

n° 58 - agosto 2006

Neve e Valanghe

*Meteorologia alpina,
Glaciologia, Prevenzione
Sicurezza in montagna*



Revista quadrimestrale - Sped. A.P. 70% - L. 4/11/78 - Tassa postale 70% per via

SPECIALE INNEVAMENTO IN ITALIA



Alpinismo
Speleologia
Escursionismo
Trekking
Scialpinismo
Materiali nivometeo 
Attrezzature per lavori in altezza

ASPORT'S MOUNTAIN EQUIPMENT

il tuo negozio di sport



Quartier Carducci, 141 - Chies d'Alpago (BL) - Tel.0437 470129 - Fax 0437 470172 - info@asport-s.com - www.asport-s.com



www.aineva.it



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

REGIONE PIEMONTE

ARPA-Piemonte

Area Previsione e Monitoraggio Ambientale

Cso Unione Sovietica, 216 - 10134 Torino

Tel. 011 3168203 - Fax 3181709

Bollettino Nivometeorologico:

Tel. 011 3185555

<http://www.arpa.piemonte.it>

Televideo RAI 3 pagine 536 e 537

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 Confalone 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 517

e-mail: g.peretti@arpalombardia.it

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Dipartimento Protezione Civile

Ufficio Previsioni e Organizzazione

Via Vannetti 41 - 38100 Trento

Tel. 0461 494877 - 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 Nivometeo Tel 0436 780007

Self fax 0436 780008 - 79221

Fax polling 0436 780009

<http://www.arpa.veneto.it/csvdi>

e-mail: cva@arpa.veneto.it

REGIONE AUTONOMA

FRIULI VENEZIA GIULIA

Ufficio Valanghe

C/o Direzione Regionale delle Foreste

Via Cotonificio 127 - 33100 Udine

Tel. 0432 555877

Fax 0432 485782

Bollettino Nivometeorologico

NUMERO VERDE 800 860377 (in voce e self fax)

<http://www.regione.fvg.it/valanghe/valanghe.htm>

e-mail: neve.valanghe@regione.fvg.it

Sede AINEVA

Vicolo dell'Adige, 18

38100 TRENTO

Tel. 0461 230305 - Fax 0461 232225

<http://www.aineva.it>

e-mail: aineva@aineva.it

- 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

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

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 2006: Euro 15,50
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 - 38100 Trento

Direttore Responsabile

Giovanni PERETTI

Coordinatore di redazione

Alfredo PRAOLINI

ARPA Lombardia

Comitato di redazione:

Enrico FILAFERRO, Fabio GHESER,

Mauro GADDO, Elena TURRONI,

Mauro VALT, Elena BARBERA,

Michele FREPPAZ

Comitato scientifico editoriale:

Massimo PASQUALOTTO,

Alberto TRENTI, Stefano BOVO,

Francesco SOMMAVILLA,

Paolo STEFANELLI, Giovanni PERETTI,

Michela MUNARI

Segreteria di Redazione:

Vicolo dell'Adige, 18

38100 TRENTO

Tel. 0461/230305

Fax 0461/232225

Videoimpaginazione e grafica:

MOTTARELLA STUDIO GRAFICO

www.mottarella.com

Cosio Valtellino (SO)

Stampa:

ALCIONE srl

Trento

Referenze fotografiche:

Foto di copertina: Lodovico Mottarella

Lodovico Mottarella: 1, 2, 7, 15, 23, 25, 45, 46,

48, 53, 75, 77, 78

Uff. Valanghe Friuli V.G.: 35, 37, 38, 41, 43, 51

Fabio Gheser: 6, 10, 12 (dx), 108

Giovanni Kappenberger: 8

Alfredo Praolini: 4, 9, 12, 13, 27, 28, 29, 30, 31,

32, 33, 49, 52, 59, 60, 63, 67, 71, 73, 83, 91, 95,

97, 98, 102, 104, 105, 108 (basso)

IMONT: 18, 19, 20, 93

Mario Passeri: 69, 70, 72, 73 (basso)

Michele Freppaz: 76, 78 (alto), 79, 81

Hanno collaborato

a questo numero:

Serena Mottarella, Stefania Del Barba,

Giorgio Tecilla, Nadia Preghenella,

Flavio Berbenni, Daniele Moro,

Fabio Gheser.

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

I dati forniti dagli abbonati e dagli inserzionisti
vengono utilizzati esclusivamente per l'invio
della presente pubblicazione (D.Lgs.30.06.2003
n.196).

Sommario

agosto 2006 numero 58



6

NEVE SULLE ALPI ITALIANE INVERNO 2005 - 2006

M. Valt



14

NEVE SULL'APPENNINO CENTRALE INVERNO 2005 - 2006

P. D'Aquila, M. Pecci



22

NEVOSITA' IN ITALIA ULTIMI 20 ANNI

*M. Fazzini, L. Magagnini, A. Giuffrida,
G. Frustaci, M. Di Lisciando, M. Gaddo*



34

DISTRIBUZIONE DEGLI INNEVAMENTI SULLA MONTAGNA FRIULANA

*M. Barbolini, M. Pagliardi, F. Ferro,
P. Stefanelli, E. Filafferro*



44

IL CARICO DELLA NEVE SULLE COSTRUZIONI IN ITALIA

R. Del Corso, P. Formichi



58

INDICE DI SCIABILITA'

M. Fazzini, F. Cenacchi, P. Billi, M. Gaddo



68

INNEVAMENTO ARTIFICIALE

M. Passeri



74

SUOLI PIÙ FREDDI IN UN MONDO PIÙ CALDO?

*M. Freppaz, M. Marchelli, D. Viglietti,
E. Bruno, E. Zanini*



82

PERMAFROST SUL BACINO DEL CORDEVOLE

*A. Cagnati, A. Crepaz, F. Carollo,
M. Lehning, I. Völksch*



90

PROFILO CHIMICO-AMBIENTALE DEL MANTO NEVOSO

*M. Pecci, P. D'Aquila, M. Valt, T. Corso, G. Crepaz, A. Crepaz,
V. Cagnati, J. Gabrieli, A. Praolini, E. Meraldi, F. Berbenni,
G. Kappenberger, M. Freppaz, P. Dellavedova, G. Filippa*



Un numero "speciale" di Neve e Valanghe dedicato alla... neve, o meglio all'innevamento in Italia.

Banale, direte voi. Ma era più di un anno che il Gruppo Previsori dell'AINEVA assieme al Comitato di Redazione di N&V ci stava lavorando, con più o meno assiduità ma ci stava lavorando.

La nostra rivista non è nuova al discorso "numeri speciali", dedicati ad un argomento o ad un insieme ristretto di argomenti specifici, sin quasi dall'inizio di questa nostra piccola avventura editoriale, col corposo numero 9 dedicato alla Prevenzione ed al Soccorso. Mi viene in mente il numero 13, dedicato alla Cartografia delle Valanghe, o il numero 24 sull'argomento Previsione ed Informatica, o il successivo numero 25, uno speciale sul processo per un evento valanghivo grosso ed importante: la Valanga del Pavillon, in Val d'Aosta, che provocò una dozzina d'ignare vittime sulla pista da sci del Pavillon e che ebbe significativi strascichi giuridici.

Ancora il numero 43, improntato sulle problematiche di sicurezza valanghe inerenti lo sci fuoripista, o il recente numero 54, dedicato alla sicurezza valanghe nei comprensori per gli sport invernali.

Questo numero 58, come dicevamo, è interamente dedicato al discorso "Innevamento in Italia".

Dopo una presentazione del collega Mauro Valt del Centro Valanghe di Arabba relativa all'inverno 2005-2006 sulle alpi italiane e una analoga a cura dei ricercatori Pecci e D'Aquila dell'IMONT (Istituto Nazionale della Montagna, con sede a Roma) inerente l'ultimo inverno sull'Appennino Centrale, troviamo un'approfondita analisi sulla nevosità in Italia negli ultimi 20 anni, coordinata da Mauro Gaddo dell'Ufficio Valanghe di Trento con i contributi dei ricercatori Fazzini e Magagnino dell'Università di Ferrara e Di Lisciando dell'Università di Camerino e di Giuffrida e Frustaci del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare.

Segue un articolo sulla distribuzione dell'innevamento sulla montagna friulana, con un'analisi statistica delle principali variabili nivometriche, curato dai colleghi Paolo Stefanelli ed Enrico Filaferro dell'Ufficio Valanghe del Friuli Venezia Giulia con Barbolini e Gagliardi dell'Università degli Studi di Pavia e Ferro della Flow-Ing di La Spezia.

Interessante è il discorso sul carico della neve sulle costruzioni in Italia, affrontato da Del Corso e Formichi del Dipartimento di Ingegneria Strutturale dell'Università di Pisa.

Sull'indice di sciabilità legato alla climatologia alpina ed alle applicazioni sul turismo ci parlano invece i ricercatori Fazzini, Cenacchi e Billi dell'Università di Ferrara, che ritroviamo con il citato collega Gaddo di Trento. Mario Passeri della W.L.P. s.r.l. chiarisce un po' di concetti sull'innevamento artificiale mentre il gruppo di ricercatori del Laboratorio Neve e Suoli Alpini di Gressoney La Trinità, con l'Università di Torino, Freppaz, Marchelli, Viglietti, Bruno e Zanini ci parla del ruolo della neve nel condizionare la temperatura e la vita del suolo.

Il numero speciale si avvia alla conclusione con uno studio del permafrost sul bacino del Cordevole, redatto dai colleghi veneti Cagnati e Crepaz in collaborazione con Lehning e Wölksch dell'Istituto Federale Svizzero per lo studio della Neve e delle Valanghe di Davos e con Federico Carollo, Dottore Forestale vicentino.

L'articolo che chiude questo nutrito "speciale" è a firma di una quindicina di ricercatori degli Uffici Valanghe Veneto, Lombardo e Piemontese e del Servizio Meteorologico Svizzero coordinati da Massimo Pecci dell'IMONT e riguarda i primi interessanti risultati di uno studio, ancora in corso, sul Profilo chimico-ambientale del Manto Nevoso.

Come si vede lo "speciale" è ben corposo.

A voi l'attenta lettura, a seconda naturalmente degli argomenti che più v'interessano.

Il Direttore Responsabile
Dott. Geol. Giovanni Peretti

NEVE

sulle **ALPI ITALIANE**
INVERNO 2005-2006

Mauro Valt
AINEVA - Vicolo dell'Adige,
18 32100 Trento
email: mvalt@arpa.veneto.it



Attraverso l'analisi dei quantitativi di precipitazione nevosa storici e della stagione invernale 2005-2006 di 46 stazioni dell'arco alpino meridionale, è stato elaborato un indice SAI di innevamento per esprimere la maggior o minor nevosità di una stagione invernale. La stagione invernale 2005-2006 ha espresso un valore nella norma per il versante meridionale delle Alpi. L'analisi dei valori di neve cumulata per le Alpi occidentali, centrali e orientali evidenzia una differente nevosità nell'inverno scorso a tutte le quote. Le Alpi centrali e soprattutto le orientali hanno avuto precipitazioni nevose più abbondanti, specie nelle Prealpi e nei fondovalle. Tali precipitazioni non hanno tuttavia contribuito ad un bilancio pluviometrico positivo per il periodo novembre 2005 - aprile 2006.



INTRODUZIONE

La stagione invernale 2005–2006 è stata caratterizzata da basse temperature dell'aria e da diverse condizioni di innevamento fra le Alpi occidentali (Regione del

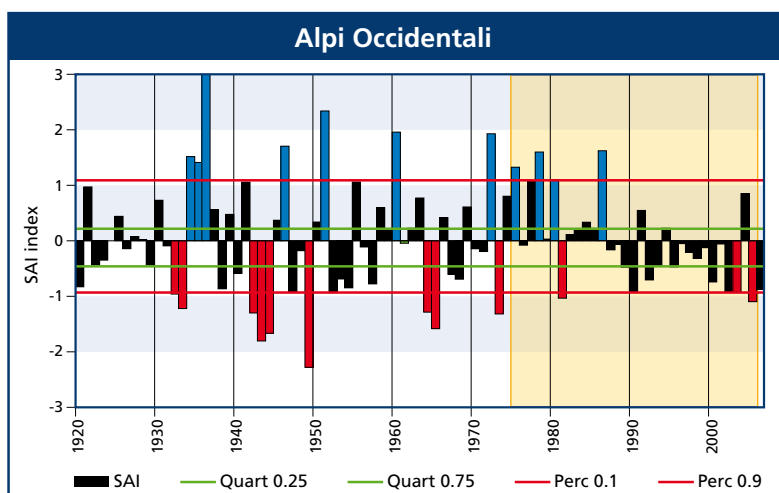
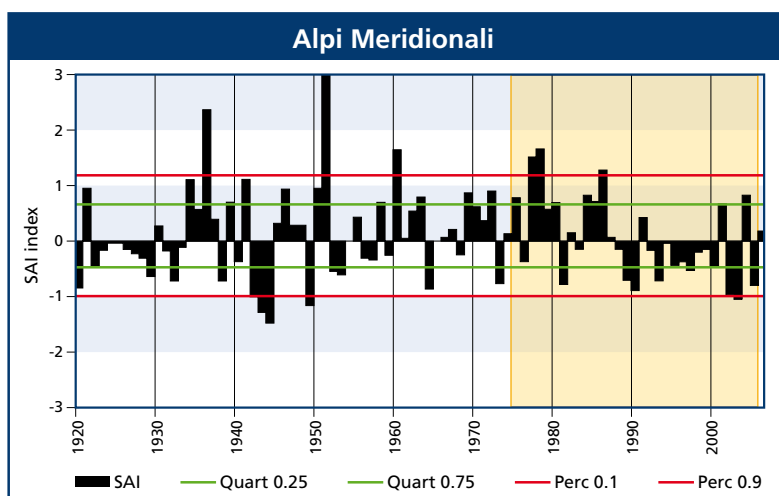
Piemonte e della Valle d'Aosta), le Alpi centrali (Cantone del Ticino, Regione della Lombardia e destra orografica del fiume Adige della Regione Trentino Alto Adige) e le Alpi orientali. Nel

presente lavoro viene analizzato l'andamento delle quantità della precipitazione solida (neve) rispetto al passato e le differenze nei quantitativi rispetto ai valori medi di riferimento.

Fig. 1 - Indice SAI elaborato per il versante meridionale delle Alpi. I valori sono stati calcolati sul trentennio di riferimento 1976-2005 (parte di grafico in giallo trasparente).

Fig. 2 - Indice SAI elaborato per le Alpi meridionali occidentali (Regione del Piemonte e della Valle d'Aosta). I valori sono stati calcolati sul trentennio di riferimento 1976-2005 (parte di grafico in giallo trasparente). Le barre in color rosso e blu evidenziano gli inverni eccezionali.

Foto - panoramica di inizio febbraio, con scarsissimo innevamento, sul ghiacciaio del Basodino (Alta Val Maggia - CH).



FONTE DEI DATI

Gran parte dei dati sono stati desunti dalle banche dati delle reti di monitoraggio regionale e provinciale dei Servizi Valanghe AINEVA, dagli Annali Idrologici pubblicati dal Ministero dei Lavori Pubblici (Ministero Lavori Pubblici, 1927-1996) e, soprattutto, dalle stazioni di rilevamento presso le dighe delle diverse Compagnie di gestione delle Acque superficiali dell'arco alpino.

I dati relativi alla precipitazione nevosa stagionale sono il risultato della sommatoria dei singoli valori giornalieri di neve fresca rilevati di norma alle ore 8.00 di ciascun giorno (Cagnati, 2003) ed espressi in cm. In tutti i grafici e le tabelle del presente lavoro l'anno di riferimento è l'anno idrologico (ad esempio l'anno 2003 inizia il 1 ottobre 2002 e termina il 30 settembre 2003). Tuttavia, per i raffronti, sono state considerate le sole precipitazioni nevose relative alla stagione invernale compresa fra il mese di ottobre e il mese di maggio. Per alcune stazioni, i valori mensili e stagionali erano riassunti già in tabelle nelle pubblicazioni consultate, per altre sono state effettuate le varie sommatorie partendo dai valori giornalieri.

ELABORAZIONE DEI DATI

Per evidenziare l'andamento a livello regionale mediante un'unica serie, è stato utilizzato l'indice adimensionale SAI (Standardized Anomaly Index) (Giuffrida e Conte, 1989) che esprime le anomalie della grandezza stu-



diata, attraverso il contributo dei valori medi annuali o stagionali delle singole stazioni. Un indice annuale di anomalia pari a 0 indica un anno in linea con la media di riferimento, un valore di anomalia positivo o negativo indica rispettivamente un eccesso o un deficit più o meno elevati rispetto al valore normale (Mercalli et al., 2003, 2006).

Disponendo di serie storiche sufficientemente lunghe per quasi tutte le stazioni considerate, le elaborazioni sono state effettuate sulla base del trentennio di riferimento 1976-2005, come indicato dal WMO (WMO, Climate Normals, CLINO, nota tecnica 847).

Inoltre, per definire gli eventi eccezionali (estremi o rari), è stato determinato il 0.10 e il 0.90 percentile rispetto al trentennio di riferimento. Gli scarti medi che si collocano oltre tali soglie sono stati considerati eventi rari (IPCC, 2001). Sono stati considerati come valori rientranti nella variabilità media quelli situati fra il 1° e il 3° quartile (25% e 75%). Gli scarti medi che si collocano all'interno del 1° quartile e del 3° quartile, fino al 0.10 e 0.90 percentile, sono stati definiti eventi al di fuori della norma. Diversi autori utilizzano soglie differenti e metodi statistici per analizzare i dati relativi alle precipitazioni e alle temperature, ma è stato utilizzato questo metodo di caratterizzazione per la sua semplicità e per omogeneità con i lavori precedenti (Valt et al., 2005, 2006).

Per quanto riguarda le differenze nei quantitativi di precipitazione in cm di neve, è stato considerato lo scarto dai valori di riferimento senza considerare gli equivalenti in acqua della precipitazione non disponendo di serie storiche che distinguono dalla tipologia della precipitazione nei mesi di inizio e

fine inverno caratterizzate maggiormente da una alternanza di precipitazione liquida (pioggia) e solida (neve).

LA STAGIONE INVERNALE 2005-2006

a. L'indice SAI

La stagione invernale 2005 – 2006, sul versante sud delle Alpi, è stata caratterizzata da quantitativi di precipitazione nevosa che rientrano nella normalità. L'indice SAI elaborato sulla base di tutte le 46 stazioni distribuite dalle Alpi Marittime a Ovest alle Alpi Giulie ad Est è risultato leggermente positivo +0,03 (Fig. 1).

Lo stesso indice elaborato però per aree geografiche più piccole e individuate come Alpi occidentali, centrali e orientali, evidenzia che le precipitazioni nevose hanno avuto un andamento diverso. Nelle Alpi occidentali, l'indice SAI ha espresso un valore negativo pari a -0,87 (valore adimen-

sionale), molto vicino al valore soglia degli eventi definiti fuori dalla norma di -0,93 (3° percentile) (Fig. 2).

In effetti la stagione invernale è stata caratterizzata da una scarsità di precipitazioni nevose nei mesi di inizio e fine inverno sulle Alpi Marittime, Graie, Pennine e Lepontine, mentre le Alpi Cozie sono state caratterizzate da abbondanti precipitazioni primaverili (De Giorgio e Cocolo, 2006).

Le Alpi Graie settentrionali della Valle d'Aosta sono risultate particolarmente innevate soprattutto le zone lungo la cresta di confine con la Francia e la Svizzera, mentre più asciutta è risultata tutta la zona orientale della regione (Alpi Pennine).

Le nevicate più importanti delle Alpi occidentali sono avvenute in occasione degli eventi perturbati del 27-29 gennaio, del 16- 20 febbraio, del 3-5 marzo e fra il 10 e il 17 di aprile 2006.





Fig. 3 - Indice SAI elaborato per le Alpi meridionali centrali (Regione del Ticino, della Lombardia e del Trentino-Alto Adige occidentale).

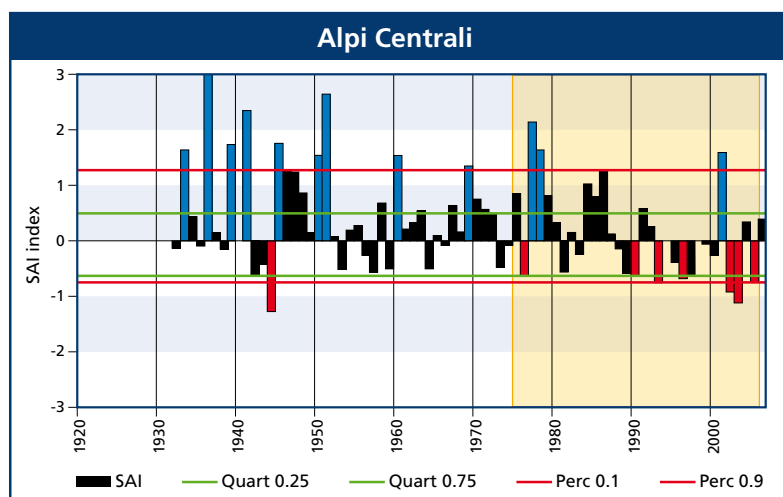
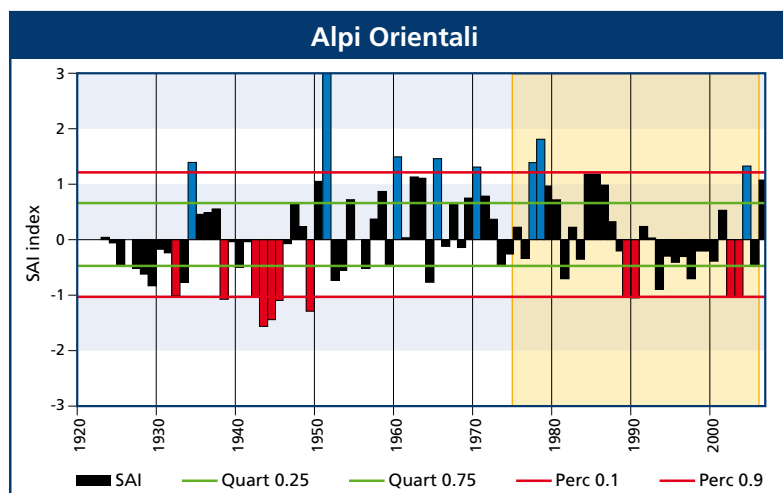


Fig. 4 - Indice SAI elaborato per le Alpi meridionali orientali (Regione del Trentino-Alto Adige orientale, del Veneto e del Friuli Venezia-Giulia).



Nelle Alpi centrali, l'indice SAI è stato nella norma e pari a +0,38 (Fig. 3). Il manto nevoso stagionale è comparso stabilmente con le nevicate di fine novembre, anche se intense nevicate erano

avvenute già agli inizi di ottobre, come nelle Alpi orientali. Nel settore prealpino e sulle Orobie, la nevicata più intensa dell'inverno è stata fra il 26 e il 28 gennaio con 80 – 100 cm di neve fresca.

Nelle stazioni di Valgerola (1840 m) e Cancano (1940 m) sono stati misurati cumuli stagionali superiori ai valori medi, mentre nelle stazioni di Bormio 2000 (1960 m) e Aprica Magnolta (1870 m) leggermente inferiori ai valori di riferimento.

Anche nella zona del Ticino l'innevamento è stato maggiore nelle Prealpi e molto minore nelle Alpi. Inoltre se consideriamo la parte occidentale del Ticino con il monte Basodino (3272 m), l'inizio della stagione invernale è stato estremamente asciutto, con due modeste nevicate a dicembre, come anche i mesi di marzo e aprile. Solo nel mese di febbraio gli apporti di neve fresca sono stati superiori alla media.

Nelle Alpi orientali, l'indice SAI è stato di +1,06 (Fig.4). Il valore elevato è dato soprattutto dalle abbondanti nevicate di fine gennaio 2006 (Renon et al., 2006). Gli accumuli sono stati maggiori nelle stazioni di fondovalle e nella fascia Prealpina per diminuire, pur rimanendo con valori superiori alla media, progressivamente verso la cresta di confine. Le stazioni del Veneto hanno fatto registrare valori estremi nelle stazioni di valle delle Prealpi bellunesi occidentali e nelle Prealpi. Le stazioni in quota dell'Alto Adige hanno misurato, a fine stagione invernale, comunque sommatorie di neve fresca maggiori della norma, specie nelle stazioni di fondovalle. Inoltre, a conferma dell'andamento delle precipitazioni di fine gennaio, questo primo mese dell'anno è stato secco; particolarmente nevosi sono risultati invece dicembre e, in misura minore, febbraio.

Oltre all'episodio di fine gennaio, importanti sono state le nevicate di inizio ottobre, di fine novembre – inizio di dicembre,

della seconda e terza decade di febbraio, della prima decade di aprile e quelle tardive del mese di maggio (Valt e altri, 2006). Il mese di marzo è stato invece poco nevoso in tutte le Dolomiti.

b. Neve fresca cumulata nella stagione invernale

I valori cumulati di precipitazione nevosa stagionale, distinti per fascia altimetrica e per settore, evidenziano che la maggior nevosità del settore orientale delle Alpi è stata soprattutto alle basse quote delle Alpi, come non accadeva da alcuni anni; alcuni eventi hanno interessato anche la Pianura padana, con notevoli disagi (25 - 26 novembre 2005, 3 e 28 dicembre 2005, 17 e 26 - 28 gennaio 2006, 12 marzo 2006). Nella tabella di Fig. 5 è possibile osservare come nel settore occidentale i deficit di precipitazione sono stati importanti e come invece gli apporti nevosi sono stati superiori alla media nel settore orientale, come già evidenziato dall'indice SAI.

In ogni colonna della tabella sono riportati 3 valori: il primo indica la differenza media fra la stagione invernale 2005 - 2006 e il valore medio calcolato per il trentennio di riferimento (1976 - 2005); il secondo è il valore medio di riferimento e il terzo valore, fra parentesi, il numero di stazioni significative considerate.

A parità di fascia altimetrica il settore centrale delle alpi sembra in linea generale meno nevoso degli altri 2 settori, ma probabilmente ciò è dovuto alla dislocazione delle stazioni utilizzate nel presente lavoro (Fig. 6); i dati evidenziano comunque che gli scarti dai valori medi (primo valore) della stagione invernale 2005- 2006, sono maggiori nel settore orientale a tutte le quote. I quantitativi di neve fresca ricavati sono tuttavia il risultato

Valori cumulati di precipitazione nevosa - Inverno 2005/06			
	SETTORE		
Fascia altimetrica	Alpi occidentali (Piemonte, Valle d'Aosta orientale)	Alpi centrali (Lombardia, Ticino, Trentino Alto Adige occidentale)	Alpi orientali (Trentino Alto Adige orientale, Veneto, Friuli Venezia - Giulia)
> 2101 m	-204 cm 634 cm (6)		
1801-2100 m	-126 cm 432 cm (5)	+14 cm 364 cm (8)	+136 cm 626 cm (2)
1301-1800 m	- 60 cm 346 cm (5)	+30 cm 221 cm (2)	+86 cm 274 cm (5)
900 - 1300 m	- 22 cm 278 cm (3)	+32 cm 164 cm (2)	+51 cm 218 cm (4)
200 - 900 m		+47 cm 13 cm (1)	+99 cm 43 cm (2)

Fig. 5

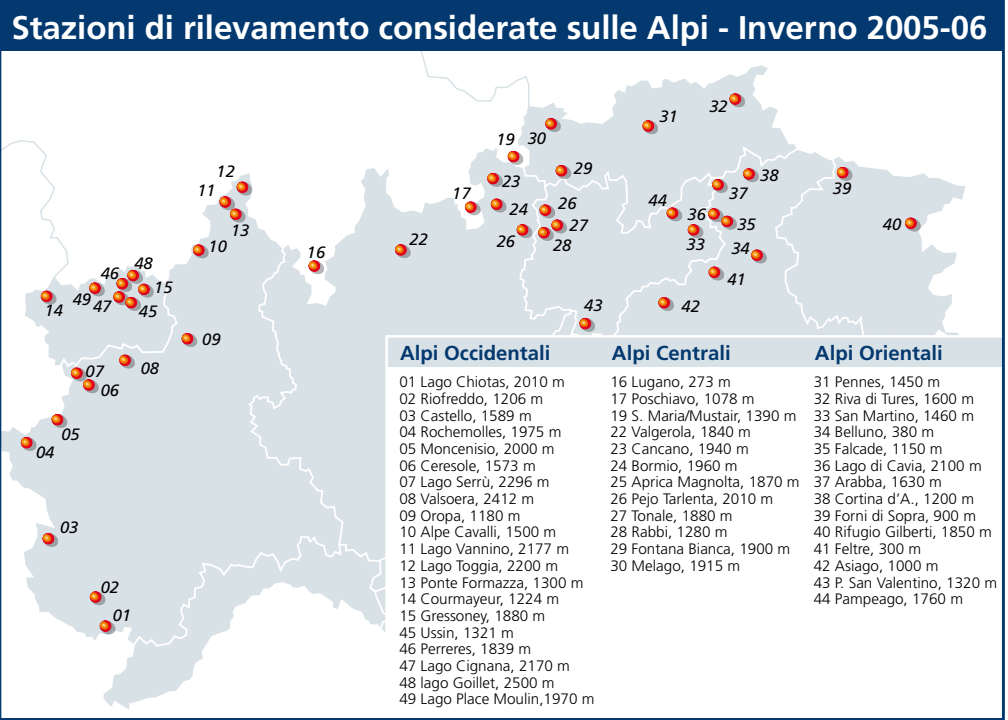


Fig. 6

dall'analisi di stazioni localizzate in macro aree (Alpi occidentali, centrali e orientali) e quindi possono differire dall'andamento di una singola stazione o di una microarea.

PRECIPITAZIONE TOTALE (pioggia + neve fusa)

Per quanto riguarda la precipitazione totale del periodo novembre 2005 – aprile 2006 e cioè pioggia più neve fusa, è da evidenziare un importante andamento che ben si nota, a titolo di esempio per l'arco alpino orientale, nelle Dolomiti e Prealpi Venete (Fig. 7).

Le abbondanti precipitazioni

nevose avvenute in Veneto nel corso della stagione invernale 2005 – 2006, in alcune località con cumuli con tempi di ritorno superiori ai 100 anni (Renon et al, 2006), non hanno tuttavia contribuito ad un bilancio pluviometrico positivo per lo stesso periodo.

Infatti l'inverno è stato caratterizzato da un deficit di precipitazione (mm di precipitazione) progressivo dalla fascia prealpina verso l'interno delle Dolomiti in direzione della cresta di confine con l'Austria.

Nelle 3 aree analizzate cioè Prealpi Bellunesi (stazioni pluviometriche di Feltre, San Antonio Tortal, Belluno e Chies d'Alpa-

tanto ad un numero di eventi perturbati maggiore, anche se manca una statistica di questi, ma soprattutto alle temperature inferiori alla media che sono state misurate da novembre a fine marzo, che hanno contribuito a maggiori fenomeni nevosi a scapito di quelli piovosi e, molto spesso, a nevicate molto leggere (densità della neve nella pianura veneta nell'evento di fine gennaio $40 - 50 \text{ kgm}^{-3}$) che hanno determinato maggiori spessori di neve fresca a parità di equivalente in acqua della neve.

Nelle Alpi occidentali il periodo gennaio – aprile 2006 è stato particolarmente secco e con importanti deficit soprattutto nei mesi di marzo e aprile (De Giorgio e Coccolo, 2006).

Sul ghiacciaio del Basodino (Ticino, Alpi centrali al confine con le Alpi occidentali), dove viene eseguito il bilancio di massa da 14 anni, non è mai stato individuato un accumulo di precipitazione così scarso come quello della stagione invernale 2005 – 2006. Nei primi giorni del mese di maggio sono stati infatti

misurati poco più di 900 mm di equivalente in acqua, mentre il valore minimo precedente era di 1310 mm (2003) ed il valore medio degli ultimi 13 inverni di 1670 mm.

CONCLUSIONI

La stagione invernale 2005-2006 è stata caratterizzata da un diverso innevamento fra il settore occidentale e quello orientale, a tutte le quote, soprattutto a causa della differenza di precipitazione nei mesi di inizio e fine inverno. Nelle Alpi orientali è stato inoltre osservato un differente innevamento fra la fascia prealpina, caratterizzata da abbondanti nevicate, e le aree verso la cresta di confine delle Alpi, in cui le precipitazioni sono state minori soprattutto nell'evento di fine gennaio.

Per quanto riguarda la precipitazione totale (pioggia + neve fusa) la stagione invernale non è stata particolarmente abbondante e in alcune aree, anche se caratterizzate da consistenti apporti di neve fresca, ha fatto registrare dei deficit di precipitazione importanti (esempio Dolomiti).

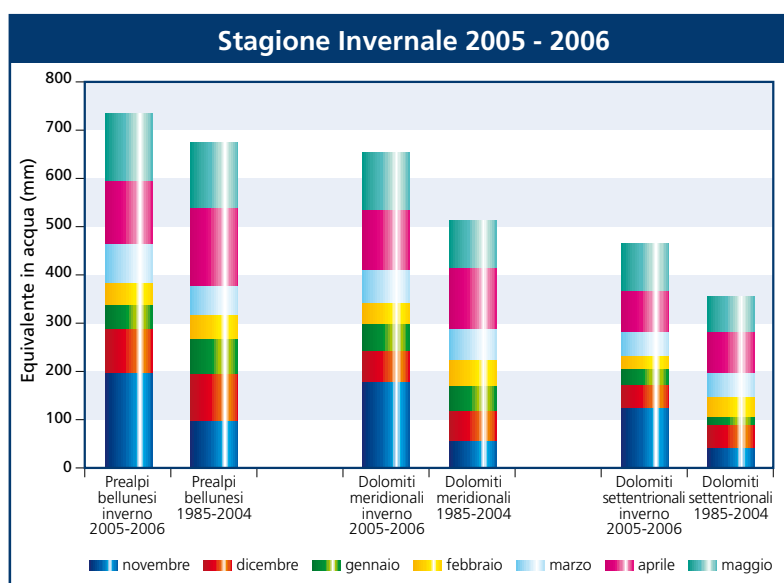


Fig. 7 - Bilancio pluviometrico invernale della Provincia di Belluno.





Bibliografia

- Cagnati A. 2003. Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.
- De Giorgio S. e V. Cocco. 2006. Rapporto sulla "Situazione" Idrica Piemontese. Regione Piemonte - ARPA Piemonte. Torino 2006, 46 pp
- Giuffrida A. e M. Conte. 1989. Variations climatiques en Italie: tendencies des temperatures et des precipitations. Publ. Ass. Int. Climatologie, 2, pagg. 209-216.
- Mercalli L., D. Cat Berro, S. Montuschi, C. Castellano, M. Ratti, G. Di Napoli, G. Mortara e N. Guindani. 2003. "Atlante climatico della Valle d'Aosta". Regione Autonoma Valle d'Aosta. Aosta, 405 pp.
- Mercalli L., D. Cat Berro, 2006 Climi, acque e ghiacciai tra Gran Paradiso e Canavese. SMS, Bussoleno. 756 + XII pp.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: the Scientific Basis. [Houghton J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Nouer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, Usa, 882 pp
- Renon B. e A. Barbi. 2006. Le nevicate del 26- 28 gennaio 2005 in Veneto. ARPA Veneto
http://www.arpa.veneto.it/cmt/clima/gennaio2006_nevicate.htm
- Valt M. e A. Cagnati. 2004. Oggi nevica meno di una volta?. Neve e Valanghe, 50, pagg. 52 – 61
- Valt M., A. Cagnati, A. Crepaz e G. Marigo. 2005. Neve sulle Alpi Neve e Valanghe, 56, pagg. 24-31
- WMO. 1996. Climatological Normals (CLINO) for the period 1971-1990. WMO 847, 768 pp

Per la stesura dell'articolo hanno collaborato:

- Marco Cordola, Andrea Berte, Silvia Musso, ARPA Piemonte, Area Previsione e Monitoraggio Ambientale. C.so Unione Sovietica, 216, 10134 Torino
- Paola Dellavedova, Università di Torino, Di.Va.P.R.A. - Laboratorio Neve e Suoli Alpini. Gressoney La Trinité (AO) Regione Autonoma Valle d'Aosta, Assessorato Territorio, Ambiente e Opere Pubbliche, Direzione Tutela del Territorio - Ufficio Neve e Valanghe, Località Amérique, 33/a, 11020 Quart (AO)
- Osanna Roncari, Compagnia Valdostana delle Acque, Ufficio Ingegneria / Sicurezza, Opere Idrauliche, Via Stazione, 31, 11024 Chatillon (AO)
- Alfredo Paolini, Flavio Berbenni, ARPA Lombardia, Centro Nivometeorologico, Via Monte Confinale, 9, 23032 Bormio (SO)
- Mauro Gaddo, Provincia Autonoma di Trento, Dipartimento Protezione Civile, Ufficio Previsioni e Organizzazione, Via Vannetti, 41, 38100 Trento
- Fabio Gheser, Provincia Autonoma di Bolzano, Ufficio Idrografico, Servizio Prevenzione Valanghe e Servizio Meteorologico, Via Mendola, 33, 39100 Bolzano
- Enrico Filaferro, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Ufficio Valanghe, Servizio territorio montano e manutenzioni, Via Cotonificio, 127, 33100 Udine
- Anselmo Cagnati, Bruno Renon, Andrea Crepaz, Gianni Marigo, Renato Zasso, ARPA Veneto, Centro Valanghe di Arabba, Via Arabba - Pradat, 5, 32020 Livinallongo del Col di Lana (BL)
- Giovanni Kappenberger, Meteo Svizzera, Locarno Monti (CH)
- Marco Pifferetti, Albinea, Reggio Emilia
- Daniele Cat Berro, Società Meteorologica Italiana, Castello Borello, 10053 Bussoleno (TO)
- Fabrizio Genova, loc. Cadelverzo di sotto 9, 32043 Cortina D'Ampezzo (BL)

NEVE

sull'

APPENNINO CENTRALE

INVERNO 2005-2006

Condizioni meteoclimatiche ed implicazioni sulla stabilità del manto nevoso

Pinuccio D'Aquila

Istituto Nazionale della Montagna (IMONT),
Piazza dei Caprettari, 70 - 00186 Roma;
Università degli Studi "G. D'Annunzio"
Via dei Vestini, 31 - 66013 Chieti
(Assegnista di ricerca IMONT)

Massimo Pecci

Istituto Nazionale della Montagna (IMONT),
Piazza dei Caprettari, 70 - 00186 Roma;
Comitato Glaciologico Italiano

La stagione invernale 2005-06 è stata caratterizzata da una complessa e discordante evoluzione dei fenomeni sui due versanti dell'Appennino centrale, con correnti occidentali dominanti nel generale quadro meteorologico (e relative forti precipitazioni sul versante Tirrenico) ma anche con frequenti incursioni di aria fredda, spesso accompagnata da forti venti (che hanno causato numerosi eventi nevosi, anche a bassa quota sul versante Adriatico). Tuttavia, il quadro meteoclimatico in Appennino centrale (in particolare in Abruzzo e Molise), è risultato abbastanza anomalo rispetto agli ultimi inverni (DE SISTI et al., 2004; FAZZINI et al., 2005), spesso caratterizzati da flussi dominanti orientali, senza le eccezionali e consuete nevicate sul versante adriatico, anche fino alle quote più basse.

Una tale anomalia nei flussi termo-anemo-barici si è riflessa anche nella distribuzione delle precipitazioni nevose, che sono risultate, quindi, molto più intense e consistenti sul versante occidentale della catena appenninica rispetto a quello orientale; inoltre sono mancati i frequenti flussi sciroccali, tipici degli inverni precedenti (specie in piena stagione invernale), e, in definitiva, la stagione invernale si è andata chiudendo con i primi sensibili rialzi termici nella prima metà del mese di Marzo, quando buona parte del manto nevoso, anche a quote relativamente alte, risultava in stato di fusione incipiente.

Si è registrato, infine, un anomalo "rigurgito freddo" non del tutto inconsueto in piena stagione primaverile a cavallo della fine di maggio-primi di giugno, che ha prodotto una uniforme copertura nevosa al di sopra dei 1600-1800 m slm sui versanti orientali della Maiella e del Gran Sasso, facendo registrare uno spessore anche fino a 1 m di neve fresca nel periodo 31 maggio - 2 giugno 2006, intorno ad una quota di 2500 m slm.



Sintesi della persistenza e della provenienza dei sistemi perturbati, in Appennino Centrale, durante la stagione invernale 2005-06

Mese	Giorni di persistenza	Tipo circolazione o provenienza del sistema perturbato
Novembre	25-30	NW
Dicembre	1-2	NW sui settori di ponente con richiamo da SE su Adriatico
	3-6	NW
	8-12	NW-W
	15-18	NE
	19	anticiclone
	21-24	anticiclone
	25-28	N-NE
	30	anticiclone
Gennaio	31-2	NW
	3-5	N-NE
	8	anticiclone
	13-14	anticiclone
	17-18	NW
	19-22	anticiclone
	22-24	NE
	25-27	NW
	28-31	S-SE
Febbraio	1-4	anticiclone
	5-6	NE
	8-10	NW
	15-16	W
	17-18	NW
	20-22	W (minimo nel mar Tirreno nord-occidentale)
	24-25	SE (minimo nel Mar Ionio)
	26-27	N
Marzo	1-2	NW (richiamo da SW)
	3-6	W-NW (forte perturbazione)
	8-11	W
	13-14	NE
	16-17	N-NE
	18-23	W-SW (forte rialzo termico)
	24-25	W
	26-27	anticiclone
Aprile	28-3	NW (fronti deboli)
	4-5	anticiclone
	5-6	N-NW (richiamo da SE)
	7-9	anticiclone
	10-12	N-NW
	12-16	anticiclone
	16-19	N
	22-25	anticiclone con correnti da SW
	26-30	N-NW (forte minimo nel centro Mar Tirreno)
Maggio	1	NE

Fig. 1

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO E CLIMATICO

Fig. 2 - Pagina a fianco - Profilo del manto nevoso effettuato rispettivamente al Monte Cardito (Appennino Occidentale) ed ai Prati di Tivo (Appennino Orientale). Si tiene a precisare che le densità, spesso molto elevate, riportate nei profili,

L'Appennino centrale, ed in particolare l'Abruzzo, sono caratterizzati da consistenti corrugamenti della crosta terrestre, la cui cinematica, caratterizzata dall'alternarsi di fasi di compressione e distensione succedutesi nella migrazione del fronte di corrugamento della catena, hanno causato l'innalzamento di elevati rilievi montuosi, inter-

vallati da estese valli e conche intermontane, di origine tettonico-glaciale.

Il settore centrale dell'Appennino si presenta come un'efficace barriera orografica e rappresenta, alla stregua delle Alpi, un elemento capace di diversificare l'effetto delle correnti atmosferiche sui due versanti (effetto *Stau*, sottovento, e *Föhn*, sopravvento), controllando e modificando la distribuzione delle precipitazioni. Il settore di ponente della catena,

il cui primo spartiacque si identifica, approssimativamente nel gruppo del Sirente - Velino, risente più direttamente delle correnti occidentali provenienti dal Mar Tirreno che sono, tra l'altro, le più abbondanti di umidità, e, generalmente, le più omogeneamente distribuite nelle stagioni intermedie.

Il versante di levante, invece, viene investito, grazie alla sua esposizione, dalle freddi correnti balcaniche che vi scaricano, per effetto orografico, il loro contributo in precipitazioni, dopo essersi arricchite in umidità attraversando il braccio di Mare Adriatico.

Grazie a questa configurazione non è raro rilevare, nel settore orientale, temperature invernali minime intorno ai -25°C , tutt'altro che comuni a queste latitudini. Inoltre, nel caso di circolazione anticiclonica, si instaura nelle conche e nelle valli il fenomeno dell'inversione termica, che determina il ristagno di masse di area fredda alle basse quote; è frequente, infatti, rilevare temperature minime molto più basse nelle località di fondovalle che nelle località montane (come, ad esempio, nel caso della conca del Fucino, di Sulmona, di Campo Imperatore e L'Aquila).

QUADRO NIVO-METEOROLOGICO GENERALE

Le prime nevicate a quote relativamente basse, in seguito ricoperte dalle precipitazioni successive, sono state riscontrate già a partire dal 20 Novembre 2005 (rilievo di Piana dei Laghetti - 1650 m slm, versante Nord del Corno Grande - Gran Sasso d'Italia); la prima fase della stagione invernale è stata caratterizzata, almeno fino al periodo di Natale, dall'alternanza di episodi "freddi" di origine

orientale, seguiti da correnti umide e temperate di provenienza occidentale.

In questo quadro meteorologico e con particolare riferimento al settore orientale e al gruppo del Gran Sasso, si sono verificate numerose precipitazioni, spesso di nevischio "pallottolare" e quasi sempre accompagnate da forti venti. Queste condizioni hanno creato un manto nevoso molto eterogeneo, formato, in generale, da strati più competenti poggiati su strati deboli, originati, oltre che da lastroni da vento, anche da considerevoli e ripetute croste da fusione e rigelo (si vedano le stratigrafie di Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 10).

Analogamente alla stratificazione, l'eterogeneità del manto nevoso si è manifestata in modo particolare ed anomalo anche nella sua distribuzione; infatti, già a partire dalle prime fasi della stagione invernale, corrispondenti alla prima decade di dicembre, i maggiori accumuli risultano nei settori occidentali dell'Appennino centrale, contrariamente a quanto avviene normalmente in inverno in seguito a flussi dominanti da Nord/Est. Il particolare andamento della stagione invernale è evidenziato dalla predominanza di flussi occidentali e nord-occidentali, spesso con richiami di libeccio e talvolta di scirocco, seguiti da irruzioni fredde più corte ed intense; esso ha, inoltre, favorito, soprattutto nei versanti Tirrenici, copiose precipitazioni e, al suolo, l'evoluzione di un manto caratterizzato dalla stratificazione di ingenti spessori di neve, con caratteristiche di lastroni da vento in corrispondenza dei versanti sopravvento e in prossimità di creste e cornici, separati, generalmente, da spessi e resistenti croste da fusione e rigelo.

