoraggio neve-valanghe sulle montagne lombarde.

Hanno partecipato 33 Guide Alpine, la maggior parte costituita da allievi di elevata professionalità ed esperienza, a cui sono stati associati anche tutti gli aspiranti che sono in attesa di acquisire il brevetto. Erano presenti inoltre 4 allievi della Soccorso Alpino della Guardia di Finanza (SAGF), operativi presso le stazioni lombarde, quale supporto ai colleghi che già da due anni collaborano con il Centro Nivometeorologico di ARPA Lombardia nella valutazione della stabilità del manto nevoso in diverse aree della regione.

Alle lezioni teoriche sono seguite fasi pratiche su terreno innevato dove le Guide hanno potuto analizzare e riconoscere le varie tipologie di cristalli e carpire, tramite le peculiarità degli strati che compongono il manto nevoso, le forze e resistenze che interagiscono e che determinano il grado di consolidamento del manto nevoso a cui viene poi associato il corrispondente grado di pericolo nella emissione del Bollettino Nivometeorologico.

Relatori ed istruttori principali sono stati i previsori del Centro di Bormio, ma anche dell'ARPA Veneto e della Regione Friuli Venezia Giulia, la previsione meteorologica è stata presentata da Umberto Pellegri di ARPA Lombardia.

E' stato sicuramente un momento positivo di confronto tra l'esperienza della Guide su terreno innevato, che talvolta le vede implicate in responsabilità legate agli incidenti da valanga, ed i tecnici

dei Centri valanghe sull'interpretazione delle informazioni contenute nel Bollettino Nivometeo.

Alfredo Praolini
Il Direttore del Corso

L'ATTIVITA' FORMATIVA DELL'INVERNO 2009/2010

Nel corso dell'inverno appena trascorso, la Valle d'Aosta è stata teatro dell'intero ciclo formativo di livello 2 programmato dall'AINEVA nel proprio piano annuale di attività. Si sono svolti simultaneamente dal 18 al 22 gennaio 2010, due edizioni del Modulo 2a per "osservatore nivologico" di cui uno a Courmayeur (AO) ed uno a Falcade (BL), a poche settimane dall'edizione del primo modulo 2a della stagione, organizzato a Sella Nevea (UD) dal 14 al 18 dicembre 2009. Il successivo modulo 2b per "Operatore ed assistente del distacco artificiale di valanghe" è stato organizzato a Courmayeur dal 8 al 12 marzo 2010 e sempre a Courmayeur si terranno, dal 10 al 17 maggio p.v., i corsi conclusivi del livello 2, precisamente il modulo 2c per "Direttore delle operazioni" ed il modulo 2d per "Responsabile della sicurezza". Parallelamente l'AINEVA ha organizzato due corsi 2pc di "gestione delle problematiche valanghive di protezione civile", rispettivamente a Belluno in settembre 2009 e a Oulx in novembre.

Per quanto riguarda i corsi organizzati nell'ambito di convenzioni o su richiesta di enti terzi, oltre al già citato modulo 2a promosso a Bormio in gennaio a favore delle Guide Alpine della Lombardia, L'AINEVA ha organizzato un modulo 3a per la Regione Molise a Campochiaro nel febbraio 2010 intitolato "Previsione meteorologica di montagna, elaborazione di bollettini neve e valutazione del rischio valanghe". Corsi locali: l'AINEVA ha istituito Commissioni d'esame per il rilascio del titolo di "Osservatore nivologico" nell'ambito dei moduli 2a organizzati dalla Regione Piemonte per le proprie Commissioni Locali Valanghe rispettivamente a Limone Piemonte in gennaio e a Verbania/Macugnaga in aprile 2010.

ERRATA CORRIGE

Numero 67 di Neve e Valanghe:

- la Foto n° 4 a pag. 31 è di proprietà della Provincia di Cuneo (Paolo TIBILE);
- la Foto n° 16 a pag. 36 rappresenta una valanga sulla viabilità di fondovalle in Valle Gesso (foto Volo Provincia Cuneo).



SNOWFALLS IN THE PIEMONTESE ALPS IN THE LAST FIFTEEN YEARS Favourable conditions for skiing and artificial snow production

Mariaelena Nicoletta, Elena Turrone

The International scientific community, supported by meteorological measures, documents a phase of global warming whose responsibility is attributed to human activity.