Nella tabella di figura 1 è sin-

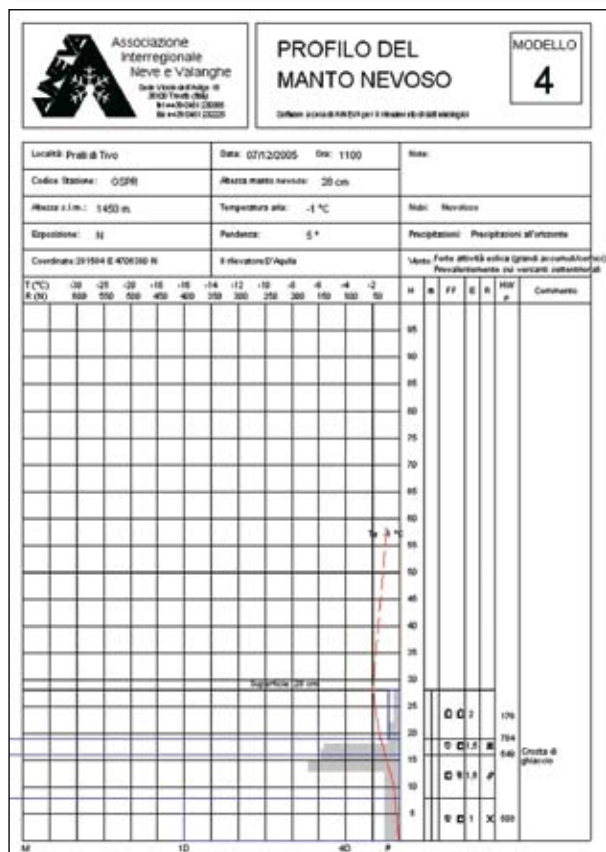
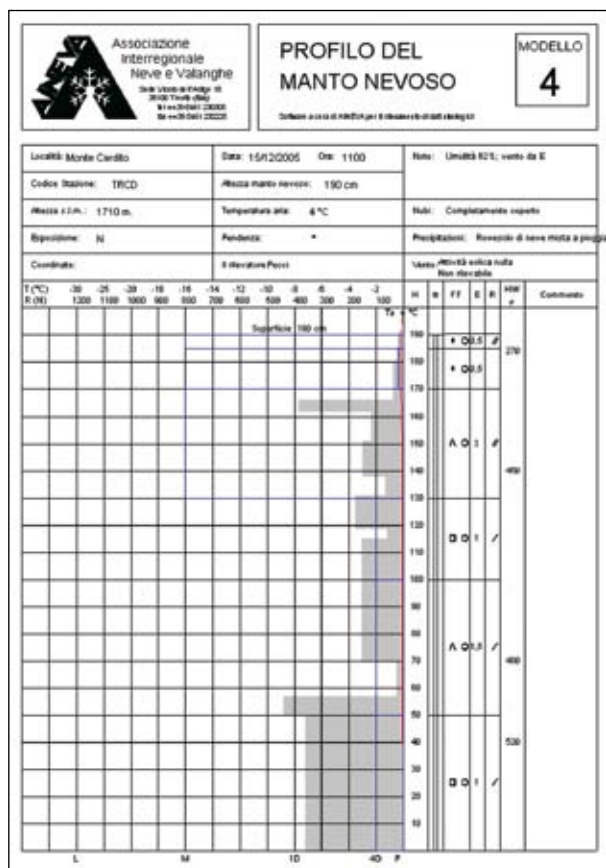
tetizzato l'andamento generale dell'inverno per l'Appennino centrale nell'arco della stagione di apertura dei principali comprensori sciistici (25 Novembre 2005 – 1 maggio 2006), come è risultato da un'osservazione dei quadri sinottici e termo-barici delle previsioni meteorologiche giornaliere, senza arrivare, quindi, ad una complessa analisi del numero, tipo e provenienza dei fronti perturbati.

Anche andando a considerare l'evoluzione temporale e la provenienza dei principali sistemi perturbati (considerando con tale dizione un insieme di fronti con provenienze anche diverse, ma caratterizzati da una direzione di flusso principale comune, dall'inizio alla fine della loro azione sull'Appennino centrale e prendendo in considerazioni le comuni carte del tempo riportate nei quotidiani nazionali), ci si rende conto della persistenza nel tempo dei flussi occidentali e, soprattutto, della frammentarietà e debolezza dell'anticiclone che regolarmente, nella stagione più fredda, va a posizionarsi al centro della penisola, nel corso delle stagioni invernali "classiche".

Si può, infatti, notare come già a partire dalla prima decade di dicembre gli accumuli siano molto più consistenti sul settore Tirrenico (profilo del manto nevoso di Monte Cardito 15/12/05 – gruppo montuoso del Monte Terminillo, Fig. 2), che su quello Adriatico (profilo del manto nevoso di Prati di Tivo 7/12/05 – Gran Sasso d'Italia, Fig. 2).

Seguendo un andamento simile, al 27/01/06 risulta un manto nevoso di 244 cm presso il Rif. Sebastiani al Terminillo a fronte di uno spessore di 150 cm nell'area dei Prati di Tivo - Gran Sasso d'Italia (rilievo del 26/01/06, (Fig. 3).

In questo contesto sembra che



sono talora sovrastimante a causa dei tentativi di campionare croste poco spesse o strati molto compatti, con i relativi problemi nella stima del volume campionato (frequentemente il campionario viene riempito solo parzialmente, o addirittura 1-2 cm, da cui derivano le conseguenti approssimazioni); si è tuttavia preferito, comunque, riportare egualmente il dato.

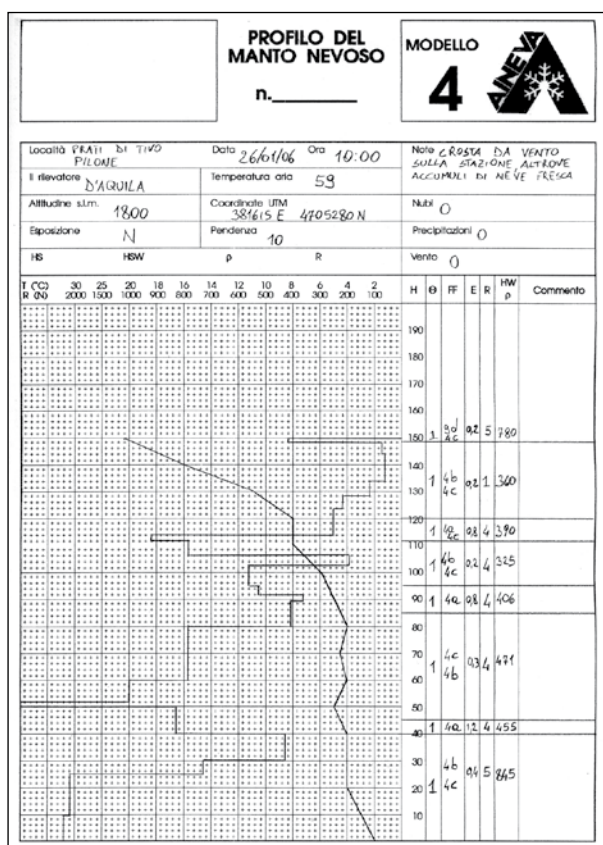
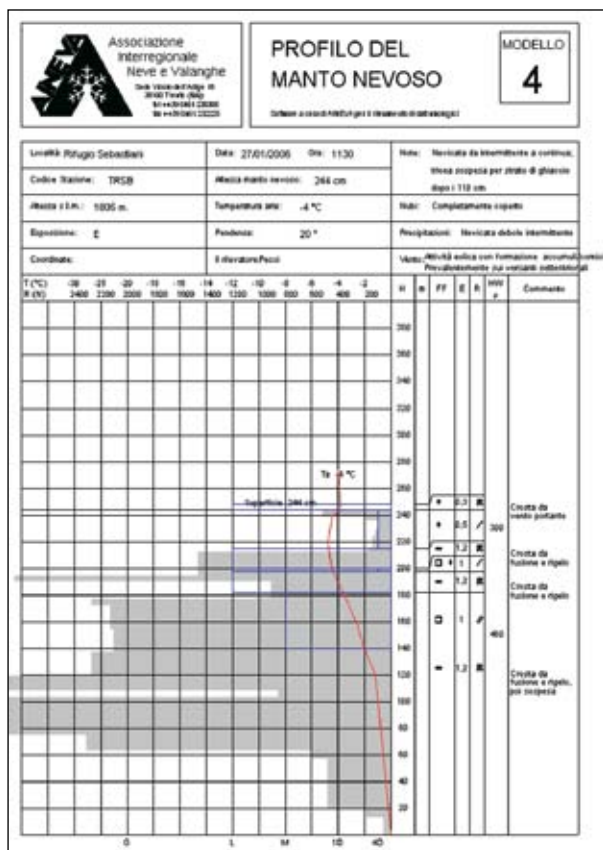


Fig. 3 - Profilo del manto nevoso al Monte Terminillo (Appennino Occidentale) ed ai Prati di Tivo (Appennino Orientale)

la stabilità del manto nevoso sia risultata principalmente funzione dello spessore e dell'umidità della neve al suolo, a causa delle implicazioni che tali parametri hanno, rispettivamente, nell'in-

staurarsi del gradiente termico e del trasporto di massa all'interno del manto (con particolare riferimento ai casi con spessori limitati di neve al suolo, riscontrati nel settore Adriatico), e a causa dell'aumento delle forze agenti (con riferimento ai casi con spessori di neve ingenti o umida, riscontrati nel settore Tirrenico). Dall'analisi degli eventi valanghivi osservati, si può notare come il versante Tirrenico, in particolare del Monte Terminillo (Fig. 4), sia stato caratterizzato da singoli eventi valanghivi di media grandezza, seppur con notevoli spessori di neve in gioco; contrariamente, il versante Adriatico, ed in particolare il

gruppo montuoso della Maiella e del Gran Sasso d'Italia (Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 e Fig. 10), sono stati caratterizzati da numerosi fenomeni di instabilità del manto, caratterizzati, però, da spessori limitati della neve. In tutte le situazioni, gli spessori in gioco hanno coinvolto l'intero manto nevoso, innescando molto più frequentemente valanghe di fondo a lastroni rispetto agli inverni precedenti (D'ALESSANDRO & PECCI, 2001; DE SISTI et al., 2004).

CONCLUSIONI

La distribuzione molto eterogenea del manto nevoso, legato al carattere di tormenta delle preci-

pitazioni, ha creato le condizioni ideali per lo sviluppo di fenomeni d'instabilità.

Sembrerebbe che la causa principale dell'innesco delle valanghe, almeno per quanto riguarda i settori Adriatici, sia attribuibile al limitato spessore dei lastroni da neve, presenti in loco. Infatti, a parte il caso della valanga del Terminillo, peraltro di pertinenza geografica del settore Tirrenico, in cui gli spessori in gioco sono notevoli, anche superiori ai 2 m, ma in cui probabilmente la valanga può essere stata innescata da cause esterne (Fig. 4), il resto delle valanghe segnalate interessa sempre spessori di neve limitati.

Alla luce di quanto esposto risulta evidente che la dinamica dell'instabilità del manto nevoso, in Appennino centrale, sia stata guidata dallo spessore delle placche ventate e, di conseguenza, dello spessore del manto nevoso, sia perché le valanghe sono state pressoché costantemente di fondo, sia perché le numerose precipitazioni a carattere di tempesta non hanno consentito un accumulo considerevole di neve; nel caso della valanga del Terminillo, o nei casi in cui sono stati interessati dal distacco spessori maggiori, la motivazione del coinvolgimento dell'intero manto può essere ricercata nelle numerose croste di fusione e rigelo al suo interno che possono aver contribuito a rendere l'intero spessore omogeneo.

Considerato che la maggior parte dei distacchi sono stati caratterizzati da valanghe a lastroni di fondo e di limitato spessore e che l'innesco dei fenomeni è imputabile alle particolari condizioni meteorologiche, si possono trarre le seguenti considerazioni in merito:

- al ruolo dello spessore intrinse-



Fig. 4 - Foto pagina a fianco - Valanga a lastroni di fondo, rilevata al Terminillo in data 02/01/06; vista panoramica e particolare.

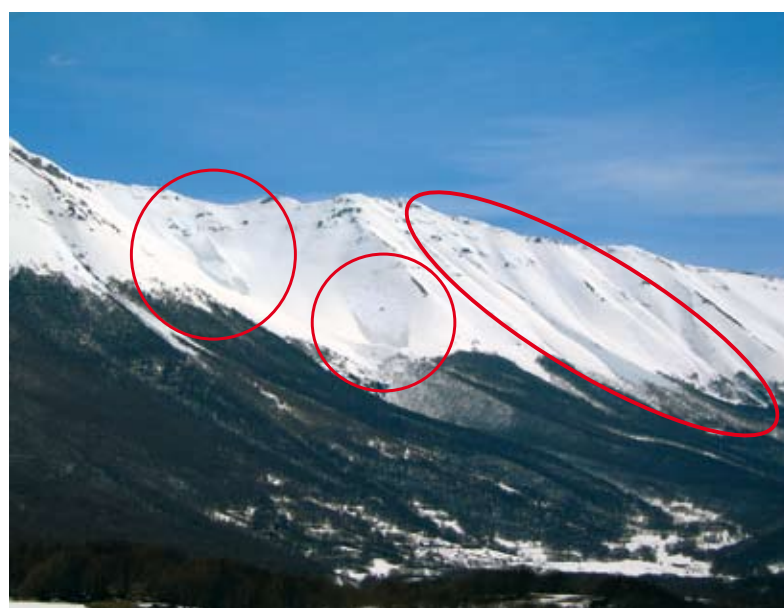


Fig. 5 - A fianco - Valanga a lastroni di fondo sul Monte Rapina (26/02/06) e numerosi distacchi di lastroni nell'area di Fondo Maiella (1/04/06), rispettivamente da sinistra verso destra, rilevate sul versante orientale del Massiccio della Maiella.

co del manto - lastroni di limitato spessore hanno una minore resistenza e, di conseguenza, sono più suscettibili, a parità di pendenza del pendio, al distacco;

- allo spessore del manto nevoso che ha condizionato il gradiente termico al suo interno, con le relative conseguenze sui metamorfismi della neve al suolo. Si è riscontrato, a tal proposito, come durante le fasi "fredde" dell'inverno (si vedano le temperature all'interno del manto nel rilievo del 26/01/06, Fig.3), in trincee effettuate a pochi metri di distanza, ma con accumuli diversi (si vedano i rilievi del 14/2/06 e 08/03/06 in Fig. 10), siano presenti due strati con quantità



significative di "cristalli a calice" (nella trincea caratterizzata da spessori minori), indicatore della presenza di uno strato debole. Analogamente, durante la fase primaverile, con i primi rialzi termici, ancora una volta, lo spes-

Fig. 7 - Valanghe a lastroni di fondo, rilevate presso il Fosso Prato Andolino il 29/01/06, presso Monte di Mezzo – Monti della Laga



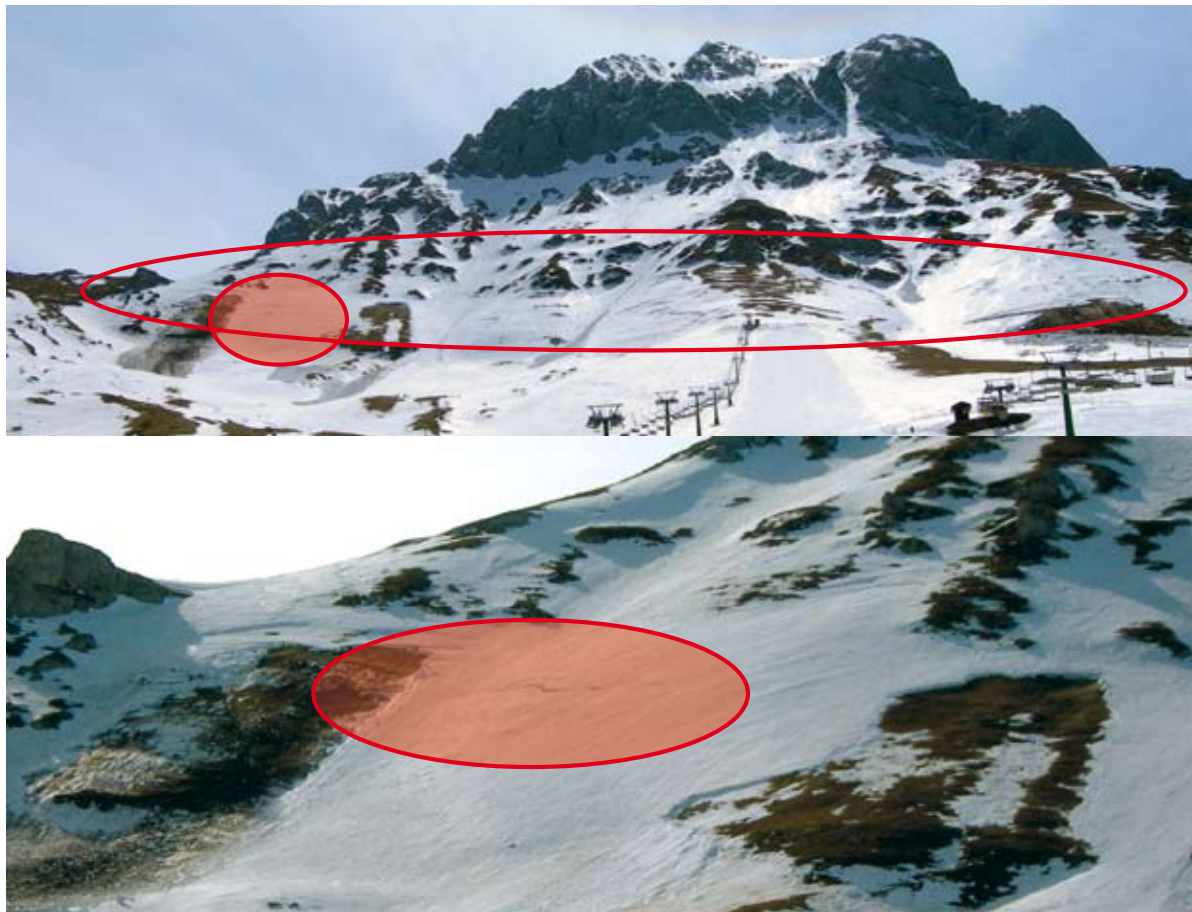
sore del manto risulta essere il principale fattore di instabilità; infatti, dove gli spessori sono limitati, l'onda termica ha avuto modo di coinvolgere in tempi abbastanza rapidi l'intero spessore, portandolo al collasso. In aree con spessori maggiori, invece, è stato possibile riscontrare soltanto l'apertura di crepe (indicatore di uno stato di equilibrio limite, non in grado di evolvere in valanga) e dove, invece, l'altezza del manto nevoso era aumentata ulteriormente, si constataba l'interruzione e tamponatura del crepaccio (indicatore di maggio-

Tabella riassuntiva relativa ai principali distacchi avvenuti nella stagione invernale 2005-06 in Appennino Centrale e analizzati nel testo

Periodo (data)	Località	Quota (m slm)	Esposizione del versante	Tipo di valanga	Genesi
2/01/06	Terminillo (Fig. 6)	1720	S	a lastroni di fondo	Naturale
29/01/06	Prato Andolino (Fig. 7)	1800	WSW	a lastroni di fondo	Naturale
26/2/06	Monte Rapina (Fig. 5)	1800	NW	a lastroni di fondo	Naturale
30/3/06	Prati di Tivo (Fig. 9)	1950	N	a lastroni di fondo	Naturale
1/4/06	Maiella Centro-Meridionale (Fig. 5)	2100	W	a lastroni di superficie	Naturale
9/4/06	Val Chiarino (Fig. 6)	1800	S	a lastroni di fondo	Naturale

Fig. 8

Fig. 9 - Valanghe a lastroni di fondo ai Prati di Tivo (versante settentrionale del Corno Piccolo - Gran Sasso d'Italia) rilevate il 30/3/06; si nota come le aree di cresta, con limitati spessori, siano coinvolte nei distacchi (immagine superiore); ai bordi di quest'ultima la dinamica evolve in situazioni di equilibrio limite, con l'apertura di crepacci, che, alla fine, s'interrompe in prossimità dei canaloni dove si sono accumulati spessori maggiori (immagine inferiore).



re stabilità).

Dalle osservazioni effettuate si può concludere che le precipitazioni verificatesi nella stagione invernale 2005-06, quasi sempre accompagnate da ingenti spessori nel settore Tirrenico e da forti venti nel settore Adriatico, hanno reso la distribuzione del manto nevoso molto eterogenea, con forti accumuli nelle aree sottovento, e irregolari apporti a ridosso delle creste. In queste circostanze i lastroni di neve, formati quasi ovunque alle quote monitorate della media e alta montagna appenninica, hanno creato differenti situazioni di instabilità; a ridosso delle creste, dove lo spessore dei lastroni è risultato inferiore, l'instabilità è risultata accentuata dalla minore attitudine di un lastrone sottile a sopportare carichi e ad autosostenersi (specie a ridosso dei cambi di pendenza); nelle aree sottovento, dove lo spessore stimato dei lastroni è stato maggiore, si ritiene che si sia protratto nel corso dell'inverno una situazione di "pericolo latente", capace di innescare un distacco solo con l'azione di sovraccarichi (sia naturali, sia artificiali).

In questo contesto, si presume che gli eventi valanghivi, anche se con modalità ed apporti differenti nei due settori considerati (Tirrenico ed Adriatico) siano, però, stati "guidati" in maniera comune dalla dinamica delle prime fasi della stagione invernale; si è potuto constatare, infatti, che le aree interessate dai distacchi ad inizio stagione, in modo particolare al Monte Ter-

minillo e al Gran Sasso d'Italia, siano state successivamente e continuamente interessate da fenomeni valanghivi, grazie alla loro predisposizione alla creazione di lastroni rispettivamente di fondo e di spessore esiguo, in concomitanza delle successive nevicate, poiché il vecchio manto veniva asportato dai continui distacchi.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti coloro che con le proprie segnalazioni e fotografie hanno contribuito ad implementare il monitoraggio in Appennino Centrale, in particolare: Cappelluccio A., D'Ambrosio S., De Laurentis P., Di Marco S., D'Onofrio A., Falgiani F., Franchi G., Marcelli T., Mascioli A., Sancineto F., SIGET e Sola M., Gestore del Rifugio Angelo Sebastiani al Monte Terminillo, di proprietà del CAI di Rieti.

Bibliografia

- D'ALESSANDRO L. & PECCIM. (2001). Valanghe sul Gran Sasso d'Italia: nota preliminare. IV Convegno dei giovani ricercatori di Geologia Applicata, CNR-GNGA, 22-24 Ottobre 1998, Chieti, Mem. Soc. Geol. It., 56, 315-320. Roma
- D'AQUILA P. (A.A. 2003-2004). Caratterizzazione geomorfologica e analisi nivologica delle valanghe sul versante settentrionale del Gran Sasso d'Italia (Comprensorio dei Prati di Tivo - Terno). Università degli Studi "G. D'Annunzio" Chieti, Corso di Laurea in Scienze Geologiche, Tesi di Laurea inedita.
- DE SISTI G., MONOPOLI S. & PECCIM. (2004). Valanghe sul Gran Sasso d'Italia. Neve e Valanghe, 52, agosto 2004.
- FAZZINI M., LANZARONE D., ROMEO V., GADDO M., BILLI P. (2005). Inverno 2005: nevicate eccezionali sull'Italia centrale. Neve e Valanghe, 55, agosto 2005.

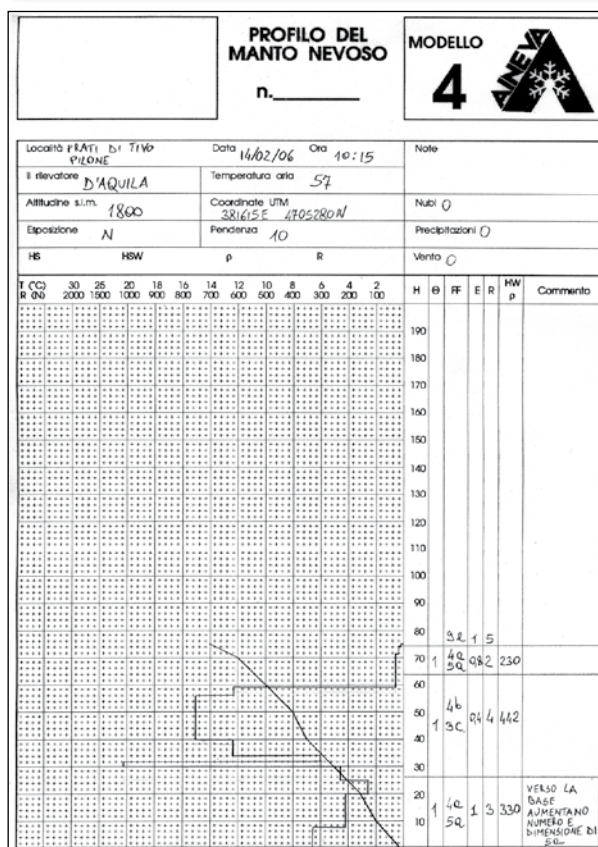
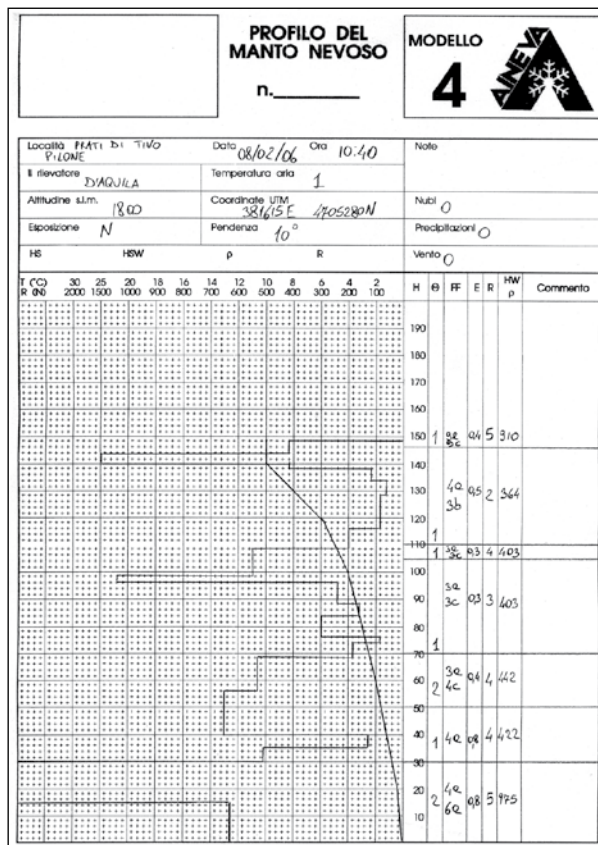


Fig. 10 - Profili del manto nevoso effettuati sul versante settentrionale del Corno Piccolo in siti adiacenti (circa 2 m di distanza), seppur a una settimana di distanza. Si può notare come nella stratigrafia con spessore minore, a causa del differente influsso eolico (che limita lo spessore del manto) e di conseguenza del gradiente termico (si notano temperature molto rigide), siano presenti due strati in cui riscontrano cristalli di crescita cinetica (5a).

NEVOSITA'

ULTIMI 20 ANNI

Primi risultati dell'analisi della nevosità nel territorio italiano

M. Fazzini e L. Magagnini

Dipartimento di Scienze della Terra
Università di Ferrara

A. Giuffrida e G. Frustaci

Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare,
UGM/CNMCA - Pratica di Mare, Roma

M. Di Lisciando

Dipartimento di Scienze della Terra
Università di Camerino

M. Gaddo

PAT - Dipartimento Protezione
Civile e Tutela del Territorio
Ufficio Previsioni ed Organizzazione

Le serie storiche dei dati nivologici per alcune stazioni meteorologiche italiane sono state analizzate considerando una continuità e qualità accettabili di dati meteorologici. La serie di dati è quella del Servizio Meteorologico Italiano (UGM) e fa riferimento al periodo 1982 – 2004 per 20 stazioni. La Stazione slovena di Kredarica, posizionata sulle Alpi Giulie, è stata aggiunta per opportunità.

Lo studio è composto da due parti:

- analisi climatologia della neve durante gli ultimi 20 anni. In particolare sono stati analizzati, in relazione all'altitudine ed anche con parametri topo-geografici, l'altezza della neve fresca, i giorni con precipitazioni nevose (>1cm) e il numero di giorni di permanenza della neve al suolo;
- analisi delle tendenze stagionali per i medesimi parametri, con risultati spesso assolutamente inattesi, che evidenziano, a fronte di un calo generalizzato dei fenomeni nel sistema alpino e nell'Appennino settentrionale, aumenti della nevosità nei settori appenninici meridionali, specie in quello lucano.

INTRODUZIONE

Lo studio dei dati nivometrici nel territorio italiano è allo stato attuale qualitativamente soddisfacente solamente nelle aree alpine, dove numerosi studiosi del settore hanno evidenziato, attraverso accurate analisi, il comportamento spazio-temporale dei principali parametri coinvolti (Regione Piemonte, 1998, Fazzini e Gaddo, 2003, Mercalli, 2005, Valt et al, 2005), descrivendone le diversificazioni a scala regionale con modelli

ed equazioni che contribuiscono in maniera chiara e corretta alla caratterizzazione della catena montuosa più importante del Paese. A sud della linea del Po gli studi sono invece frammentari ed interessano principalmente le aree montuose all'interno della catena appenninica che presentano eccezionalità nivologiche stagionali o comunque piuttosto ricorrenti o nelle quali esistono problemi di instabilità del manto nevoso derivanti in primis dall'abbondante innevamento

(Fazzini et al, 1999, Fazzini, 2004; Fazzini et al, 2005, Pecci et al, 2005). Esistenti ricerche di assoluto valore sono oramai piuttosto datate (es Mennella, 1973) e si riferiscono a periodi caratterizzati da un comportamento nivologico differente da quello evidenziatosi nell'ultimo ventennio. E' pertanto sembrato opportuno, in collaborazione con i colleghi del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, tentare un'analisi dei dati nivometrici disponibili presso la banca dati

IN ITALIA



Fig. 1

CARATTERISTICHE GEOGRAFICHE DELLE STAZIONI STUDIATE				
STAZIONE	QUOTA SLM	POSIZIONE	LATITUDINE N	LONGITUDINE E
KREDARICA (Slovenia)	2515	ETTA	46,37	
SAN VALENTINO ALLA MUTA - BZ	1474	VALICO	46,75	10,55
DOBBIACO - BZ	1218	VALICO	46,75	12,23
PAGANELLA - TN	2124	ETTA	46,14	11,08
PASSO ROLLE - TN	2004	VALICO	46,32	11,78
TARVISIO - UD	777	VALLE STRETTA	46,52	13,56
MONTE CIMONE - MO	2124	ETTA	44,2	10,8
MONTE TERMINILLO - RI	1875	PENDIO E	42,46	13
MONTE SCURO - SILA - CS	1714	ETTA	39,34	16,45
BOLZANO	245	VALLE LARGA	46,5	11,37
TORINO CASELLE	280	PIANURA PEDEM.	45,41	7,72
BRICCOLE - TO	710	ETTA	45,03	7,73
MONDOVI' - CN	559	ETTA	44,51	7,77
PASSO DELLA CISA - MS	1040	VALICO	44,43	9,93
FRONTONE - PU	574	ETTA	43,5	12,71
RADICOFANI - SI	918	ETTA	42,89	11,8
PESCARA	10	COSTA	42,62	14,33
PRETURO - AQ	670	VALLE LARGA	42,37	13,3
MONTE SANT'ANGELO - FG	847	CRINALE	41,7	15,95
CAMPOBASSO	807	ETTA	41,57	14,65
GIOIA DEL COLLE - BA	352	PIANURA	40,77	16,93
POTENZA	845	CRINALE	40,6	15,8
LATRONICO - PZ	992	ETTA	40,1	9,2
PRIZZI - PA	896	ETTA	40,08	16,02
ENNA	1035	ETTA	37,7	13,4
FONNI - NU	1001	ETTA	37,57	14,28

dello SMAM, relativamente all'intero territorio nazionale, per il periodo 1982-2004 - focalizzando maggiormente l'attenzione sulle stazioni di pianura del settentrione ed in generale sul settore centro-meridionale ed insulare dove, al contrario di quello che si possa credere, le precipitazioni nevose sono spesso equivalenti a quelle che si osservano, a parità di quota, nel settore alpino (Fazzini et al, 2005). Una fruttuosa collaborazione con il Corpo Forestale dello Stato - Comando Truppe alpine di Bolzano - e Servizio Meteoromont di stanza a Roma, permetterà in un immediato futuro di disporre di preziosi e validi dati nivometrici e nivologici mediante i quali programmare accurate analisi statistiche di tali parametri anche laddove attualmente essi non sono soddisfacenti.

METODOLOGIA DELLA RICERCA

Si è tentato un approccio statistico ai dati nivologici del territorio nazionale tenendo presente che, per l'esiguo numero di serie

storiche disponibili (solamente ventisei con continuità soddisfacente dei rilevamenti nivometrici), oltretutto piuttosto limitate nel tempo (1982 - 2004), e non uniformemente distribuite da un punto di vista spazio-altitudinale, i risultati sarebbero potuti essere assolutamente insoddisfacenti o quantomeno poco attendibili. In tal senso la presente ricerca non pretende di diventare un trattato di climatologia della neve riferito all'intero territorio nazionale, né è stata finalizzata al calcolo di mappe della nevosità o ad una caratterizzazione puntuale dei parametri oggetto di studio, ma vuole piuttosto descrivere in maniera generale la distribuzione della fenomenologia, cercando di ricavare delle relazioni accettabili a macroscale tra neve e variabili geografiche. Occorre in primis sottolineare che il SMAM non compila modelli 1 o simili, come avviene presso le strutture afferenti all'AINEVA o al Corpo Forestale dello Stato, ma si limita alla misura dell'altezza della neve al suolo - che viene riportata nei messaggi a

cadenza giornaliera denominati SYREP; i fenomeni nevosi sono invece riportati mediante codifica alfa-numerica standard WMO attraverso i messaggi SYNOP con passo temporale triorario. In questi messaggi viene comunque riportato l'equivalente della neve in acqua misurato nelle tre ore precedenti il messaggio stesso. Non esiste quindi alcuna informazione relativa all'altezza della neve fresca misurata su una tavoletta, né altre informazioni sulla cristallografia o su altre proprietà fisiche - come ad esempio la densità del manto nevoso.

Per cercare di quantificare l'altezza della neve fresca nella maniera più precisa possibile sono state applicate due metodologie che, confrontate successivamente tra loro, hanno permesso di ricavare un dato sufficientemente preciso, anche se probabilmente caratterizzato da una lieve sotto-stima dei quantitativi totali.

Dai messaggi triorari SYNOP sono stati evidenziati tutti i casi nei quali appariva nella fenomenologia il codice relativo a cadute di neve (da 70 a 79 SN), è poi stato considerato l'equivalente della neve in acqua e infine è stato calcolato il presunto accumulo in 24 ore di neve fresca secondo l'ipotesi, peraltro sperimentalmente provata in occasione di numerosi eventi nevosi, secondo la quale in genere vale l'equivalenza:

- Con $T \leq -0,5^{\circ}\text{C}$ durante la nevicata 1 mm di acqua = 1 cm di neve fresca
- Con $0 \leq T \leq 1,5^{\circ}\text{C}$ durante la nevicata, 1 mm di acqua = 0,5 cm di neve fresca

L'ultima identità si spiega con il fatto che, specie alle quote basse, nel settore centro-meridionale ed insulare della penisola, con temperature relativamente elevate specialmente all'inizio

dell'evento nevoso, molta neve è soggetta a fusione al contatto con il suolo non innevato e solamente dopo il deposito di un primo strato di neve il manto si accumula con maggiore regolarità.

Contemporaneamente è stato calcolato l'accumulo di neve nelle 24 ore, ricorrendo alla semplice differenza tra la neve misurata appena prima dell'emissione del messaggio e quella presente nelle 24 ore precedenti. E' evidente che applicando tale rudimentale metodologia si ricorre in errori di sottostima determinati da numerosi fattori fisici, primi tra tutti la temperatura dell'aria, quella della neve e la sua densità.

Da queste misure sono stati ricavati ed elaborati i dati mensili relativi alla quantità mensile di neve caduta (H_n), al numero di giorni con nevicate ($H_n \geq 1$ cm) e alla permanenza della neve al suolo. Le stazioni inizialmente considerate sono state 26, comprendenti le 9 stazioni di media ed alta montagna alpina ed appenninica (compresa quella slovena di Triglav-Kredarica, ubicata nella Alpi Giulie Orientali) nelle quali si hanno misure

nivometriche (cosa che non avviene ad esempio a Plateau Rosa per motivi inerenti la notevole ventosità) ed altre 17 stazioni, ubicate a quote inferiori ai 1000

metri, caratterizzanti la restante parte del territorio nazionale interessata dal fenomeno neve in modo significativo (vedi tabella fig. 1). Tra le stazioni selezionate



Fig. 2



per lo studio è stata considerata anche quella litoranea di Pescara, che consente di caratterizzare il fenomeno lungo il versante adriatico centro-meridionale, notoriamente interessato da fenomeni nevosi anche di notevole intensità, pur con una ricorrenza molto bassa (fig.1, 2, 3 e 4). Dopo un'ulteriore validazione ed omogeneizzazione dei dati disponi-

bili è stata eliminata la stazione di Passo Giovi (che presentava dati di discutibile veridicità) ed è stato effettuato uno studio mirato alla:

- Caratterizzazione della distribuzione spazio-altitudinale della nevosità e studio dei trend per ogni singola stazione;
- Caratterizzazione generale della nevosità in funzione di

parametri geografici a macro-scala (latitudine e longitudine) e scala locale (es. posizione della stazione sui pendii, crinali, vette o costa) secondo la metodologia applicata per le precipitazioni nevose da Fazzini (2001). Occorre infine evidenziare che, per meglio focalizzare gli obiettivi principali del presente lavoro - ovverosia di tentare un'analisi della nevosità alle quote basse dell'Italia Peninsulare - nella discussione critica dei risultati inerenti i giorni con permanenza della neve al suolo e dei giorni con caduta di neve sono stati considerati esclusivamente i valori delle stazioni di rilevamento ubicate sotto i 1000 metri circa, escludendo quelli relativi agli ambienti di media-alta montagna alpina ed appenninica.

ANALISI SPAZIALE DEI PARAMETRI NIVOLOGICI

Come già evidenziato precedentemente, la relativa scarsità di dati impone una notevole prudenza nell'analisi critica dei risultati. Esaminando innanzitutto le eventuali differenze tra i valori ricavati come semplici differenze tra altezze della neve in 24 ore e equivalente della neve in acqua, si evince chiaramente che in tutte le stazioni il secondo dato è sempre superiore al primo - afflitto da sicura sottostima - per cui si può affermare con sufficiente sicurezza che, in assenza di studi finalizzati al calcolo della densità media del manto nevoso nell'intero territorio nazionale, l'equivalenza 1 cm di neve - 1 mm di acqua per temperature non particolarmente basse risulta complessivamente valida, così come sembrerebbe risultare adeguata una densità media ipotizzata di circa 150 kg/m³ (peraltro spesso ricavata da misure su campo) per nevi che

Fig. 3

ALTEZZA MEDIA MENSILE ED ANNUA DELLA NEVE FRESCA E TENDENZA PERCENTUALE RELATIVA AL PERIODO 1982-2004 I valori sono stati calcolati dalla somma delle differenze del manto nevoso in 24 ore Tra parentesi sono riportati i valori calcolati considerando l'equivalente della neve in acqua												
STAZIONI ALPINE	QUOTA	G	F	M	A	M	G	O	N	D	ANNO	TREND (%)
KREDARICA - SLO*	2515	111	115	159	172	86	33	64	141	141	1037	-1,5
PAGANELLA	2124	35	47	55	60	20	3	22	53	53	349 (367)	-1,9
PASSO ROLLE	2004	51	46	60	89	21	4	15	54	64	405 (432)	-1,5
S. VALENTINO MUTA	1474	21	31	16	11	2		1	18	29	130 (143)	-2,7
DOBBIACO	1218	19	24	19	12	1		2	19	27	124 (129)	-2,2
TARVISIO	777	23	34	18	13	1			14	29	132 (205)	-2,0
BRICCOLE	710	31	19	8	2	1		0	4	10	74 (80)	-1,8
MONDOVI'	556	26	16	9	2				4	11	68 (82)	0,3
BOLZANO	265	13	12	3	1			1	4	18	52 (57)	-2,5

STAZIONI APPENNINICHE	QUOTA	G	F	M	A	M	G	O	N	D	ANNO	TREND (%)
MONTE CIMONE	2165	59	54	45	63	17		2	39	54	319 (337)	-3,3
MONTE TERMINILLO	1875	39	70	56	45	2			3	44	260 (272)	-1,5
MONTE SCURO	1714	54	59	50	28	4			7	59	261 (303)	-0,1
PRIZZI	1035	5	6	6	1				1	4	23 (29)	-3,9
ENNA	1001	3	16	2						2	23 (30)	-11,1
FONNI	992	12	27	9	8				1	23	80 (91)	-8,0
RADICOFANI	918	5	17	6	2	1			1	5	36 (44)	-0,4
LATRONICO	896	6	11	7	1				1	3	29 (37)	5,9
M.TE SANT'ANGELO	847	16	12	8	1				2	7	46 (65)	6,7
POTENZA	845	6	13	5	4			1	2	9	39 (51)	4,2
CAMPOBASSO	807	17	16	13	4			1	3	16	70 (88)	2,4
PRETURO	675	9	13	6	2				1	9	39 (56)	-7,7
FRONTONE	574	10	13	5	1				4	7	41 (54)	-0,5
GIOIA DEL COLLE	352	3	3	1	1					1	9 (15)	1,7
PESCARA	10	6	1	1	1			1	2	4	17 (22)	-4,3

Fig. 4

NUMERO MEDIO MENSILE ED ANNUO DI GIORNI NEVOSI E TREND VENTENNALE										
STAZIONE	G	F	M	A	M	O	N	D	TOT	TREND
BOLZANO	1,529	0,882	0,117	0	0	0	0,125	0,812	3,222	-0,282
TORINO CASELLE	1,529	1,47	0	0	0	0	0,552	1,157	3,735	-0,267
BRICCOLE	2,909	2,478	1,086	0,347	0	0,09	0,681	1,909	9,26	-0,195
MONDOVI'	3,21	2,157	0,947	0,368	0	0	0,833	1,777	7,565	0,009
PASSO CISA	3,565	3,695	3,086	1,391	0,173	0,136	1,363	3,736	16,434	-0,16
FRONTONE	1,434	1,478	0,913	0,13	0	0	0,409	1,318	5,608	0,021
RADICOFANI	0,772	1,304	0,869	0,043	0,043	0	0,238	0,666	3,826	-0,127
PESCARA	0,21	0,157	0,052	0	0	0,111	0	0,111	0,631	-0,047
PRETURO	1,388	1,611	1,055	0,235	0	0	0,352	1,777	6,052	-0,275
MONTE SANT'ANGELO	1,478	1,869	1,13	0,173	0	0	0,272	0,863	5,739	0,365
CAMPOBASSO	1,954	2,59	1,818	0,227	0	0,045	0,5	2,09	8,826	-0,118
GIOIA del COLLE	0,391	0,695	0,173	0,043	0	0	0,045	0,227	1,565	0,112
POTENZA	1,238	2,285	1,38	0,142	0	0,047	0,476	1,19	6,761	0,13
LATRONICO	0,608	1,13	0,739	0,086	0	0	0,09	0,681	3,304	0,261
PRIZZI	1	1,304	0,913	0,13	0	0	0,086	0,652	4,086	-0,113
ENNA	0,565	0,869	0,608	0	0	0	0	0,428	2,434	0,068
FONNI	0,826	1,434	0,826	0,086	0	0	0,045	0,818	4	-0,08

cadono a temperature superiori al punto di fusione. Si ha del resto la conferma che i valori ricavati dall'equivalente della neve in acqua siano molto vicini alla realtà considerando gli apporti medi relativi allo stesso periodo per alcune stazioni nivo-meteorologiche manuali appartenenti alle reti gestite dagli uffici valanghe delle regioni e delle province ubicate nell'area alpina (Fazzini e Gaddo, 2003; Valt et al, 2005). Di conseguenza è possibile affermare che, in generale, valori di neve fresca ricavati dalle differenza nell'altezza della neve misurata ogni 24 ore, comportano una sottostima del 5-10% con innevamento significativo, valore che si eleva sino al 15-20% in aree caratterizzate da scarsa o effimera nevosità.

Risulta evidente come gli scarti percentuali tra le due misure siano proporzionalmente maggiori man mano che ci si sposta verso il meridione dell'Italia (ove essi sfiorano anche il 50%). Tuttavia, ad essere più critici nell'analisi del dato, ci si rende conto che a condizionare le differenti misure è la quantità media della neve fresca che cade. In pratica, laddove, come appena detto, il fenomeno è effimero ed i quantitativi medi molto esigui, le rare nevicate possono verificarsi con differenti situazioni sinottiche e differenti temperature, il che comporta un'altrettanto differente velocità di assestamento del manto nevoso in 24 ore o, meglio ancora, notevoli differenze nella densità della neve fresca per i differenti episodi verificatisi. In tal senso, in tutte le località di collina o di bassa montagna ubicate al di sotto della linea Roma - Promontorio del Gargano - come successivamente dimostrato dal numero di giorni nevosi - può accadere che non nevichi per diversi anni ed un episodio nevoso signifi-

cativo può incidere in maniera abnorme sulla quantificazione dei parametri nivologici, sino a modificare il regime nivometrico dell'area. Considerando i quantitativi medi annui - da non confondere con quelli medi stagionali che spesso vengono riportati in studi di climatologia della neve - si evidenziano differenze più o meno notevoli sia all'interno della stessa catena alpina che confrontando i valori con quelli della catena appenninica. In tal senso, se si esclude l'importante nevosità media della stazione di vetta di Kredarica (determinata dalla notevole quota e dall'esposizione del massiccio montuoso alle correnti di scirocco che arrivano dal vicino Adriatico) - che peraltro si ritrova in alcune aree montuose fisicamente



RELAZIONE NEVE FRESCA-QUOTA PER IL SETTORE APPENNINICO DEL TERRITORIO ITALIANO

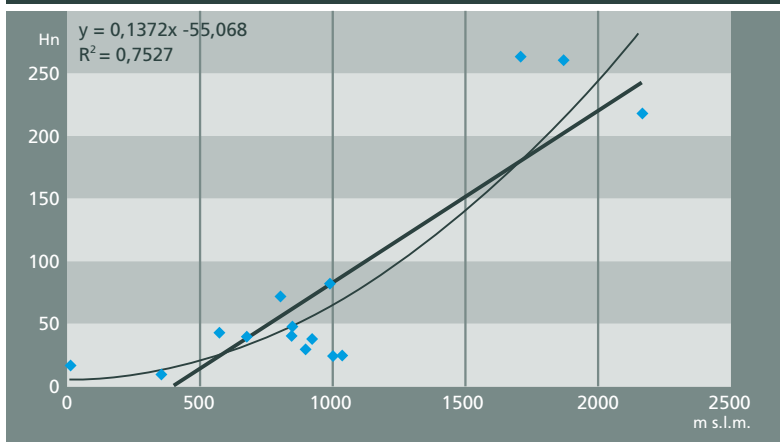


Fig. 5a

RELAZIONE NEVE FRESCA-QUOTA PER IL SETTORE ALPINO DEL TERRITORIO ITALIANO

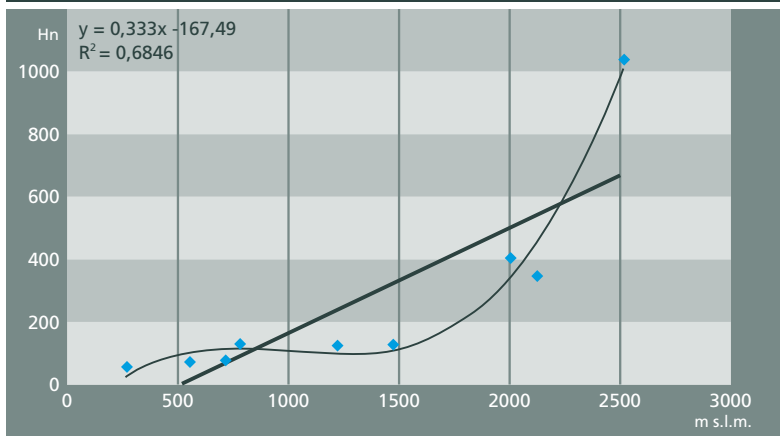


Fig. 5b

**NUMERO MEDIO MENSILE ED ANNUO DI GIORNI CON NEVE AL SUOLO
E TREND VENTENNALE**

QUOTA	G	F	M	A	M	O	N	D	TOT	TREND
BOLZANO	6,882	3,235	0,235	0	0	0	0,125	4,687	14,055	-0,732
TORINO CASELLE	1,941	0,937	0	0	0	0	0,166	0,333	3,562	-0,883
BRICCOLE	11,863	9,347	5,26	0,521	0	0,09	1,454	5,909	33,608	-0,603
MONDOVI'	13,526	8,631	5,421	0,631	0	0	1,722	6,166	35,684	-0,664
PASSO CISA	14,173	14,782	13,826	4,521	0,173	0,227	3,181	9,909	60,217	-1,558
FRONTONE	4	3,956	1,913	0,26	0	0	0,818	2,681	13,478	-0,066
RADICOFANI	2,13	2,043	1,521	0,181	0,045	0	0,523	0,857	7,173	-0,388
PESCARA	0,684	0,157	0,263	0	0	0,222	0	0,333	1,347	-0,17
PRETURO	4,222	3,666	1,833	0,294	0	0	1	3,833	14	-0,85
MONTE SANT'ANGELO	3,086	3,391	1,956	0,434	0	0	0,227	2	11	0,786
CAMPOBASSO	4,739	4,695	3,173	0,478	0	0,045	0,818	4,727	18,434	0,156
GIOIA DEL COLLE	0,782	1,043	0,304	0,043	0	0	0,045	0,363	2,565	0,138
POTENZA	2,454	3,904	2,095	0,523	0	0,05	0,6	2,65	12,238	0,137
LATRONICO	1,304	2,521	1,391	0,26	0	0	0,09	0,909	6,434	0,525
PRIZZI	1,782	1,826	1,086	0,13	0	0	0,09	1,136	6	-0,292
ENNA	0,739	1,304	0,826	0,043	0	0	0	0,571	3,434	0,085
FONNI	1,826	2,565	1,565	0,086	0	0	0,045	1	7,043	-0,195

Fig. 6



appartenenti all'Italia e situate in posizioni morfologiche simili (San Gottardo, 2105 m, Gran San Bernardo, 2473 m), si può affermare che intorno ai 2000 metri cadono tra i 350 ed i 600 cm sul settore alpino e tra i 250 ed i 400 cm su quello appenninico. Intor-

no ai 1000 metri i valori scemano rispettivamente sui 180-400 cm nel settore alpino e tra i 90 ed i 220 cm in quello appenninico. Risulta dunque evidente come le variabili geografiche e morfologiche a meso- microscala concorrano a creare notevolissi-

me differenze di nevosità anche in aree molto vicine tra di loro, pur ubicate alla stessa quota. In particolare, nel settore alpino le variabili più rappresentative nella spiegazione della distribuzione della nevosità risultano essere la distanza dal mare, l'esposizione dei rilievi e delle sottostanti valli rispetto ai flussi perturbati meridionali e ancor più la posizione "continentale" di certi siti (come ad esempio quelli delle valli interne altoatesine) che si trovano in posizione di "snow shadow" nei confronti dei suddetti fronti perturbati (Bisci et al, 2000; Fazzini, 2001, Fazzini et al, 2002). Per ciò che concerne la catena appenninica si conferma la differente nevosità tra il versante adriatico - decisamente più nevoso perché più freddo e maggiormente esposto ai flussi di aria instabile provenienti da nord e da est - e quello tirrenico più esposto alle correnti mediterranee calde ed umide (Mennella, 1967, Fazzini et al, 2005). Il gradiente nivometrico medio varia sensibilmente tra la catena alpina - ove risulta essere di circa 4 cm/100 metri - e quella appenninica, ove esso si eleva a circa 14 cm/100 m (fig. 5a e 5b). Risulta poi evidente come nella catena appenninica i quantitativi divengano molto abbondanti oltre i 1500 metri di quota. In entrambi i casi comunque i dati sono statisticamente relativamente rappresentativi (coefficienti di determinazione di 0,75 e di 0,68) - in quanto ricavati su un campione statistico di poche stazioni, complessivamente non sufficientemente rappresentative di catene montuose molto estese e complesse come quelle alpina ed appenninica.

L'analisi della distribuzione mensile delle nevicate - meglio nota come regime nivometrico - evidenzia un radicale cambiamento

all'aumentare della quota ed in particolare oltre i 1500-1800 metri: nelle aree collinari o nelle valli il regime risulta essere unimodale a massimo invernale, prevalentemente centrato in gennaio o in febbraio. Tale caratteristica è maggiormente evidente nelle località appenniniche centro-meridionali, nelle quali il regime meteorico presenta caratteri mediterranei, caratterizzato da un massimo di precipitazioni nel periodo più freddo dell'anno (Regione Piemonte, 1998; Fazzini, 2004). Al di sopra di tale quota, ed in particolare nella catena alpina, il regime diviene bimodale con due massimi ubicati in dicembre ed in marzo o aprile. Oltre i 2200-2400 metri, sulle Alpi i mesi primaverili divengono quelli più nevosi (regime unimodale primaverile) in virtù della ripresa delle precipitazioni dopo il minimo invernale e delle temperature ancora sufficientemente basse da provocare precipitazioni solide.

Relativamente alla nevosità, risulta evidente (tabella di fig. 4) come la frequenza di giorni nevosi decresca, a parità di quota, molto uniformemente al diminuire della latitudine, oscillando da 7 gg/anno della pianura padana occidentale (Mondovì) a meno di un giorno all'anno lungo la costa adriatica, sino ad arrivare ad un giorno ogni 5-6 anni delle aree basso collinari insulari. Notevole risulta la nevosità del settore settentrionale dell'Appennino ed in generale di tutto il versante adriatico della dorsale stessa. E' comunque risaputo come nelle aree peninsulari della penisola vi siano forti scarti tra annate successive; oltretutto, da un punto di vista sinottico, ed almeno relativamente all'ultimo quinquennio, appare statisticamente evidente come vi sia un aumento della frequenza delle "discese" del

Vortice Polare verso il Mediterraneo - susseguente a situazioni bariche di NAO negativa - fenomeno che si manifesta mediante avvezioni di aria artica marittima e/o continentale che determinano estese cadute di neve soprattutto sul versante adriatico della penisola, dalle Marche sino all'Appennino lucano e calabro, oltre che sull'Appennino ligure e sulle Alpi Marittime.

Per ciò che concerne la permanenza della neve al suolo (tabella di Fig. 6) risulta evidente come i valori decrescano al calare della quota e della latitudine, ma soprattutto risentano di fattori relativi alla "continentalità" - come la distanza dal mare e la vicinanza di gruppi montuosi organizzati e con quote medie piuttosto elevate - che favoriscono, grazie alle temperature mediamente più basse, un calo della quota delle nevicate e un successivo migliore mantenimento del manto nevoso al suolo. A smentire parzialmente tale affermazione accade frequentemente nell'area peninsulare meridionale ed insulare che, dopo nevicate significative, si instaurino correnti meridionali che producono una subitanea fusione del manto nevoso, specie nelle aree esterne dei gruppi montuosi, sino alle quote più elevate.

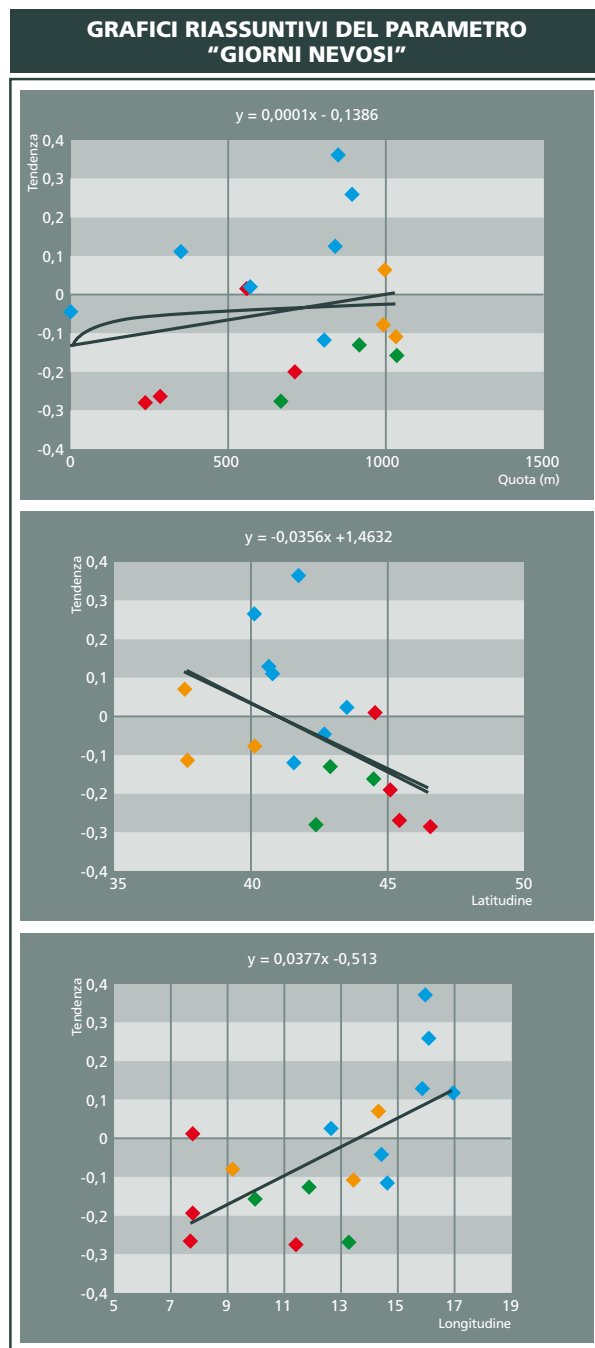


Fig. 7



GRAFICI RIASSUNTIVI DEL PARAMETRO "ALTEZZA NEVE FRESCA"

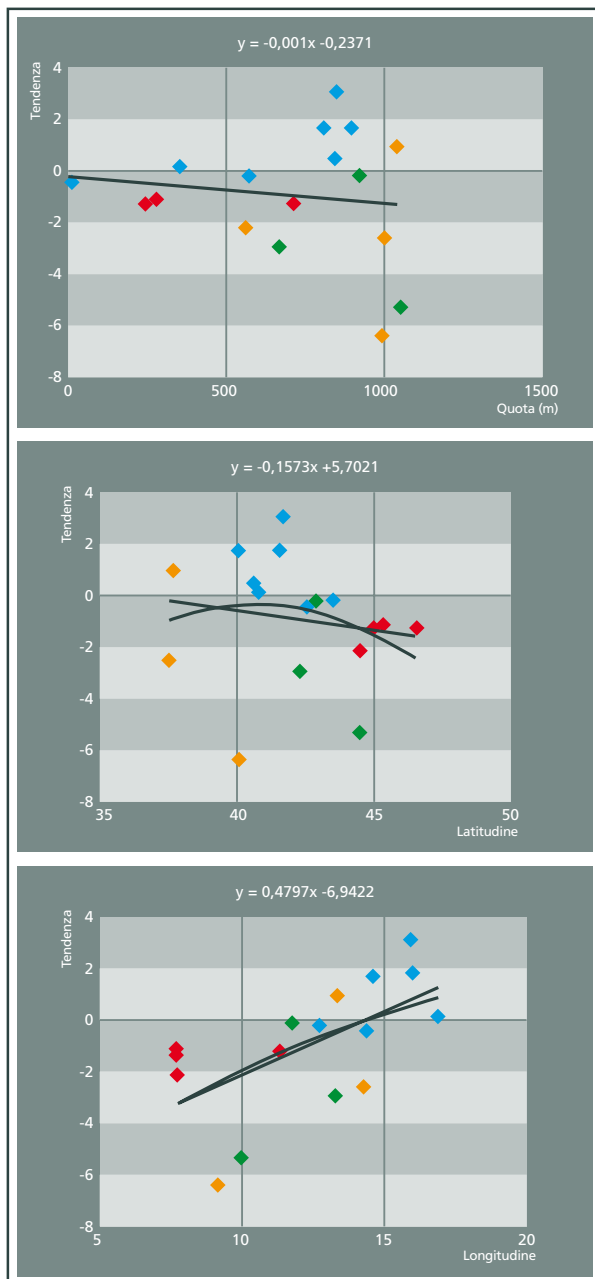


Fig. 8

ANALISI DELLE TENDENZE VENTENNALI

Relativamente alle tendenze del fenomeno, "quantizzato" nelle tabelle delle Figg. 3, 4 e 6, appaiono parzialmente confermate alcune "sensazioni" evidenti non solo tra i ricercatori ma soprattutto nell'opinione pubblica secondo le quali "una volta nevicava molto di più al nord" ed al sud la neve "si vedeva una volta ogni tanto ed ora ne viene quasi solamente laggiù.."

Considerando ad esempio i dati relativi all'altezza della neve fresca, appare evidente un differente tipo di segnale fra territorio alpino, nel quale si assiste ad un calo generalizzato - per ora complessivamente lieve - dei totali annui o stagionali e appenninico, ove si registrano situazioni discordanti, con cali anche sensibili della nevosità nelle aree insulari e nel settore settentrionale adriatico, comprese le aree pedappenniniche e pianeggianti, ai quali si affiancano segnali poco significativi nell'Appennino marchigiano ed abruzzese e si contrappongono aumenti locali, come nell'area calabrese, o generalizzati come nel dominio molisano-irpino-lucano. Occorre però ricordare nuovamente che nelle ultime stagioni, caratterizzate da una

sensibile variabilità sinottica, si osserva una consistente ripresa dei fenomeni, specie nel settore appenninico centro-meridionale in inverno e nell'arco alpino orientale in primavera.

Il numero di giorni nevosi mostra un segnale caratterizzato da una netta prevalenza delle tendenze a microscala, con scarti positivi e negativi estremamente variabili. In generale, è evidente un trend assolutamente negativo - proporzionalmente maggiore di quello che si osserva per i valori della neve fresca - al nord, ove oltretutto si ritrovano tendenze opposte anche a breve distanza (es Mondovì, tendenza lievemente positiva, e Briccole, tendenza negativa). Anche nella pianura padana le tendenze mostrano un calo della fenomenologia. Trends lievemente positivi, in accordo con quelli rilevati per i quantitativi di neve fresca al suolo, si osservano invece per alcune aree dell'Appennino centro-meridionale, ed in particolar modo per quello pugliese e lucano.

Queste evidenze possono essere ricollegate alla tendenza ad una certa "estremizzazione" dei fenomeni meteorici in tutte le stagioni, per cui a periodi più caldi e secchi rispetto alla media si interpongono ondate di freddo talora prolungate, con fenomeni



nevosì particolarmente intensi soprattutto in aree solitamente non interessate dalla meteorologia, come nelle aree collinari e pedemontane dell'Appennino meridionale.

Il numero di giorni con permanenza della neve al suolo mostra infine oscillazioni proporzionalmente maggiori di quelle relative ai parametri neve fresca e nevosità, con diminuzioni percentualmente maggiori alle quote più elevate: è lecito ipotizzare pertanto un legame con il comprovato aumento delle temperature medie, in particolare di quelle primaverili sul settore alpino centro-orientale. Il fenomeno è più evidente intorno ai 2000 metri.

Per tentare infine di comprendere se esistono eventuali relazioni tra le appena citate tendenze ventennali ed i parametri geografici a meso-macroscale come quota, latitudine e longitudine, sono stati costruiti alcuni specifici diagrammi cartesiani. E' opportuno precisare che la longitudine, pur non rappresentando la misura angolare di una distanza geograficamente rappresentativa (come ad esempio l'equatore per la latitudine), relativamente al territorio italiano dà indicazioni decisamente affidabili sulla "oceanicità" o sulla "continentalità" di un sito dato che, all'aumentare della longitudine, in media ci si allontana dal Mar Tirreno, avente caratteristiche climatiche "oceaniche", e ci si avvicina al Mare adriatico ed in generale alla Penisola Balcanica, caratterizzati da un clima "continentale".

Le stazioni di rilevamento sono state divise in quattro gruppi (cluster) in base alla loro posizione geografica: si sono distinte così stazioni situate sulle Alpi, sul crinale appenninico, sul versante adriatico e nelle due isole mag-



giori. Nei grafici riassuntivi (fig. 7) ogni gruppo è caratterizzato da un differente colore così da rendere più chiara la lettura del dato ricavato ed evidenziare eventuali disomogeneità anche all'interno di un singolo gruppo di dati: gli indici di color rosso rappresentano stazioni situate sulle Alpi; quelli verdi rappresentano stazioni situate sul crinale appenninico; quelli blu rappresentano stazioni situate nel versante adriatico; quelli arancio, infine, rappresentano stazioni situate nelle due isole maggiori.

Si è deciso di iniziare tale analisi affrontando dapprima il rapporto tra giorni nevosi e variabili geografiche (fig. 7).

Partendo dalla relazione Quota-Tendenza, si nota che al di sotto dell'interpolante di primo ordine sono posizionate sia le stazioni Alpine (in rosso) che quelle Appenniniche (in blu); pur avendo esse una maggiore nevosità a tutte le quote, presentano una generale ed evidente tendenza ad una diminuzione del fenomeno, in particolare alle quote più basse nel dominio alpino. Quasi tutte le stazioni situate sul versante adriatico si posizionano sopra la retta, cioè presentano incrementi significativi e sempre più elevati all'aumentare della quota. Le stazioni insulari sono quelle che più si avvicinano alla retta

di regressione. Il grafico Latitudine-Tendenza risulta essere molto rappresentativo: in primis è evidente come il calo della nevosità sia via via maggiore all'aumentare della latitudine: tale caratteristica si mantiene anche all'interno di ciascuno dei quattro "cluster" inerenti le diverse aree geografiche. In generale in tutte le aree la tendenza del fenomeno è decisamente negativa tranne che per le stazioni del versante adriatico, che mostrano un comportamento assolutamente caratterizzato da fattori non dipendenti dalla quota.

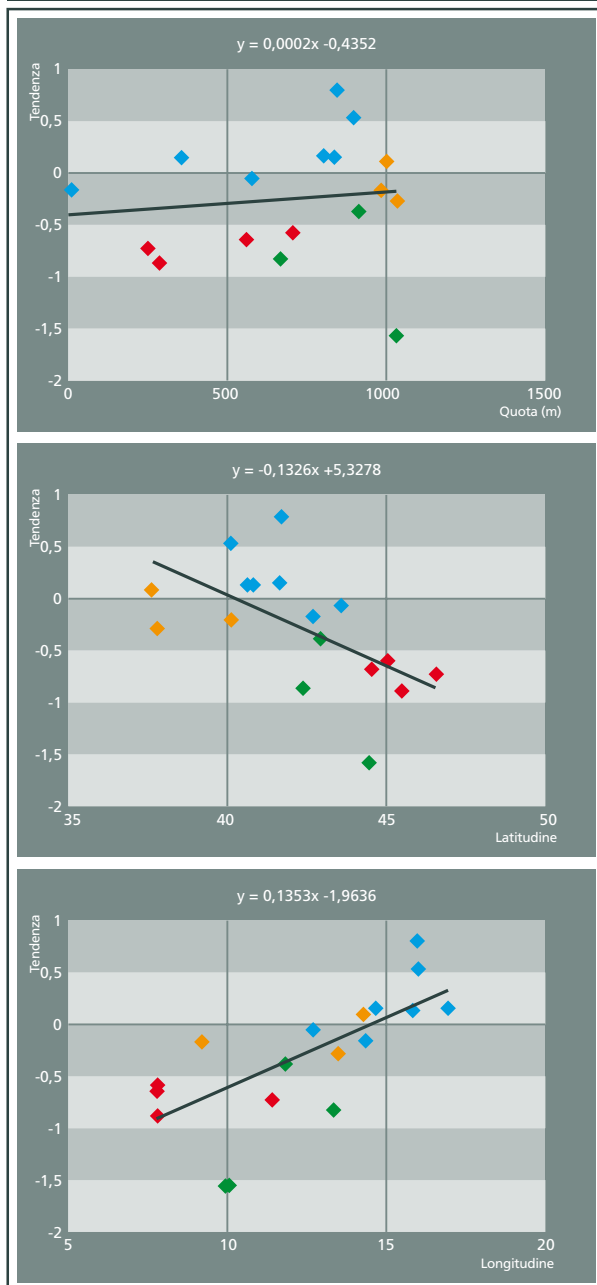
La longitudine sembrerebbe influire in maniera piuttosto evidente: in generale le stazioni ubicate più ad oriente mostrano, a tutte le quote, tendenze decisamente positive. In sostanza verrebbe confermata la sensazione secondo la quale la quota tende a nevicare più frequentemente lungo il versante adriatico e meno in quello tirrenico dell'Appennino, oltre che su tutta la catena alpina e sulla pianura padana.

Relativamente alla tendenza inerente l'altezza del neve fresco in relazione con la quota e con la latitudine (fig. 8), si osserva un segnale quanto mai caotico, dettato spesso dalle caratteristiche micro-mesoclimatiche; tuttavia traspare, come per la nevosità, una tendenza all'aumento del fenomeno nelle stazioni del



Fig. 9

GRAFICI RIASSUNTIVI DEL PARAMETRO "GIORNI CON COPERTURA NEVOSA DEL SUOLO"



versante adriatico, alla quale si contrappone un calo più o meno generalizzato nelle stazioni alpine ed appenniniche. Le stazioni insulari mostrano comportamenti contrastanti.

E' inoltre importante sottolineare che esiste una relazione di tipo inversa tra quota e neve fresca, ovverosia le stazioni più elevate presentano un calo percentualmente maggiore rispetto a quelle collinari. Questo segnale, peraltro confermato nel sistema alpino, deve suonare come campanello d'allarme per gli operatori turistici che operano a quote oramai definibili "limite" per la pratica degli sports invernali: il ricorso a tecniche di innevamento artificiale sembra oramai fondamentale per la sopravvivenza dei comprensori sciistici. Dalla relazione tendenza neve fresca - longitudine risulta lampante che le aree più vicine al mare adriatico sono soggette ad una maggiore nevosità rispetto a quelle della restante porzione del territorio italiano e che comunque procedendo da ovest verso est i valori tendono a divenire da decisamente negativi a decisamente positivi. Analizzando infine i rapporti tra variabili topografiche e permanenza della neve al suolo (Fig. 9) si evidenzia ovviamente che

i siti in cui la neve persiste maggiormente al suolo sono quelli situate alle quote più elevate. Esaminando dettagliatamente il grafico corrispondente, si osserva che le tendenze sono qualitativamente meno significative, vale a dire che comunque in generale nevica meno e meno frequentemente, ma che la neve rimane al suolo per un periodo costante durante il ventennio di studio. Tuttavia le stazioni del versante adriatico mostrano ancora una volta tendenze costanti o lievemente positive mentre cali generalizzati si osservano lungo la dorsale appenninica interna e nell'area padano-alpina. Le stazioni insulari non hanno registrato negli ultimi ventidue anni particolari variazioni, mantenendo un andamento piuttosto costante, con tendenze prossime allo zero.

Altrettanto significativa è l'analisi del rapporto Latitudine-Tendenza: oltre il 42° parallelo tutte le stazioni mostrano una tendenza negativa, che si inasprisce nel dominio alpino ed in quello appenninico settentrionale, mentre medio e basso versante adriatico nonché i rilievi insulari mostrano, seppur lievi, tendenze positive. Diametralmente opposto è il segnale evidenziato dal rapporto con la longitudine: procedendo dal ovest verso est le tendenze divengono positive e caratterizzano praticamente tutte le stazioni collinari del versante adriatico, mentre un segnale costante interessa quelle insulari.

Si conferma la tendenza negativa del fenomeno nelle aree di crinale appenninico e nel dominio alpino-padano.

CONCLUSIONI

Il tentativo di "leggere ed interpretare" le vicende nivologiche nazionali relative all'ultimo ventennio mediante l'ausilio di una

serie di dati tanto validi qualitativamente quanto scarsi e mal distribuiti nel territorio nazionale deve servire come punto di partenza per future ricerche - che si auspica siano di tipo quantitativo e assolutamente applicative - ricorrendo all'enorme e preziosa quantità di dati in possesso di tutte le strutture pubbliche e private che operano, per varie vicissitudini, nel mondo della neve. Il completamento della rete meteorologica strategica attualmente in fieri da parte della Protezione Civile nazionale attraverso i Centri Funzionali regionali e provinciali, permetterà di contare su ulteriori dati derivanti da un monitoraggio completo e continuativo delle vicende climatiche che caratterizzano il territorio nazionale sui quali poter iniziare a costruire una banca dati efficiente, moderna e soprattutto omogenea.

Bibliografia Essenziale

- Bisci C, Dramis F, Fazzini M. & Gaddo M. (2000) : "Definition of geographical parameters describing the spatial distribution of temperature and rainfall in three sectors of the Italian Eastern Alps " ICAM 2000 - 26th International Conference on the Alpine Meteorology - Innsbruck - 11-15 september 2000 (CD ROM - session 5 -12 pp.)
- Fazzini M., Bisci C. & De Luca E (1999) : "Clima e neve sul massiccio del Gran Sasso" : in "Neve e Valanghe" AI.NE.VA - Trento - (36) Maggio 1999, 36-45
- Fazzini M. (2001) : "Analisi statistica delle caratteristiche pluvio-nivo-metriche dei rilievi del Triveneto anche tramite la modellizzazione topografica del territorio esaminato" Dottorato di Ricerca ined. XIII ciclo - Università di Perugia 2 vol, 443 pp
- M.Fazzini, C.Bisci, F.Dramis & G.Pambianchi (2002) - "Paramétrisation topo-géographique et situations météorologiques locales dans les Alpes orientales italiennes » in Applications de la climatologie aux échelles fines, XV colloque de l'AIC - Besancon, 25-29.
- M.Fazzini (2004) - "Les excès météo-climatiques de l'année 2003 dans les grands massifs des Abruzzes adriatique (Italie centrale) - in « Climat memoire du temps » XVII colloque de l'AIC - Caen, 157-161
- M.Fazzini, G.Frustaci e A.Giuffrida, (2005) - "Snowfall analysis over peninsular Italy in relationship to the different types of synoptic circulation: first results Croatian Meteo-rological Journal - The 28th conference on Alpine Meteorology (ICAM-MAP), 650-653
- M.Fazzini, D.Lanzarone, V.Romeo, M.Gaddo & P.Billi (2005) . "Inverno 2005 :le nevicate eccezionali sull' Italia centrale - analisi meteo-climatica e nivologica dell'evento" Neve e Valanghe, AINEVA ed 55, 6-15
- Mennella C (1973) : Il clima d'Italia - Edart ed, 941 pp
- Mercalli L. (2005) - "Atlante climatico della Valle d'Aosta"
- Mauro Valt, Anselmo Cagnati, Andrea Crepaz e Gianni Marigo (2005) -"L'andamento delle precipitazioni nevose sul versante meridionale delle Alpi - Neve e Valanghe, 56, AINEVA, 17-26.



DISTRIBUZIONE DEGLI **INNEVAMENTI** SULLA MONTAGNA FRIULANA

**Analisi statistica delle principali
variabili nivometriche**

Massimiliano Barbolini e Matteo Pagliardi
Università degli Studi di Pavia
Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale
Via Ferrata, 1 - 27100, Pavia
m.barbolini@unipv.it

Francesco Ferro
FLOW-ING s.r.l.
P.za J.F. Kennedy, 27 – 19124 La Spezia
f.ferro@flow-ing.com

Paolo Stefanelli ed Enrico Filaferro
Regione autonoma Friuli Venezia Giulia
Direzione centrale risorse agricole,
naturali, forestali e montagna
Servizio territorio montano e manutenzioni
Via del Cotonificio, 127
I - 33100 Udine
paolo.stefanelli@regione.fvg.it

Con riferimento al territorio alpino e prealpino friulano, in questo lavoro viene presentata l'analisi statistica di due importanti variabili nivometriche: l'altezza del manto nevoso al suolo (Hs) e l'incremento dell'altezza del manto nevoso su tre giorni consecutivi di precipitazione (DH3gg).

L'analisi ha consentito di determinarne i valori di progetto di tali variabili, ovvero i valori per prefissata zona geografica, quota e tempo di ritorno. Tali valori sono essenziali sia con riferimento alla progettazione di interventi di difesa dalle valanghe che con riferimento alle simulazioni dinamiche per la mappatura delle aree a rischio. L'utilizzo di tecniche di "regionalizzazione" ha consentito di ottenere risultati affidabili e robusti con riferimento alle estrapolazioni temporali (ovvero per elevati tempi di ritorno) e spaziali (ovvero in siti non strumentati).

I risultati dello studio sono stati implementati in un programma di visualizzazione e di ricerca facilitata (es. per comune, per quota, per tempo di ritorno), che ha reso estremamente semplice e veloce sia la fruizione dei risultati dello studio che la loro divulgazione.



INTRODUZIONE

La conoscenza del legame che sussiste tra una determinata variabile nivometrica ed il tempo di ritorno (ovvero l'intervallo medio di tempo che intercorre tra due superamenti successivi di un determinato valore della variabile) risulta essere di grande importanza pratica poiché permette di valutare l'intensità di eventi di data periodicità (soprattutto con riferimento ad eventi nivometrici "estremi", ovvero rari), e di predisporre adeguati strumenti preventivi.

Generalmente tale legame viene individuato elaborando i massimi annui della variabile nivometrica misurati in una serie di anni, anche non consecutivi. Questa procedura è usualmente definita come elaborazione delle *serie dei massimi annui*. Inoltre, nella pratica comune, la stima della *funzione di probabilità* di

una variabile nivologica (ossia il legame tra la variabile e la probabilità di non superamento di un determinato valore) viene ottenuta elaborando un unico campione di dati misurati nel sito di interesse (o comunque in una stazione di rilevamento ritenuta significativa); questa procedura viene indicata come *stima puntuale*. Tale approccio comporta inevitabilmente due tipologie di problemi:

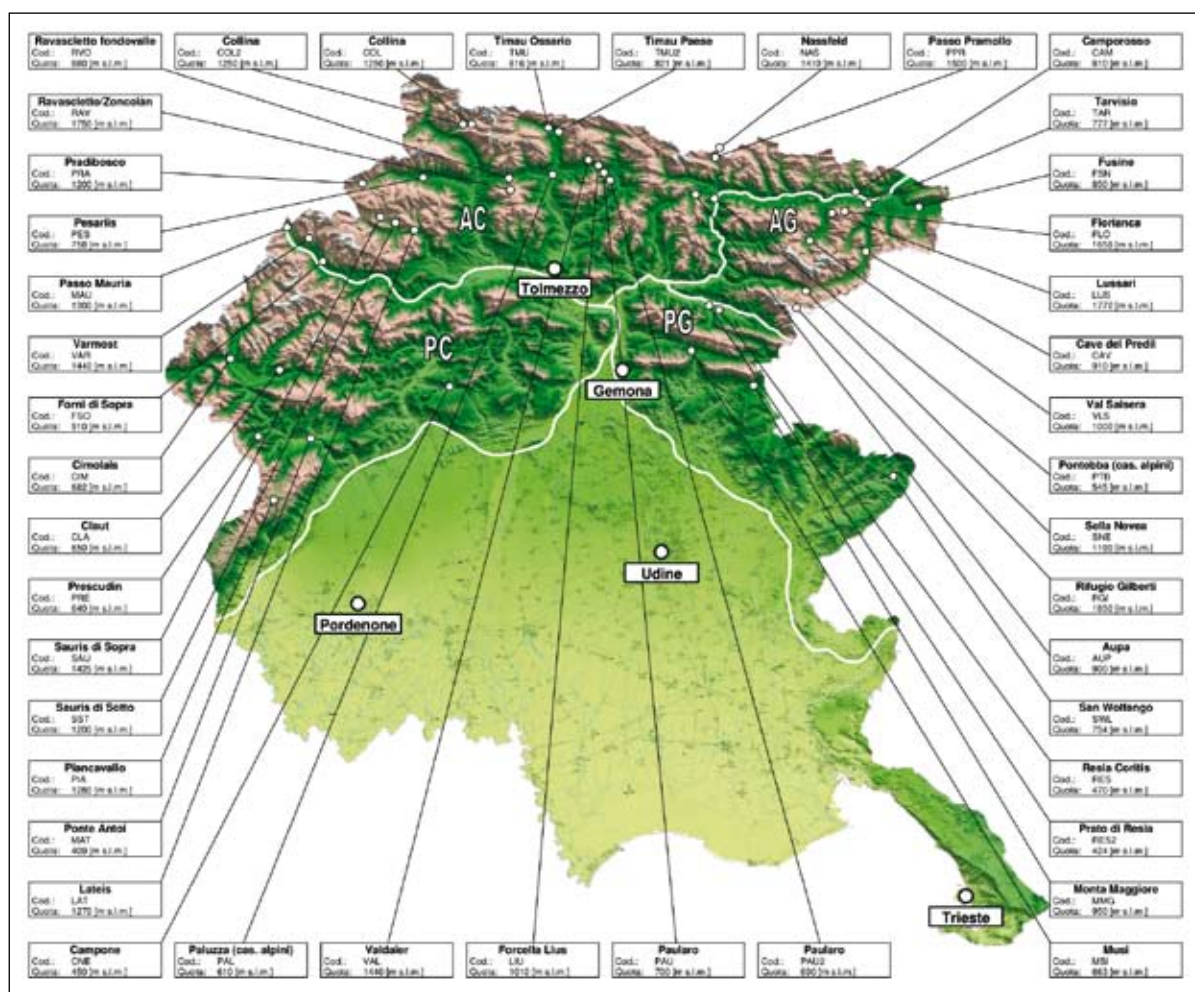
a) i campioni di dati puntuali disponibili sono raramente di dimensione sufficiente da garantire stime affidabili dei *quantili* di interesse in applicazioni ingegneristiche (ove per quantile si intende il valore che la variabile assume per un determinato tempo di ritorno);

b) i campioni di dati puntuali disponibili sono generalmente misurati in stazioni di rilevamento la cui posizione non coincide con la

zona di interesse (tipicamente le stazioni di rilevamento nivometeorologico risultano ubicate a quote inferiori rispetto alle zone di distacco delle valanghe).

Nel presente studio, al fine di superare i due problemi menzionati, viene fatto ricorso a procedure di *stima regionale* (Cunnane, 1989; Maione e Moisello, 1993; Hosking e Wallis, 1997). L'analisi regionale utilizza una "trasposizione" dell'informazione spaziale in una informazione di tipo temporale: i dati relativi a numerose stazioni di rilevamento sono opportunamente combinati ed utilizzati per stimare le frequenze di accadimento degli eventi in ciascun sito (e più in generale su tutta la regione), una volta verificata l'ipotesi che le funzioni di probabilità relative ai differenti siti non siano troppo dissimili tra loro. In effetti si può intuitivamente sperare che il

Fig. 1 - Distribuzione geografica delle stazioni manuali utilizzate nel presente studio. Sono indicate le quattro zone geografiche in cui viene classicamente studiata la montagna friulana (PC: Prealpi Carniche; AC: Alpi Cariche; AG: Alpi Giulie; PG: Prealpi Giulie)



campione ottenuto raggruppando opportunamente tutte le informazioni disponibili in differenti siti possa consentire una stima accurata del quantile con tempo di ritorno di interesse nella pratica ingegneristica. In realtà un tale assunto non corrisponde al vero, in quanto nella regionalizzazione possono nascere problemi sia in virtù del fatto che le leggi di distribuzione relative ai differenti siti non risultano esattamente le medesime sia per effetto del fatto che le misure non risultano rigorosamente statisticamente indipendenti. Ciò nondimeno è ormai ampiamente dimostrato che analisi regionali adeguatamente condotte forniscono stime dei quantili delle variabili di interesse caratterizzate da un grado di accuratezza decisamente superiore a quello ottenibile mediante stime di tipo puntuale (Cunnane, 1989).

Con riferimento al territorio alpino e prealpino friulano, scopo principale è stata pertanto l'effettuazione di un'analisi statistica di tipo regionale delle seguenti variabili nivometriche:

- altezza del manto nevoso al suolo (nel seguito indicata con H_s);
- incremento dell'altezza del manto nevoso su tre giorni consecutivi di precipitazione nevosa (nel seguito indicata con $DH3gg$).

Tali variabili rivestono una valenza fondamentale sia con riferimento alla progettazione degli interventi di difesa dalle valanghe (siano essi opere di difesa attiva in zona di distacco o opere di difesa passiva in zona di arresto) che con riferimento alle simulazioni dinamiche finalizzate alla mappatura delle aree a rischio. L'analisi statistica delle suddette variabili consente di caratterizzarne i valori di progetto in funzione del luogo (zona, quota) e del tempo di



ritorno. La caratterizzazione della variabilità "spazio-temporale" delle condizioni di innevamento sul territorio oggetto di studio rappresenta inoltre un utile strumento conoscitivo con riferimento alla previsione del pericolo. Risulta infatti possibile: (i) correlare le condizioni nivometeorologiche relative a differenti zone del territorio in esame (ovvero stimare le condizioni nivometriche in varie zone a partire da una o più stazioni rappresentative); (ii) caratterizzare il grado di rarità delle situazioni nivometeorologiche che si verificheranno, e valutarne in prima approssimazione il grado di pericolo in termini di attività valanghiva.

Nel seguito sono presentate le analisi effettuate allo scopo di determinare i valori di progetto dall'altezza del manto nevoso al suolo (H_s). Elaborazioni del tutto analoghe sono state condotte anche con riferimento all'incremento dell'altezza del manto nevoso su tre giorni consecutivi di precipitazione ($DH3gg$); per ragioni di sintesi tali elaborazioni non vengono nel seguito presentate. In conclusione all'articolo si riportano comunque

i risultati finali relativi sia a H_s che a $DH3gg$.

Infine si descrive brevemente l'implementazione software dei risultati dello studio. L'applicativo realizzato costituisce un utile strumento per la gestione e la visualizzazione dei valori di progetto delle variabili nivometriche studiate, rendendo semplice e veloce sia la fruizione dei risultati dello studio sia la loro divulgazione, anche in ambito professionale.

BASE DI DATI

Sono stati elaborati dati relativi ad una rete di rilevamento nivometeorologico comprendente stazioni di tipo sia manuale che automatico.

La rete delle stazioni di rilevamento di tipo manuale è gestita dal Servizio territorio montano e manutenzioni della Regione autonoma Friuli Venezia Giulia con l'ausilio di collaboratori esterni (guardie forestali, gestori di impianti di risalita o rifugi, privati) che giornalmente effettuano il rilevamento e la trasmissione dei dati alla centrale operativa di Udine. Ulteriori rilevamenti manuali dei parametri nivometrici di interesse nel presente

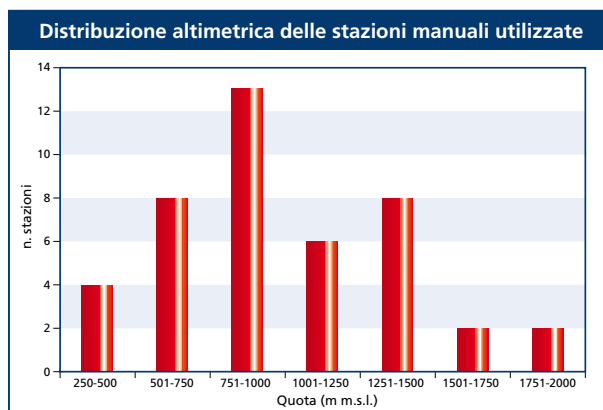


Fig. 2

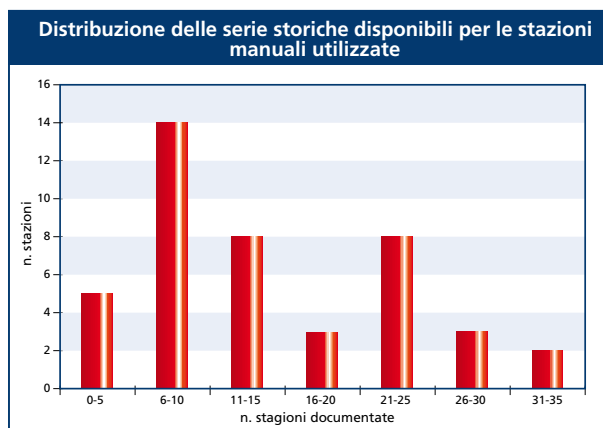


Fig. 3



studio sono stati compiuti anche su stazioni di pertinenza dell'ex Magistrato alle Acque. I dati disponibili relativi a tali stazioni sono stati utilizzati per integrare i dati della rete di rilevamento regionale, soprattutto con riferimento alle aree meno coperte da quest'ultima. Nel complesso

il numero di stazioni di rilevamento manuale considerate è risultato pari a 43.

Le stazioni di rilevamento di tipo automatico permettono l'acquisizione quotidiana dei dati nivometeorologici in modo autonomo e continuativo. I dati sono registrati in loco e trasmessi con cadenza temporale variabile da 30' a 300' alla Centrale operativa di Visco (UD) dell'OSMER FVG. In molti casi tali stazioni sono solo di recente installazione ed in taluni altri, sebbene abbiano operato per periodi più prolungati, si sono talvolta verificati problemi nel funzionamento del nivometro e pertanto per nessuna delle stazioni automatiche si ha di fatto a disposizione un numero di stazioni utili superiore a quattro.

Le analisi statistiche sono state quindi condotte sulla base dei dati nivometrici relativi alle sole stazioni di tipo manuale (vedi fig. 1 pagina 36), di cui si riporta in Figura 2 la distribuzione con la quota ed in Figura 3 la distribuzione del numero di stagioni disponibili.

VARIABILITÀ SPAZIALE

L'analisi della variabilità spaziale del valore medio di $\bar{H}_s$ (nel seguito indicato con la dicitura $\bar{H}_s$) risulta essenziale complemento delle analisi inferenziali condotte al paragrafo successivo in quanto consente di caratterizzare la variabilità di $\bar{H}_s$ in funzione di posizione geografica e quota. Come meglio esposto nel seguito, detti valori sono necessari per scalare opportunamente le curve di crescita regionale, ovvero le curve che forniscono i valori adimensionali delle variabili in funzione del tempo di ritorno.

Dipendenza dalla quota

In Figura 4 è riportato l'andamento di $\bar{H}_s$ con la quota su tutto il territorio montano friulano. Appare

evidente un generale incremento con la quota della grandezza nivometrica considerata; un'analisi più accurata di tale incremento porta a stimare un tasso medio di crescita pari a circa 15 cm ogni 100 metri di dislivello. Si può peraltro osservare che, almeno limitatamente all'intervallo di quote coperto dalle rilevazioni disponibili (approssimativamente 500-2000 m s.l.m.), la crescita appare "più che lineare", e ben rappresentata da una polinomiale del secondo ordine passante per l'origine (curva continua di Figura 4). Ciò nondimeno non si ritiene che tale tipo di andamento possa garantire una buona rappresentazione dei valori di $\bar{H}_s$ a quote superiori ai 2000 m s.l.m., comportando sovrastime eccessive della variabile.

Dipendenza dalla zona

Al fine di valutare l'eventuale dipendenza del valore medio del massimo stagionale di H_s ($\bar{H}_s$) dal fattore geografico (ossia di individuare l'esistenza di sottozone geografiche con differenze significative in termini di $\bar{H}_s$), si è proceduto ad un'analisi più approfondita della serie di $\bar{H}_s$ che ha evidenziato la possibilità di suddividere il territorio montano friulano in due sottozone (Zona A e Zona B di Figura 5) in cui la curva interpolante di $\bar{H}_s$ con la quota fornisce complessivamente sovrastime o sottostime del reale valore di $\bar{H}_s$. Ciò dimostra che le due sottozone presentano caratteristiche nivometriche significativamente differenti (in termini di innevamento medio) e pertanto, se studiate separatamente, possono fornire curve di crescita di $\bar{H}_s$ con la quota più accurate (vedi Figura 6).