Such theory is confirmed by the 4th report of IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), published in spring 2007, which constitutes at the moment the most complete, up-to-date and reliable well-run source on the topic of climatic change. The effect of such warming, over the whole planet, is the reduction of snowfall, in terms of snowfall quantity, but also of thickness and duration of the snow cover. This analysis has the goal to supply a study about the snowfall in Piedmont during the last fifteen years.

We have considered the data referred to the winter period, between December and March, which is the most meaningful for the evaluation of the snow cover in order to practice ski activities. We have subdivided the regional Alpine chain into four different areas (North, North-West, West and South), which are homogeneous from a geographic and climatic point of view.

THE "STICKY SNOW" PHENOMENON OBSERVED IN THE ITALIAN WESTERN ALPS DURING SPRING 2009 Preliminary results obtained by a team of university and CNR researchers

D. Viglietti, J. Gabrieli, S. de Pieri, R. Caramiello, M. Freppaz, L. Celi, D. Said-Pullicino, G. Filippa, C. Siniscalco, A. Gambaro, C. Barbante, E. Zanini

The Alpine seasonal snowpack accumulates wet and dry atmospheric deposition which may be held in storage until release during the melting period. This may have potential effects on soil and water quality. The monitoring of chemical properties of the snowpack is therefore essential in order to assess the environmental quality of the mountain regions. In particular, the Alps are a valuable observation point for anthropogenic emissions as they are located in one of the most industrialized regions of the world.

During spring 2009 several ski mountaineers practicing in the Western Italian Alps found a sticky material under their skis and sealskins. In May 2009 more than 30 reports were filed for occurrences spread over the Western Italian Alps at elevations ranging from 1,500 to 2,700 m asl. Samples of the sticky material were collected from the skins and skis while snow was also sampled from the surface and

internal layers of five areas affected by this phenomenon.

The samples of sticky material and snow were analyzed for total and organic carbon, total nitrogen, heavy metals and other trace elements, and organic constituents including polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and aliphatic hydrocarbons. Snow samples were also analyzed for pH, conductivity and ion concentrations. Pollen analysis was carried out in selected snow samples.

The solid material collected from the skis had a brown-black, sticky appearance with a sharp smell of hydrocarbons. The total carbon fraction ranged from 35 to 65% and a relatively large amount of long-chain aliphatic hydrocarbons ($20 < C < 30$) and polycyclic aromatic hydrocarbons were found in all the samples. FT-IR spectra evidenced the presence of long-chain alkyl compounds. Some heavy metals such as Zn, Cu, Mo, Cd, Sb, Pb and Bi, presented a moderate enrichment with respect to crustal average concentration. According to recent scientific literature, the chemical characteristics of this material suggest a predominance of combustion-derived residues (ashes, soot).

The snow samples collected from the upper snowpack layers revealed the presence of a relatively high quantity of arboreal pollen grains (13 pollen types), mainly belonging to *Larix decidua*, *Fagus sylvatica* and *Pinus* sp., related to the elevation and the location of the sampling sites. The pollen analyses revealed a local deposition of grains and an upward transport mainly due to nearby wood pollen production. Moreover the superficial snow samples generally showed an important content of dissolved organic carbon (DOC), much higher than those observed in Turin urban snow and in Eastern Alps collected in winter 2009. In our snow samples dust concentrations were exceptionally high with the presence of big dark aggregates. The solid material was collected by filtration and analyzed for organics as the previous samples. The organic profiles were comparable with those obtained for the sticky material, with high levels of heavy hydrocarbons and PAHs.

The concentrations of the inorganic components showed an irrelevant contribution from natural strong events such as Saharan depositions. The content of DOC, solid material and organics in the internal snowpack layers were comparable to the

literature data for Alpine fresh snow highlighting that contamination was limited to the superficial layer.

From these findings we can conclude that the material accumulated under the skis and seal skins was comparable to that found on the surface snow layers and its chemical characteristics suggested a pyrogenic hydrocarbon origin. While the chemical nature of the sticky material was well characterised, its source and provenience have not been clarified yet, as its fate in the soil-water system.

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF CLIMATE CHANGES IN THE ITALIAN WESTERN ALPS: THE VAL MAIRA CASE

S. Fratianni, S. Brunatti, F. Acquafredda and with collaboration of M. Cordola

The choice on the Maira valley is due to the availability of climatic daily data from 1923, never digitized, for two meteorological stations: Acciglio Saretto (1,530 m) and Combamala (915 m). We considered the data of snow depth, fresh snow depth, precipitation and temperatures registered by ENEL (National Grid for the Electric Energy) and at the time of property of ARPA Piemonte.