Le due sottozone "nivometriche" risultano:

- Zona A: la zona comprende le Prealpi Carniche, con: (i) un'estensione verso Nord ad

includere il massiccio montuoso comprensivo del Crodon di Tiarfin (2413 m s.l.m.) e il M.te Bivera (2474 m s.l.m.); (ii) un restringimento ad Est-NordEst ad escludere i massicci del M.te Verzegnis (1914 m s.l.m.), M.te Piombada (1744 m s.l.m.), M.te Piciat (1615 m s.l.m.), M.te San Simeone (1505 m s.l.m.) e M.te Cuâr (1478 m s.l.m.); (iii) un restringimento a Sud ad escludere i versanti meridionali del M.te Cavallo (2251 m s.l.m.), M.te Ciastelat (1641 m s.l.m.), M.te Fara (1342 m s.l.m.), M.te Joûf (1224 m s.l.m.) e M.te Ciaurlec (1148 m s.l.m.). Include inoltre le Alpi Giulie con estensioni verso Nord (M.te Sci-

nauz, 1999 m s.l.m.), Nord-Ovest (M.te Cavallo di Pontebba, 2239 m s.l.m.) ed Ovest (Zuc dal Bôr, 2195 m s.l.m.);

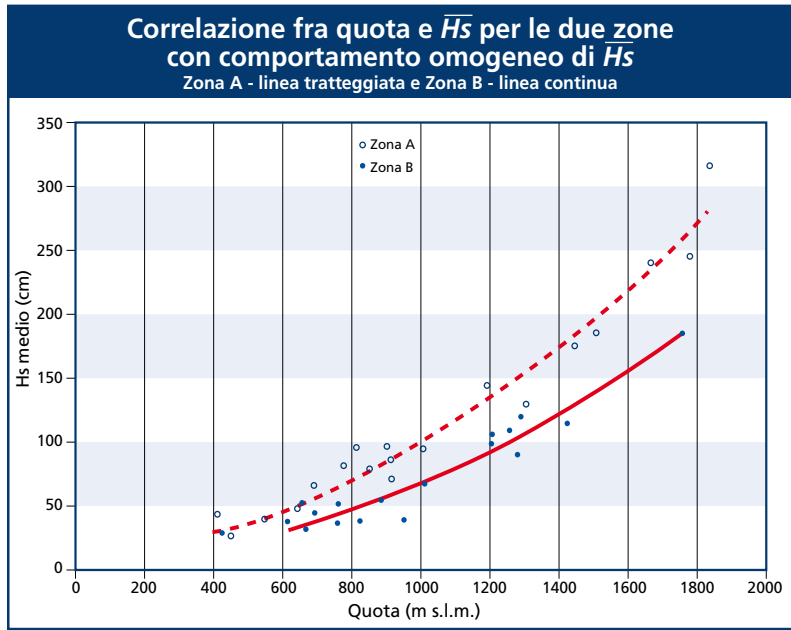
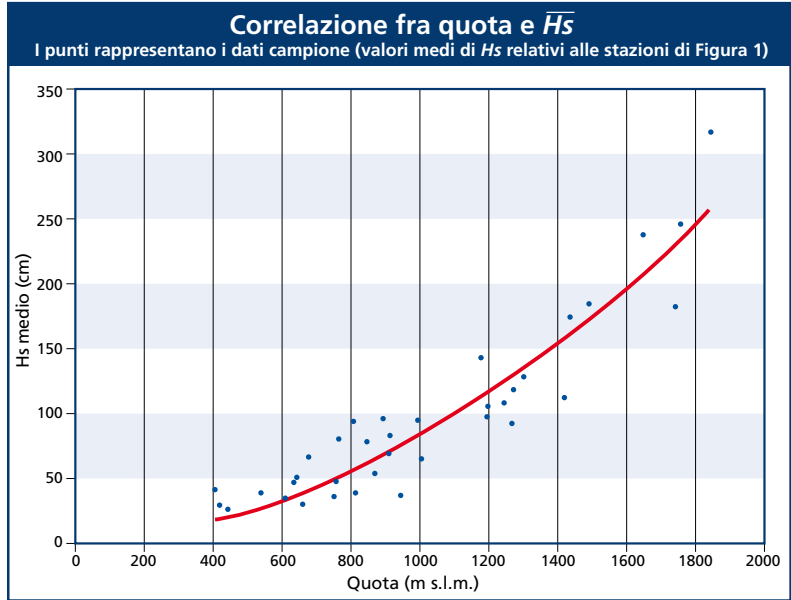
- Zona B: la zona comprende le Alpi Carniche a meno delle porzioni incluse nella Zona A, le Prealpi Giulie e la porzione delle Prealpi Carniche esclusa dalla Zona A.

Alle Tabelle di figura 7 e 8 sono elencati i comuni friulani appartenenti rispettivamente alle zone nivometriche "A" e "B". In figura 6 sono riportate le correlazioni Quota - $\overline{Hs}$ medio relative alle due zone nivometriche, valide per l'intervallo di quota 500 - 2000 m s.l.m..

ANALISI REGIONALE

Scopo dell'analisi statistica "a scala regionale" è la caratterizzazione del legame tra la variabile di interesse ed il tempo di ritorno. Come anticipato, un approccio di tipo "regionale" all'analisi statistica dei dati di innevamento consente di combinare i dati relativi a differenti stazioni di rilevamento nivometeorologico. Rispetto alla classica statistica inferenziale "sito-specifica" (ovvero basata sull'elaborazione dei dati registrati da un'unica stazione di misura), si ottiene pertanto il vantaggio di estendere il campione di dati migliorando l'accuratezza della

Fig. 5 - Delimitazione delle due sottozone nivometriche caratterizzate dalle correlazioni quota- $\overline{Hs}$ di fig. 6.



Elenco dei comuni alpini e prealpini friulani appartenenti alla zona nivometrica "A"

ID	comune	provincia
1	Andreis	PN
2	Barcis	PN
3	Cimolais	PN
4	Claut	PN
5	Erto e Casso	PN
6	Frisanco	PN
7	Tramonti di Sopra	PN
8	Tramonti di Sotto	PN
9	Chiusaforte	UD
10	Dogna	UD
11	Forni di Sopra	UD
12	Forni di Sotto	UD
13	Malborghetto Valbruna	UD
14	Moggio Udinese	UD
15	Pontebba	UD
16	Tarvisio	UD
17	Resia	UD
18	Resiutta	UD

Fig. 6

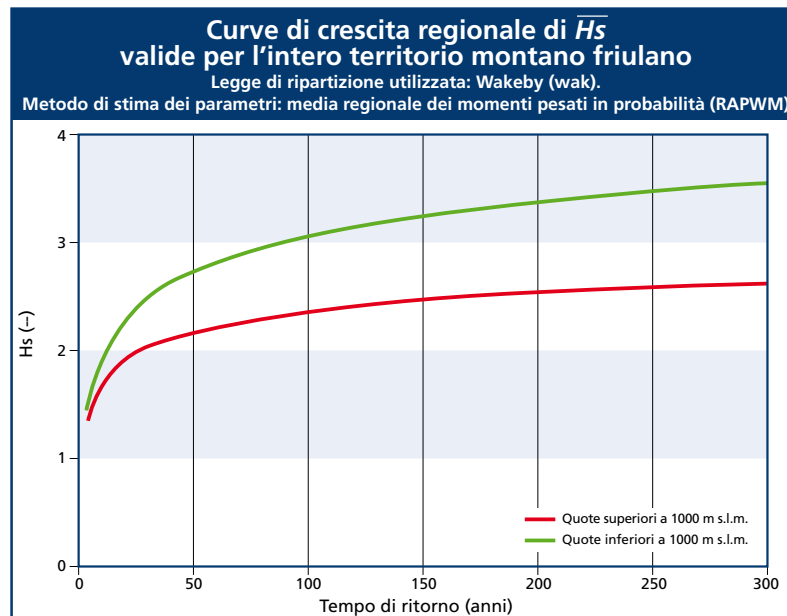
Fig. 7

Fig. 8

Elenco dei comuni alpini e prealpini friulani appartenenti alla zona nivometrica "B"

ID	comune	provincia
1	Aviano	PN
2	Budoia	PN
3	Caneva	PN
4	Castelnovo del Friuli	PN
5	Cavasso Nuovo	PN
6	Clauzetto	PN
7	Fanna	PN
8	Maniago	PN
9	Meduno	PN
10	Montereale Valcellina	PN
11	Pinzano al Tagliamento	PN
12	Polcenigo	PN
13	Travesio	PN
14	Vito d'Asio	PN
15	Amaro	UD
16	Ampezzo	UD
17	Arta Terme	UD
18	Artegna	UD
19	Attimis	UD
20	Bordano	UD
21	Cavazzo Carnico	UD
22	Cervineto	UD
23	Cividale del Friuli	UD
24	Comeglians	UD
25	Drenchia	UD
26	Enemonzo	UD
27	Faedis	UD
28	Forgaria nel Friuli	UD
29	Forni Avoltri	UD
30	Gemona del Friuli	UD
31	Grimacco	UD
32	Lauco	UD
33	Ligosullo	UD
34	Lusevera	UD
35	Magnano in Riviera	UD
36	Montenars	UD
37	Nimis	UD
38	Ovaro	UD
39	Paluzza	UD
40	Paularo	UD
41	Prato Carnico	UD
42	Preone	UD
43	Prepotto	UD
44	Pulfero	UD
45	Ravascletto	UD
46	Raveo	UD
47	Rigolato	UD
48	San Leonardo	UD
49	San Pietro al Natisone	UD
50	Sauris	UD
51	Savogna	UD
52	Socchieve	UD
53	Stregna	UD
54	Sutrio	UD
55	Taipana	UD
56	Tarcento	UD
57	Tolmezzo	UD
58	Torreano	UD
59	Trasaghis	UD
60	Treppo Carnico	UD
61	Venzone	UD
62	Verzegnis	UD
63	Villa Santina	UD
64	Zuglio	UD

Fig. 9



stima dei valori che le variabili nivometriche possono assumere per determinati tempi di ritorno di progetto che, nella pratica, sono tipicamente superiori al secolo.

Lo studio si è basato sulla tecnica cosiddetta del "valore indice" (Kite, 1988; Cunnane, 1989; Maione e Moisello, 1993) che, proposta originariamente con il nome di "metodo della piena indice" (*index flood procedure*) per l'elaborazione delle serie dei valori massimi annui delle portate di piena, può essere estesa all'elaborazione di qualsiasi variabile casuale e pertanto anche all'elaborazione delle variabili nivologiche oggetto del presente studio.

Il metodo del "valore indice" ammette che i valori della variabile adimensionale ottenuta dividendo i singoli dati delle serie storiche di ciascuna stazione di rilevamento della regione "omogenea" per la rispettiva media, abbiano la medesima distribuzione di probabilità, usualmente denominata "curva di crescita regionale". In realtà un grado di disomogeneità relativamente limitato è ritenuto ammissibile. Il test più comune e semplice per verificare che il grado di disomogeneità delle

stazioni sia accettabile è quello effettuabile sul coefficiente di variazione CV definito, per un dato campione, come il rapporto tra la sua deviazione standard (σ) e il valore assoluto della sua media aritmetica (μ). Considerando pertanto la serie di dati formata dai CV delle serie storiche di ogni stazione di rilevamento, è sufficiente verificare che il CV di detta serie, ovvero il CV dei CV, sia minore di un certo limite soglia ritenuto accettabile. Nel caso in esame le analisi condotte hanno evidenziato che, sebbene già a scala regionale il CV dei CV sia minore del valore limite considerato, un notevole miglioramento in termini di omogeneità si ottiene suddividendo il campione complessivo nelle seguenti due classi distinte: (i) Classe 1: stazioni poste a quote inferiori ai 1000 m s.l.m.; (ii) Classe 2: stazioni poste a quote superiori ai 1000 m s.l.m. Il grado di omogeneità statistica delle due classi così definite risulta infatti essere notevolmente accresciuto rispetto al campione regionale.

Ritenuto pertanto più che accettabile il grado di omogeneità delle stazioni di rilevamento considerate, e suddivise nelle due classi indicate, si è proceduto alla definizione delle due curve di

crescita regionale che descrivono la dipendenza della variabile nivometrica (H_s) adimensionale dal tempo di ritorno. Si è optando per l'adozione della legge di distribuzione di probabilità denominata Wakeby, usualmente indicata con la dicitura WAK, caratterizzata da 5 parametri (m, a, b, c, d). Tali parametri sono stati determinati seguendo l'approccio basato sulle medie regionali dei momenti pesati in probabilità (*regional averaging of probability weighted moments*, RAPWM). In base a tale metodologia è necessario stimare i momenti pesati in probabilità (PWM) per ogni serie adimensionale relativa a ciascun sito e i momenti della distribuzione a scala regionale (cioè della curva di crescita regionale) si ottengono come media pesata dei momenti relativi alle serie di ogni stazione, dove i pesi sono funzione del numero di osservazioni di ogni serie. Noti i momenti pesati in probabilità della curva di crescita regionale, la determinazione dei suoi parametri è facilmente ottenibile mediante semplici relazioni algebriche. In definitiva, nel presente lavoro, si è scelto di utilizzare la legge Wakeby e di adottare il metodo *regional averaging of moments* per la definizione dei parametri della Wakeby (metodo WAK/RAPWM). L'applicazione della metodologia WAK/RAPWM ha pertanto consentito di caratterizzare le curve di crescita regionale relative alle due classi citate e valide per tutto il territorio friulano (vedi Figura 9).

Una volta determinate le curve di crescita regionale, il valore effettivo della variabile nivometrica, per un determinato tempo di ritorno, ed in corrispondenza di una determinata stazione di rilevamento, si ottiene moltiplicando il valore che la curva di crescita regionale assume per quel tem-

po di ritorno per il valore medio della variabile misurata nella stazione considerata. In altre parole si ha che, detta $y=y(T)$ la curva di crescita regionale, il valore $x_j(T)$ della variabile x per il tempo di ritorno T in corrispondenza della j -esima stazione, si ottiene dalla relazione:

$$x_j(T) = y(T) \cdot \overline{x_j}$$

Per i siti strumentati il valore di $\overline{x_j}$ è direttamente disponibile e potrebbe essere utilizzato per ottenere l'andamento locale di H_s con T . D'altro canto si osserva che il metodo del "valore indice" appena descritto ben si presta



Altezze del manto nevoso al suolo (H_s) sul territorio montano friulano (espressa in cm) per prefissate quote e tempi di ritorno (tecnica di regionalizzazione di tipo "index-flood", metodo di stima della curva di crescita regionale di tipo WAK/RAPWM)										
	Quota [m s.l.m.]	Tempi di ritorno [anni]								
		5	10	20	30	50	100	150	200	300
ZONA A	500	50	64	77	84	93	105	111	115	121
	600	65	82	98	107	118	132	140	145	152
	700	81	102	122	132	145	162	171	177	186
	800	99	124	147	160	175	194	204	211	221
	900	119	148	174	189	206	228	240	248	259
	1000	140	173	203	220	240	264	278	287	299
	1100	163	200	235	253	275	303	318	328	342
	1200	187	229	268	289	313	344	360	371	386
	1300	213	260	303	326	353	386	405	417	433
	1400	241	293	340	365	395	432	451	465	482
	1500	270	328	379	407	439	479	500	515	534
	1600	301	364	420	450	485	529	551	567	587
	1700	333	402	463	496	534	580	605	621	643
	1800	367	442	508	544	584	634	661	678	702
	1900	402	484	555	593	637	690	719	737	762
	2000	440	527	604	645	692	749	779	799	825
ZONA B	2100	456	547	627	670	718	778	809	829	857
	2200	473	567	650	694	745	806	839	860	889
	2300	489	587	674	719	772	835	869	891	921
	2400	506	607	697	744	798	864	899	922	953
	2500	523	628	720	768	825	893	929	953	984
	500	30	38	46	51	56	63	67	69	73
	600	40	50	60	66	73	81	86	89	94
	700	51	64	76	83	91	102	107	111	117
	800	63	79	94	102	112	124	131	135	141
	900	77	96	113	123	134	148	156	161	168
	1000	92	114	134	145	158	174	183	189	197
	1100	109	134	157	169	184	202	212	219	228
	1200	127	155	181	195	211	232	243	250	261
	1300	146	178	207	223	241	264	276	284	295
	1400	166	202	235	252	272	298	311	320	332
	1500	188	228	264	283	306	333	348	358	371
	1600	211	256	295	316	341	371	387	398	412
	1700	236	284	328	351	378	411	428	440	455
	1800	261	315	362	387	416	452	471	483	500
	1900	288	347	398	426	457	495	516	529	547
	2000	317	380	436	465	500	541	563	577	596
	2100	327	393	451	481	516	559	582	597	616
	2200	338	406	465	497	533	577	601	616	637
	2300	348	418	480	512	550	596	620	636	657
	2400	359	431	495	528	567	614	639	655	677
	2500	369	444	509	544	584	632	658	675	697

fig. 10

Incremento di altezza del manto nevoso su tre giorni consecutivi (DH3gg) sul territorio montano friulano (espresso in cm) per prefissate quote e tempi di ritorno (tecnica di regionalizzazione di tipo "index-flood", metodo di stima della curva di crescita regionale di tipo WAK/RAPWM)										
	Quota [m s.l.m.]	Tempi di ritorno [anni]								
		5	10	20	30	50	100	150	200	300
ZONA A	500	38	46	54	59	64	72	76	79	83
	600	46	55	65	70	77	86	91	95	100
	700	53	65	76	82	90	100	107	111	117
	800	61	74	86	94	103	115	122	127	134
	900	69	83	97	105	116	129	137	142	150
	1000	76	92	108	117	128	144	152	158	167
	1100	84	102	119	129	141	158	167	174	184
	1200	92	111	130	141	154	172	183	190	200
	1300	99	120	140	152	167	187	198	206	217
	1400	107	129	151	164	180	201	213	222	234
	1500	115	138	162	176	193	215	228	237	250
	1600	122	148	173	187	205	230	244	253	267
	1700	130	157	184	199	218	244	259	269	284
	1800	138	166	194	211	231	258	274	285	300
	1900	145	175	205	222	244	273	289	301	317
	2000	153	185	216	234	257	287	304	317	334
	2100	160	194	227	246	270	301	320	332	350
	2200	168	203	238	258	282	316	335	348	367
	2300	176	212	248	269	295	330	350	364	384
	2400	183	222	259	281	308	344	365	380	401
	2500	191	231	270	293	321	359	381	396	417
ZONA B	500	30	36	43	46	51	57	60	62	66
	600	36	44	51	55	61	68	72	75	79
	700	42	51	60	65	71	79	84	87	92
	800	48	58	68	74	81	90	96	100	105
	900	54	66	77	83	91	102	108	112	118
	1000	60	73	85	92	101	113	120	125	132
	1100	66	80	94	102	111	124	132	137	145
	1200	72	87	102	111	121	136	144	150	158
	1300	78	95	111	120	132	147	156	162	171
	1400	84	102	119	129	142	158	168	175	184
	1500	90	109	128	138	152	170	180	187	197
	1600	96	116	136	148	162	181	192	200	210
	1700	102	124	145	157	172	192	204	212	224
	1800	108	131	153	166	182	203	216	224	237
	1900	114	138	162	175	192	215	228	237	250
	2000	120	146	170	185	202	226	240	249	263
	2100	126	153	179	194	213	237	252	262	276
	2200	132	160	187	203	223	249	264	274	289
	2300	138	167	196	212	233	260	276	287	302
	2400	144	175	204	222	243	271	288	299	316
	2500	151	182	213	231	253	283	300	312	329

Fig. 11
Fig. 12



anche per il calcolo di $x(T)$ in siti non strumentati (quale risultano tipicamente le zone di distacco delle valanghe). In questi casi il valore medio della variabile

($\bar{x}_j$) da introdurre nella relazione sopra riportata, ovvero il fattore di scala locale della curva di crescita regionale, è ottenibile mediante analisi regressive sui parametri morfometrici della zona di distacco (quali ad esempio quota ed esposizione). Nel contesto delle analisi condotte, la quota si è dimostrata una variabile estremamente significativa al fine di spiegare le differenze tra i valori medi delle variabili nivometriche registrate in stazioni di misura differenti e si è pertanto preferito utilizzare direttamente la correlazione quota-Hs per ottenere gli opportuni fattori di scala. In effetti, sebbene in tale maniera con riferimento ai siti strumentati si possa perdere in accuratezza, la valenza

notevolmente più generale dello studio così condotto giustifica ampiamente, ad opinione degli scriventi, tale scelta.

I valori di progetto delle due variabili nivometriche analizzate (H_s e $DH3gg$), ovvero i valori attesi per fissata zona geografica, quota e tempo di ritorno, sono presentati alle tabelle delle figure 10 e 11.

APPLICATIVO DI GESTIONE E VISUALIZZAZIONE DEI VALORI DI PROGETTO

I risultati dello studio sono stati implementati in un programma di visualizzazione e di ricerca facilitata che ha reso estremamente semplice e veloce sia la fruizione dei dati sia la loro divulgazione.

Da una schermata iniziale di presentazione (Figura 12) è possibile accedere alla sezione di ricerca dei valori di progetto delle variabili nivometriche considerate ovvero di H_s e $DH3gg$. All'interno di tale sezione, dopo aver selezionato il territorio comunale di interesse per mezzo di un apposito menù a tendina, è necessario impostare i dati relativi a quota e tempo di ritorno per cui si desidera effettuare la ricerca dei risultati (Figura 13). Dopo aver inserito le informazioni richieste è infine possibile procedere al calcolo di H_s o, in alternativa, di $DH3gg$, relativi pertanto a comune, quota ed tempo di ritorno impostati. I risultati vengono visualizzati in una casella di testo e possono pertanto essere selezionati e copiati per eventuali ulteriori usi.

Il programma descritto può essere eseguito per mezzo di comuni navigatori di rete (*web browser*) richiedendo pertanto strumenti largamente diffusi e non ostacolando di conseguenza la possibilità di divulgazione

Bibliografia

- Landwehr, J.M., Matalas, N.C. e Wallis, J.R. 1979a. "Estimation of Parameters and Quantiles of Wakeby Distribution: Known Lower Bounds". *Water Resources Research*, 15(6), 1361-1372.
- Landwehr, J.M., Matalas, N.C. e Wallis, J.R. 1979b. "Estimation of Parameters and Quantiles of Wakeby Distribution: Unknown Lower Bounds". *Water Resources Research*, 15(6), 1373-1379.
- Lu, L.H. e Stedinger R. 1992. "Variance of Two- and Three-Parameter GEV/PWM Quantile Estimator: Formulae, Confidence Intervals and a Comparison". *Journal of Hydrology*, 138, 247-267.
- Maione, U. e Moisélo, U. 1993. *Elementi*

• Salm, B., Burkard, A. e Gubler, H. 1990. Berechnung von Fliesslawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen, Eidg. Inst. Schnee- und Lawinenforsch. Mitt., 47, 41 pp. ("Calcul des Avalanches: Une Méthode pour le Praticien avec des Exemples"; SFISAR Message No 47 - Translated in French by Ancey C., 1994).

Fig. 13



IL CARICO DELLA NEVE SULLE COSTRUZIONI IN ITALIA

Riccardo Del Corso, Paolo Formichi
Dipartimento di Ingegneria Strutturale
Università di Pisa

L'Eurocodice 1 - Azioni sulle Strutture - Carichi della neve è stato convertito da norma sperimentale ENV in norma EN, a conclusione di un lavoro di revisione che ha recepito i commenti inviati al CEN in forma ufficiale da parte dei Paesi membri e che ha nel contempo tenuto conto degli importanti risultati ottenuti nell'ambito di una ricerca scientifica, finanziata dalla Commissione Europea DGIII - D3 e condotta da otto istituzioni europee.

Nel presente lavoro si illustrano i risultati salienti della ricerca per quello che riguarda il territorio italiano e si propone una mappa normativa del carico neve al suolo, alternativa a quella contenuta nelle nuove norme tecniche nazionali, recentemente aggiornate con il D.M. 14/9/2005.





INTRODUZIONE

Alla fine degli anni '90 la Commissione Europea DGIII - D3 ha finanziato un'importante ricerca sulle azioni della neve sulle costruzioni, avente come obiettivo quattro argomenti di rilevante interesse: la determinazione dei carichi neve al suolo e la redazione di una mappa valida per l'intero territorio europeo, lo studio dei carichi della neve cosiddetti "eccezionali", l'individuazione dei coefficienti Ψ da impiegare nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi e di Servizio ed infine lo studio analitico dei fattori di forma per la conversione del carico neve al suolo in carico neve sulle coperture [3, 4].

La ricerca è stata condotta dalle otto istituzioni europee sotto indicate:

- Building Research Establishment LTD, Construction Division (United Kingdom),
- CSTB, Centre de Recherche de Nantes (France),
- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, (Switzerland),
- ISMES, Structure Engineering Department (Italy),
- Joint Research Centre, ISIS (EU),
- SINTEF, Civil and Environmen-

tal Engineering (Norway),

- University of Leipzig, Institute of Concrete Design (Germany),
- University of Pisa, Department of Structural Engineering (Italy).

La prima fase dell'attività di ricerca è stata rivolta alla definizione della mappa europea del carico neve.

Sono stati innanzitutto introdotti nuovi dati ricavati in stazioni meteorologiche opportunamente scelte per coprire in maniera omogenea il territorio europeo. In particolare per il territorio italiano sono stati integrati i dati già disponibili da precedenti ricerche [10] con quelli osservati in numerose stazioni poste a bassa quota. L'analisi statistica è stata affinata e sono state scelte con criteri selettivi le funzioni di probabilità, con le quali calcolare il dato saliente dell'azione della neve, vale a dire il valore caratteristico del carico.

La mappa della neve è stata elaborata con l'utilizzo di tecniche GIS (Geographical Information System), opportunamente adattate per una corretta descrizione della variazione del carico sull'intero territorio europeo.

L'operazione è stata condotta con il controllo della qualità dei risultati ad ogni passo, dalla raccolta dei dati, alla suddivisione del territorio in regioni climatiche omogenee ed ulteriormente in zone caratterizzate da specifica legge carico-altitudine. Il processo ha compreso anche una fase di verifica, tesa alla riduzione delle differenze fra i valori di mappa e quelli calcolati nelle stazioni meteorologiche, nonché alla attenuazione delle discontinuità dei valori di mappa in corrispondenza dei confini fra differenti regioni.

La seconda fase della ricerca ha consentito un importante affinamento delle conoscenze in merito ai coefficienti di forma delle coperture, frutto di numerosi risultati sperimentali ottenuti sia sul territorio europeo che italiano ed anche di esperienze su diverse tipologie di tetto, effettuate presso il tunnel del vento climatico CSTB di Nantes (F).

Il lavoro ha colmato molte delle lacune che erano state segnalate in sede di redazione e discussione delle norme sperimentali ENV 1991-2-3 [1] ed i risultati ottenuti, così come era nelle intenzioni della Commissione Europea, sono stati largamente impiegati nella redazione della norma definitiva EN 1991-1-3, approvata nel Dicembre 2002 [2].

La normativa italiana, oggetto di recentissimo aggiornamento con l'emanazione del DM 14.09.05, "Norme Tecniche per le Costruzioni" [29], ha recepito l'impostazione dell'Eurocodice per quanto riguarda i coefficienti di conversione del carico al suolo in carico sulle coperture, mentre ha seguito criteri diversi per la determinazione del carico al suolo e per la sua mappatura.

Nel seguito vengono illustrati i principali risultati della ricerca europea con riferimento al ter-

ritorio italiano e viene proposta una mappa normativa del carico neve al suolo derivata dai risultati della ricerca scientifica stessa.

OSSERVAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI NEVOSE

Qualità dei dati

Le osservazioni delle precipitazioni nevose di interesse per la determinazione dei carichi sulle costruzioni devono consistere, ove possibile, nel rilievo diretto con apposite bilance del carico neve al suolo o del valore di "acqua equivalente", ottenibile quest'ultimo mediante pesatura di carote prelevate dal campo di misura.

In Italia, come d'altra parte nel resto dell'Europa, le stazioni meteorologiche sono in generale attrezzate per la sola registrazione dello spessore del manto nevoso al suolo, facilmente rilevabile attraverso la lettura di aste graduate o per mezzo di strumenti automatici. Di conseguenza si rende necessario convertire i valori di altezza della neve in valori di carico mediante l'impiego di un modello di densità.

Per gli scopi dell'indagine sono stati adottati i seguenti criteri di scelta delle stazioni meteorologiche, dalle quali raccogliere informazioni:

a) le osservazioni meteorologiche debbono essere di accertata affidabilità, debbono riguardare serie di annate consecutive estese, possibilmente, agli stessi periodi per tutte le stazioni, al fine di evitare alterazioni dei risultati delle elaborazioni statistiche in conseguenza di possibili variazioni climatiche occorse nel tempo;

b) è preferibile scegliere stazioni ubicate a bassa quota (<500 m), in quanto occorre focalizzare l'attenzione sulle aree a maggiore sviluppo urbano;

c) le stazioni selezionate debbono garantire una copertura del territorio sufficientemente omogenea, per consentire, in fase di mappatura, la corretta applicazione delle formule di interpolazione per il calcolo dei valori di riferimento in tutti i punti del territorio.

Per la singola stazione meteorologica i dati nivometrici così raccolti costituiscono un campione dei carichi della neve al suolo, dal quale si possono ricavare i valori rappresentativi della popolazione di interesse in ambito normativo. Per i motivi che verranno ampiamente illustrati nel seguito, il periodo di osservazione dovrebbe essere di almeno 30 anni.

La raccolta dei dati

In Italia gli Enti che svolgono con continuità il servizio di registrazione di dati meteorologici sull'intero territorio nazionale sono essenzialmente due: il Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale e l'Istituto Tecnico di Assistenza al Volo (ITAV).

Altre organizzazioni raccolgono dati nivometrici esclusivamente presso stazioni ad alta quota sull'arco alpino e sulla dorsale appenninica.

Per gli scopi del presente studio, il Servizio Idrografico costituisce la principale fonte di riferimento sia per la disponibilità di lunghe serie temporali di dati, a partire dai primi anni del '900, che per la distribuzione sul territorio nazionale con circa 3.000 stazioni. Giornalmente gli osservatori del Servizio rilevano una serie di dati, tra i quali l'altezza del manto nevoso al suolo e della frazione caduta nelle ultime 24 ore e le temperature massime e minime registrate nelle 24 ore.

I dati sono disponibili in formato cartaceo. Recentemente è stata messa a punto una rete di tele-rilevamento, che però interessa, per il momento, solo poche stazioni ed alcune grandezze quali temperatura, umidità dell'aria e quantità di acqua caduta.

Le misure dell'altezza del manto nevoso sono pubblicate sugli



Fig. 1

Annali Idrologici. I dati sono disponibili su base giornaliera per le annate fino al 1940, mentre per il periodo dal 1941 al 1970 sono pubblicati i valori rilevati ogni dieci giorni e dal 1971 in poi quelli osservati alla fine di ciascun mese. La registrazione delle temperature massime e minime giornaliere è invece solitamente pubblicata con continuità.

Selezione delle stazioni meteorologiche

In un precedente lavoro, svolto all'inizio degli anni '80 [10],

venne fatto riferimento ai dati decadici disponibili negli Annali Idrologici del trentennio 1941-1970, per 105 stazioni meteorologiche sparse sul territorio nazionale.

Al fine di migliorare la qualità dei dati campionati, sono stati integrati i dati delle stazioni ubicate a bassa quota, ove, a causa della rarità delle precipitazioni nevose e della rapidità di scioglimento, i valori decadici dello spessore del manto non consentivano una caratterizzazione sufficientemente accurata del campione. In tali stazioni si è fatto ricorso alle letture giornaliere conservate negli archivi del Servizio. L'insieme dei dati è stato poi reso più omogeneo rispetto alla distribuzione territoriale, con l'inserimento di ulteriori stazioni poste a bassa quota, individuandone nel complesso 55 con misure giornaliere disponibili per un periodo di 30 anni e in qualche caso anche di 50 anni.

Le stazioni a quote medio-alte sono in numero di 70, con osservazioni relative ad un trentennio. Solo in alcune stazioni della

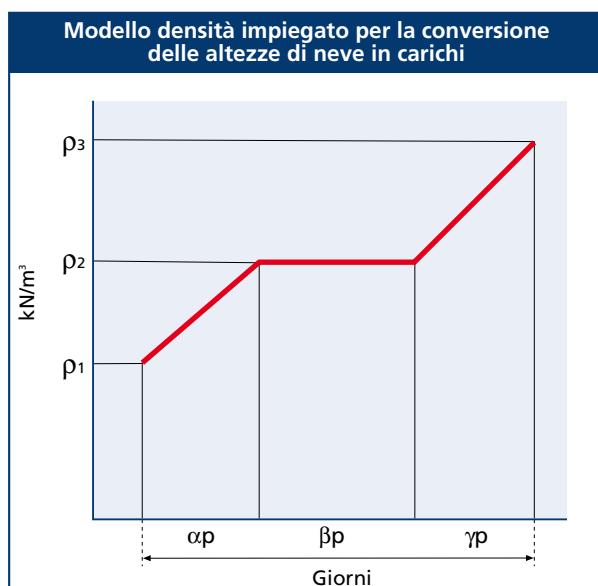
Sardegna l'arco temporale delle misure copre appena 16 anni, a causa della frammentarietà di funzionamento del Servizio in quella regione.

In totale sono state raccolte misure di spessore del manto nevoso al suolo in 125 stazioni, indicate nella fig. 1, delle quali 55 ubicate a quota inferiore ai 500 metri, 33 tra i 500 e i 1.000 metri, 26 tra i 1.000 e i 1.500 metri e 11 oltre i 1.500 metri.

Particolare attenzione è stata dedicata a quelle stazioni, che possono fornire risultati anomali a causa della loro collocazione geografica, riflettendo, ad esempio, le influenze dovute alla vicinanza di grandi bacini, di vallate, di montagne o di altri elementi fisici capaci di alterare localmente le condizioni climatiche e meteorologiche. I dati relativi a tali stazioni sono stati confrontati con quelli provenienti da località limitrofe sono stati esclusi se fortemente divergenti da questi ultimi.

Densità della neve

Le esperienze di osservazione e misura della densità del manto nevoso sono state in passato condotte in località ove la neve è presente tutto l'anno, per evidenti motivi di importanza del fenomeno e di facilità di campionamento. Nel nostro paese le osservazioni sono state raccolte in stazioni ad alta quota dell'arco alpino e più recentemente presso la stazione sciistica dell'Abetone, posta a circa 1400 metri di quota sull'Appennino Tosco-Emiliano [28]. I risultati di questi studi mostrano come molti siano i fattori che influenzano la densità della neve [13]. In primo luogo temperatura ed umidità dell'aria durante la nevicata giocano un ruolo essenziale sulla formazione dei cristalli, sulla loro morfologia e capacità di aggregazione, determinando basse densità in caso di



aria fredda e secca ed alti valori con aria calda ed umida.

La densità aumenta poi dopo poche ore dalla nevicata, a causa del cambiamento radicale della forma dei cristalli che dà origine ad una riduzione del volume della massa.

Se il manto si mantiene a lungo la densità ne risulta alterata a causa del processo di accumulo-compattazione-erosione, dovuto all'alternarsi di nuove precipitazioni, cambiamento di morfologia ed azione del vento e degli effetti termici.

In generale, a parità di altezza del manto al suolo, si osserva che manti "vecchi" pesano di più di quelli "recenti". Vari sono i motivi. Primo fra tutti è l'effetto di compressione degli strati inferiori gravati dai nuovi strati, che provoca una compattazione generale. Gli strati "vecchi" hanno poi subito cicli termici diversi e possono avere inglobato anche acqua di fusione degli strati superiori. La formazione di croste e di strati ghiacciati, infine, è anch'essa causa di aumento della densità.

Per le stazioni monitorate nello studio del Comitato Glaciologico Italiano [11], poste ad alta quota e in aree dove la permanenza della neve al suolo è dell'ordine di mesi, si osserva una generale tendenza di aumento della densità in funzione del tempo, dall'inizio dell'inverno in poi.

Più precisamente si assiste ad un incremento abbastanza rapido della densità agli inizi del periodo di permanenza, a causa dell'accumularsi di strati successivi di neve fresca. Si osserva poi una fase centrale, durante la quale la densità cresce moderatamente nel tempo, probabilmente a causa della stabilità delle condizioni morfologiche dei grani. Infine, durante il periodo finale della permanenza del manto al suolo, la densità cresce rapidamente,



a causa della sempre maggiore presenza di acqua nel manto e della diversa forma dei cristalli. Sulla base di queste osservazioni è stato definito [10] un modello per la densità della neve, valido per durate superiori a dieci giorni (fig. 2).

I valori r_1 , r_2 , r_3 rappresentano i limiti entro cui la densità r varia nel periodo "p", inteso come durata complessiva del manto al suolo. Nella figura sono stati indicati con α_p e γ_p i periodi iniziale e finale di rapida crescita della densità, mentre con b_p è stato indicato il periodo centrale, caratterizzato da densità costante r_2 .

Sulla base delle misure sperimentali, effettuate sul territorio nazionale, sono stati assunti i valori di r_1 , r_2 , r_3 , α , β , γ di seguito riportati:

$$r_1 = 2,15 \text{ kN/m}^3, \alpha = 0,3$$

$$r_2 = 3,50 \text{ kN/m}^3, \beta = 0,4$$

$$r_3 = 5,15 \text{ kN/m}^3, \gamma = 0,3$$

Per periodi di permanenza del manto al suolo non superiori a 10 giorni, tipici delle località a quote medio-basse, il valore della densità è stato assunto costante e pari a 2.50 kN/m^3 .

CARICO DELLA NEVE AL SUOLO

Valore caratteristico

Il valore caratteristico s_k del carico della neve al suolo è definito

nell'Eurocodice come quel valore che ha la probabilità del 2% di essere superato in un anno e che dunque viene raggiunto, in media, una volta ogni 50 anni.

Secondo un criterio ampiamente consolidato, l'analisi statistica del carico della neve al suolo non viene riferita alla popolazione dei valori giornalieri bensì a quella dei valori massimi annuali, dal momento che le precipitazioni nevose hanno un andamento tipicamente stagionale.

Pertanto il campione, estratto dalle osservazioni giornaliere di una determinata stazione meteorologica, contiene un valore per ogni singola annata e può essere considerato appartenente ad una distribuzione di valori estremi. In molti casi il campione presenta un certo numero di valori nulli, in conseguenza dell'assenza di precipitazioni nevose durante una intera stagione.

Per tenere in debito conto dell'intermittenza del fenomeno, tipico delle zone a clima mite e delle località a bassa quota, si esprime la probabilità che la variabile aleatoria X non superi il valore x con l'espressione (1)

$$F(X \leq x) = P_n F_n(X \leq x) + (1 - P_n)$$

nella quale $F_n(X \leq x)$ è la funzione di distribuzione cumulativa relativa alla popolazione dei valori non nulli e P_n è la probabilità di

presenza della neve, assunta uguale al rapporto fra il numero di anni nei quali si sono verificate nevicate ed il numero totale di anni del periodo di osservazione [17, 24].

Per la $F_n(X \leq x)$ sono state selezionate tre possibili funzioni. In primo luogo la funzione di Gumbel Tipo I [7], di gran lunga la più usata in questo tipo di analisi, caratterizzata dall'espressione (2)

$$F_n(X \leq x) = \exp(-\exp(-\alpha(x-u)))$$

nella quale α ed u sono parametri positivi;

la distribuzione Lognormale, data dalla funzione (3)

$$F_n(X \leq x) = \Phi\left(\frac{y - m_y}{s_y}\right)$$

nella quale Φ rappresenta la funzione di distribuzione normale standard e $y = \ln(x)$;

la distribuzione di Weibull, espressa dalla funzione (4)

$$F_n(X \leq x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{k}\right)^\beta\right)$$

con β e k parametri positivi.

I parametri delle tre distribuzioni sono stati calcolati con il metodo dei "minimi quadrati" e con quello dei "momenti", in vista della ottimizzazione del coefficiente di correlazione del campione.

I risultati delle analisi, estese a 125 stazioni sparse sul territorio italiano, hanno consentito di verificare come il metodo dei minimi quadrati sia il migliore per i campionamenti disponibili, dal momento che i valori nulli presentano una minore influenza sui parametri della curva interpolante i valori diversi da zero.

Nella fig. 3 sono riportati, a titolo di esempio, le carte di probabilità per le tre distribuzioni sopra indicate con le curve di regressione ottenute applicando il metodo dei minimi quadrati al campione dei dati relativi alla stazione meteorologica dell'Abetone.

Sulla base della comparazione del coefficiente di correlazione, per ogni stazione meteorologica è stata individuata la funzione di probabilità che meglio approssima i dati [24].

La migliore interpolazione è stata ottenuta con la distribuzione di Gumbel Tipo I in 70 stazioni (pari al 56% del totale), con la distribuzione di Weibull in 42 stazioni (pari al 34% del totale) ed infine con la Lognormale in 13 stazioni (pari al 10% del totale).

Le figure 4 e 5 mostrano la disposizione geografica e la distribuzione altimetrica delle stazioni in relazione alle funzioni cumulative di densità di probabilità che meglio approssimano i dati.

Nell'ambito della ricerca europea precedentemente citata [3, 4] si sono raggiunte conclusioni analoghe per la maggior parte del territorio europeo; la distribuzione di Gumbel Tipo I conduce a coefficienti di correlazione

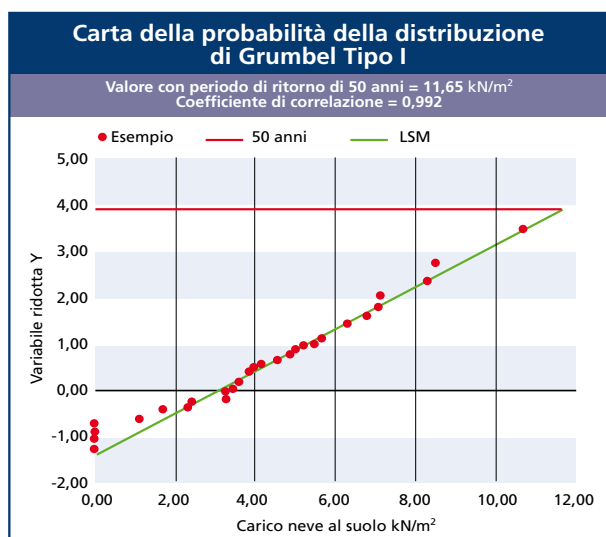


Fig. 3a

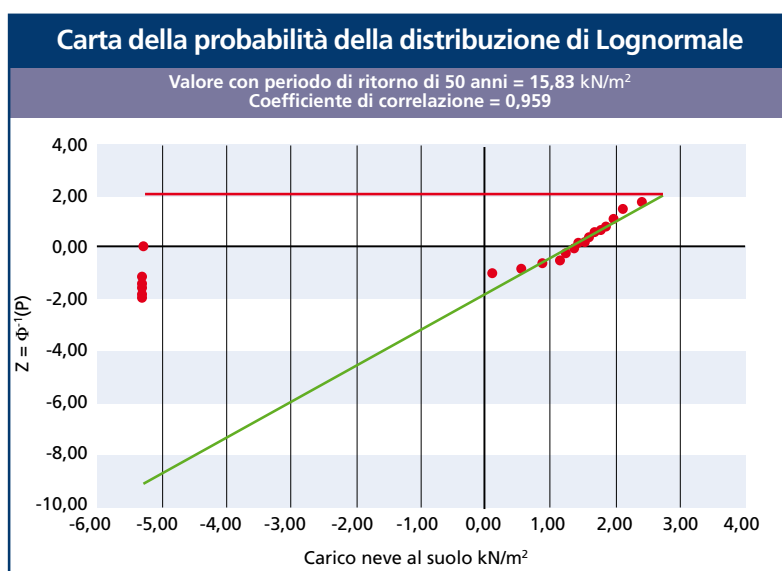


Fig. 3b

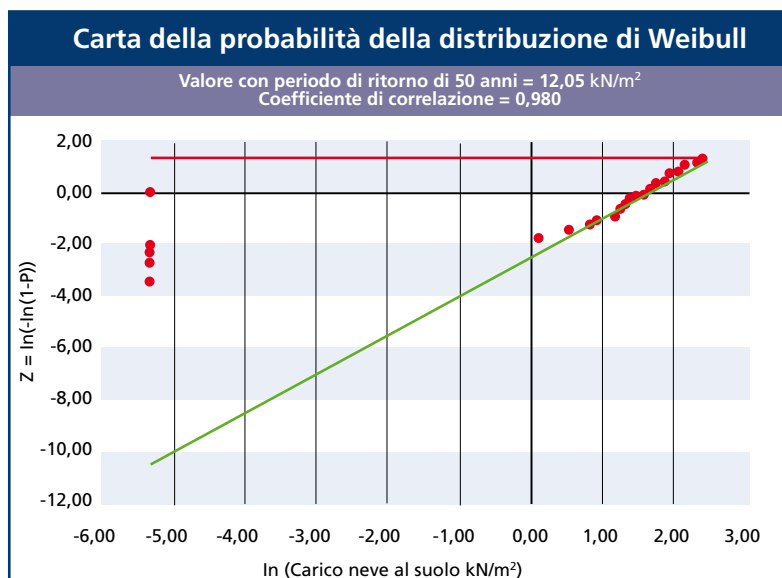


Fig. 3c

Stazioni meteorologiche dove le tre distribuzioni cumulative approssimano meglio il campione



Fig. 4

generalmente più elevati rispetto alle altre funzioni. Tale risultato acquista maggiore evidenza nelle regioni a clima temperato, caratterizzate a basse quote da inverni senza precipitazioni. La distribuzione di Gumbel tipo I è stata assunta quale funzione cumulativa di riferimento per il calcolo dei valori caratteristici del carico della neve al suolo.

Carichi eccezionali

In alcune stazioni meteorologiche sono state registrate precipitazioni isolate, che hanno determinato carichi molto maggiori di quelli che normalmente si verificano.

Tali osservazioni possono appartenere ad una popolazione di eventi "estremi" differente da quella degli eventi che potremmo definire "moderati", oppure appartenere alla stessa popolazione degli eventi "moderati", ma essere caratterizzate da un periodo di ritorno molto maggiore del periodo di osservazione [23].

In entrambi i casi l'inserimento di questi valori nel campione dei massimi annuali provoca un effetto di disturbo dell'analisi statistica e peggiora il coefficiente di correlazione della funzione di distribuzione cumulativa.

La fig. 6, relativa alla stazione di Vercelli, mostra la funzione distribuzione cumulativa Gumbel tipo I che interpola il campione privato del valore massimo (Linea A) e la funzione che interpola l'intero campione (Linea B).

Da un lato la migliore interpolazione si ottiene con l'esclusione del valore massimo, dall'altro non pare giustificato non tenere in alcun conto di tale valore.

Si è pertanto introdotta la definizione di "valore eccezionale del carico" per il carico isolato che supera di 1,5 volte il carico caratteristico determinato dal campione privato del valore massimo.

Per il territorio italiano sono stati registrati valori eccezionali in otto stazioni, su un totale di 125

Frequenza delle stazioni meteorologiche dove le tre distribuzioni cumulative approssimano meglio il campione in funzione dell'altitudine

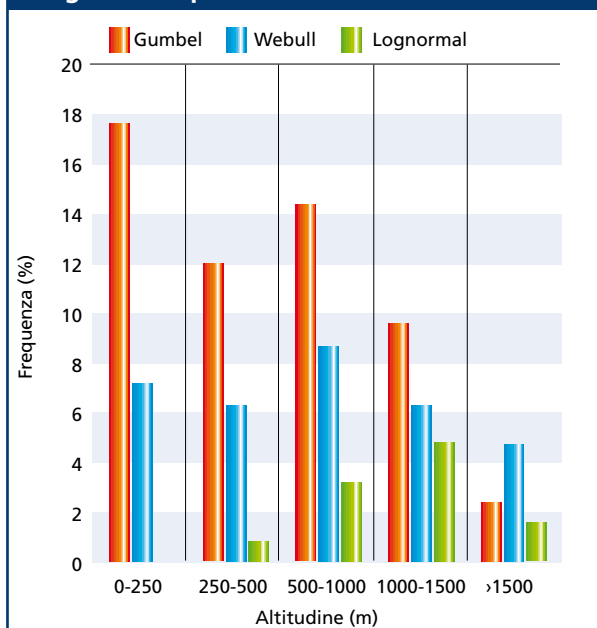


Fig. 5

Diagramma della funzione di probabilità in presenza di un valore molto elevato

(Vercelli, 135 m.s.l.m.; $s_k = 0,69 \text{ kN/m}^2$, $s_{\max} = 1,13 \text{ kN/m}^2$, $s_{\max}/s_k = 1,64$)

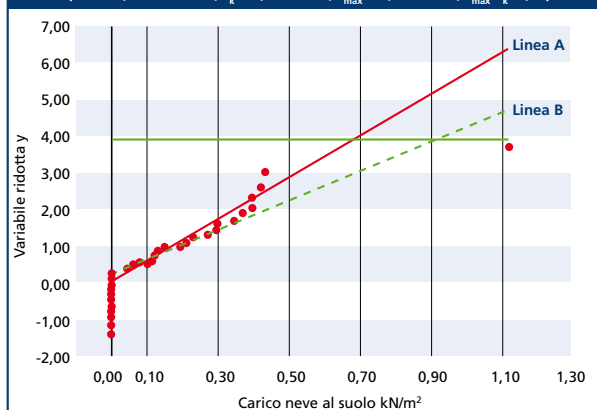


Fig. 6



esaminate. Di queste, soltanto quattro presentano valori del carico eccezionale rilevanti ai fini delle verifiche strutturali, mentre

Regioni climatiche nelle quali è stato suddiviso il territorio europeo



Fig. 7

Fig. 8

MAPPA FISICA DEL VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO DELLA NEVE AL SUOLO

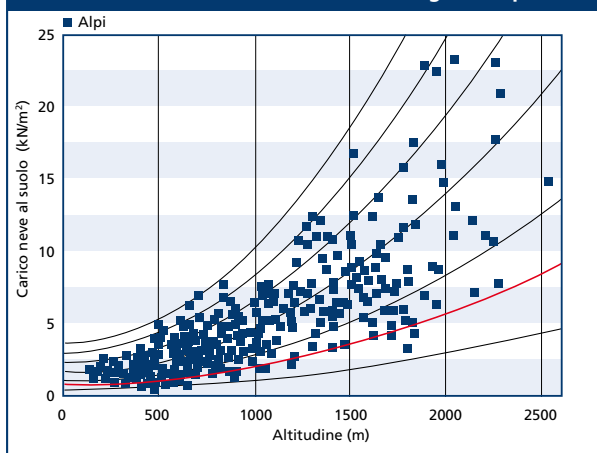
Mappa europea

La mappa europea del valore caratteristico del carico neve al suolo rappresenta il risultato di un ampio lavoro di ricerca compiuto fra il 1997 ed il 1999, sui dati rilevati in 2600 stazioni meteorologiche di 18 diversi Paesi [3, 4]. E' importante sottolineare come questo lavoro costituisca il primo tentativo su scala europea e come si siano dovute affrontare importanti problematiche connesse alla individuazione dei valori da rappresentare ed alle tecniche di mappatura e di controllo di qualità dei risultati. Lo scopo del lavoro consisteva essenzialmente nell'affinamento della corrispondenza dei valori di mappa a quelli effettivi e nella eliminazione delle discontinuità in corrispondenza dei confini di Stato, originati dalla differenti normative nazionali.

A prima vista, la soluzione più semplice consiste nel fornire direttamente il valore caratteristico del carico della neve in ogni luogo. In realtà un simile approccio darebbe origine a mappe estremamente dettagliate, specialmente nelle aree montuose, determinando una notevole difficoltà di impiego. Il progettista ha invece necessità di strumenti chiari e di facile lettura.

In termini generali il carico della neve al suolo può essere considerato come una variabile aleatoria multidimensionale, funzione cioè di molti parametri fra i quali si possono indicare la regione climatica, la quantità di precipitazione media, l'altitudine del luogo, la sua distanza dal mare e dai grandi laghi, la temperatura e l'umidità media dell'aria, l'espo-

Valore caratteristico al suolo nella regione alpina



nelle altre l'eccezionalità è relativa a fenomeni nevosi di bassa intensità e quindi di sensibile intermittenza ed irregolarità. Nella recente norma EN 1991-1-3 "Azioni sulle strutture. Carico neve" [2], per la prima volta in sede di normativa internazionale, è stato affrontato il tema dei carichi neve al suolo di entità eccezionale. La norma ha adottato la stessa definizione proposta nell'ambito del lavoro di ricerca condotto su base europea [3, 4], lasciando ai Paesi membri la decisione di introdurre o meno tali valori nelle combinazioni di carico accidentali.

Da parte italiana, considerato che per il territorio nazionale il fenomeno è assai raro e che, laddove si presenta, il valore eccezionale risulta in gran parte compensato dal valore di mappa, è stato ritenuto opportuno omettere specifiche prescrizioni normative sull'argomento.





sizione alle radiazioni solari, ecc. Di tutte queste condizioni la più importante risulta essere l'altitudine del sito, come dimostra anche l'esperienza normativa di molti Paesi.

Per gli scopi della progettazione è sufficiente pertanto elaborare una mappa del valore caratteristico al suolo alla quota del livello medio del mare e fornire la legge di variazione del carico con l'altitudine, ottenibile quest'ultima come curva di regressione nel piano valore caratteristico-altitudine dei punti rappresentativi di ciascuna stazione meteorologica. Solamente per la Norvegia e per l'Islanda, nelle quali non è stata riscontrata alcuna tendenza di variazione del carico al suolo con l'altitudine, il carico caratteristico della neve al suolo è stato direttamente determinato per ciascuna municipalità.

A causa delle notevoli differenze di clima riscontrate sull'intero territorio europeo, è stato necessario individuare, attraverso un procedimento iterativo di affinamento, delle regioni clima-

ticamente omogenee, nelle quali la tendenza del carico rispetto all'altitudine fosse chiaramente individuata.

Le regioni climatiche sono risultate in numero di dieci, come rappresentato in fig. 7.

L'Italia è stata suddivisa in due diverse aree: il territorio pianeggiante del nord, il centro- sud e le isole sono comprese nella "regione mediterranea", della quale fanno parte anche la Grecia e parte della Francia meridionale; il territorio montuoso del settentrione appartiene alla "regione alpina", che comprende anche la Svizzera, l'Austria nonché parte della Francia e della Germania. Per ciascuna delle regioni climatiche sono state definite le curve più appropriate, descritte da funzioni espresse in forma parametrica in maniera da poter ulteriormente suddividere il territorio in zone per la migliore approssimazione possibile dei dati. Il parametro caratterizzante le singole zone è costituito dal carico alla quota al livello del mare.

La definizione delle funzioni e dei parametri è stata effettuata mediante l'utilizzo di una procedura iterativa di tentativi ed aggiustamenti, adeguando ad ogni passo i limiti di ampiezza della variazione del carico fra zona e zona, il numero delle zone, il grado di regolarizzazione impiegato per interpolare i dati e generare i confini delle zone.

Nella fig. 8 è riportato, a titolo di esempio, il posizionamento sul piano carico-altitudine dei dati relativi alla regione alpina e la famiglia di curve che delimitano le cinque zone nelle quali è stato suddiviso il campo di variazione dei carichi neve. Per ciascuna zona la curva rappresentativa della variazione del carico con l'altitudine è quella media, indicata a tratteggio in figura.

La localizzazione geografica di tutte le stazioni meteorologiche appartenenti alla stessa zona ha consentito di tracciarne i confini, utilizzando tecniche GIS (Geographical Information System). Il risultato di questo procedimento è rappresentato quindi da una

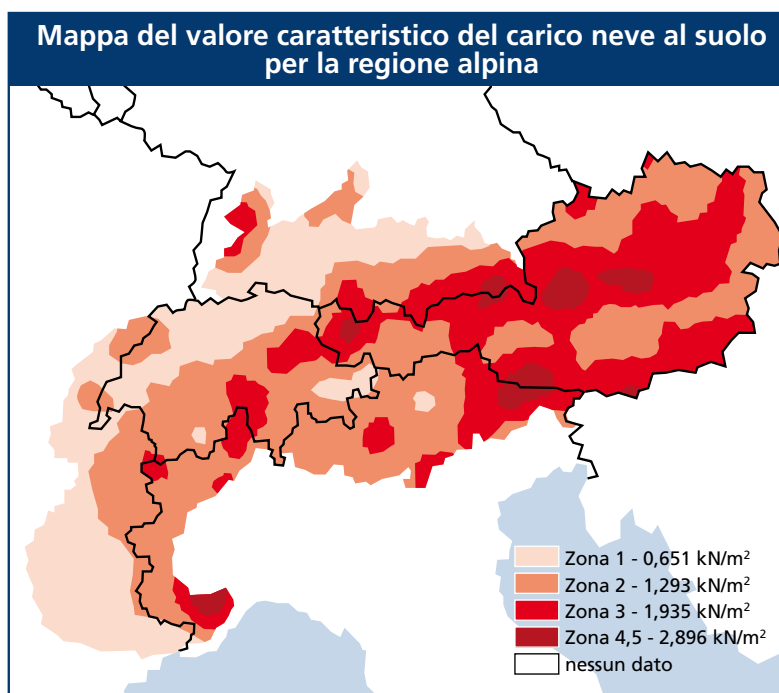
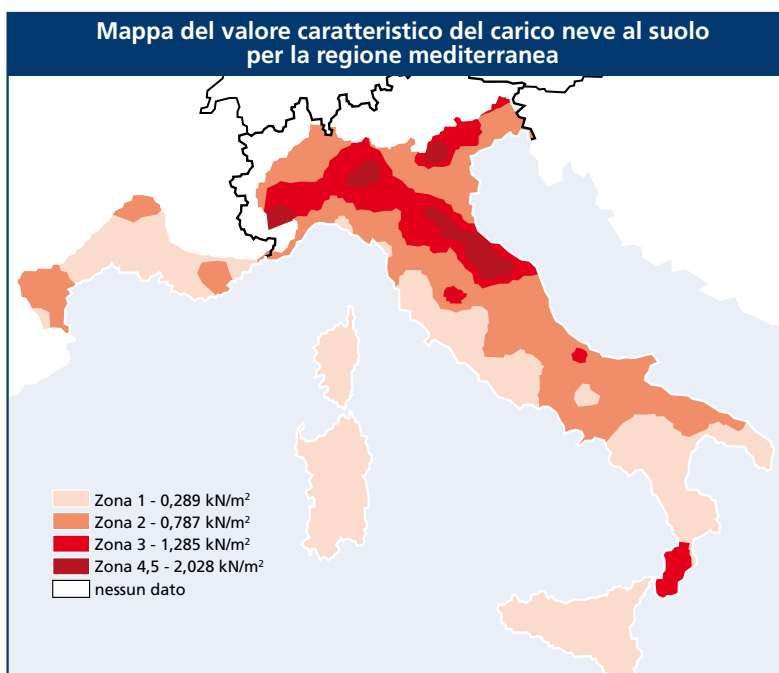


Fig. 9

Fig. 10



mappa delle zone, in ciascuna delle quali si applica una ben determinata legge di variazione carico-altitudine. Assegnate la posizione di un sito e la relativa quota sul livello medio del mare, si ricava molto facilmente il valore caratteristico del carico al suolo. Un altro importante problema, al quale si è tentato di dare una soluzione, è costituito dalla discontinuità dei valori in corrispondenza dei confini fra regioni climatiche. Possono nascere infatti notevoli discrepanze, a se-

conda che si consideri un punto sul confine appartenente ad una o all'altra regione. Per ridurre a livelli accettabili tali discontinuità sono state definite delle aree di compensazione. Tali aree, derivanti dalla estensione per una profondità di 100 km oltre il confine della regione considerata, consentono di includere anche le stazioni ivi ricadenti nell'insieme utilizzato per la definizione delle zone e delle funzioni carico-altitudine. Il processo di elaborazione del-

la mappa di ciascuna regione risente così in maniera determinante dell'influenza delle regioni limitrofe, con il risultato di attenuare le differenze ai bordi. Le figure 9 e 10 mostrano le mappe ottenute per le regioni alpina e mediterranea, nelle quali è compreso tutto il territorio italiano. A fianco di ciascuna mappa sono indicati il numero di zona ed il valore caratteristico del carico della neve al suolo alla quota del livello medio del mare.

Controllo di qualità della mappa fisica

Una fase molto importante della ricerca europea è stata quella del controllo di qualità della mappa.

La procedura consiste in un affinamento della mappa sulla base del confronto, per ogni stazione meteorologica, fra il valore ottenuto dalla mappa per il sito specifico ed il valore caratteristico della stazione stessa.

La fig. 11 mostra l'istogramma delle differenze fra il valore di mappa ed il valore caratteristico per le stazioni della regione alpina. Nella maggioranza delle stazioni la differenza è compresa fra $-0,2 \text{ kN/m}^2$ e $0,6 \text{ kN/m}^2$ e dunque la mappa descrive bene la variazione del carico sul territorio.

Altro argomento oggetto di valutazione è rappresentato dalla discontinuità in corrispondenza dei confini delle regioni climatiche. Per analizzare questo aspetto sono stati calcolati in corrispondenza del confine, in punti posti ad intervalli di 20 km, i valori determinati dalle differenti funzioni carico-altitudine previste nelle due regioni limitrofe.

La fig. 12 mostra il risultato ottenuto, dopo l'ottimizzazione della mappa, in corrispondenza del confine fra regione alpina e regione centrale orientale.

Naturalmente la riduzione delle

differenze comporta delle contropartite, quali l'aumento delle zone e una peggiore compatibilità fra valori di mappa e valori caratteristici in prossimità del confine. Di tutto questo è stato tenuto conto, determinando un buon compromesso fra le esigenze di semplicità e quelle di buona descrizione del carico.

Proposta per un aggiornamento della mappa normativa italiana del carico neve al suolo

Il nuovo Decreto Ministeriale [29] ripropone la stessa mappa della neve al suolo contenuta nelle precedenti norme datate 1996, riferita ad un carico con periodo di ritorno di 200 anni.

Tuttavia, alla luce dei risultati scientifici sin qui esposti e tenuto conto della necessità di uniformare la normativa nazionale a quella europea, vi sono sufficienti elementi per un aggiornamento della mappa italiana. Tra l'altro questo processo di affinamento ed armonizzazione è attualmente in corso in molti Paesi europei, con l'obiettivo primario di ridurre le discontinuità, in corrispondenza dei confini di Stato, dei valori del carico derivanti dall'applicazione delle singole norme nazionali.

Le principali variazioni della proposta di mappa normativa italiana rispetto alla mappa fisica europea sono costituite da un minor numero di zone, da funzioni carico-altitudine leggermente diverse, dai bordi delle zone coincidenti con i confini amministrativi provinciali.

Il valore caratteristico del carico della neve, secondo l'impostazione dell'Eurocodice 1, è relativo al periodo di ritorno di 50 anni. Nelle tre zone, indicate nella figura 13, nelle quali è stato suddiviso il territorio italiano, la funzione carico-altitudine è quella sotto indicata:

Zona I

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s \leq 200 \text{ m}$$

Per le province di: Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza:

$$q_{sk} = 1,39 \left[1 + \left[\frac{a_s}{728} \right]^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

$$a_s > 200 \text{ m}$$

Per le province di: Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese:

$$q_{sk} = 1,35 \left[1 + \left[\frac{a_s}{602} \right]^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

$$a_s > 200 \text{ m}$$

Zona II

Per le province di: Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Foggia, Genova, Gorizia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona

$$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 0,85 \left[1 + \left[\frac{a_s}{481} \right]^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

$$a_s > 200 \text{ m}$$

Zona III

Per le province di: Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Messina, Napoli, Nuoro, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valenzia, Viterbo

$$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 0,51 \left[1 + \left[\frac{a_s}{481} \right]^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

$$a_s > 200 \text{ m}$$

Essendo a_s l'altitudine s.l.m. della località espressa in m.

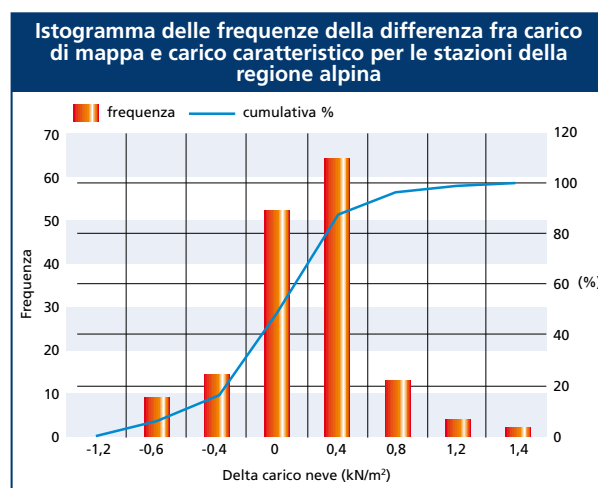


Fig. 11

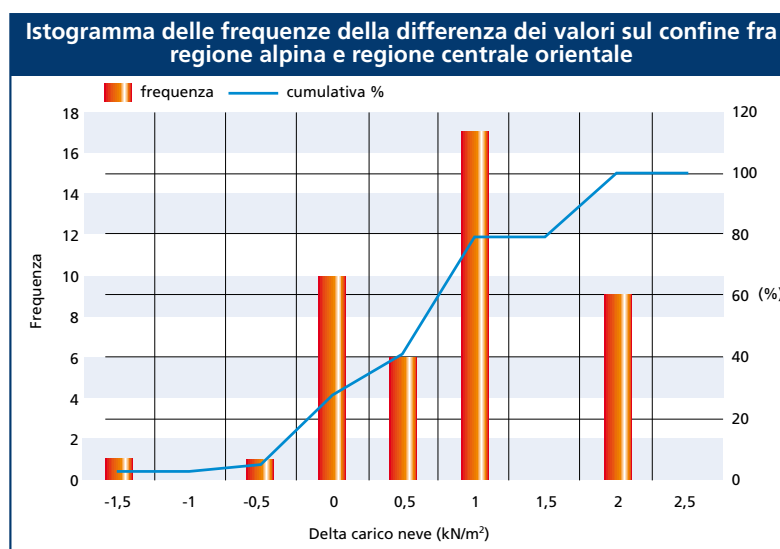
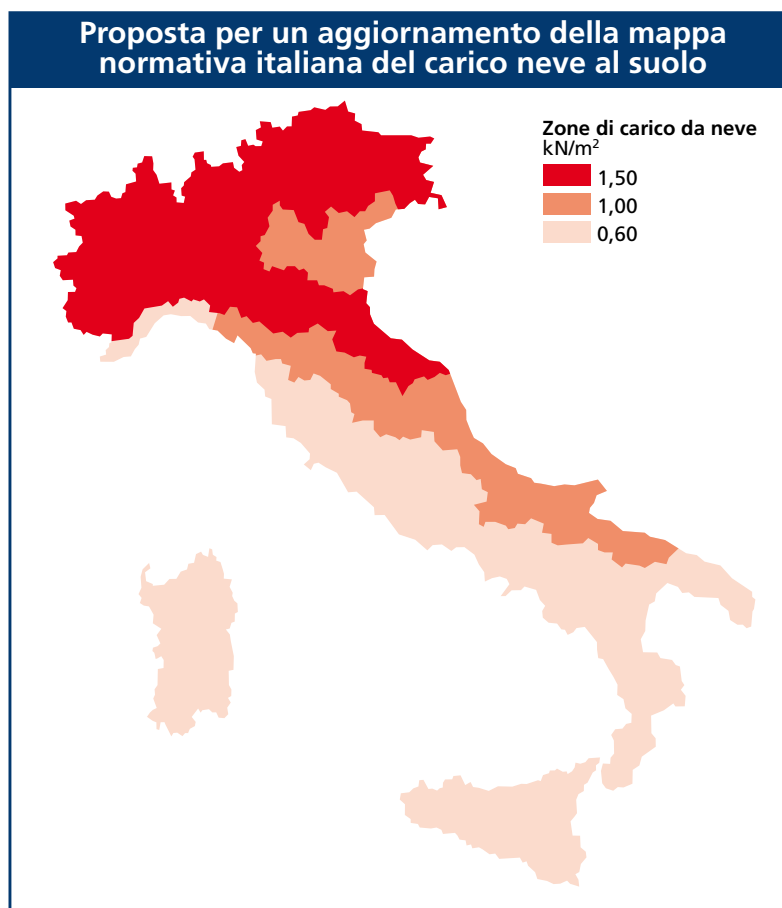


Fig. 12

Fig. 13



CARICHI SULLE COPERTURE

Il carico sulle coperture è definito nella normativa italiana secondo l'usuale formato delle normative internazionali (5):

$$S = S_k \mu$$

nella quale s rappresenta il carico sulla copertura, s_k il carico caratteristico e μ il coefficiente di forma.

Proprio il coefficiente di forma è stato oggetto di una campagna di misure ed osservazioni, volte ad indagare diverse tipologie di coperture in differenti regioni climatiche del territorio europeo. Nei siti prescelti sono state misurate le grandezze meteorologiche salienti, oltre naturalmente al carico della neve al suolo ed a quello sui tetti. Lo studio è stato poi integrato da prove su modelli, sottoposti a nevicata artificiali nel tunnel del vento climatico Jules Vernes di Nantes (CSTB).

I risultati di tale lavoro hanno consentito di aggiornare i coeffi-

cienti di forma indicati dall'Euro-codice 1 e, per estensione, hanno determinato degli affinamenti analoghi anche nella normativa italiana.

Recenti misure sperimentali sul territorio italiano

Nuovi risultati sono stati ottenuti nel corso di una campagna di osservazioni, svolta durante l'inverno 1997/98 presso alcune località dell'arco alpino e dell'Appennino Tosco-Emiliano [4, 28]. Fra queste, particolare interesse rivestono le misure effettuate nella stazione sciistica dell'Abetone, essendo riferite a quote inferiori a 1500 m s.l.m. .

Per ciascun sito è stato effettuato un rilievo con cadenza sufficientemente ravvicinata da poter determinare la variazione nel tempo dello spessore del manto nevoso sulle coperture ed al suolo, della densità della neve, della temperatura dell'aria, della direzione e della velocità del vento dominante.

La densità media del manto è stata ricavata dalla misura del peso e del volume di campioni, prelevati per mezzo di un tubo metallico introdotto nella neve fino a toccare il fondo del manto. In alcuni casi sono state rilevate forti disomogeneità del manto ed il campionamento è stato effettuato strato per strato, consentendo così di determinare la variazione di densità con lo spessore.

Le misure di altezza sono state eseguite in maniera assai semplice, con l'ausilio di aste graduate, posizionate sulle coperture oggetto di osservazione e su una porzione di terreno situata nelle immediate vicinanze. La misura dell'altezza del manto e della densità della neve ha consentito di determinare il peso della neve, quale grandezza derivata. In altre indagini sono stati invece usati appositi cuscini, in grado di fornire direttamente ed in maniera automatica il carico della neve [4].

Pur nella limitatezza del periodo di osservazione, i risultati illustrati a titolo di esempio nella fig. 14, relativi ad uno dei 12 edifici posti sotto osservazione presso la stazione meteorologica dell'Abetone, mostrano come la densità media si mantenga per lunghi periodi su livelli di 3,50 kN/m³ e come raggiunga valori di poco inferiori a 5,0 kN/m³ alla fine della stagione, confermando così la legge densità-tempo indicata in fig. 2 [28].

La conoscenza del carico sulla copertura ed al suolo ha permesso di ottenere il coefficiente di forma del tetto, inteso come rapporto fra le due grandezze. Nella fig. 15, relativa ad un edificio con copertura a falde piane di inclinazione di 10°, posto anch'esso presso la stazione dell'Abetone, è riportata la variazione, rispetto al tempo, del fattore di forma e della frazione del carico in copertura

rispetto al valore massimo stagionale.

Il rapporto ha un valore prossimo a 0,8 per carichi elevati, mentre attinge valori assai superiori quando lo spessore della neve sul tetto è molto esiguo.

Coefficienti di forma

I risultati della ricerca europea [3, 4] hanno suggerito alcune semplificazioni in merito ai coefficienti di forma da utilizzare per convertire il carico al suolo in carico sulle coperture.

In primo luogo è stato osservato come non sia giustificata, per il territorio europeo e dunque anche per quello italiano, la differenziazione del coefficiente di forma delle coperture piane in due distinti valori, relativi uno alla falda sopravvento e l'altro a quella sottovento, e come risulti invece sufficiente un unico fattore μ 1 per determinare il carico su entrambe le falde (fig. 16). Si tratta di un importante contributo che dimostra l'importanza della sperimentazione su un territorio che, per quanto vasto e caratterizzato da notevoli varietà di clima, tuttavia non presenta, se non in alcune aree del nord, quelle condizioni così severe come quelle relative alle località ove erano state in passato effettuate le indagini specifiche sui coefficienti di forma. L'utilizzo di un unico valore del coefficiente di forma per entrambe le falde riduce, rispetto a quanto previsto dalla normativa fin qui in uso, il numero di condizioni di carico da dover considerare e determina quindi un minor impegno di calcolo.

Le esperienze condotte su varie tipologie di copertura ha consentito poi di introdurre direttamente nelle nuove norme italiane, sulla scorta anche dell'aggiornamento dell'Eurocodice 1, il caso delle coperture a falda, ivi incluse quelle che presentano compluvi, e delle coperture cilindriche.

CONCLUSIONI

La normativa italiana sui carichi da neve, oggetto di aggiornamento con il D.M. 14/09/05, ha recepito solo parte dei risultati più recenti ottenuti in campo nazionale ed europeo. Tuttavia, nello spirito di una sempre maggiore integrazione con le norme europee EN 1991-1-3 - Eurocodice 1 - Azione della neve, è auspicabile una modifica dei criteri assunti per il calcolo del carico neve al suolo e per la redazione della relativa mappa.

Infatti si sono resi disponibili nuovi dati, provenienti da stazioni meteorologiche, che in passato non erano state esaminate.

La qualità dei risultati è certamente migliorata, dal momento che sono stati effettuati approfonditi controlli sui dati, sull'analisi statistica e sulle mappe stesse. Infine le mappe sono derivate da accurate e mirate applicazioni delle tecniche GIS.

La mappa normativa della neve qui proposta, molto dettagliata e di facile utilizzo, consente di calcolare in maniera semplice il valore caratteristico del carico della neve al suolo.

Rispetto alla versione normativa delle nuove norme tecniche italiane vi è una significativa variazione dell'entità dei carichi, dato che questi sono calcolati per periodo di ritorno di 50 anziché di 200 anni.

I fattori di forma delle coperture, fino ad ora desunti da studi effettuati in regioni a clima molto freddo, sono stati oggetto di sperimentazione presso coperture di edifici posti in diverse località del territorio europeo e su modelli nel tunnel del vento. E' stato così possibile introdurre nella nuova normativa italiana valori ridotti rispetto a quelli indicati nella precedente versione, a vantaggio di una economia dei costi di costruzione.

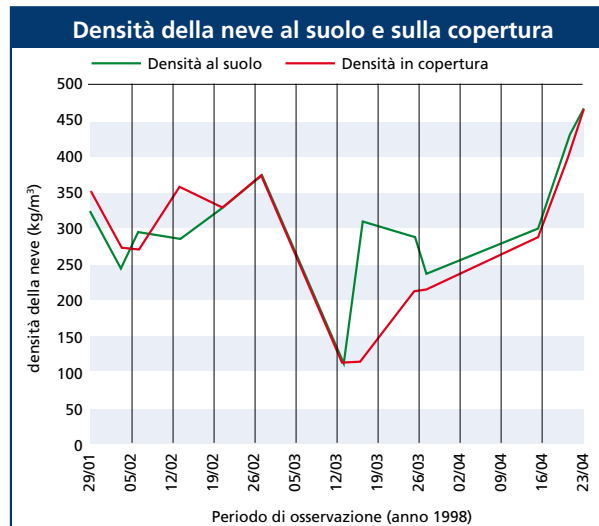


Fig. 14

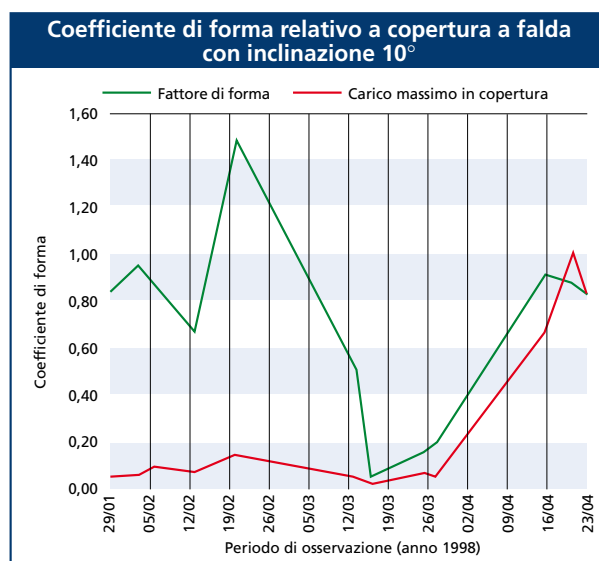


Fig. 15

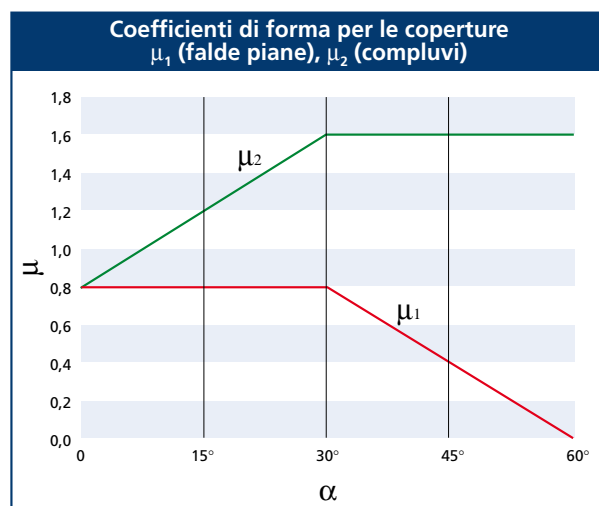


Fig. 16

Bibliografia

- La bibliografia, citata nel testo fra parentesi quadre, è consultabile sul web all'indirizzo <http://www.ing.unipi.it/dis/carichineve/bibliografia.htm>.
- Infine l'articolo è stato presentato, in forma meno estesa, al convegno Fifth International Conference on Snow Engineering, 5-8 July 2004, Davos, Switzerland.

INDICE DI SCIABILITÀ

**Climatologia alpina e sue applicazioni al turismo:
calcolo dell'indice di sciabilità nell'area
del Parco Paneveggio - Pale di San Martino
(Trentino Orientale)**

M. Fazzini, F. Cenacchi, P. Billi
Dipartimento di Scienze della Terra
Università di Ferrara

M. Gaddo
Provincia Autonoma di Trento
Dipartimento Protezione Civile
Ufficio Previsioni ed Organizzazione

Scopo della ricerca è quello di studiare le condizioni climatiche favorevoli al turismo invernale ed estivo in una zona del Trentino orientale, identificabile con il territorio del Parco Naturale Paneveggio - Pale di San Martino, mediante un nuovo approccio statistico ai parametri climatologici. Il problema, sempre più sentito, dell'innevamento relazionato al presunto *global warming* oltre a riguardare il turismo invernale legato alla pratica dello sci alpino e nordico, caratterizza anche l'ambiente fisico di alta e media montagna, causando variazioni areali dei ghiacciai e incidendo notevolmente sul rinnovamento delle risorse idriche sotterranee. In questo studio si è voluto verificare quale sia il reale andamento delle precipitazioni nevose, visto in relazione alla quota ed all'esposizione, indagando di seguito sulle effettive possibilità che le condizioni climatiche medie offrono alla pratica degli *sports invernali*, risorsa particolarmente importante nell'area studiata. Lo studio ha considerato numerosi parametri climatici - i quali, interagendo tra loro, determinano differenti sensazioni termiche, peraltro assolutamente soggettive - evidenziando come tali sensazioni varino durante l'anno, secondo altitudine, esposizione e variabili locali.



INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto dello studio si identifica nel territorio del Parco Naturale Regionale Paneveggio - Pale di San Martino, ubicato a cavallo tra le alte valli del Torrente Cismon (bacino principale Brenta), e del Torrente Travignolo (Bacino principale Adige); le due valli sono collegate tra di loro attraverso l'insellatura prativa del Passo Rolle (1974 m s.l.m.).

Il parco regionale, istituito nel

1967 (L.R. 12/09/1967, n.7), comprendeva originariamente l'area demaniale delle zone di pascolo del gruppo dolomitico delle Pale di San Martino; dopo un ampliamento territoriale (1987), nel 1988 un'apposita legge ordinamentale (L.P. 18/88) ne definisce le regole dell'organizzazione amministrativa e della gestione dell'area. In particolare, la superficie adibita a parco si attesta sui 191 kmq (19711 ha). Verso est si elevano le vette del noto gruppo dolomitico delle Pale di San Martino, di età ladinica e prevalentemente costituito da scogliere coralligene. Tale spettacolare gruppo montuoso si estende tra il Passo Valles e la Val Canali; al suo interno numerose vette superano i 3000 metri - Cima di Focobon (3054 m), Cima della Vezzana (3192 m), Cimon della Pala (3184 m), - In destra idrografica del Torrente Cismon si eleva la catena del Lagorai, che si può dividere in due grandi blocchi: quello granitico più antico della

Cima d'Asta - situato nella porzione sud-occidentale dell'area di studio - e quello porfirico del Colbricon che si eleva fino a circa 2600 m. La catena del Lagorai è costituita da una serie di cime, disposte quasi a semicerchio, a settentrione del massiccio di Cima d'Asta, con elevazioni tutte comprese fra i 2.400 e i 2.500 m s.l.m. Verso sud la valle del Cismon si apre nella ridente conca di Primiero, estesa per diversi chilometri con direzione nord est-sud-ovest, ed è chiusa verso sud dalla catena dolomitica delle Vette Feltrine, che raggiungono la massima quota nel Monte Pavione (2334 m s.l.m.).

Tutta l'area del parco è divenuta meta turistica invernale per la bellezza delle piste da sci alpino (oltre 100 km di tracciati battuti - fig. 2) e nordico (oltre 150 km di tracciati battuti), nonché per i percorsi sci alpinistici che si estendono alla loro base; in estate vi si pratica escursionismo ed alpinismo attraverso una fitta



Fig. 1

Fig. 2 - comprensorio sciistico del Paneveggio.



rete di sentieri ben organizzati e percorsi attrezzati di varia difficoltà.

ANALISI DELLA NEVOSITA'

Allo stato attuale, anche da un punto di vista nivometrico, il territorio oggetto di studio è piuttosto ben monitorato; ad una superficie totale di circa 500 km² corrispondono ben 11 campi di rilevamento manuale, gestiti dall'Ufficio Previsioni ed Organizzazione della Provincia Autonoma di Trento, nei quali ogni giorno tra le 8 e le 8.30 viene eseguita da personale specializzato la compilazione del modello 1 AINEVA. In tabella 3 vengono riassunte le caratteristiche geografiche dei campi neve esistenti, caratterizzati da una notevole diversificazione nelle quote e nelle esposizioni. Le stazioni "storiche" - ossia quelle istituite nel 1981 dall'allora Ufficio Neve e Valanghe della PAT - presentano peraltro serie di dati molto omogenee e di notevole qualità nonché complessivamente continue, ragion per cui è stato possibile affrontare lo studio relativo all'altezza della neve fresca e dell'altezza e della permanenza della neve al suolo per il periodo 1982-2004. Nello studio sono stati utilizzati anche i dati, gentilmente concessi dall'AM, relativi alla stazione di valico di Passo Rolle, nella quale però non si effettuano compilazioni del modello 1. Di conseguenza i dati relativi ai tre parametri nivometrici di cui sopra sono stati ricavati ricorrendo ai bollettini SYREP (fig. 3).

Trattandosi di misurazioni manuali finalizzate al monitoraggio del pericolo valanghe, i campi si attivano dopo la prima significativa nevicata oppure all'apertura della stagione invernale, mentre terminano l'attività con

CARATTERISTICHE GEOGRAFICHE DELLE STAZIONI NIVOMETRICHE (in neretto sono evidenziate quelle utilizzate per lo studio climatico-turistico) <i>*dal 2004 ubicata in località Calaita (1610 m slm)</i> <i>**stazioni dotate anche di nivometro ad ultrasuoni</i>				
COD.	CAMPI NEVE MANUALI LOCALITÀ	QUOTA	POSIZIONE ED ESPOSIZIONE	INIZIO
4 SMC	SAN MARTINO DI CASTROZZA	1465	TERRAZZO	1981
7 PVA	PASSO VALLES	2020	PENDIO 5° - S	1981
8 PAN	PANEVEGGIO**	1535	PENDIO 5° - SW	1981
16 PT	PASSO BROCCON**	1615	PENDIO 5° - SW	1981
17 CA	CAORIA	915	PENDIO 10° - SE	1981
18 SB	CANAL SAN BOVO*	1265	PENDIO 5° - SE	1981
20 NO	VAL NOANA	1020	PENDIO	1985
35 VC	VAL CIGOLERA	1880	PENDIO 5° NE	1997
37 VW	VAL CANALI	1005	TERRAZZO	2001
38 MP	COL VERDE	1880	PENDIO 10° - SW	2003
RO	PASSO ROLLE (AM)**	2004	PENDIO 10° - W	1982

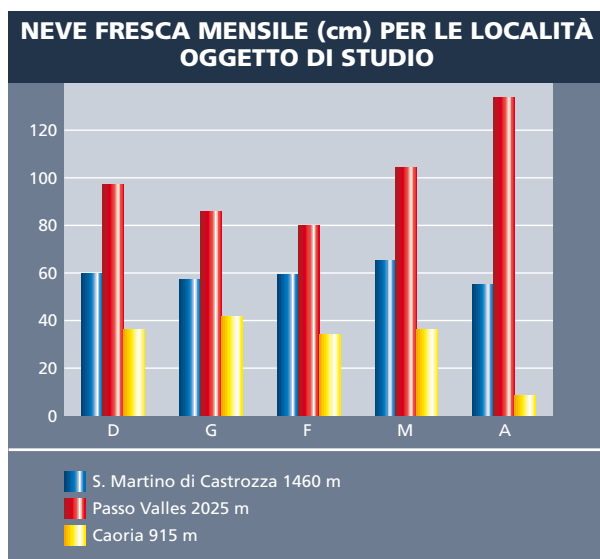
Fig. 3

ALTEZZA DELLA NEVE FRESCA MENSILE E STAGIONALE, NUMERO DEI GIORNI NEVOSI Periodo 1981- 2004								
LOCALITÀ	QUOTA	D	G	F	M	A	TOT	GN
SAN MARTINO DI CASTROZZA	1465	53	51	52	58	49	263	33
PASSO VALLES	2025	86	76	71	92	118	443	47
CAORIA	913	32	37	30	32	7	138	17

Fig. 4

la chiusura degli impianti di risalita o con assenza di manto nevoso. Di conseguenza i valori relativi alla sommatoria media stagionale della neve fresca sono generalmente sottostimati rispetto alla realtà, ma sono notevolmente significativi per ciò che concerne le applicazioni dell'indice di sciabilità - del quale si tratterà successivamente. In definitiva, le sommatorie medie stagionali sono riferite al periodo dicembre-aprile e anche qualora - come nel caso di Passo Rolle e di Passo Valles - vi sia un monitoraggio continuativo delle condizioni di innevamento, si è preferito estrarre i valori relativi al suddetto periodo per renderli paragonabili agli altri.

Nel presente lavoro, a titolo riassuntivo, sono stati considerati i dati di tre stazioni ubicate rispettivamente in fondovalle (Caoria - 915 m nell'alta valle del Vanoi), nella media-alta Val Cismon (San Martino 1444 m) e su un valico (Passo Valles - 2020 m), così da evidenziare le variazioni nel comportamento spazio-altitudi-



nale e temporale del parametro (fig. 4 e 5).

I quantitativi medi stagionali sono complessivamente abbondanti, grazie alla favorevole disposizione delle valli rispetto alle correnti meridionali foriere di nevicata e subordinatamente alle caratteristiche morfometriche dei rilievi che favoriscono il sollevamento orografico delle suddette masse d'aria. Il regime nivometrico varia dall' "equilibrato" alle quote intermedie - con precipitazioni nevose piut-

tosto omogenee tra dicembre e marzo - a quello bimodale a massimo primaverile oltre i 2000 metri (Fazzini e Gaddo, 2003). Se si vanno ad analizzare i trend relativi all'ultimo ventennio, si osservano – come in gran parte del dominio alpino – notevoli riduzioni nei quantitativi stagionali, più significative a quote inferiori ai 1200 metri (Fazzini e Gaddo, 2003; Fazzini et al 2005,

Valt et al, 2005) (fig. 6a e 6b). Come è possibile osservare dal valore del parametro m dell'equazione $y = mx + q$, la perdita di neve fresca oscilla tra i 5 ed i 7 cm/anno. Ai fini dello sfruttamento turistico della neve è necessario poi puntualizzare che proprio la prima metà del mese di dicembre presenta cali della nevosità preoccupanti, per cui alle quote inferiori ai 1500 metri occorre quasi sempre ricorrere all'innevamento artificiale per potere iniziare la stagione sciistica (fig. 7 e 8). A tale segnale si contrappone, specie alle quote superiori ai 1600 metri, un aumento della nevosità nei mesi primaverili, allorché dal punto di vista turistico la neve “non serve più...” (fig. 9).

calità marine e spostando poi l'attenzione nei siti montani, che più risentono del presunto “climatic change” in atto. In Italia, alcuni autori hanno ripreso l'indice di sciabilità sviluppato oltralpe da Gumuchan (1986) ed applicato sperimentalmente e per brevi periodi in alcune aree campione delle Alpi italiane (Fazzini et al 2003, 2004; Biancotti et al 2004). Barbier B. (1994) ha riassunto così il bisogno di un “domaine skiable”: “servono almeno 30-40 cm di neve per poter sciare, almeno 120 giorni di innevamento affinché gli investimenti vengano recuperati, poca o nulla velocità del vento per far sì che la neve non venga spostata, piste soleggiate ed assenza di rischi. L'indice di sciabilità equivale in pratica al numero medio mensile dei giorni nei quali è possibile praticare sci alpino e nordico, riferendosi esclusivamente all'altezza della neve al suolo, nei pressi dei tracciati di sci. Tale limite è fissato in 30 centimetri; qualora tale altezza della neve non dovesse essere raggiunta, occorre ricorrere all'innevamen-

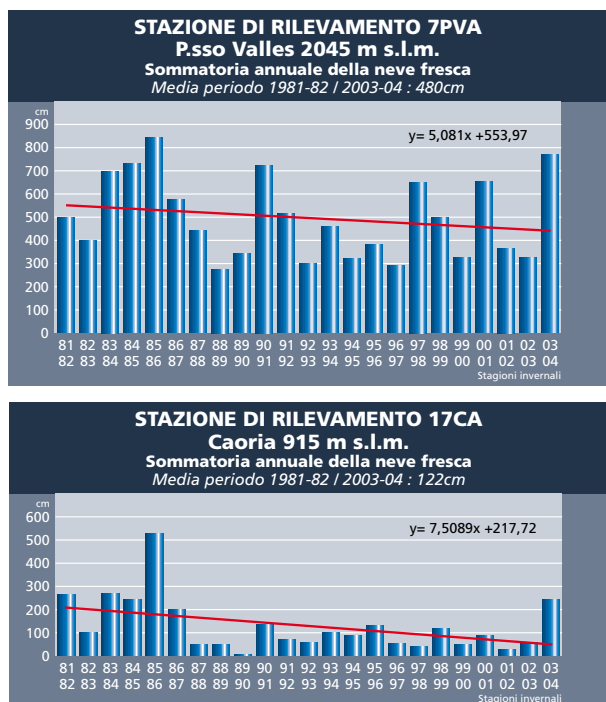


Fig. 6a e b - Trend nivometrici relativi al territorio oggetto di esame. L'interpolante di 1° ordine evidenzia esclusivamente la tendenza media della variabile analizzata.