The analysis of historical series leads during November and April, supplied the main climatic trends and to better understand the entity of the change, we calculated the climatic index on the considered period and over the thirty-year period WMO (1971-2000).

THE SNOWRKNOWN PROJECT Innovative methods for SWE calculation at the basin scale

P. Dellavedova, B. Frigo, A. Godio, R. Rege, E. Borgogno Mondino, I. Bevilacqua, S. Ferraris, M. Prevati, E. Cremonese, U. Morra di Cella

"SnowRKnown" project (supported by Fondazione CRT) investigates the Snow Water Equivalent (SWE) at the basin scale with innovative devices. The estimation of the SWE, the product between the height of the snow cover and the ratio between snow and water densities, is usually based on punctual measures with traditional techniques (manual excavation of snow trenches with the survey of vertical density profiles). These techniques are time consuming and require a large employment of human resources when applied to alpine

basins of several square kilometres area. Instead, the project verified the use of electromagnetic devices, the Ground Penetrating Radar (GPR), the Time Domain Reflectometry (TDR) and Water Content Reflectometry (WCR) for the faster estimation of the desired snow properties. Two campaigns have been performed to a portion of the Breuil basin (Valtournenche, Aosta Valley -Italy) during April 2008 and April 2009.

ZONING OF AVALANCHE AREAS BASED ON AVALANCHE RELEASE LIABILITY

A methodological and operational proposal following a five-year period of observations and snow surveys in the Prati di Tivo area

M. Pecci and P. D'Aquila

The paper presents the results concerning GIS environment modelling and elaboration of surveyed geomorphologic

and snow data with the aim of contributing to the zoning of snow avalanche susceptibility.

The research activities have been performed in the Prati di Tivo ski area (Gran Sasso d'Italia Mountain range - Abruzzo Region, Teramo District) and have contributed to the drawing up of a predictive model, able to elaborate data in distinct and subsequent steps, aimed at producing avalanches zoning maps.

Afterwards, the model has been validated in other and different areas and can be implemented also with respect to other snow-meteorological parameters (thickness of recent snowfalls, wind transported snow, thermal rise, etc.), local geomorphologic features (rock type, attitude and roughness of the bedrock, stability, etc.) and vegetation (type, density, etc.).

The model is easily updatable in "real time", thanks to a toolset, ad hoc developed in GIS environment and, in perspective, is able to provide a "full" contribution in forecasting terms.

DRAINAGE OF AN ALPINE GLACIER

Study of the drainage system of an alpine glacier through the GEOTop distributed hydrologic model and a linear reservoir runoff model

I. Noldin, S. Endrizzi, Riccardo Rigon, M. Dall'Amico

Glaciers play a fundamental role for alpine areas. In addition to feeding mountain fauna and flora, water from glacier melting also fosters agriculture development in the valley bottom. In this context, knowing more exhaustively the glacier hydrological system evolution would mean being able to understand the time and ways through which glacier melting makes water available to the valley bottom, mainly in the light of climate changes underway. The civil engineering department of the Trento University, along with the SAT Glaciological Committee and Museo Tridentino di Scienze Naturali, has been involved since 2004 in the "Experimental study and mo-

nitoring of alpine glaciers project", aimed at measuring and simulating the long-term hydrological cycle of Trentino glaciers.

The aim of this contribution, based on the degree thesis of engineer Ivan Noldin, is to simulate the space-time dynamics of the Mandron glacier (Adamello-Presanella range) by combining a distributed hydrological model and a linear reservoir runoff model. All that allows for the calculation of flows downstream to the glacier based on the actual thermal balance and the evolution of the snow-covered glacier surface.



Soluzioni per la sicurezza in montagna



Obiettivo Neve

Via Pordoi, 8 20019 - Settimo Milanese (MI)
Tel. +39 02 33502446 - Fax +39 02 93650409
e-mail: info@obiettivoneve.it - www.obiettivoneve.it

UOMINI & TECNOLOGIE PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE



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

 **CAE**
monitoring your world.

SISTEMI E SOLUZIONI PER IL MONITORAGGIO IDROMETEOROLOGICO

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