Fig. 7

Fig. 8

INDICE DI SCIABILITA'

Nell'ultimo decennio, specie oltralpe, ed in particolare in Francia, alcuni geografi hanno approfondito lo studio sperimentale delle condizioni meteorologiche favorevoli alla pratica di attività ludiche, a partire da lo-

TEMPERATURE MEDIE MENSILI, STAGIONALI ED ANNUE PER ALCUNE STAZIONI RAPPRESENTATIVE																
Periodo 1926-1995																
LOCALITA'	QUOTA	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	MED	ESC	
SEREN DEL GRAPPA	303	-0.2	0.3	5.5	11.3	15.5	19.1	21.2	20.4	18.8	10.6	5.4	2.3	10.9	21.4	
SAN MARTINO DI CASTROZZA	1444	-1.6	-1.2	2.7	5	9.5	12.5	14.7	14.4	11.5	4.5	2.2	0.1	6.2	16.3	
PASSO ROLLE	2004	-4.7	-4.5	-1	2	6.1	9	11.8	11.4	8.2	1.3	-1.1	-2.9	3.0	16.5	
PREDAZZO	1018	-2.7	-2.4	1.8	4.9	10.3	13.8	16.8	16.4	12	4.8	1.9	-0.3	6.4	19.5	
FALCADE	1214	-5.3	-5.2	-2.3	2.5	8.8	13.3	15.1	14.8	11.4	4.4	1.7	-3.1	4.7	20.4	

Precipitazioni medie mensili, stagionali ed annue, giorni di pioggia (GP)
tipo pluviometrico (RP) secondo Fazzini (2005) e tendenza media (TMed)
Periodo 1921-1995. Tipo di regime: T:transizione; SC: subcontinentale; C:continentale

STAZIONE	QUOTA	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	TOT	GP	I	P	E	A	RP	TMed (mm/anno)
ARSIE'	314	88	81	99	118	140	130	100	117	105	126	137	87	1329	90	256	358	347	368	T	tra -6 e -9
SAN SILVESTRO	577	66	66	84	118	141	136	119	119	99	120	123	66	1255	108	198	342	374	342	T	tra +6 e +9
TONADICO	747	70	61	75	106	138	143	115	110	87	117	115	64	1203	98	195	319	369	320	C	tra +3 a +6
CANAL S. BOVO	757	73	72	91	115	145	143	116	120	108	108	132	70	1292	104	215	351	379	347	T	tra -6 e -9
CAORIA	803	71	77	96	129	168	151	132	147	120	138	149	78	1454	111	226	392	429	407	T	tra +9 e +12
PREDAZZO (centrale)	1018	35	36	54	66	102	101	98	100	73	78	83	43	868	94	114	222	298	233	C	0
GOSALDO	1141	91	99	118	130	176	161	136	141	106	168	173	84	1584	118	275	424	438	447	T	tra 0 e -3
FALCADE	1150	55	58	79	113	126	121	112	108	105	117	114	63	1171	110	176	318	341	336	T	tra -12 e -15
PASSO CEREDA	1369	77	84	108	144	191	173	137	153	142	147	158	81	1595	118	242	443	463	448	T	tra -6 e -9
S. MARTINO DI C.ZZA	1444	67	95	94	119	157	154	142	148	139	137	135	64	1449	111	226	370	444	410	SC	tra 0 e +3
PANEVEGGIO	1520	44	42	54	88	141	134	135	138	106	105	98	47	1131	114	132	282	406	310	C	tra +3 e +6
PASSO ROLLE	2004	46	40	52	58	111	134	135	137	93	103	84	42	1034	115	128	220	407	279	C	tra 0 e +3

to artificiale. Tale pratica - peraltro possibile solamente qualora vi sia notevole disponibilità idrica - può essere utilizzata con successo qualora siano presenti dei complessi igrotermici adeguati. In pratica, anche utilizzando i più moderni cannoni, per avere un prodotto adeguato alla sciabilità, occorre avere temperature minime uguali o inferiori ai -3°C con umidità del 100% ed ai -1°C con umidità del 50%. Il massimo rendimento delle macchine si ha con temperature comprese tra -6 e -8°C con un'umidità compresa tra il 30 ed il 50%. Inoltre, nel calcolo dei giorni praticabili grazie all'innevamento artificiale, si è tenuto presente che, qualora all'inizio della stagione invernale vi sia totale assenza di neve sulle piste, in presenza di condizioni meteorologiche e tecniche ottimali - ovverosia di temperature adeguate e di buona qualità dei cannoni - occorre un periodo variabile dai 7 ai 10 giorni per poter innevare sufficientemente un tracciato di circa un chilometro di lunghezza (Fazzini et al 2004, Fratianni, 2004).

Una successiva sperimentazione, tuttora in atto in area alpina, ha poi permesso di perfezionare tale indice - come nel presente lavoro - ricorrendo allo studio di altre variabili meteo-climatiche - come la temperatura minima e massima, l'umidità relativa, la visibilità, l'albedo - laddove esistono stazioni meteorologiche che rilevano tali parametri (Fazzini et al 2004). In tal senso si potranno fornire preziose informazioni sui periodi più adeguati per la pratica degli sports invernali. Dato che a tutti gli effetti la sta-

gione sciistica inizia al ponte dell'immacolata e termina generalmente nel periodo pasquale o al più tardi al ponte del 25 aprile, l'indice di sciabilità totale, - dato dalla somma dei giorni con sciabilità naturale e con sciabilità artificiale - è stato calcolato per il semestre novembre-aprile (fig. 10a, b, c).

Analisi delle condizioni di sciabilità

Nel presente studio sono stati dunque "contati" sia il numero di giorni con neve al suolo >30 cm, sia quelli caratterizzati da in-

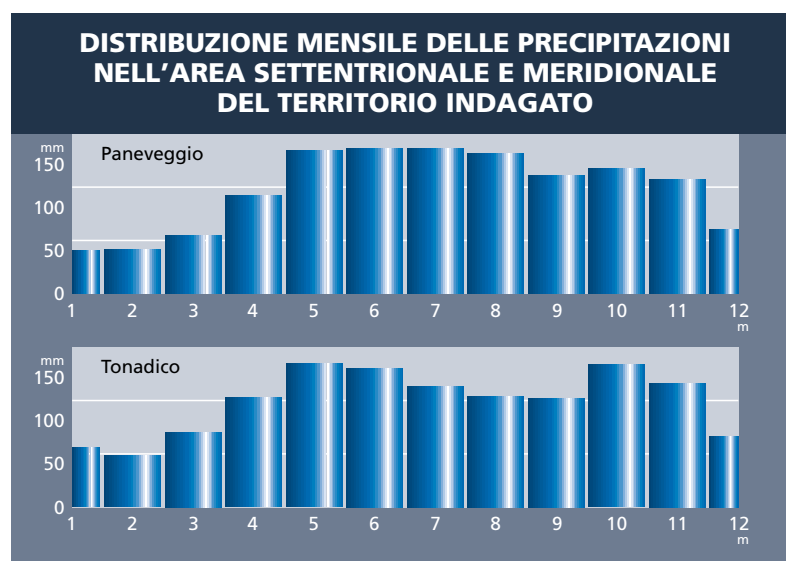
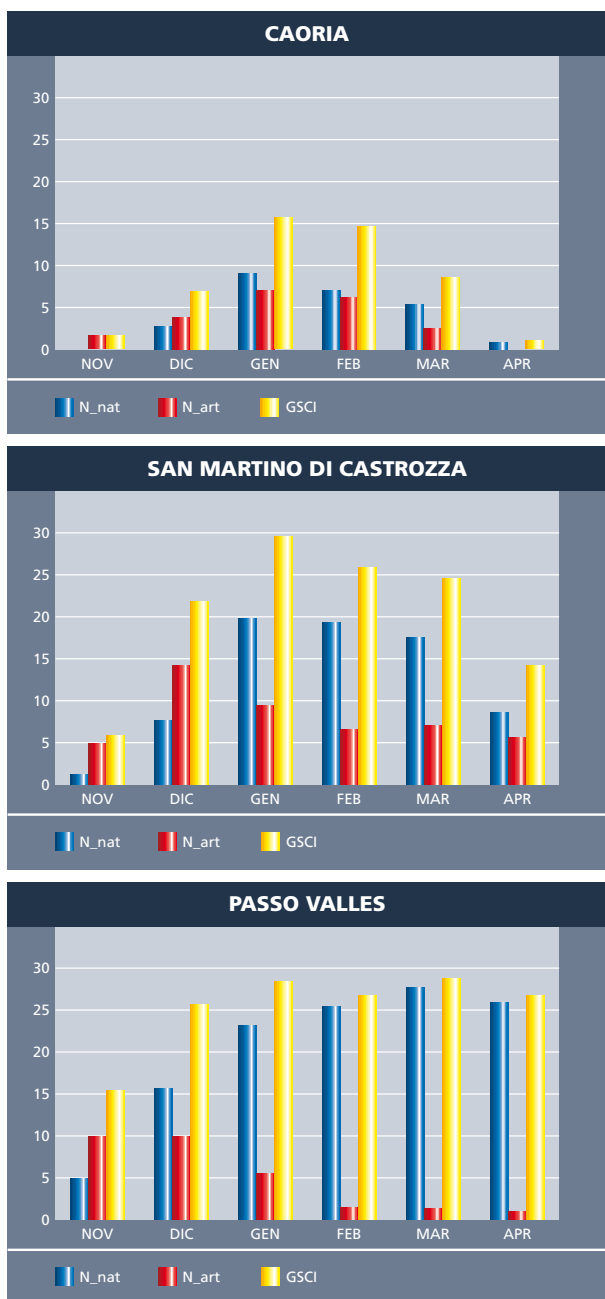


Fig. 9



Fig. 10 a b c - Giorni con sciabilità naturale (colonna blu), artificiale (colonna bordeaux) e totale (colonna gialla) per le stazioni oggetto di studio.



nevvamento insufficiente ma con temperature sufficientemente basse per un notevole numero di ore tale da permettere il ricorso all'innevamento artificiale. Dalla somma dei due valori si è ottenuto il numero dei giorni sciabili. Da un punto di vista statistico, il numero di giorni stagionali

con sciabilità totale è legato alla quota dalla relazione:

$$y = 0,0828x - 19,472$$

con un coefficiente di determinazione $R^2 = 0,9179$; esso aumenta pertanto di oltre 8 giorni ogni 100 metri di quota, il maggiore incremento della variabile si registra a quote comprese tra 1000 e 1500 metri.

Se si vanno poi ad analizzare le situazioni caratteristiche di ciascun mese alle differenti quote, risulta subito evidente che, come prima accennato, nel mese di dicembre è possibile una sciabilità quasi completa solo ricorrendo all'innevamento programmato, specie sotto i 1500 metri: a San Martino di Castrozza, dai 6 giorni con sciabilità "naturale" si passa a circa 20 giorni – comprendenti per intero la seconda metà del mese – così che è quasi sempre possibile sciare in tutto il comprensorio durante le vacanze di Natale. In fondovalle, ove peraltro attualmente non sono funzionanti né impianti di risalita né anelli di fondo, lo sci sarebbe possibile grazie alla neve artificiale esclusivamente nell'ultima decade del mese. In gennaio ed in febbraio, almeno oltre i 1200 metri di quota, si ha la quasi assoluta certezza di poter utilizzare tutti i tracciati, grazie al soddisfacente innevamento naturale, che oltretutto si gioverebbe della neve artificiale prodotta precedentemente; a livello statistico, si è costretti a ricorrere all'innevamento programmato solo per qualche giorno. In fondovalle la situazione migliora grazie all'ac-

cettabile innevamento naturale e alla neve programmata: il numero dei giorni sciabili raddoppia ma non è comunque sufficiente a garantire la copertura totale (rispettivamente 16 e 15 giorni con sciabilità).

Nel mese di marzo, caratterizzato da un moderato generale aumento delle temperature, l'innevamento è ancora adeguato oltre i 1500 metri, mentre alle quote medio-basse l'aumento delle temperature determina – specie nella seconda parte del mese – una notevole fusione del manto nevoso, oltre che un progressivo scadimento delle caratteristiche di sciabilità; inoltre per vari motivi, primo tra tutti il succitato innalzamento termico, non si ricorre quasi mai alla produzione di neve artificiale, specie in fondovalle. Il periodo delle vacanze pasquali dunque, che cade o nella seconda metà di marzo o nella prima metà di aprile, permette una pratica ancora soddisfacente dello sci alle quote più elevate e solo con un notevole impegno organizzativo delle società di impianti di risalita è possibile sfruttare ancora i tracciati di sci presenti a quote inferiori ai 1800 metri, compresi quelli di rientro a San Martino di Castrozza. Occorre comunque ricordare che la quantificazione del numero dei giorni con possibile sciabilità è una misura di tipo puntuale e le condizioni di innevamento totale possono variare anche sensibilmente, a parità di quota, nel raggio di poche centinaia di metri. In tal senso l'esposizione risulta essere una variabile fondamentale nella comprensione e nella quantificazione dei meccanismi di fusione della neve e di conseguenza del numero di giorni di permanenza della neve al suolo, in particolare nel periodo primaverile. Pertanto, per avere risultati ottimali

Fig. 11

NUMERO DI GIORNI SCIABILI (tra parentesi quelli nei quali è necessario innevamento artificiale)						
LOCALITA'	D	G	F	M	A	TOT
CAORIA - 915 M	7 (4)	16 (7)	15 (7)	9 (3)	1	48
SAN MARTINO DI CASTROZZA - 1465 M	22 (15)	30 (10)	26 (6)	24 (7)	14 (6)	118
PASSO VALLES - 2045 M	26 (10)	30 (6)	28 (2)	30 (2)	28 (2)	142

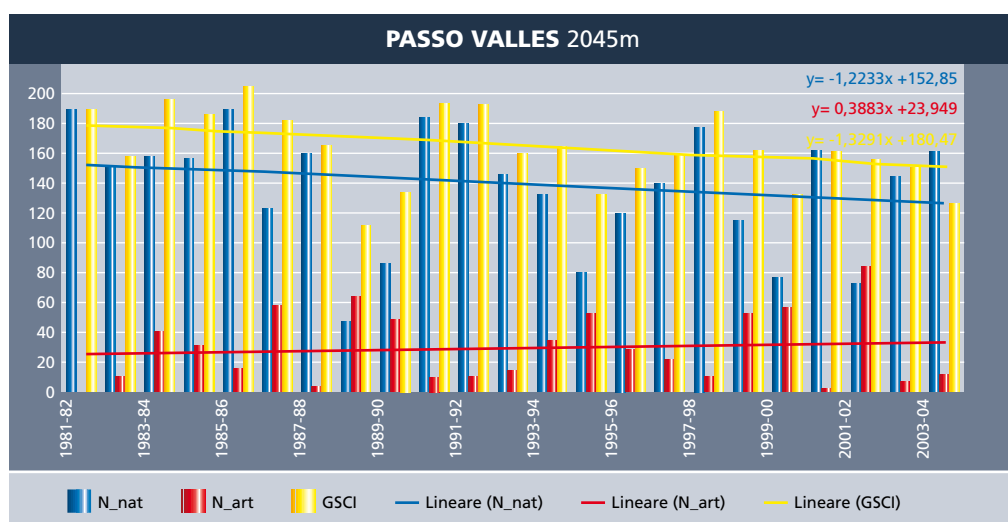
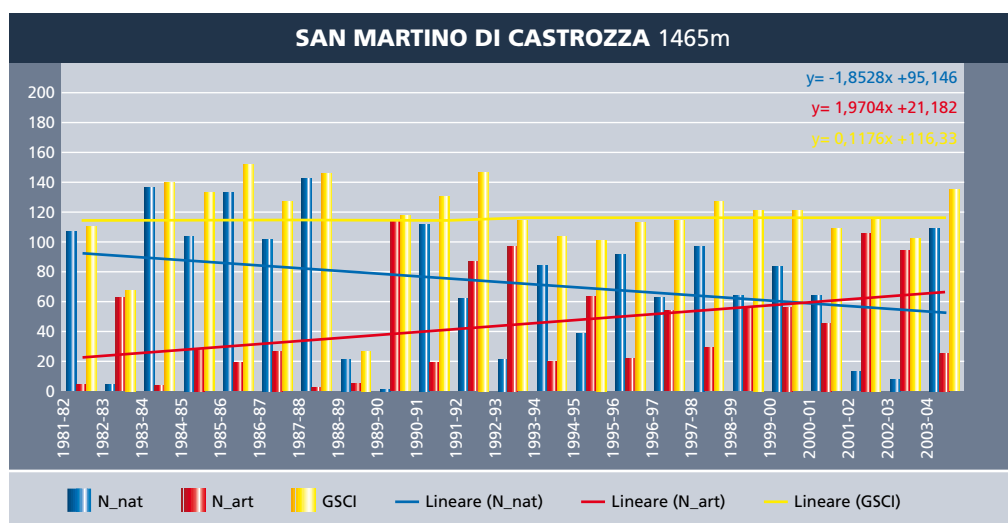
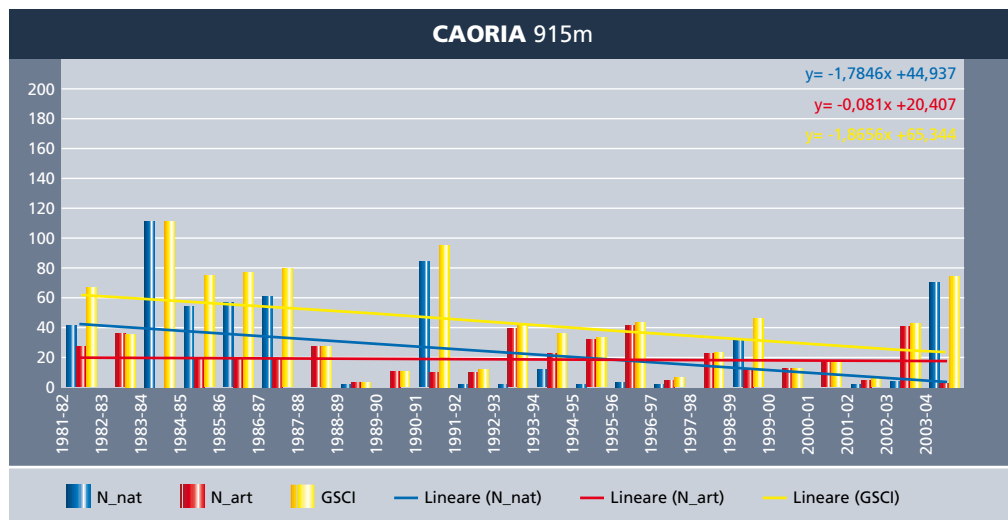
negli studi di natura climatologica o climatico-turistica in ambienti di alta e media montagna, occorrerebbe disporre di un monitoraggio a microscala dei parametri nivo-meteorologici nei comprensori sciistici, posizionando, alla stessa quota, un'adeguata sensoristica per le differenti esposizioni (fig. 11).

Esaminando con attenzione i trend più che ventennali relativi ai giorni sciabili (fig. 12a, b, c) risulta evidente come la diminuzione delle precipitazioni nevose abbia prodotto in generale un calo dei giorni con sciabilità. Tale calo è particolarmente evidente a quote inferiori ai 1600 metri: a Caoria si sono persi circa 20 dei 60 giorni potenzialmente sciabili con neve naturale (oltre il 30%) che caratterizzavano gli anni '80.

A San Martino il calo è addirittura superiore (circa 24 giorni persi rispetto agli originali 92). Intorno ai 2000 metri, dove il calo della nevosità è inferiore, si ha una minore perdita dei giorni sciabili - peraltro concentrata all'inizio della stagione - data la maggiore abbondanza di neve comunque presente al suolo.

Risulta dunque importante comprendere se le possibilità concesse dall'innevamento artificiale riescano a contrastare l'inesorabile perdita di sciabilità.

L'aumento delle temperature che si è registrato nel periodo oggetto di studio - quantificabile per la stagione invernale in 0,35°C circa (fonte Meteotrentino), non incide, almeno sopra i 1000 metri, sulla potenziale produttività di neve artificiale, per cui, specie nel mese di dicembre, si riesce a colmare il "gap" determinato dalla scarsità delle nevicate. La situazione rimane critica nei fondovalle a bassa quota dove, persistendo le attuali condizioni climatiche, la potenziale pratica

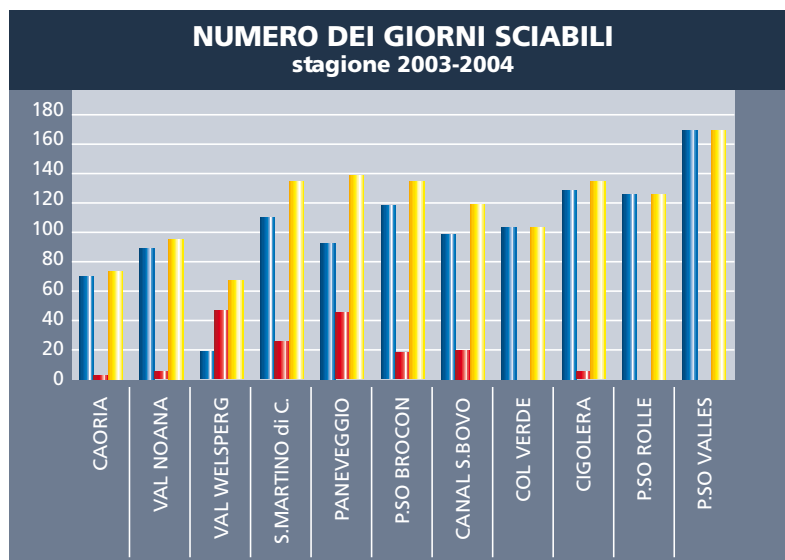


dello sci risulta praticamente compromessa. Per la stazione di San Martino l'innevamento artificiale consente un totale recupero delle condizioni di sciabilità ed anzi allunga lievemente il periodo adatto alla pratica dello sci. A Passo Valles si assiste solo ad un parziale recupero dei giorni

di sciabilità, determinato dal fatto che spesso all'inizio della stagione, quando l'innevamento può essere insufficiente, anche le temperature sono mediamente troppo elevate, per cui non si può ricorrere alla produzione di neve mentre nei mesi compresi tra gennaio ed aprile la neve è

Fig. 12 a b c - Trends relativi al numero dei giorni sciabili per le diverse località.

Fig. 13 - numero dei giorni sciabili naturalmente (in blu), con l'ausilio della neve artificiale (in bordeaux) e totali (in giallo) per la stagione 2003-2004.



così abbondante da non dovere mai ricorrere all'innevamento (fig. 13).

Per l'inverno 2003-04 - caratterizzato da condizioni ottimali per la pratica dello sci, in quanto molto nevoso a quote medio-elevate e decisamente freddo - a seguito di un'ulteriore completamento della rete di rilevamento è stato possibile effettuare un'analisi ancor più dettagliata delle condizioni di sciabilità ricorrendo ai dati nivo-meteorologici di tutti e undici i campi neve esistenti nel territorio studiato, compreso quello di Col Verde, situato a circa 1900 m di quota nell'area sciistica omonima che si estende ad est dell'abitato di San Martino (vedi tabella di fig. 7).

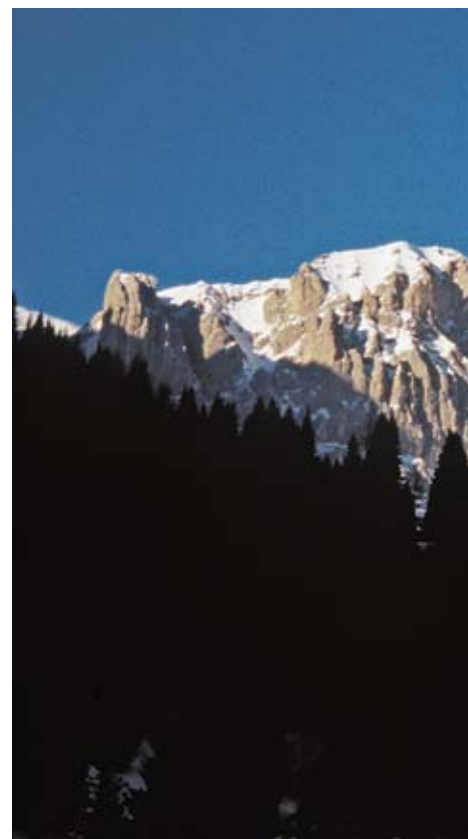
Dopo aver informatizzato i dati cartacei di alcune stazioni e calcolato con una buona approssimazione l'altezza della neve al suolo nei periodi in cui alcuni campi avevano chiuso l'attività con neve al suolo ancora presente (come a Col Verde, Passo Valles e Val Cigolera), si è nuovamente provveduto al calcolo dei giorni con sciabilità naturale, artificiale e totale. I risultati sono stati particolarmente esaustivi e consentono opportune riflessioni. Qualora le precipitazioni nevose siano "normali" rispetto alle caratteristiche

climatiche dell'area - ovvero sia con nevicate moderate anche in dicembre e gennaio, il ricorso alla neve programmata riveste un ruolo secondario. In questo caso, infatti, la neve artificiale rappresenta una risorsa aggiunta e non modifica in modo rilevante la possibilità di praticare lo sci. Ad un'attenta analisi dei risultati, il suo contributo è superiore a quello concesso della neve naturale solo nel sito di Val Canali - ubicato nei pressi della sede del Parco Naturale Regionale Paneveggio-Pale di San Martino nella Val Canali. In questo caso, tuttavia, il segnale climatico caratterizzato da notevole scarsità di neve è riconducibile a fattori topo-geografici locali, ed in particolare all'esposizione del segmento vallivo - orientato nord-est-sudovest - per cui, con una provenienza dei flussi perturbati prevalentemente da sud-est, si assiste ad una condizione di "snow shadow". D'altro canto è fondamentale evidenziare come la presenza di temperature in linea o lievemente inferiori alla norma, permetta di triplicare il numero di giorni adatti alla pratica dello sci ricorrendo all'innevamento programmato. A titolo di esempio, lo splendido anello da fondo attualmente non più utilizzato, ubicato proprio nei pressi

della Villa Welsperg, potrebbe essere ripristinato ricorrendo a moderni ed efficienti impianti di innnevamento artificiale. Tale utilizzo sarebbe favorito dalle condizioni di forte inversione termica tipiche dell'area e dovrebbe essere limitato al periodo normalmente compreso tra le vacanze di Natale e la metà di febbraio.

CONCLUSIONI

Il calcolo di indici climatico - turistici deve essere considerato come uno strumento di notevole importanza nella pianificazione territoriale delle aree montane maggiormente adatte ad un'ulteriore sviluppo turistico invernale ed estivo. In particolare, l'applicazione degli indici deve essere gioco forza considerata come parte integrante di progetti relativi allo sviluppo sostenibile della montagna, inteso come sfruttamento dell'industria turistica nel pieno rispetto dell'ambiente fisico. Tutto ciò è ancora più auspicabile in periodi nei quali ad



una evidente crisi economica si sovrappone anche la problematica causata dal "climatic change". In tal senso lo studio dei trend presenti e la previsione degli scenari a medio e lungo termine, può aiutare nella scelta delle strategie turistiche da seguire. Occorre però sottolineare che, per arrivare ad avere risultati ottimali nella determinazione dei suddetti indici, nel loro perfezionamento e dunque in una precisa quantificazione delle possibilità concesse al territorio dal clima, è necessario un monitoraggio sempre più fitto ed efficiente delle condizioni microclimatiche che caratterizzano le aree turistiche, mediante la sovrapposizione di rilevamenti manuali effettuati da personale altamente specializzato ed osservazioni meteoclimatiche dedotte da una rete strategica di stazioni automatiche (attualmente insufficiente anche per studi di climatologia e meteorologia statistica) situate nel cuore delle aree a più forte impatto turistico.

Bibliografia

- BARBIER B., BEVILACQUA E., BILLET J., HERBIN J., JULG F., GRAF P., GOSAR A. (1994) - Alpin tourism. 25° congrès international de Géographie. Paris, 1, VI, pp. 51-168.
- A. BIANCOTTI, M. FAZZINI & S. FRATIANNI (2004) - « Recherche des tendances saisonnières des jours « skiabiles » dans les Alpes Italiennes » - in « Climat memoire du temps » XVII colloque de l'AIC - Caen, 261-265 + relazione
- BISCIC, DRAMIS F. FAZZINI M. & GADDO M. (2000) : "Definition of geographical parameters describing the spatial distribution of temperature and rainfall in three sectors of the Italian Eastern Alps" - ICAM 2000 - 26th International Conference on the Alpine Meteorology - Innsbruck - 11-15 september 2000
- BISCIC, FAZZINI M., DRAMIS F. LUNARDELLI R., TRENTI G. & GADDO M. (2004) - "Analysis of spatial and temporal distribution of precipitations during the last 80 years in trentino (Italian eastern Alps)" - Meteorologische Zeitschrift - Special Issue of 27° ICAM-MAP 2003, Berlino 13-3, 183-188.
- FAZZINI M., S. FRATIANNI, A. BIANCOTTI, C. BISCIC & R. ZASSO (2003) - "Interaction between climate and tourism: a research on skiability condition in several skiing complexes on piedmontese and dolomitic Alps" 27° ICAM-MAP 2003, Brig - Publ. of MeteoSwiss n°66; 354-358
- FAZZINI M. & GADDO M (2003): - "La neve in Trentino: analisi statistica del fe-

nomeno nell'ultimo ventennio" in "Neve e Valanghe", 48 AINEVA - 28-35

- M. FAZZINI, S. FRATIANNI & M. GADDO (2003) - « Nivometrie dans le territoire du Trentino et ses implications touristiques dans « Les relations climat-homme-climat » - XVI colloque de l'AIC - Varsovie 2003 - Dokumentacja geograficzna n°29, 117-121
- FAZZINI M., S. FRATIANNI, A. BIANCOTTI, & BILLI P. (2004) - "Interaction between climate and tourism: a research on skiability condition in several skiing complexes on piedmontese and dolomitic Alps" Meteorologische Zeitschrift - Special Issue of 27° ICAM-MAP 2003, Berlino 13-3, 134-139
- M. FAZZINI, G. FRUSTACI E A. GIUFFRIDA (2005) - "Snowfall analysis over peninsular Italy in relationship to the different types of synoptic circulation: first results Croatian Meteorological Journal - The 28th conference on Alpine Meteorology (ICAM-MAP), 650-653
- S. FRATIANNI (2004) - Le risorse climatiche dell'Italia del nord ovest. Studio finalizzato alla fruizione turistica. Tesi di Dottorato inedita - XVI° ciclo - Università di Torino, 230 pp.
- GUMUCHIAN H. (1986) - La neige dans les Alpes françaises du Nord. Editions des Cahiers de l'Alpe, Grenoble, pp. 102-124.
- MAURO VALT, ANSELMO CAGNATI, ANDREA CREPAZ E GIANNI MARIGO (2005) - "L'andamento delle precipitazioni nevose sul versante meridionale delle Alpi - Neve e Valanghe, 56, AINEVA, 17-26.



INNEVAMENTO ARTIFICIALE

Mario Passeri
W.L.P. S.r.l.
passeri@wlpdust.com

La scarsità delle precipitazioni nevose, la loro incostanza, la necessità di garantire un numero elevato di giornate utili alla pratica dello sci ha imposto agli esercenti funiviari di dotarsi di impianti di innevamento sempre più efficienti, sofisticati e produttivi. A fronte di queste richieste, le aziende costruttrici hanno dato vita ad una "gara" ingegneristica che ha fatto fare alla tecnologia dell'innervamento un grande balzo in avanti rispetto agli esordi, rivolgendosi non solo ai cannoni da neve, ma anche alle diverse

infrastrutture che compongono un impianto di innevamento al fine di migliorare l'efficienza intrinseca di ogni elemento per ottimizzare tutto il sistema. Un impianto di innevamento è composto quindi non esclusivamente dai cannoni per la produzione della neve, ma anche dai pozzetti per i punti di presa di acqua e corrente dislocati in pista, dalle stazioni di pompaggio e o d'aria compressa, dei punti di prelievo idrico, dalle stazioni meteorologiche, sistemi di telecontrollo e gestione dati.

CANNONE DA NEVE

I cannoni da neve, hanno il compito di riprodurre il fenomeno della formazione del cristallo di neve. Si ha quindi la necessità di creare un supporto fisico, necessario alla formazione del cristallo stesso. (un seme, su cui poi "attaccare" le gocce per la formazione dei rami tipici del cristallo di neve.)

Siamo quindi andati ad enunciare i due processi fondamentali

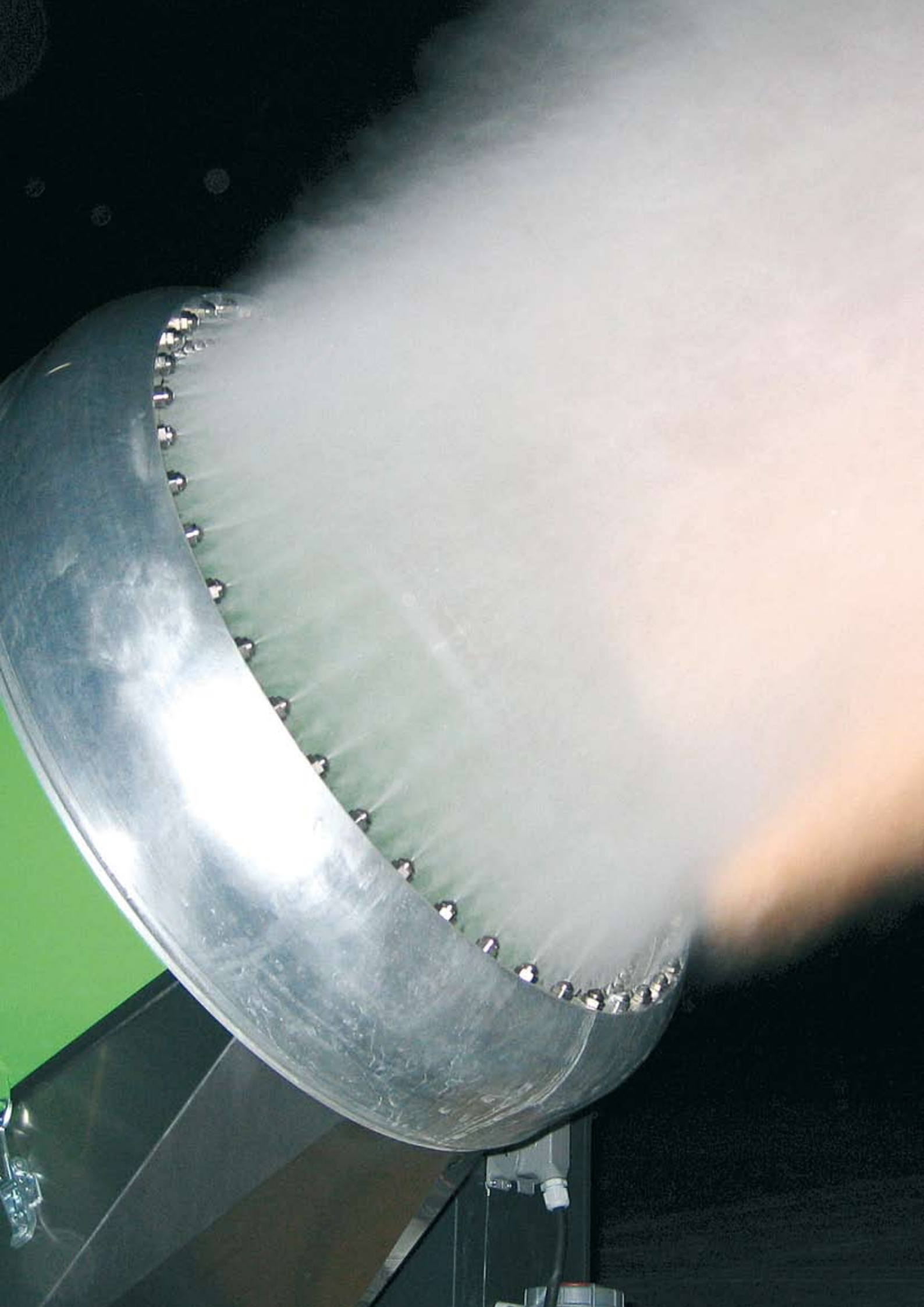
sui cui si fonda la tecnologia dell'innervamento tecnico:

- la nucleazione
- la nebulizzazione

La nucleazione

Il fenomeno di nucleazione permette la formazione dei nuclei che sono la base, il supporto fisico per la formazione dei cristalli di neve sia naturali sia artificiali. In natura la formazione dei nuclei avviene anche in aria attraverso il fenomeno di supersaturazione

dell'aria con vapore acqueo, ovvero le goccioline di vapore acqueo si condensano su dei nuclei di sale, terra, polvere sospesi ed hanno una dimensione che si aggira intorno a 1 μm . Questi sono i nuclei di condensazione. Se la temperatura è inferiore agli 0°C è possibile la formazione di nuclei di congelamento che hanno mediamente una dimensione che si aggira intorno ai 20 μm . I nuclei di congelamento sono presenti in



Cannoni a ventola con dettaglio sugli ugelli (sotto).



natura e sono costituiti da particelle di varia natura, sia minerali, sia organiche. Essi favoriscono il processo di formazione dei cristalli di ghiaccio nelle nubi. Al diminuire della temperatura quindi aumenta il numero di nuclei di congelamento utili alla formazione dei cristalli di neve naturale. Formatosi il cristallo di ghiaccio le goccioline surraffreddate vicine si "attaccano" al nucleo di ghiaccio e accrescono la forma del cristallo. Il fenomeno di sopraffusione, è quello stato fisico assai instabile in cui goc-

ce di acqua si trovano allo stato liquido pur avendo temperature inferiori allo zero. Tali gocce d'acqua, cambiano di stato, passano da liquido a solido, non appena entrano in contatto tra di loro o con altri corpi. Il precipitare del cristallo in atmosfera permette l'entrata in collisione con altre gocce raffreddate. Questa collisione può avvenire sia con altre gocce di vapore acqueo, e quindi si ha la crescita del cristallo stesso, oppure con altri cristalli, per formare i fiocchi di neve.

Nel cannone da neve la corona di nucleazione permette appunto la formazione di nuclei di congelamento o germe di ghiaccio. La corona di nucleazione è generalmente composta da degli ugelli bifase acqua/aria compressa. L'aria compressa che generalmente ha una pressione di circa 5-8 bar ha il compito di diminuire il diametro delle gocce alla fuoriuscita dell'ugello di nucleazione. Il processo è quindi sostanzialmente di tipo adiabatico e la velocità di uscita ed espansione del fluido acqua/aria compressa permette un brusco abbassamento della temperatura. Le gocce che hanno un diametro intorno ai 35 μm si congelano istantaneamente dando

vita appunto ai germi di ghiaccio. La temperatura dell'aria è quindi fondamentale non tanto nei primi 2-3 centimetri dall'ugello ma nei successivi metri di volo per mantenere il germe di ghiaccio in fase solida pronto per essere ingrandito dalle gocce d'acqua fornite dalle altre corone di nebulizzazione presenti sul cannone da neve.

La nebulizzazione

La nebulizzazione delle gocce d'acqua è attuata grazie alle corone presenti alle spalle della corona di nucleazione. L'acqua in pressione (range che varia generalmente dagli 8 ai 35 bar), passa attraverso degli ugelli monofase (solo acqua senza aria) e viene ridotta in gocce del diametro che si aggira intorno ai 150 μm . Le gocce collidendo con i nuclei di condensazione danno vita al fiocco di neve artificiale.

Il generatore da neve è quindi descrivibile come un macchinario che ha il compito di nucleare e nebulizzare acqua al fine di formare cristalli di neve.

La tecnologia applicata a questo tipo di macchine ha dato vita sostanzialmente a due tipi di generatori:

- quelli di tipo a ventola;
- quelli di tipo ad asta.

Fino a qualche tempo fa i generatori venivano suddivisi in alta e bassa pressione a seconda delle pressioni necessarie per il loro funzionamento. Lo sviluppo tecnologico nel campo dell'innervamento ha permesso di ottimizzare i generatori di neve per offrire alla clientela impianti misti, ovvero impianti dove possono trovare posto contemporaneamente sia generatori a ventola sia generatori ad asta.

CANNONI A VENTOLA

I cannoni a ventola sono macchine costituite da un tubo che alloggia una ventola, da delle co-

rone che hanno il compito come sopra enunciato di nucleare e nebulizzare l'acqua, un compressore per l'aria compressa, un collettore di distribuzione acqua/aria che normalmente alloggia anche un filtro ed un quadro elettrico.

La ventola crea un flusso d'aria (mediamente con portate che vanno dagli 8 ai 15 mc/s a 25 °C e pressioni dai 500 agli 800 Pa) che ha il compito di allontanare l'acqua dalle corone e permettere così la formazione del cristallo di neve.

Il compressore normalmente di tipo a pistoncini ha una portata che va mediamente fino ai 450 l/min. a 7 bar.

Il collettore ha il compito di distribuire l'acqua alle varie corone. Normalmente nel collettore è presente un filtro dell'acqua così come le valvole manuali o servo comandate per la distribuzione dell'acqua.

Il quadro elettrico ha il compito di comandare l'accensione e lo spegnimento della ventola, del compressore, l'apertura o la chiusura delle valvole così come l'accensione e lo spegnimento dei riscaldamenti.

CANNONI AD ASTA

I cannoni ad asta sono generalmente costituiti da un tubo alto una decina di metri alla cui sommità è posta una testa dove si trovano alloggiati gli ugelli di nucleazione e di nebulizzazione.

Il collettore di distribuzione viene alloggiato alla base dell'asta, così come il compressore. In realtà il sistema ad asta richiede una portata di aria generalmente più elevata di un generatore a ventola. Si preferisce quindi per impianti costituiti prevalentemente ad asta di avere un compressore centralizzato e di una rete di distribuzione aria compressa.

Il cannone ad asta, se da una parte ha il pregio di essere una macchina essenzialmente più semplice e più economica di un generatore a ventola, ha il difetto a parità di temperatura umida di produrre neve in quantità e qualità inferiore rispetto ad un cannone a ventola.

LA TEMPERATURA UMIDA

La temperatura umida o meglio la temperatura di bulbo umido è il parametro fondamentale per la formazione della neve programmata

La temperatura di bulbo umido è il valore che si ottiene mettendo in relazione la temperatura misurata con il termometro a secco con l'umidità relativa dell'aria. Con il 100% di UR la temperatura di bulbo umido è uguale alla temperatura a bulbo secco. Al diminuire dell'UR, a parità di temperatura di bulbo secco, diminuisce anche la temperatura di bulbo umido. Quindi con basse TBU abbiamo una maggiore efficienza nel produrre neve programmata.

Se la TBU è superiore agli 0°C non si possono ottenere dei germi di ghiaccio e quindi parimenti non è possibile ottenere neve programmata. Ci possono essere delle situazioni in cui la temperatura dell'aria è sopra gli 0°C ma l'umidità è molto bassa. Si hanno quindi TBU inferiori agli 0°C e quindi è possibile ottenere della neve programmata.

LA QUALITÀ DELLA NEVE PROGRAMMATATA

Lo sviluppo della tecnologia applicata all'innevamento programmato ha permesso il sensibile miglioramento delle caratteristiche dei "cristalli" di neve formato dai cannoni.

Il cristallo di neve programmata è di forma pallottolare e nel sistema ICSI è quello indicato con un pallino pieno, grano arrotondato monocristallo, e secondo il sistema Magono e Lee può variare dal R4a, R4b, R4c, anche se in realtà non esiste finora una vera classificazione di tali cristalli. Agli addetti al settore interessano diversi fattori nivometeorologici

Le due tipologie: cannone a ventola e cannone ad asta (Livigno inverno 2006).





relativi alla neve programmata, quali la densità della neve, il grado di umidità e la possibilità di produzione a temperature marginali.

Per temperature marginali, si intendono le temperature che vanno dai -1 °C ai -3 °C TBU, ovvero quelle temperature in cui i generatori di neve lavorano alla temperatura più alta possibile.

La densità della neve artificiale si aggira mediamente intorno ai 400 450 Kg/m³. I generatori di neve hanno la possibilità, a parità di temperatura, di poter variare la densità della neve, agendo sul numero di corone impegnate per la produzione e o sulla pressione dell'acqua all'interno delle corone stesse. La possibilità di variare la densità della neve è di fondamentale importanza in quanto l'operatore può scegliere il tipo di neve da produrre in base alle esigenze del momento. È naturale che

all'inizio della stagione sia necessario produrre della neve ad alta densità per la preparazione del fondo che sarà la base per le successive nevicate, naturali o programmate. Per facilitare poi la scorrevolezza dei gli sci sarà necessario produrre della neve molto più "asciutta" ovvero con densità minori. Una minore densità permette anche una più facile lavorazione da parte del gatto delle nevi in quanto aumenta la scorrevolezza della neve. Tale scorrevolezza permette quindi una più facile lavorazione per mezzo della lama e della fresa in quanto si evita l'intasamento degli organi meccanici.

I cannoni di ultima generazione hanno permesso inoltre di ottenere cristalli ben formati ovvero senza acqua ancora non cristallizzata. Fino a qualche tempo fa non era raro trovare in pista delle lastre di ghiaccio causate dall'innevamento artificiale. Succedeva infatti che la forma sferica tipica dei "cristalli" di neve programmata racchiudesse al suo interno dell'acqua che non passava in fase solida, ma rimaneva allo stato liquido. Il gatto delle nevi, passando per la distribuzione, rompeva il "cristallo" facendo congelare immediatamente l'acqua contenuta al suo interno creando delle lastre di ghiaccio in pista. Proprio per questo motivo, dopo la produzione di neve programmata, si lasciavano stagionare i mucchi per qualche giorno proprio per permettere la completa formazione dei cristalli e per far evaporare l'acqua in eccesso. Il fenomeno è ancora presente sui generatori anche di ultima generazione ed è praticamente nullo sui cannoni che hanno un elevato numero di ugelli. Un elevato numero di ugelli permette anche, a parità di portata, di creare delle gocce più piccole che usano meno energia

per formare il cristallo di neve. Spesso la buona qualità della neve artificiale si riesce a capire a fine stagione. Macrocristalli di neve sono molto meno omogenei in fase di metamorfismo e quindi, all'aumentare delle temperature o all'aumentare dell'escursione termica tra il giorno e la notte, le piste risultano meno scorrevoli e più difficili da sciare. Un cristallo più piccolo permette invece migliori caratteristiche meccaniche del manto nevoso al suolo.

SISTEMI DI CONTROLLO

I generatori di neve dell'ultima generazione sono dotati di sistemi di automazione che permettono una gestione totale delle macchine. Tipicamente un sistema di gestione automatico è costituito da sensori meteorologici (umidità e temperatura), valvole motorizzate, un PLC per l'acquisizione, l'elaborazione dei dati e la conseguente gestione dei comandi del generatore di neve.

Al PLC è associato anche un modulo di trasmissione e ricezione dei dati ad un Personal Computer per avere sotto controllo tutte le fasi dell'innevamento.

LE INFRASTRUTTURE LEGATE ALL'IMPIANTO DI INNEVAMENTO

La progettazione di un efficiente impianto di innevamento passa oltre che per la scelta dei cannoni e della loro tipologia anche per efficienti stazioni di pompaggio, linee di distribuzione, pozzetti di allacciamento.

Le stazioni di pompaggio che caratterizzano un impianto di innevamento devono fornire a tutta la rete idraulica l'acqua con pressione e portata sufficiente per sfruttare tutte le potenzialità del cannone da neve al fine di minimizzare i tempi di intervento

e quindi rendere i più bassi possibili i costi di esercizio.

La possibilità di utilizzare variatori di frequenza (inverter), ovvero grazie alla possibilità di variare portata e pressione, e grazie all'utilizzo di software sempre più potenti implementati nei PLC di controllo, si ha la possibilità di ottenere il massimo range di utilizzo da parte delle pompe, con impianti estremamente flessibili con indubbio risparmio energetico. Le stazioni di pompaggio sono costituite a secondo delle necessità da una o più pompe e da tutti quegli organi e strumenti che ne permettono un controllo ed una facile manutenzione. Estrema rilevanza viene data anche alla temperatura dell'acqua che viene pompata in quanto una temperatura bassa dell'acqua ne permette una sua più facile trasformazione in neve. Una regola empirica dice che se la temperatura dell'acqua sommata alla temperatura di bulbo umido è inferiore agli 0°C sicuramente si ha la trasformazione dell'acqua in neve. Proprio per questo motivo se la temperatura dell'acqua non è sufficientemente bassa vengono introdotte delle torri di raffreddamento.

Oltre alla stazioni di pompaggio ci sono i punti di presa e di accumulo acqua che a seconda delle esigenze possono essere sia bacino a cielo aperto sia in vasca di accumulo sotterraneo.

Lungo la linea ci sono poi dei pozzetti di distribuzione. Al loro interno trovano spazio sia gli idranti per il collegamento idrico sia le prese di corrente per l'alimentazione. I costruttori più attenti prevedono spesso anche un punto di alimentazione elettrica a 220 Volts, un'illuminazione ed un riscaldamento.

Sostanzialmente però un impianto di innevamento è come un abito su misura che un abile sarto



deve cucire e modellare attorno al corpo del proprio cliente.

Quindi, per la progettazione di un impianto, si parte dal calcolo della superficie da innevare. Si ottiene così il volume di neve necessario e di conseguenza il volume di acqua. Mediamente da un metro cubo di acqua si ottengono 2,4 metri cubi di neve. Si ha quindi che per innevare 1 m^2 di terreno con spessore di 50 cm si usano poco più di 200 litri d'acqua e si ha una densità di circa 450 Kg/mc .

Ottenuto quindi il volume di acqua si deve prendere in considerazione il numero di ore richieste per l'innevamento. Il volume di acqua diviso il numero di ore fornisce la portata di acqua oraria della stazione di pompaggio. Da qui partono quindi una serie di congetture e di ipotesi per il corretto dimensionamento dell'impianto, ovvero il numero di cannoni, la grandezza del bacino, la quantità di acqua a disposizione, il dimensionamento delle eventuali cabine elettriche di trasformazione, così come le priorità di innevamento.



Il corretto dimensionamento implica quindi una serie di esperienze, non solo rivolte al puro calcolo matematico, ma come in tutti i buoni progetti rivolte al buon senso, al fine di ottenere un impianto bene equilibrato dal punto di vista economico, con un forte sguardo volto a minimizzare l'impatto ambientale.

In alto - Bormio, innevamento della pista Stelvio per la discesa libera di Coppa del Mondo di sci alpino 2005-06.

Sotto - Bacino di raccolta a cui sono collegate le stazioni di pompaggio.

SUOLI PIÙ FREDDI IN UN MONDO PIÙ CALDO

**Il ruolo della neve nel condizionare la
temperatura e la vita del suolo**

**Michele Freppaz,
Marco Marchelli,
Davide Viglietti,
Enrico Bruno,
Ermanno Zanini**

Università degli Studi di Torino
Di.Va.P.R.A.
Laboratorio Neve e Suoli Alpini
Gressoney la Trinité (AO)

Nelle regioni alpine il riposo vegetativo, le basse temperature e la diffusa copertura nevosa suggeriscono che l'attività biologica del suolo sia concentrata soltanto durante la stagione estiva. In realtà, i suoli ricoperti da un consistente manto nevoso sono isolati dalla rigida temperatura dell'aria e possono non gelare nel corso dell'inverno. L'innalzamento del limite delle nevicate e la riduzione della permanenza della neve al suolo in seguito al riscaldamento globale può però determinare una riduzione dell'effetto isolante del manto nevoso, esponendo i suoli del piano montano (1100-1400 m s.l.m.) a temperature più basse e ad una maggiore frequenza di cicli gelo/disgelo che potrebbero alterare la dinamica della sostanza organica e la disponibilità di nutrienti nel suolo, con potenziali effetti sulle specie vegetali ed animali.



INTRODUZIONE

Stagioni invernali avarie di neve non hanno effetti soltanto sull'industria dello sci ma anche sulle caratteristiche dei suoli e della vegetazione in ambiente alpino (Beniston M., 2003). In particolare, gli ecosistemi alpini situati a quote comprese fra i 1100 e 1400 m s.l.m. sono particolarmente vulnerabili, in quanto sempre

Fig. 1 più spesso risultano interessati

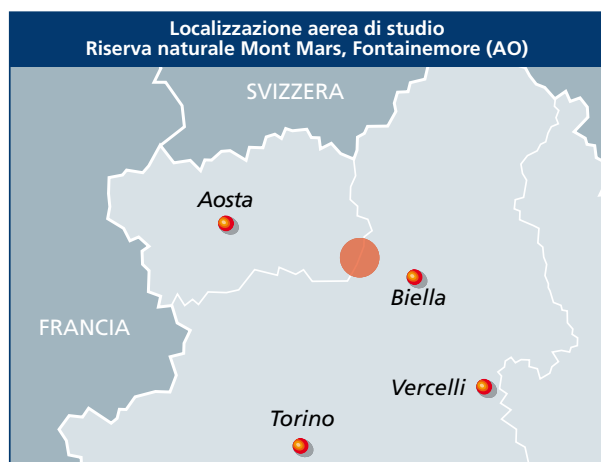


Fig. 2 - Visione estiva dell'area di studio.

Fig. 3 - Visione invernale dell'area di studio.



da un ridotto accumulo di neve. La mancanza di innevamento a queste quote può essere messa in relazione ad un generale aumento delle temperature negli ultimi decenni, con effetti non soltanto sul limite delle nevicate, ma anche sulla durata della permanenza di neve al suolo (IPCC, 1995).

Un manto nevoso di ridotto spessore determina uno scarso isolamento del suolo dalle temperature esterne nel corso dell'inverno. E' infatti noto come un manto nevoso di sufficiente spessore (almeno 30-60 cm) accumulatosi ad inizio inverno sia in grado di isolare il suolo dall'ambiente circostante, mantenendone la temperatura prossima agli 0°C per l'intera stagione invernale. Al contrario, la mancanza di neve può determinare il congelamento del suolo ed una maggiore frequenza dei cicli gelo/disgelo, con potenziali effetti sulla qualità del suolo, della vegetazione e dei corpi idrici. L'alternanza di gelo e disgelo può infatti alterare l'attività dei microrganismi del suolo così come la vitalità degli apparati radicali.

Lo slogan Suoli più freddi in un mondo più caldo (Colder soils in a warmer world), coniato dai ricercatori che da tempo si occupano di questi fenomeni

(e.g. Groffman et al., 2001), ben sintetizza questi aspetti, sottolineando il possibile contrasto fra l'incremento delle temperature dell'aria ed il raffreddamento dei suoli in seguito alla mancanza della copertura nevosa. Alcune prove sperimentali condotte negli ultimi anni negli Stati Uniti, in Svizzera ed in Italia hanno permesso di approfondire tali fenomeni, contribuendo a sottolineare il ruolo svolto dalla neve quale fattore ecologico in grado di condizionare fortemente la dinamica degli ecosistemi alpini, in particolare le caratteristiche dei suoli e della vegetazione.

LA PROVA SPERIMENTALE

Nel corso dell'inverno 2003-2004 a Fontainemore (AO), nei pressi della Riserva Naturale Mont Mars, sono stati predisposti due campi sperimentali ad una quota di 1450 m s.l.m. (Fig. 1).

Un campo sperimentale è stato delimitato in un prato-pascolo, mentre un secondo campo sperimentale è stato ricavato all'interno di un popolamento di Larice (Fig. 2 e 3). In ciascun campo sperimentale una parcella, di superficie pari a 25 m², è stata mantenuta sgombra di neve, mentre una seconda parcella, di dimensioni analoghe, è stata mantenuta indisturbata. La spazzatura delle parcelle sperimentali è avvenuta con regolarità in occasione di ogni precipitazione nevosa.

Prima della stagione invernale, appositi data loggers, strumenti in grado di registrare la temperatura del suolo con frequenza oraria, sono stati collocati nel suolo a 10 cm di profondità. Accanto ai data loggers sono stati posizionati dei sacchetti in polietilene contenenti una porzione di suolo della parcella, che è stato analizzato prima e dopo la stagione

invernale, in modo da verificare l'effetto della mancanza di neve sulla dinamica degli elementi nutritivi del suolo.

Una stazione meteorologica automatica, localizzata nei pressi dell'area di studio, ha permesso la registrazione di parametri meteorologici, quali la temperatura dell'aria, l'umidità e le precipitazioni.

I rilievi del manto nevoso sono stati eseguiti secondo la metodologia classica (Cagnati, 2003) misurando i seguenti parametri: spessore dello strato, forma e dimensione dei grani, durezza della neve, densità, temperatura della neve e stimando il contenuto in acqua liquida.

Per ogni profilo del manto nevoso sono state fatte misure di pH, conducibilità elettrica e delle principali specie inorganiche in corrispondenza di ogni singolo strato rilevato. Si sono inoltre determinate le specie organiche di azoto che, in particolare al di sotto della copertura forestale, possono fortemente influenzare le proprietà chimiche del manto nevoso.

LA TEMPERATURA DEL SUOLO

Numerosi studi hanno evidenziato che il manto nevoso stagionale limita il congelamento del suolo a seguito della sua azione isolante. In particolare un manto nevoso di sufficiente spessore (30-60 cm), accumulatosi presto nella stagione invernale è in grado di impedire il congelamento del suolo, indipendentemente dalla temperatura dell'aria (Brooks et al., 1995; Brooks e Williams, 1999; Shanley e Chalmers, 1999). La temperatura del suolo è fortemente condizionata non solo dallo spessore del manto nevoso e dai giorni di presenza di neve al suolo, ma anche dalla densità della stessa (Freppaz et al., 2001;

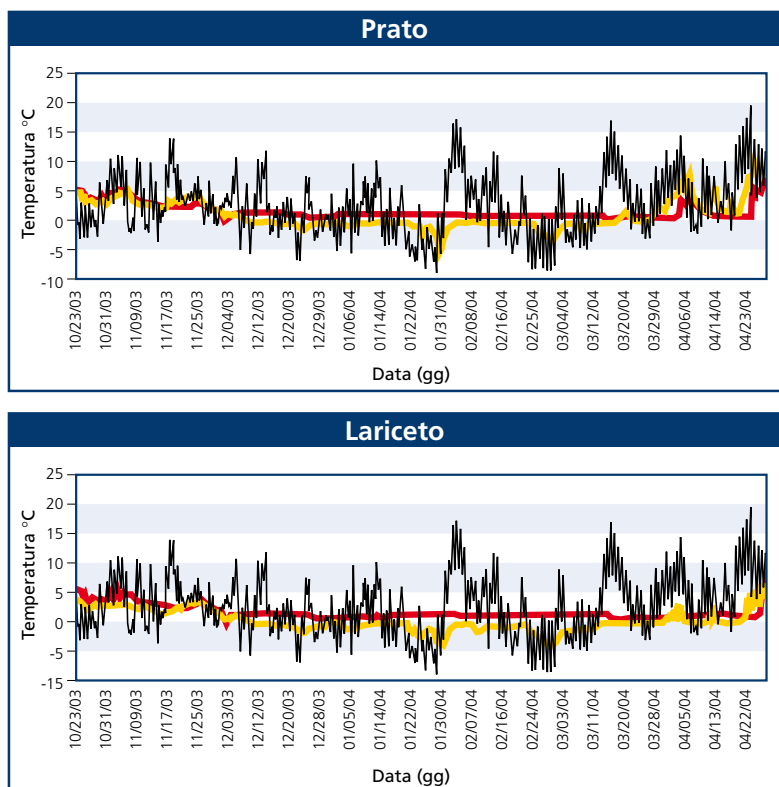


Fig. 4 - Andamento della temperatura dell'aria (linea nera), del suolo indisturbato (linea rossa) e del suolo in cui è stato rimosso il manto nevoso (linea gialla) all'interno del prato.

Fig. 5 - Andamento della temperatura dell'aria (linea nera), del suolo indisturbato (linea rossa) e del suolo in cui è stato rimosso il manto nevoso (linea gialla) all'interno del lariceto.



Piccini e Freppaz, 2004). La conducibilità termica del manto nevoso, pari a $0.05 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ per neve fresca a bassa densità, aumenta infatti al crescere della densità, fino a raggiungere valori di $0.6 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, con una conseguente significativa riduzione della sua azione isolante (Sturm et al., 1997). L'azione di riscaldamento degli strati basali del manto nevoso deriva dall'elevato potere isolante della copertura nevosa, in grado di rallentare

il flusso di calore proveniente dal suolo. Il controllo della variabilità spaziale e temporale della relazione fra profondità del manto nevoso e temperatura del suolo è però molto complesso e dipende da diversi fattori quali la copertura vegetale, la posizione topografica e le caratteristiche del suolo.

La sperimentazione condotta ha evidenziato l'efficacia protettiva del manto nevoso in entrambi gli ecosistemi. I valori di temperatura del suolo dove la neve è stata mantenuta indisturbata si sono mantenuti pressoché costanti per la maggior parte del periodo di acquisizione dei data-logger e prossimi agli 0°C , nonostante le evidenti oscillazioni di temperatura dell'aria. Nei periodi caratterizzati dall'assenza di copertura nevosa, invece, l'andamento termico del suolo ha seguito significativamente le variazioni di temperatura dell'aria libera, con andamenti della temperatura simili alla parcella prive di neve (Fig. 4,5). In particolare, nel periodo tardo autunnale il ridotto spessore di neve accumulato (circa 13 cm) non è risultato sufficiente ad isolare il suolo e l'andamento termico di entrambe le super-

fici ha seguito quello dell'aria. L'innalzamento di temperatura registrato nel corso delle due settimane centrali di novembre non ha modificato l'andamento termico delle parcella indisturbate, ricoperte da 40 cm di neve, mentre nelle parcella spalate la temperatura del suolo ha subito un significativo incremento.

Nel periodo tardo-autunnale, quindi, la neve ha avuto un "effetto raffreddante", poiché ha impedito alle radiazioni solari di raggiungere il suolo. All'inizio di novembre il verificarsi di precipitazioni in forma liquida ha determinato la totale fusione della neve nelle parcella indisturbate, che quindi hanno anch'esse iniziato nuovamente a riscaldarsi. Il successivo accumulo di circa 35 cm di neve ha isolato efficacemente il suolo sotto il manto nevoso indisturbato, la cui temperatura è rimasta pressoché costante e prossima agli 0°C fino ai primi di marzo, anche in relazione all'ulteriore accumulo di manto nevoso. La temperatura del suolo al di sotto della parcella priva di manto nevoso è iniziata invece a diminuire in relazione alla progressiva diminuzione della temperatura dell'aria, con un minimo di -6.0°C . Nel mese

Fig. 6 - Effetto dell'assenza di manto nevoso sulla ripresa vegetativa e l'attività dei micromammiferi nel prato:
a) prato spalato;
b) prato indisturbato.



di gennaio la brusca diminuzione di temperatura dell'aria, con picchi di -8.6°C , ha provocato un abbassamento altrettanto violento della temperatura del suolo spalato, che il 31 gennaio ha raggiunto i -4.5°C . Nella prima parte di febbraio un anomalo innalzamento della temperatura dell'aria ha determinato un significativo incremento della temperatura del suolo nelle parcelle spalate, mentre nel sito indisturbato la temperatura ha continuato a mantenersi costante e prossima agli 0°C . Il successivo abbassamento delle temperature dell'aria ha determinato una nuova significativa diminuzione della temperatura del suolo spalato, che ha raggiunto il minimo assoluto pari a -4.8°C il primo marzo, in corrispondenza di temperature minime dell'aria anche di -8°C .

Nel corso del mese di marzo, il graduale incremento delle temperature dell'aria, ha determinato un significativo incremento della temperatura del suolo spalato che nell'ultima parte del mese ha superato anche quella del sito indisturbato. Anche in questo caso, come nel tardo autunno, il manto nevoso ha svolto in realtà un'azione raffreddante. Negli ultimi giorni di aprile, a seguito della fusione totale del manto nevoso, causato dalla pioggia, si è registrato un evidente innalzamento della temperatura del suolo su entrambi i siti, con valori massimi di 6.2°C il 27 aprile.

Complessivamente la temperatura media del suolo dove la neve è stata rimossa (t media larice = -0.12°C ; t media prato = 0.96°C) è risultata significativamente inferiore rispetto alla parcella sperimentale dove il manto nevoso è stato mantenuto indisturbato (t media larice = 1.33°C ; t media prato = 1.51°C), con differenze di 1.4°C nel lariceto e di 0.5°C nel



Fig. 7 - Profilo del manto nevoso realizzato il 23 Febbraio 2004 in cui è visibile il deposito sahariano.

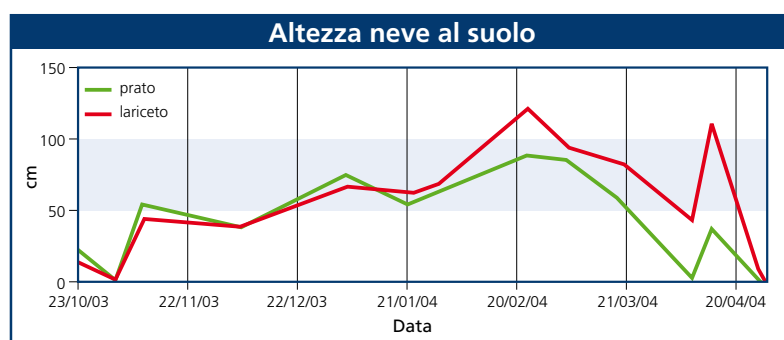


Fig. 8 - Andamento dell'altezza del manto nevoso nelle parcelle sperimentali a diverso uso del suolo.

prato. Tali differenze sono più accentuate se si considerano i mesi di dicembre, gennaio e febbraio, con valori rispettivamente pari a 1.4°C nel prato e 1.9°C nel lariceto.

L'assenza di manto nevoso ha determinato un incremento della mineralizzazione dell'azoto nel suolo, in particolare sotto il prato, con un significativo incremento della concentrazione di azoto nitrico, potenzialmente lisciviabile nel corso del disgelo primaverile (Freppaz et al., 2006). La maggiore frequenza dei cicli gelo/disgelo e le temperature più basse nelle parcelle mantenute senza neve hanno inoltre determinato una significativa riduzione dell'attività biologica nel suolo ed un ritardo nella ripresa vegetativa (Fig. 6a, 6b).

LA NEVE

L'esecuzione delle prove sperimentali ha permesso anche il costante monitoraggio dei manti

nevosi indisturbati sul prato ed al di sotto della copertura forestale.

Un evento particolare si è verificato nelle prime ore del mattino del 21 Febbraio 2004, con l'ingente caduta di "neve sahariana". Non si tratta di un fenomeno raro, ma affinché esso si verifichi devono sussistere due condizioni meteorologiche indispensabili per la mobilitazione e il trasporto delle polveri. La prima è una condizione al suolo, che consiste nell'attraversamento dell'entroterra africano da parte di un fronte freddo, generatore di instabilità; la seconda è una condizione in quota, che consiste nell'instaurarsi di un idoneo regime di circolazione atto a convogliare la massa d'aria arricchita di polveri verso l'arco alpino (Delmonte, 1999). Tale neve sahariana è stata ben individuata nelle analisi stratigrafiche realizzate dopo l'evento (Fig. 7). Il confronto dei dati di altezza di

neve al suolo registrati all'interno del lariceto con quelli rilevati fuori dalla copertura arborea evidenzia che, durante il periodo

tardo-autunnale, gli accumuli di neve sono inferiori nelle aree boschive, a seguito dell'intercettazione di neve da parte della chioma degli alberi. Nel periodo primaverile, invece, a causa di un minor irraggiamento solare al suolo, l'altezza del manto nevoso è solitamente superiore sotto la copertura arborea (Fig. 8). La massa volumica media del manto nevoso è risultata superiore nel lariceto rispetto al prato, con valori rispettivamente pari a 210 kgm^{-3} e 182 kgm^{-3} . La presenza della copertura arborea ha inoltre esercitato un effetto mitigatore nei confronti della temperatura dell'aria libera e conseguentemente si sono registrati gradienti termici verticali del manto nevoso più bassi di quelli registrati nell'area non boscata, e quindi ne è derivata una minore espressione di metamorfismi costruttivi (Fig. 9–10).

Le analisi stratigrafiche hanno inoltre permesso di evidenziare, nel tardo inverno, un incremento della resistenza alla penetrazione, determinata con il "test della mano", in corrispondenza di deposizioni di lettiera all'interno del manto nevoso campionato sotto il lariceto (Fig. 11). Si ipotizza che ciò sia dovuto al fatto che il flusso discendente dell'acqua di fusione è significativamente ostacolato dagli strati di lettiera, dove quindi si originano strati di neve particolarmente duri legati a successivi fenomeni di rigelo. Per quanto concerne i risultati dell'analisi chimica dei manti nevosi, i valori di pH sono risultati compresi tra 4.64 e 6.92, valori comparabili ai valori medi che caratterizzano l'arco alpino e compresi tra 4.4 e 5.3 (Puxbaum, 1991). I valori maggiori sono stati osservati nello strato di deposito sahariano, e pari a 6.81 (nel lariceto) e 6.92 (nel prato), valori tipici delle deposizioni sahariane

in relazione alla loro composizione mineralogica (Wagenbach e Geis, 1993). Per quanto riguarda la conducibilità elettrica, sono stati misurati valori compresi tra 3.02 e $33.3 \mu\text{S/cm}$, paragonabili a quelli riportati da Jones e Devarennes (1995) in nevi canadesi, a circa 800 m s.l.m. ma leggermente superiori a quelli misurati da Hiltbrunner et al. (2005) nelle Alpi Svizzere. I massimi sono stati osservati nello strato di lettiera inglobato all'interno del manto nevoso accumulato sotto il lariceto. Tale fenomeno può essere attribuito al verificarsi di processi di mineralizzazione degli aghi "intrappolati" all'interno del manto nevoso. In corrispondenza di tali strati sono state osservate anche le concentrazioni maggiori di azoto organico disciolto (DON), il quale può rivestire una notevole importanza nella nutrizione vegetale nel corso del disgelo primaverile. Complessivamente la neve sotto copertura forestale ha evidenziato un pH maggiormente acido, come riportato da altri autori (e.g. Jones e Deblois, 1987) ed una conducibilità elettrica significativamente superiore.

CONCLUSIONI

L'assenza di manto nevoso ha determinato una significativa riduzione della temperatura del suolo in entrambi gli ecosistemi, in particolare nei mesi invernali più freddi. Nel tardo autunno e ad inizio primavera la neve ha invece svolto un'azione "raffreddante", impedendo ai raggi solari di raggiungere la superficie del suolo. Complessivamente la maggiore presenza di cicli gelo/disgelo e le temperature medie più basse nel corso dell'inverno hanno determinato un notevole ritardo nella ripresa vegetativa, con significativi effetti sull'attività biologica del suolo e sulla

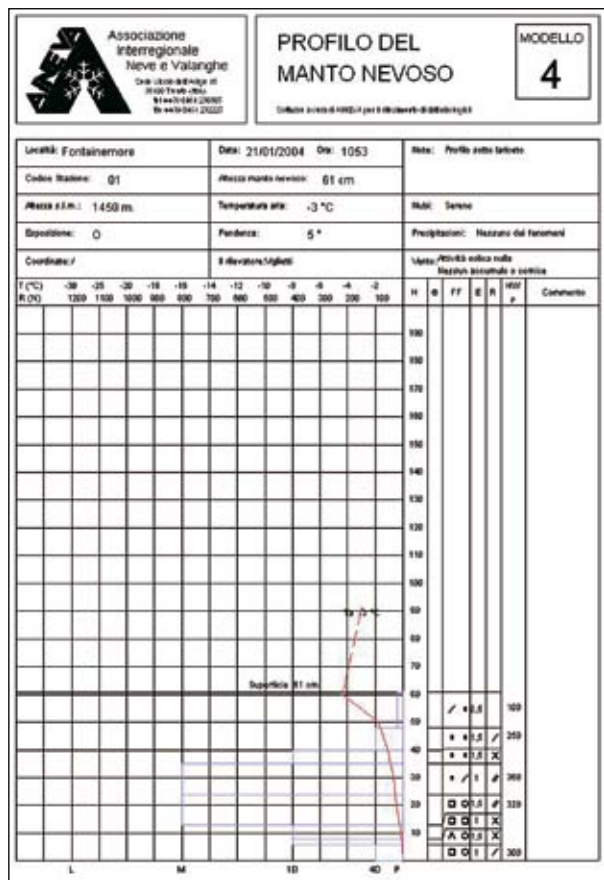
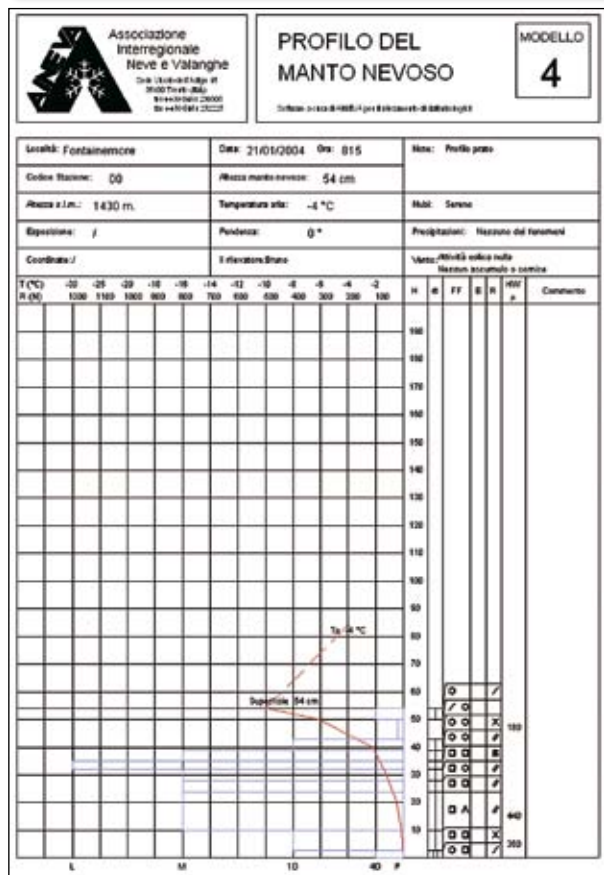


Fig. 9
Fig. 10



dinamica degli elementi nutritivi, in particolare nel suolo sotto il prato. L'analisi dei manti nevosi indisturbati ha permesso inoltre di caratterizzare ed apprezzare la differente evoluzione delle proprietà chimico-fisiche del manto nevoso su prato e sotto copertura forestale, caratterizzata quest'ultimo da una maggiore densità, da una minore presenza di metamorfismi costruttivi e da una maggiore conducibilità elettrica, imputabile a processi di mineralizzazione della sostanza organica depositata all'interno del manto nevoso.

Ringraziamenti

- Regione Autonoma Valle d'Aosta, Assessorato Agricoltura e Risorse Naturali, Servizio Aree Protette.
- Regione Autonoma Valle d'Aosta, Assessorato Territorio, Ambiente e Opere Pubbliche, Direzione Tutela del Territorio - Ufficio Neve e Valanghe.
- Comune di Fontainemore (AO)
- Riserva Naturale Mont Mars.

Bibliografia

- Beniston M., 2003, Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic Change* 59: 5-31.
- Brooks P.D., Williams M.W., Schmidt S.K., 1995, Snowpack controls on nitrogen dynamics in the Colorado alpine. In: Tonnessen K., Williams M., Tranter M. (ed.) *Biogeochemistry of snow-covered catchments*, 283-292. International

Association of Hydrological Sciences Publication 228, Wallingford, UK.

- Brooks P.D., Williams M.W., 1999, Snowpack controls on nitrogen cycling and export in seasonally snow-covered catchments. *Hydr. Proc.*, 13:2177-2190.
- Cagnati A., 2003, Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.
- Delmonte B., 1999, Il sottile contatto tra le Alpi e il deserto. *Neve e Valanghe* 37: 50-55.
- Freppaz M., Scalenghe R. e Zanini E., 2001, Cambiamenti climatici e manto nevoso: influenza sulla dinamica di nutrienti in suoli forestali dell'Italia Nord Occidentale. *Economia Montana, Linea Ecologica*, Anno XXXIII, n.4: 39-43.
- Freppaz M., Williams B.L., Edwards A.C., Scalenghe R., Zanini E., 2006 Simulating soil freeze/thaw cycles typical of winter alpine conditions: implications for N and P availability. *Applied Soil Ecology*, in stampa.
- Groffman P.M., Driscoll C.T., Fahey T.J., Hardy J.P., Fitzugh R.D., Tierney G.L., 2001, Colder soils in a warmer world: a snow manipulation study in a northern hardwood forest ecosystem. *Biogeochemistry* 56: 135-150.
- Hiltbrunner E., Schwikowski M., Körner C., 2005, Inorganic nitrogen storage in alpine snow pack in the Central Alps (Switzerland). *Atmospheric Environment* 39: 2249-2259
- IPCC, 1995. Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change, The IPCC Second Assessment Report. Working Groups I, II and III, Cambridge University Press.
- Jones H.G., Devarennnes G., 1995, The chemistry of artificial snow and mountain flora. In: *Biogeochemistry of seasonally snow-covered catchments*. IAHS Publ. n.228: 355-360.
- Jones H.G., Deblois C., 1987, Chemical dynamics of N-containing ionic species in a boreal forest snowcover during the

spring melt period. *Hydrol. Processes* 1: 271-282.

- Piccini P., Freppaz M., 2004, Evoluzione della copertura nivoglaciale e dei regimi termici sul ghiacciaio di Indren (AO), influenza della attività antropica e rischi ad essa connessa. *Terra glacialis anno VII - n. 7 - 2004*
- Puxbaum H., Kovar A., Kalina M., 1991, Chemical composition and fluxes at elevated sites (700-3105 m a.s.l.) in the eastern Alps (Austria). In *NATO ASI Series G: Ecol. Sci.*, vol. 28, Seasonal Snowpacks, Processes of Compositional Change, T.D. Davies, M. Tranter and H.G. Jones (Eds). Springer-Verlag, Berlin, pp. 273-298.
- Shanley J.B., Chalmers A., 1999, The effect of frozen soil on snowmelt runoff at Sleepers River, Vermont. *Hydrol. Proc.*, 13:1843-1858.
- Sturm M., Holmgren J., König M., Morris K., 1997, The thermal conductivity of seasonal snow. *J. Glaciol.*, 43:26-41.
- Wagenbach D. e Geis K., 1993, The mineral dust record in a high altitude alpine glacier (Colle Gnifetti, Swiss Alps). 1893-1993 - Cento anni della Capanna Osservatorio Regina Margherita. C. S. C. e C. C. Medica, Club Alpino Italiano: 308-324.

Pagina a fianco

Fig. 9 - Modello 4 del 21 Gennaio 2004 relativo al manto nevoso nel lariceto.

Fig. 10 - Modello 4 del 21 Gennaio 2004 relativo al manto nevoso nel prato.

Fig. 11 - Analisi stratigrafiche del manto nevoso nel lariceto in cui si evidenziano gli strati di lettiera.



PERMAFROST

NEL BACINO DEL

**Studio sulla distribuzione potenziale
del permafrost mediante l'utilizzo del
modello Alpine3D**

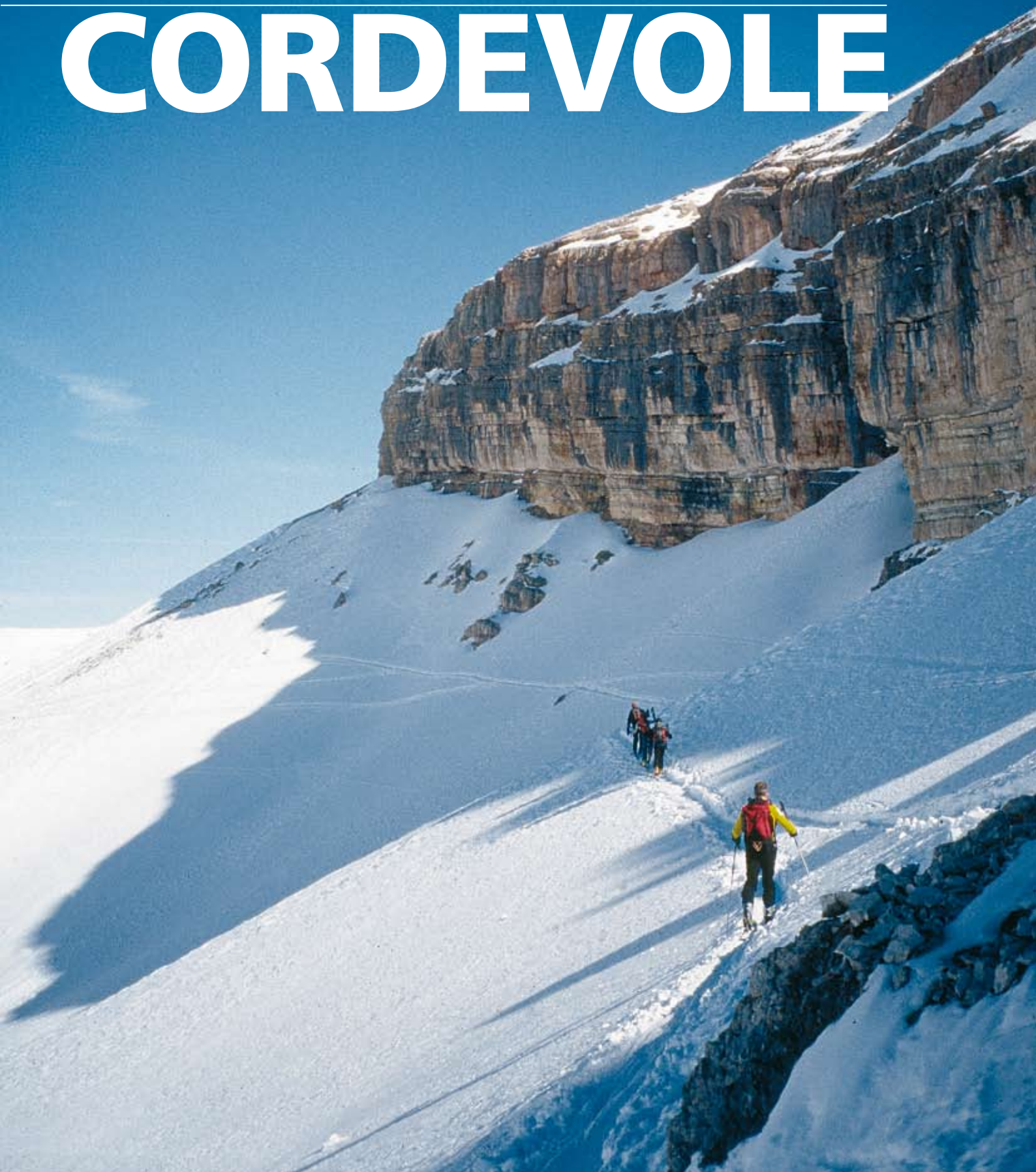
Anselmo Cagnati e Andrea Crepaz
ARPAV - Centro Valanghe,
Arabba, BL

Federico Carollo
SWF - Studio Deuville, VI

Michael Lehning e Ingo Völksch
WSL, Istituto federale svizzero
per lo studio della neve e
delle valanghe SLF,
Davos, CH

Una delle conseguenze più gravi dei cambiamenti climatici in atto, che si sono manifestati con un aumento della temperatura particolarmente evidente a partire dagli anni '80 del secolo scorso, è stata la degradazione del permafrost nelle zone di alta montagna che ha avuto come conseguenza una destabilizzazione dei versanti. Tutti i modelli climatici su scala globale prevedono che questo trend sia destinato a continuare anche nel XXI secolo e per tale ragione gli studi sulla presenza attuale e sui cambiamenti nella distribuzione futura del permafrost sono di fondamentale importanza anche ai fini di comprendere meglio i rischi di natura idrogeologica nelle zone di alta montagna. Il presente lavoro riguarda l'applicazione del modello Alpine 3D, sviluppato dall'Istituto Federale Svizzero per lo studio della neve e delle valanghe, per l'individuazione delle potenziali aree a permafrost nel bacino del torrente Cordevole su una superficie di 1650 km². I risultati della simulazione hanno evidenziato che, nell'attuale fase climatica (integrazione dei dati su 15 anni dal 1989 al 2004) la superficie totale a permafrost potenziale (probabile e possibile) sull'area esaminata assomma a 32.2 km² e che, partendo dalla condizione climatica che ha caratterizzato l'estate 2003, particolarmente calda, e ipotizzando il perdurare di dette condizioni, in 8 anni la superficie a permafrost si ridurrebbe a 1.68 km².

CORDEVOLE



IL PERMAFROST ALPINO

Il termine permafrost è stato introdotto da Muller nel 1947 per definire un qualsiasi terreno che rimane al di sotto della temperatura di 0°C per più di un anno. Il permafrost definisce quindi uno stato fisico del terreno dipendente dalla temperatura e dal tempo e non dalle sue caratteristiche litologiche e tessiturali. Esso è quindi la conseguenza di lunghi periodi caratterizzati da basse temperature invernali e relativamente brevi periodi di disgelo estivo che non consentono il completo scongelamento del terreno. Nelle aree caratterizzate dalla presenza di permafrost, durante la stagione estiva, la temperatura della parte più superficiale del terreno può trovarsi al di sopra di 0°C determinando quindi un temporaneo sconge-

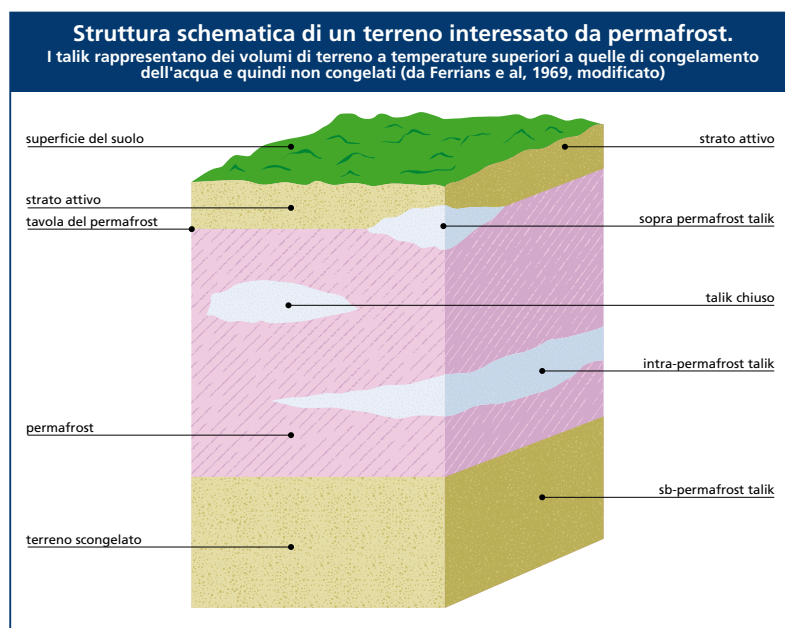
lamento di uno strato di terreno più o meno spesso che viene definito strato attivo (Fig. 1). Più del 25% della superficie del pianeta è occupata da permafrost; le maggiori estensioni si trovano ovviamente nelle regioni polari (Antartide) e sub-polari della Federazione Russa, del Canada e dell'Alaska, sugli alti plateau del Tibet anche se, essendo un fenomeno di natura climatica, interessa gran parte delle catene montuose della terra. Nel permafrost alpino, o di ambiente montano, l'effetto microclimatico determinato da quota, esposizione, durata e spessore di neve al suolo diventa di fondamentale importanza nel determinarne la presenza e la distribuzione più o meno continua. In alta montagna il permafrost si forma sia su roccia solida sia su materiali sciolti (conoidi detritiche, morene) che sul terreno in generale. L'importanza del permafrost alpino dipende dal fatto che esso costituisce un formidabile collante naturale: l'acqua gelata salda in unico blocco detriti e frammenti di roccia contribuendo alla stabilità dei versanti. Essendo un fenomeno di natura climatica, è evidente che il permafrost è fortemente sensibile ai cambiamen-

ti climatici in atto; l'aumento della temperatura determina infatti uno scioglimento totale o parziale del ghiaccio con conseguente perdita di resistenza interna e innescano di fenomeni di soliflusso o di crollo. La degradazione del permafrost è stata individuata come concausa di diverse catastrofi naturali avvenute negli ultimi decenni sulle Alpi come ad esempio, per citare solo alcuni esempi eclatanti, la colossale frana della Val di Pola che nel 1987 provocò la morte di 27 persone, o la frana-valanga della Brenva che nel 1997 causò la morte di 2 persone (Fig. 2). Tutti i modelli climatici a scala globale prevedono un significativo ulteriore aumento delle temperature nel corso del XXI secolo con variazioni generalmente crescenti alle alte altitudini e latitudini e conseguente ulteriore degradazione del permafrost. L'impatto del riscaldamento potrà quindi essere severo con associati fenomeni di instabilità dei versanti anche nelle regioni montane a basse latitudini (Harris e al., 2001). Con l'espansione del turismo, delle vie di comunicazione, delle centrali idroelettriche ecc. in zone potenzialmente sensibili, le conoscenze e la comprensione dei potenziali futuri cambiamenti nella distribuzione del permafrost diventano quindi essenziali (Haberli, 1992). La presenza e la distribuzione del permafrost possono essere determinati in vari modi, sia attraverso metodi diretti che prevedono misure in campo (es. BTS), sia attraverso metodi indiretti attraverso l'utilizzo di modelli. Il presente lavoro riguarda una particolare applicazione del modello Alpine 3D sviluppato dall'Istituto Federale Svizzero per lo studio della neve e delle valanghe, per l'individuazione delle potenziali aree a permafrost.



Fig. 2 - La frana valanga della Brenva del 18 gennaio 1997.

Fig. 1



AREA DI STUDIO

Lo studio è stato condotto nel bacino del torrente Cordevole, maggior affluente del fiume Piave, ubicato nelle Alpi orientali in provincia di Belluno (Fig. 3). Il bacino ha un'area di 829.20 km², l'altitudine massima è di 3330 m (Marmolada), la media di 1500 m e la minima di 196 m alla confluenza con il Piave.

La composizione geologica appare variegata, con prevalenza del substrato dolomitico (36%), cui si accompagnano sciolto (22%), magmatico (16%), localizzato nella parte alta, e Arenaceo del Mesozoico (14%). La superficie boscata è pari al 67% (i boschi di conifere ricoprono poco meno di un terzo della superficie), non trascurabili sono gli elementi tipici di alta quota, mentre minime sono le aree antropizzate (1%).

A cavallo dei limiti idrografici del bacino si trovano alcuni fra i principali gruppi montuosi dolomitici come il Sella, la Marmolada, le Pale di San Martino, il Civetta e il Pelmo. La superficie glacializzata è modesta con apparati di dimensioni comprese tra 0.01 e 2 km² (il ghiacciaio di maggior estensione è il Ghiacciaio Principale della Marmolada con 2 km², Fig. 4).

I principali gruppi montuosi sono ubicati a cavallo dei limiti idrografici del bacino tuttavia, per omogeneità di elaborazione, essi sono stati considerati per intero e quindi parte delle zone a permafrost individuate, in realtà ricadono al di fuori di suddetti limiti. Così, ad esempio, il gruppo della Marmolada, oltre che nel bacino del Piave ricade in parte nel bacino dell'Avisio tuttavia nelle elaborazioni, per dare una continuità cartografica al tematismo oggetto di studio, il massiccio è stato considerato globalmente.

IL MODELLO ALPINE 3D

Alpine3D è un modello idro-meteorologico complesso sviluppato dall'Istituto Federale Svizzero per lo studio della neve e delle valanghe di Davos che simula, in dettaglio, i processi superficiali nelle aree alpine e sub-alpine (Lehning e al., 2006). Il cuore del modello è costituito da un modulo tri-dimensionale che simula il bilancio radiativo utilizzando un approccio "view factor" per calcolare la radiazione ad onda corta e la radiazione ad onda lunga su un terreno complesso, inclusa la radiazione ad onda corta riflessa e la radiazione ad onda lunga proveniente dal terreno circostante (Fierz e al., 2003) e da un modulo di trasporto della neve adeguato al terreno alpino ripido che simula i processi di ridistribuzione della neve (quest'ultimo modulo non è stato utilizzato nell'applicazione descritta nel presente articolo). I processi atmosferici sono quindi collegati con un modello unidimensionale denominato SNOWPACK che, nella sua implementazione originale, è il modello di simulazione del manto nevoso utilizzato dall'SLF e che tratta, in modo molto dettagliato,

i processi energetici e gli scambi di massa che avvengono nel manto nevoso e nel suolo. Recentemente, a SNOWPACK è stato aggiunto un modulo che considera l'influenza della vegetazione e quindi SNOWPACK include processi quali la traspirazione, l'intercettazione della precipitazione. Per applicazioni idrologiche, e al fine di completare il modello Alpine3D, al modello SNOWPACK è stato accoppiato il

Fig. 4 - Il ghiacciaio Principale della Marmolada: la foto, ripresa il 30 giugno 2003, mostra la neve stagionale quasi completamente scomparsa anche nella parte alta del ghiacciaio. La condizione climatica dell'anno 2003 è stata presa come riferimento per ipotizzare lo scenario futuro.

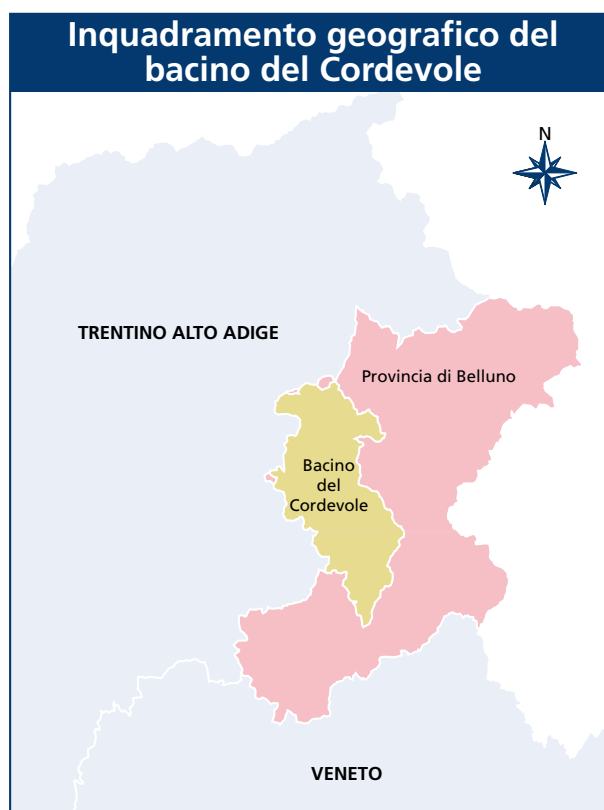


Fig. 3
Fig. 4



Elenco stazioni nivometeo e pluviometriche con relativi parametri e durata delle serie			
(Ta: temperatura aria; VV: velocità vento; Ur: umidità relativa; Rg: radiazione globale; P: precipitazione)			
Stazione	Altitudine (m s.l.m.)	Parametri	Durata serie
Monte Lisser	1428	Ta, VV, Ur	1987/2003
Malga Losch	1735	Ta, VV, Ur, Rg	1989/2004
Col dei Baldi	1900	Ta, VV, Ur, Rg	1987/2004
Cima Pradazzo	2200	Ta, VV, Ur, Rg	1986/2004
Monti Alti Ornella	2250	Ta, VV, Ur, Rg	1985/2004
Ra Vales	2615	Ta, VV, Ur	1993/2004
Sospirolo	520	P	1985/2004
Agordo	578	P	1985/2004
Caprile	1008	P	1985/2004
Arabba	1645	P	1985/2004

Fig. 5

Parametrizzazione del sottosuolo in Alpine 3D						
Il contenuto di ghiaccio iniziale è posto uguale a 0% e la temperatura iniziale a 0°C sia per la roccia che per il suolo. Il valore di densità relativo al suolo si riferisce alla sua frazione minerale.						
	θ_s [%]	θ_w [%]	θ_a [%]	k [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	c [Jkg ⁻¹ K ⁻¹]	ρ [kg m ⁻³]
Roccia	97	2	1	2.15	810	2320
Suolo	1-n	fc	1- θ_s - θ_w	0.52	733	2650

Fig. 6

Classi di profondità del suolo e di capacità di campo in Alpine 3D		
Profondità suolo [m]	Capacità di campo [%]	Classe
0-0.10	1.5	1
0.1-0.25	4.5	2
0.25-0.50	8.0	3
0.50-1.00	11.0	4
1.00-2.00	16.0	5
2.00-4.00	24.0	6

Fig. 7

modello concettuale di deflusso già usato da PREVAH (Gurtz e al., 2003). Questi sub-moduli, come il modello di deflusso, possono essere utilizzati per specifiche applicazioni e in funzione dei dati disponibili.

INIZIALIZZAZIONE E INPUT DEL MODELLO

I dati di input necessari per il funzionamento del modello sono la precipitazione, la temperatura dell'aria, l'umidità relativa, la velocità del vento, la radiazione solare incidente e riflessa (o la nuvolosità). Questi dati sono normalmente forniti dalle stazioni automatiche che ricadono nell'area di studio. Per i primi quattro parametri, vengono creati dei campi bi-dimensionali mediante un'interpolazione spaziale proposta da Schulla (1997) e Garen e Marks (2001). Le componenti della radiazione sono invece calcolate fisicamente per ciascun punto dell'area di studio dal modulo di bilancio radiativo per cui sono necessari i dati di

radiazione di una sola stazione. Nella Tabella di Fig. 5 è riportato l'elenco delle stazioni utilizzate. Le stazioni nivometeorologiche di Monti Alti di Ornella, Cima Pradazzo, Malga Losch e Col dei Baldi, afferenti alla rete nivometeorologica gestita da ARPAV-Centro Valanghe di Arabba, sono state scelte poiché ubicate all'interno del bacino di studio e avrebbero dovuto produrre i migliori risultati nell'interpolazione bidimensionale dei campi di input. Tuttavia esse coprono un range altitudinale limitato e per tale motivo sono stati utilizzati anche i dati delle stazioni di Monte Lisser e Ra Vales che, pur non ricadendo nel bacino, hanno consentito una migliore stima della dipendenza dei vari parametri con la quota. I dati di precipitazioni sono stati invece ricavati da 4 stazioni afferenti alla rete meteorologica gestita da ARPAV-Centro Meteo di Teolo (Sospirolo, Agordo, Caprile e Arabba). Nessun dato era quindi disponibile per altitudini alle

quali ci si aspettava di trovare il permafrost (intorno a 3000 m di quota), inoltre i dati di precipitazione erano disponibili solo per 4 stazioni dislocate a quote piuttosto basse.

Tutti i dati delle stazioni sono stati inseriti in un database con formato adatto ad essere letto dal modello. Velocità del vento, temperatura dell'aria e umidità relativa sono stati interpolati spazialmente con la tecnica IDW (Inverse Distance Weighting), mentre per la precipitazione, utilizzando la stessa tecnica, sono state seguite le indicazioni di Zappa e Vivroli (2004).

Per il calcolo delle componenti del modello radiativo, siccome nessuna stazione disponeva di una serie completa, sono stati utilizzati i dati di Cima Pradazzo, integrati quando mancanti, con quelli di Col dei Baldi, Malga Losch e Monti Alti Ornella e, nel caso di ulteriori mancanze, con dati stimati in base a valori dei giorni precedenti. Siccome le stazioni non misurano la radiazione ad onda lunga, sono stati utilizzati la copertura nuvolosa e qualsiasi parametro utile per la sua stima, con una costante di emissività atmosferica di 0.7 quale grossolana approssimazione per l'emissività di un cielo "medio" con nuvolosità tipica per l'area analizzata. La migliore stima per l'emissività è basata su misure e su risultati forniti da modelli su terreni simili (Konzelmann e al., 1997) e su zone artiche (Pirazzini e al., 1998). Dall'emissività è stata calcolata la radiazione incidente a onda lunga mediante la legge di Stefan-Boltzmann, utilizzando la temperatura dell'aria locale. Siccome il modello è sensibile a questo parametro, è importante considerare tale approssimazione per l'interpretazione dei risultati.

Per quanto riguarda la para-

metrizzazione del suolo e del sottosuolo, il primo passo è stato quello di definire il dominio di calcolo e la risoluzione spaziale. Il dominio scelto include l'intero bacino del Cordevole, nonché una fascia di territorio limitrofa, dato che il modello considera la radiazione proveniente da aree adiacenti. Alla fine è stata scelta un'area di 1650 km², con una griglia di 158*261 celle aventi risoluzione di 200 m. Per tutto tale dominio sono state quindi definite le caratteristiche della superficie e del sottosuolo (che è stato diviso in 15 strati fino a 26 m di profondità con vari spessori, da 0.1 m in superficie, a 5.0 m in profondità), producendo i seguenti parametri:

- temperatura iniziale, T;
- contenuto iniziale dei diversi componenti, θ (in volume): solidi, acqua, aria e ghiaccio;
- densità, ρ ;
- conduttività termica, k;
- capacità termica, c.

Per strati caratterizzati da roccia sono stati usati i valori della tabella di Fig. 6, mentre i contenuti volumetrici sono valori standard contenuti nel modello Alpine3D. Le caratteristiche termiche e le densità sono quelle tipiche per il calcare (Incropera e DeWitt, 1996), roccia che può essere definita standard per il bacino del Cordevole.

Per la stima del contenuto volumetrico dei componenti negli strati caratterizzati da suolo, tenendo anche in considerazione la capacità di campo f_c , è stata calcolata la porosità usando la seguente formula empirica, basata sull'analisi di parecchie centinaia di profili effettuati in Svezia (Gustafsson, comunicazione personale):

$$n = f_c * \max(1, 3.7704 * e^{(-2.8 * f_c)})$$

Assumendo che il contenuto

di acqua iniziale è uguale alla capacità di campo del suolo, il contenuto di aria e di frazione solida può essere facilmente calcolato (vedi tabella di Fig. 6). I valori di conduttività termica, capacità termica e densità sono valori tipici presi da Incropera e DeWitt (1996) e Farouki (1981). Sia per la roccia che per il suolo il contenuto di ghiaccio iniziale è stato posto uguale a 0% con temperatura di 0°C.

Per la parametrizzazione della superficie, il modello richiede i seguenti parametri:

- altezza della chioma;
- l'indice di area fogliare (LAI) delle chiome;
- frazione di "throughfall";
- albedo superficiale.

Alle quote alle quali il permafrost è possibile nel bacino del Cordevole, le categorie di uso del suolo più rappresentate sono la roccia e le praterie di alta quota e per tale motivo i primi 3 parametri sono stati posti di default rispettivamente pari a 0 (altezza chioma) o 1 (LAI e "throughfall"). L'albedo invece, che varia con la categoria di uso del suolo, è stato ricavato utilizzando la mappa di uso del suolo e la mappa del suolo, contenenti i parametri di profondità del suolo e capacità di campo (1:250000). In un primo tempo, queste mappe sono state ritagliate per la zona in analisi e i relativi dati convertiti in raster con dimensione della cella di 200

m. La potenza del suolo e la capacità di campo sono state riclassificate nelle classi standard previste dal modello (tabella di Fig. 7) mediante il software HYREUETH (Zappa, 1999). Le categorie di uso del suolo non hanno richiesto ulteriore riclassificazione. Laddove non vi erano informazioni su uno dei parametri sono stati assegnati valori di default. Tutte le operazioni sono state condotte mediante ArcGIS.

Queste tre mappe sono state poi utilizzate per la generazione automatica dei file di input mediante la routine MATLAB. In questi files il sottosuolo è stato diviso in strati di suolo e strati sottostanti di roccia, in accordo con le particolari classi di profondità che corrispondono ai primi strati sottosuperficiali. Ad ogni strato sono state assegnate le appropriate caratteristiche in accordo con la tabella di Fig. 6. A seconda che lo strato sia costituito da roccia o suolo, sono stati utilizzati valori standard dei contenuti volumetrici dei vari componenti o derivati dalle classi di capacità di campo. Un esempio della parametrizzazione di una cella con suolo di classe di potenza 5 e capacità di campo 5 sono riportati nella tabella di Fig. 8. Infine, le proprietà della chiome (solo albedo) sono state inserite nei file di input in accordo con l'uso del suolo.

Come risultato, per ogni combi-

Parametrizzazione del sottosuolo in Alpine 3D Esempio per una cella con classe di potenza 5 e capacità di campo 5 (gli strati da 1 a 5 sono costituiti da suolo, quelli da 6 a 15 da roccia).									
Numero strato	Spessore	Profondità [m]	θ_s [%]	θ_w [%]	θ_a [%]	θ_i [%]	k [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	c [Jkg ⁻¹ K ⁻¹]	ρ [kg m ⁻³]
1	0.10	0.10	61.5	16.0	22.5	0	0.52	733	2650
2	0.15	0.25	61.5	16.0	22.5	0	0.52	733	2650
3	0.25	0.50	61.5	16.0	22.5	0	0.52	733	2650
4	0.50	1.00	61.5	16.0	22.5	0	0.52	733	2650
5	1.00	2.00	61.5	16.0	22.5	0	0.52	733	2650
6	1.00	3.00	97.0	2.0	1.0	0	2.15	810	2320
7	1.00	4.00	97.0	2.0	1.0	0	2.15	810	2320
8	1.00	5.00	97.0	2.0	1.0	0	2.15	810	2320
9	1.00	6.00	97.0	2.0	1.0	0	2.15	810	2320
10	2.00	8.00	97.0	2.0	1.0	0	2.15	810	2320
11	2.00	10.00	97.0	2.0	1.0	0	2.15	810	2320
12	3.00	13.00	97.0	2.0	1.0	0	2.15	810	2320
13	3.00	16.00	97.0	2.0	1.0	0	2.15	810	2320
14	5.00	21.00	97.0	2.0	1.0	0	2.15	810	2320
15	5.00	26.00	97.0	2.0	1.0	0	2.15	810	2320

Fig. 8

nazione di uso del suolo, profondità, capacità di campo, è stato generato un corrispondente file

Fig. 9 di input che è stato poi associato

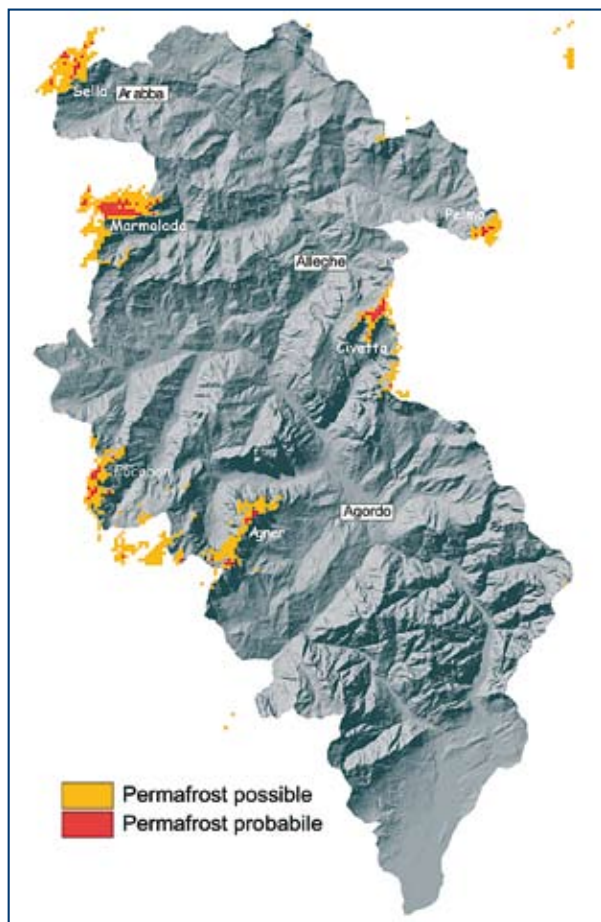


Fig. 10



ad una cella del raster attraverso la mappa di uso del suolo.

IL MODELLO DI CALCOLO E L'ANALISI

La simulazione è stata fatta partire dall'estate del 1989 e fino a tutto il 2004 coprendo quindi un periodo di 15.5 anni che corrisponde al periodo di disponibilità dei dati. Come spiegato in precedenza, il sottosuolo è stato considerato come avente temperatura di 0°C e non contenente ghiaccio. Tali condizioni iniziali sono state scelte così da non influenzare l'analisi a favore o contro la condizione di permafrost. Come condizione al contorno inferiore è stato assunto un flusso geotermico di 0.06 Wm⁻², con una scansione temporale di un'ora. Sfortunatamente la stazione di Ra Vales non ha funzionato fino al 1993 così come la stazione del Lisser per il 2004 anche se quest'ultima carenza ha avuto un impatto molto minore data la bassa altitudine della stazione. Per ciascun giorno del periodo

considerato, gli strati sottosuperficiali di ogni cella sono stati testati al fine di verificare se la loro temperatura fosse inferiore a 0°C o se contenesse ghiaccio. Se una delle due condizioni era soddisfatta, la cella corrispondente veniva caratterizzata come "gelata" e successivamente veniva creata la relativa mappa con o senza permafrost. Solo le celle "gelate" per tutto l'anno sono state considerate permanentemente a permafrost. Infine, sono state identificate le seguenti tre categorie:

- permafrost improbabile: durante tutto il periodo di indagine mai è stato rilevato permafrost;
- permafrost possibile: il permafrost è stato rilevato per alcuni anni;
- permafrost probabile: per tutti gli anni di indagine è stato rilevato permafrost.

Non sono stati considerati nell'analisi gli anni 1989-1993, data la mancanza di dati meteo per le alte quote e perché sono stati usati questi anni per portare il modello a condizioni realistiche partendo da un'inizializzazione piuttosto grossolana. E' stata quindi condotta una simulazione assumendo che le estati future potessero essere paragonabili a quella estrema del 2003. Per stimare i cambiamenti della distribuzione del permafrost con questo scenario, le condizioni del 2003 sono state ripetute 8 volte.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Data la mancanza di informazioni sulla distribuzione reale del permafrost (fossile o attivo) nel bacino del Cordevole, lo scopo della simulazione era quello di evidenziare le potenziali aree a permafrost con le attuali condizioni climatiche, registrate dalle stazioni automatiche negli

ultimi 15 anni. Si è partiti da una condizione iniziale neutra con temperature di 0°C su tutte le celle e sono stati utilizzati i primi anni affinché il modello raggiungesse condizioni iniziali realistiche. Negli anni seguenti, applicando i criteri descritti precedentemente, la maggior estensione del permafrost è stata ottenuta nell'anno 1996, con un totale di 22.36 km² (559 celle) di suolo gelato. Gli anni con minor superficie a permafrost sono stati il 2001 e il 2003 con 7.2 km² (180 celle), anche se nel 2001 il minimo è stato raggiunto gradualmente in parecchi anni, mentre nel 2003 è stato raggiunto rapidamente in un unico anno, a causa della famosa estate torrida. L'anno 2002 era invece stato caratterizzato da un rimarchevole incremento della superficie a permafrost. Nella figura 9 viene proposta una mappa dell'intero bacino con le diverse categorie di probabilità di permafrost, derivante dall'integrazione dei risultati sui singoli anni. Solo 4.76 km² sono caratterizzati da permafrost probabile; queste superfici sono localizzate oltre i 2700 m di quota, su pendii piuttosto scoscesi con esposizione Nord (Fig. 10). 27.44 km² sono invece caratterizzati da permafrost possibile; queste aree si trovano per lo più poste sopra i 2500 m, con alcuni lembi fino sui 2000 m. La superficie totale a permafrost potenziale assomma quindi a 32.2 km².

La drammatica riduzione del permafrost dal 2002 al 2003 è stata ulteriormente analizzata. Ipotizzando in futuro condizioni climatiche uguali al 2003, si è osservato come il permafrost si ridurrebbe rapidamente, e più specificatamente, partendo da una condizione iniziale con 7.2 km² di superficie a permafrost (condizione 2003), dopo 8 anni

rimarrebbero 1.68 km². La perdita è rapida all'inizio mentre il tasso di decremento del permafrost si riduce negli ultimi 3 anni, facendo pensare che un nuovo equilibrio con permafrost ridotto, ma pur presente, possa essere raggiunto anche con estati uguali al 2003. Tali risultati preliminari dovranno essere tuttavia analizzati con una simulazione superiore ai 15 anni. Inoltre, una ulteriore analisi dovrebbe essere condotta sul comportamento del permafrost fossile in base alle condizioni climatiche attuali.

Bibliografia

- Alpine3D - a hydrometeorological model for alpine areas. Model documentation and verification (2004).
- Bartelt, P. and M. Lehning (2002): A physical SNOWPACK model for Avalanche Warning Services. Part I: Numerical Model. Cold Reg. Sci. Technol. 35(3): 123-145.
- Farouki, O. T. (1981). Thermal properties of soils. Hanover, New Hampshire, United States Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory.
- Fierz, C., P. Riber, E. A. Adams, A. R. Curran, P. M. B. Föhn, M. Lehning and C. Plüss (2003): Evaluation of snow-surface energy balance models in alpine terrain. J. Hydrol. 282: 76-94.
- Garen, D. and D. Marks (2001). Spatial fields of meteorological input data including forest canopy corrections for an energy budget snow simulation model. Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Schemes and Large Scale Hydrological Models. A. J. Doman, A. J. Hall, M. L. Kavvas, T. Oki and J. W. Pomeroy: 349-353.
- Gurtz, J., M. Zappa, K. Jasper, H. Lang, M. Verbunt, A. Badoux and T. Vitvar (2003): A comparative study in modeling runoff and its components in two mountainous catchments. Hydrological Processes 17: 297-311.
- Haeberli, W. (1992): Construction, environmental problems and natural hazard in periglacial mountain belts. Permafrost and Periglacial Processes, 3, 111-124.
- Harris, C., B. Rea and M.C.R. Davies (2001): Scaled physical modelling of mass movement processes on thawing slopes. Permafrost and Periglacial Processes, 12 (1), 125-136.
- Incropera, F. P. and D. P. DeWitt (1996). Introduction to Heat Transfer. New York, John Wiley & Sons.
- Konzelmann, T., P. Calanca, G. Müller, L. Menzel and H. Lang (1997): Energy

balance and evapotranspiration in a high mountain area during summer. J. Appl. Meteorol. 36(7): 966-973.

- Lehning, M., P. Bartelt, R. L. Brown, T. Russi, U. Stöckli and M. Zimmerli (1999): Snowpack Model Calculations for Avalanche Warning based upon a new Network of Weather and Snow Stations. Cold Reg. Sci. Technol. 30: 145-157.
- Lehning, M., P. B. Bartelt, R. L. Brown, C. Fierz and P. Satyawali (2002a): A physical SNOWPACK model for the Swiss Avalanche Warning Services. Part II: Snow Microstructure. Cold Reg. Sci. Technol. 35(3): 147-167.
- Lehning, M., P. B. Bartelt, R. L. Brown, C. Fierz and P. Satyawali (2002b): A physical SNOWPACK model for the Swiss Avalanche Warning Services. Part III: Meteorological Boundary Conditions, Thin Layer Formation and Evaluation. Cold Reg. Sci. Technol. 35(3): 169-184.
- Lehning, M., I. Völksch, D. Gustafsson, T. A. Nguyen, M. Stähli and M. Zappa (2006): Alpine3D: A detailed model of mountain surface processes and its application to snow hydrology. Hydrological Processes, 20, 2111-2128.
- Pirazzini, R., M. Nardino, A. Orsini, F. Calzolari, T. Georgiadis and V. Levizzani (1998). Parameterization of the downward longwave radiation from clear and cloudy skies at Ny Alesund (Svalbard). Conference Presentation to International Radiation Symposium (IRS), from 24 to 29 July 2000, St. Petersburg, Russia, Obtained in Portable Document File (PDF) format: <http://www.isao.bo.cnr.it/~surrball/immagini/irs.pdf>.
- Schulla, J. (1997). Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. Zürcher Geographische Schriften 69. Zürich, Geographisches Institut ETH.
- Zappa, M. (1999). HYREUETH. Programmbeschreibung und Bedienungsanleitung. Stand 16.4.99. Untersuchung zur Aufbereitung unterschiedlicher Rauminformation für die flächendifferenzierte Einzugsgebietsmodellierung. Diplomarbeit. M. Zappa. Zürich, Geographisches Institut der ETH.
- Zappa, M. and D. Vivroli (2004). WIN-MET.EXE: A user friendly tool for spatial interpolation of hydrometeorological variables.

Fig. 9 - Mappa del permafrost potenziale nel bacino del Cordevole nell'attuale condizione climatica (integrazione su 15 anni, 1989-2004).

Fig. 10 - Il glacionevato della Val dei Cantoni (Civetta) con i ripidi pendii rocciosi esposti a Nord-Ovest che portano sulla cresta della Piccola Civetta.

Il presente lavoro è stato realizzato nell'ambito del Programma di monitoraggio ambientale dei territori dolomitici d'alta quota coordinato dalla Direzione Tecnico Scientifica dell'ARPAV e realizzato dal Centro Valanghe di Arabba.

PROFILO CHIMICO AMBIENTALE DEL MANTO NEVOSO

Massimo Pecci e Pinuccio D'Aquila

Istituto Nazionale della Montagna
(IMONT)

Piazza dei Caprettari, 70 - 00186 Roma
massimo.pecci@imont.gov.it

**Mauro Valt, Valter Cagnati,
Tiziana Corso, Andrea Crepaz,
Giuseppe Crepaz**

ARPA Veneto
Centro Valanghe di Arabba
mvalt@arpa.veneto.it

Jacopo Gabrieli

ARPA Veneto
Dipartimento Provinciale di Belluno
via Tomea, 5 - 32100 Belluno

**Alfredo Praolini, Eraldo Meraldi
e Flavio Berbenni**

ARPA - Lombardia
Dipartimento di Sondrio
Centro Nivometeorologico Bormio

Giovanni Kappenberger

MeteoSvizzera - Locarno Monti

**Michele Freppaz, Paola Dellavedova
e Gianluca Filippa**

Università di Torino,
Di.Va.P.R.A. - Laboratorio Neve
e Suoli Alpini
Gressoney La Trinité, AO

Nel corso della stagione invernale 2005-2006 e sul territorio nazionale è stata attivata una collaborazione per il controllo speditivo del chimismo della neve in situ, in termini di pH e conducibilità elettrica, nel corso delle operazioni di routine per la determinazione del profilo del manto nevoso.

In alcuni siti e in alcuni momenti dell'anno (in maniera continua nel caso delle Dolomiti Bellunesi) i rilievi speditivi sono stati affiancati a campionamenti di neve per le successive analisi di laboratorio, al fine di tarare e verificare i risultati delle analisi in situ.

Alle unità operative iniziali (IMONT al Gran Sasso d'Italia, CVA-ARPA Veneto sulle Dolomiti Bellunesi e Centro Nivometeo di Bormio a Bormio 2000) si sono aggiunte nel corso dell'anno anche quelle di MeteoSvizzera per l'area del ghiacciaio Basodino e dell'Università di Torino per la Valle d'Aosta.

L'obiettivo sperimentale del primo anno è consistito nella verifica della fattibilità dei "profili ambientali speditivi del manto nevoso", nell'individuazione di siti e intervalli significativi di misura e di una metodologia comune e il più possibile "standardizzata".

Nel lavoro vengono presentati le metodologie adottate e i risultati ottenuti (che evidenziano una generale situazione di contaminazione, anche se non estrema) e discusse le problematiche incontrate, al fine di rendere possibile, nella prossima stagione invernale, un test operativo per la standardizzazione dei rilievi e per la loro eventuale introduzione nelle attività di routine al fine di valutare la qualità della risorsa idrica proveniente dalla fusione della neve.



INTRODUZIONE

La criosfera rappresenta una risorsa idrica strategica, costituendo insieme alle calotte polari il 70% delle acque dolci del pianeta. Tuttavia, la presenza di inquinanti nell'atmosfera determina nella criosfera e, in particolare, sulla neve al suolo, processi di accumulo nella fase solida, deteriorando la qualità di tale risorsa.

Gli inquinanti (inorganici - di origine sia naturale, sia antropica, e organici - di sola origine antropica), infatti, una volta entrati nel ciclo della criosfera, in particolare come nuclei di cristallizzazione per i cristalli di neve o come particelle trattenute nei processi di "deposizione secca" ad opera principalmente delle correnti atmosferiche, tendono a **condensarsi** nella neve e, quindi, nel ghiaccio ad opera del fenomeno della "condensazione fredda" (*cold trapping*). Questo processo prevede un progressivo accumulo degli inquinanti all'interno dei corpi nivali e glaciali nel corso della trasfor-

mazione della neve in nevato e, successivamente, in ghiaccio. Nell'attuale quadro climatico, al processo chimico-fisico della "condensazione fredda" si sovrappone la progressiva **concentrazione**, con ritmo stagionale nella neve al suolo e, a più grande scala, imputabile anche alla generale riduzione delle masse glaciali per l'innalzamento globale della temperatura. I ritmi e le modalità di rilascio di questi inquinanti sono, al momento attuale, poco conosciuti (BALERNA et al., 2003; PECCI et al., 2004; PECCI 2005; POLESELLO et al., 2005) e poco diffusamente studiati e meritano un'ulteriore sforzo di ricerca, perché l'utilizzo delle risorse idriche, provenienti dalla fusione dei nevai e dei ghiacciai e destinate all'uso civile, era considerato fino ad oggi completamente sicuro.

Infatti, la disponibilità di acqua potabile con buone caratteristiche chimico-fisiche e batteriologiche rappresenta uno degli indicatori più fedeli della qualità di vita di una popolazione. Nei paesi in via di sviluppo il problema dell'acqua è legato alla scarsità delle risorse e/o alla salubrità microbiologica. Nei paesi industrializzati i problemi sono legati soprattutto alla salubrità delle risorse idriche dal punto di vista chimico, fisico e biologico.

I microinquinanti più diffusi sono quelli connessi con l'uso di prodotti fitosanitari (pesticidi ed erbicidi), i metalli pesanti e i composti organici del cloro di origine prevalentemente industriale; per tali sostanze, in Italia si riscontra un inadeguato livello di monitoraggio nell'idrosfera, con l'eccezione delle acque destinate ad usi specifici: potabili, per la balneazione e idonee alla vita dei pesci e dei molluschi; tale

monitoraggio risulta pressoché inesistente per quanto riguarda la criosfera.

L'attività sperimentale condotta nel corso dell'inverno 2005-06 ha avuto come scopo l'acquisizione, in continuità temporale e su un vasto areale geografico (Fig. 1), dei parametri speditivi della chimica della neve (pH e conducibilità elettrica) in corrispondenza di alcuni campi di rilevamento neve, selezionati nell'Appennino centrale, nelle Alpi orientali e nelle Alpi centro-occidentali. Alla ricerca hanno partecipato 5 unità operative: IMONT-Roma, ARPA Veneto - Centro Valanghe di Arabba (di seguito CVA Arabba), ARPA Lombardia - Centro Nivometeo di Bormio, MeteoSvizzera - Locarno Monti. L'unità operativa dell'Università di Torino, Di.Va. P.R.A. - Laboratorio Neve e Suoli Alpini. Gressoney La Trinité (AO), lavorando autonomamente e con obiettivi specifici e indipendenti anche se con metodi e strumenti confrontabili, ha partecipato nella fase di elaborazione dei dati e alla valutazione della ricerca e a partire dalla seconda decade di maggio.

PERCHÉ IL PROFILO CHIMICO-AMBIENTALE SPEDITIVO DEL MANTO NEVOSO?

La raccolta dei dati relativi al "profilo chimico-ambientale speditivo del manto nevoso" ha una doppia finalità: da una parte la caratterizzazione del chimismo della neve fresca (come indicatore del chimismo dell'atmosfera, anche in relazione alla provenienza delle masse d'aria) in termini di solo pH e conducibilità (motivo per cui si propone di definirlo "chimico-ambientale speditivo") e dall'altra il monitoraggio della sua dinamica all'interno del manto nevoso nel

Fig. 1





corso della stagione invernale fino alla sua completa fusione, con particolare attenzione agli episodi di fusione e rigelo.

Oltre a ciò, nel campo di rilevamento neve di Monti Alti di Ornella (Arabba - BL), ogni profilo speditivo è stato accompagnato anche dal campionamento di neve, che è stata successivamente analizzata al laboratorio del Dipartimento Provinciale di Belluno di ARPA Veneto (di seguito DAP di Belluno), con riferimento ai macrocostituenti inorganici. Allo stesso tipo di campionamento e di analisi sono stati sottoposti anche i campioni prelevati nel corso di 2 campionamenti (durante ed alla fine della stagione invernale) nel campo di rilevamento neve del sito dei Prati di Tivo (Gran Sasso d'Italia, Abruzzo, TE). Le analisi su tali campioni hanno non solo lo scopo di confermare i risultati ottenuti nel corso degli analoghi profili "speditivi", ma anche di valutare in maniera più quantitativa le dinamiche chimiche osservate.

È di particolare interesse la valutazione degli scambi ionici e chimici in generale tra fase solida e liquida in condizioni di isotermità, per valutare i fenomeni di rilascio ionico, di impulsi e di scarichi ionici nonché di diluizione ed arricchimento. I dati raccolti con continuità nel corso della stagione invernale in areali geografici molto diversi ci si augura che possano dare un contributo alla valutazione della qualità della neve e della risorsa idrica, in prospettiva anche (in caso di positivi risultati dei test sperimentali) dell'estensione di tali rilievi sia su scala spaziale, sia temporale, obiettivo del secondo anno, di test, rispetto alla sperimentazione del primo anno.

QUADRO METEOCLIMATICO GENERALE DELL'INVERNO 2005-06

L'inverno 2005-2006 entrerà negli annali come inverno rigido e lungo, inoltre molto nevoso in pianura, nevoso nelle Prealpi e

poco nevoso nelle Alpi stesse, perlomeno quelle centrali e situate a meridione della cresta principale alpina, ossia dello spartiacque. Un Inverno, inoltre, con molte fasi di vento dai settori settentrionali e orientali.

Sarà ricordato come un inverno in cui, sia nella fase iniziale che finale, sono praticamente venute a mancare le grosse precipitazioni da Stau; quelle precipitazioni di sbarramento autunnali e primaverili, che della climatologia alpina sono un elemento di riferimento: poichè considerate "tipiche", mancano raramente e sono perciò determinanti per l'approvvigionamento della falda freatica e delle sorgenti. In Ticino il triennio 2003-2005 è stato il più asciutto da quando si effettuano misurazioni, ossia da oltre 150 anni e l'inverno in questione non ha modificato la tendenza.

Senza averne fatto una statistica, la stagione in questione verrà ricordata come ricca di depressioni sul Mediterraneo. Fino a metà febbraio con frequentissimi blocchi di alta pressione sull'Eu-

ropa Centrale o Settentrionale e conseguenti incursioni di aria continentale fredda da nordest sull'Adriatico, con frequenti episodi di Bora e riattivazione delle depressioni, in grado da provocare importanti nevicate su gran parte dell'Appennino e anche dell'Italia meridionale. Dopo metà febbraio la corrente occidentale atlantica ha cominciato a soffiare più regolarmente, con una posizione abbastanza meridionale, tale da dirigere le perturbazioni direttamente sul bacino Mediterraneo. Altre perturbazioni sono entrate da nordovest oppure da nord. Poche dunque quelle accompagnate da forti venti sud-occidentali. Nelle Alpi centrali l'unica è risultata quella del 18 febbraio 2006. Ben

Fig. 2 impronta nella mente resterà la

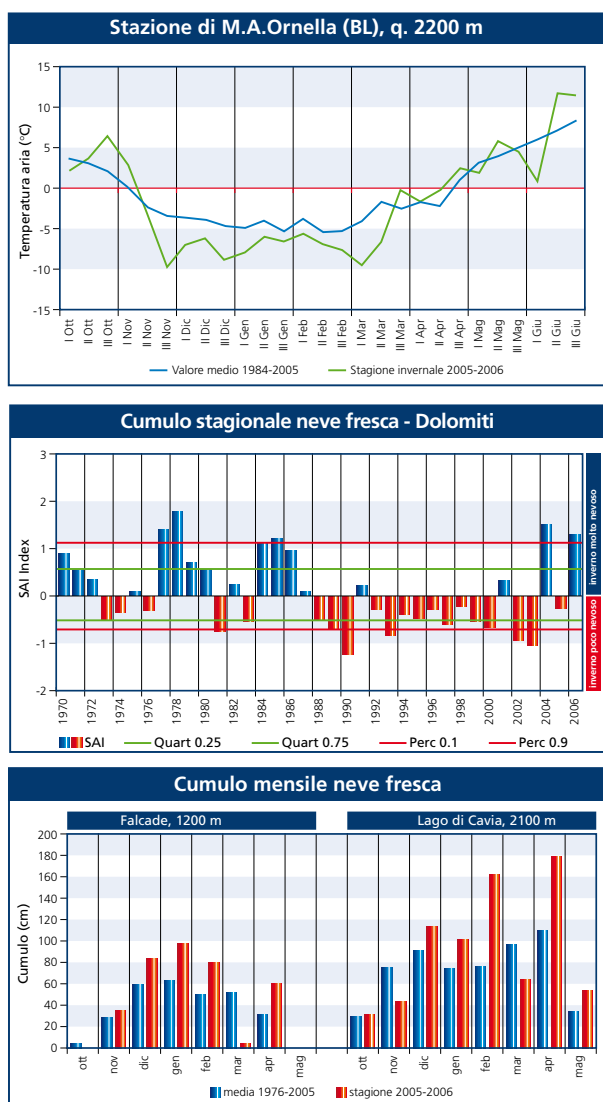


Fig. 3
Fig. 4

nevicata di fine gennaio (dal 26 al 28) 2006, molto simile a quella di metà gennaio 1985. Un'estesa depressione in quota sopraggiungeva dalla Scandinavia per dirigersi verso la Spagna, con una traiettoria anomala, e con l'arrivo dell'aria fredda prima e, in seguito, dell'umidità e dell'aria calda mediterranea tendente a scorrere sopra a quella fredda. Il risultato è stata la precipitazione di neve polverosa in pianura, anche con densità molto basse, attorno ai 40 a 50 kg per m³. In questa occasione, come anche in altre, contraddistinte da venti non molto forti da meridione in altitudine, le precipitazioni sono risultate maggiori sulle Prealpi che non sulle Alpi stesse.

Le temperature medie mensili (almeno per quel che concerne le Alpi centrali) da ottobre a marzo sono risultate tutte al di sotto la media, in dicembre anche di parecchi gradi; solamente aprile e maggio hanno fatto segnare valori al di sopra della media. Nei paragrafi che seguono sono riportati i caratteri generali dell'andamento dell'inverno 2005-06 nei siti di rilievo; per ognuno sono riportati i dati di interesse, che possono essere di tipo qualitativo nel caso di osservazioni manuali (Appennino, Alpi centrali svizzere e Alpi occidentali-Valle d'Aosta) o quantitativo nel caso della presenza di una stazione meteorologica automatica nelle vicinanze (Alpi orientali - Arabba e Alpi centrali - Bormio).

Andamento della stagione invernale nell'Appennino centrale

La stagione invernale 2005-06 è stata caratterizzata da una complessa e discordante evoluzione dei fenomeni sui due versanti dell'Appennino centrale, con correnti occidentali dominanti nel generale quadro meteoro-

logico (e relative forti precipitazioni sul versante tirrenico) ma anche con frequenti incursioni di aria fredda di provenienza nordorientale, spesso accompagnata da forti venti (che hanno causato numerosi eventi nevosi a bassa quota, spesso fino alle coste orientali).

Il quadro meteoroclimatico in Appennino centrale ed in particolare in Abruzzo e Molise è risultato abbastanza anomalo rispetto agli ultimi inverni (spesso caratterizzati da flussi dominanti orientali), senza le eccezionali e consuete nevicate sul versante adriatico, anche fino alle aree di pianura e sulle coste, grazie alla persistenza nel tempo dei flussi occidentali e, soprattutto, della frammentarietà e debolezza dell'anticiclone che regolarmente, nelle stagioni più fredde, andava a posizionarsi al centro della penisola, nel corso delle stagioni invernali "classiche" (D'Aquila & Pecci, 2006).

Una tale anomalia nei flussi anemo-barici si è riflessa anche nella distribuzione delle precipitazioni nevose, che sono risultate, quindi, molto più intense e consistenti sul versante orientale della catena appenninica rispetto a quello occidentale; inoltre sono mancati i frequenti flussi sciroccali, tipici degli inverni precedenti (specie in piena stagione invernale), e, in definitiva, la stagione invernale si è andata chiudendo con i primi sensibili rialzi termici nella prima metà del mese di Marzo, quando buona parte del manto nevoso, anche a quote relativamente alte, risultava in stato di fusione incipiente.

Le prime nevicate a quote relativamente basse, in seguito ricoperte dalle precipitazioni successive, sono state riscontrate già a partire dal 20 Novembre 2005 (rilievo Piana dei Laghetti, quota 1670, versante Nord del Corno

Grande – Gran Sasso d'Italia); la prima fase della stagione invernale è stata caratterizzata, almeno fino al periodo di Natale, dall'alternanza di episodi "fred-di" di origine orientale, seguiti da correnti umide e temperate di provenienza occidentale.

In questo quadro meteorologico e con particolare riferimento alla prima parte dell'inverno nel settore orientale, in particolare nel gruppo del Gran Sasso, si sono verificate numerose precipitazioni, spesso di nevischio pallottolare e quasi sempre accompagnate da forti venti. Queste condizioni hanno creato un manto nevoso molto eterogeneo, formato, in generale, da strati più competenti, originati, oltre che da lastre da vento, anche da considerevoli e ripetute croste da fusione e rigelo e poggianti su strati deboli, formati nella prima parte della stagione invernale per crescita cinetica da elevati gradienti di temperatura. È stato proprio questo assetto stratigrafico a determinare, anche in una fase precoce della stagione invernale, estese valanghe di lastroni di fondo, che hanno interessato tutto il versante settentrionale del Corno Piccolo.

Il massimo spessore di neve fresca al suolo raggiunto nel sito sperimentale di osservazione dei Prati di Tivo nel periodo novembre-aprile è stato pari a 181 cm (rilevato nel corso del rilievo del 14 dicembre 2005) ed è andato, poi, riducendosi gradualmente ad opera dell'ablazione esercitata dai forti venti, fino a fondere completamente nella seconda metà di maggio 2006. Un anomalo e tardivo impulso freddo tra il 31 maggio e il 6 giugno 2006 ha depositato alcuni cm di neve alla quota del sito sperimentale e circa 1 metro di neve fresca intorno ai 2400 m slm, fusa velocemente nei giorni successivi.

Andamento della stagione invernale nelle Dolomiti

La stagione invernale nelle Dolomiti è stata caratterizzata da basse temperature e da abbondanti precipitazioni nevose.

In particolare le temperature dalla seconda decade di novembre alla seconda di marzo sono state inferiori ai valori medi di riferimento, soprattutto in quota. Le temperature misurate a Monti Alti di Ornella sono state dai -1,3°C di novembre ai -3,5 °C di marzo inferiori alla media del periodo 1984-2005 (Fig. 2).

Il primo rialzo termico significativo è stato registrato solo nella terza decade del mese di marzo.

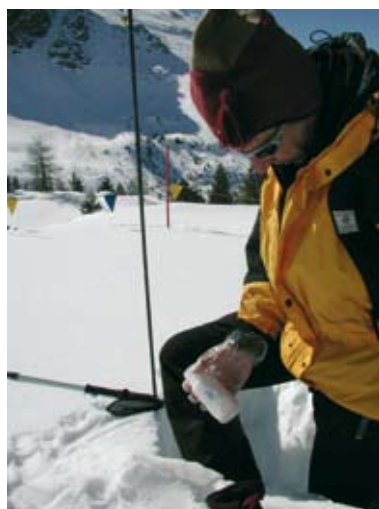
Queste basse temperature hanno influenzato sia il tipo di precipitazione (nevosa), sia l'evoluzione stagionale del manto nevoso.

Dal punto di vista pluviometrico, nel periodo novembre 2005 - aprile 2006, sono caduti nelle Dolomiti mediamente 80 mm in meno di acqua, rispetto ai 450 mm medi (media del periodo 1985 - 2004 per le Dolomiti: stazioni di Agordo, Arabba, Auronzo, Caprile, Cortina d'Ampezzo, Cencenighe, Forno di Zoldo, Gosaldo e Santo Stefano), con deficit variabili dal 14 al 40% per località.

Dal punto di vista nivometrico la stagione invernale è stata particolarmente nevosa come ben evidenzia l'indice SAI - Standard Anomalie Index - (Giuffrida e Conte, 1989) elaborato per le 5 stazioni campioni delle Dolomiti (Belluno, Falcade, Cortina, Arabba e Lago di Cavia) con un indice di 0,81 che, dopo l'eccezionale inverno 2003 - 2004, è stato il maggior dal 1985 ad oggi (Fig. 3).

Per quanto riguarda il cumulo di neve fresca i quantitativi mensili sono stati superiori alla media nei mesi centrali dell'inverno (da dicembre a febbraio).

In Fig. 4, sono rappresentati i cumuli mensili per la stazione di fondovalle di Falcade (q. 1200 m) e per quella in quota di Lago di



Sito sperimentale di campionamento dislocato presso Malga Vallecetta, Bormio 2000.

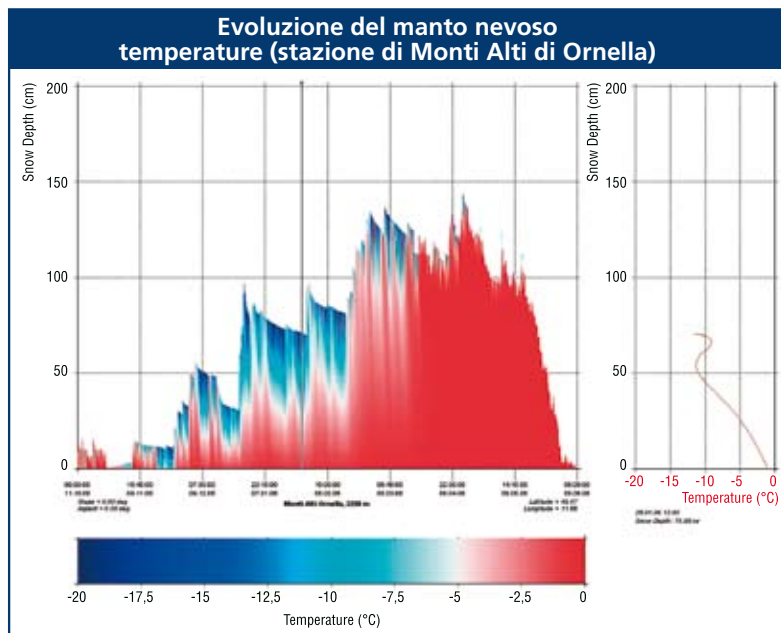


Fig. 5

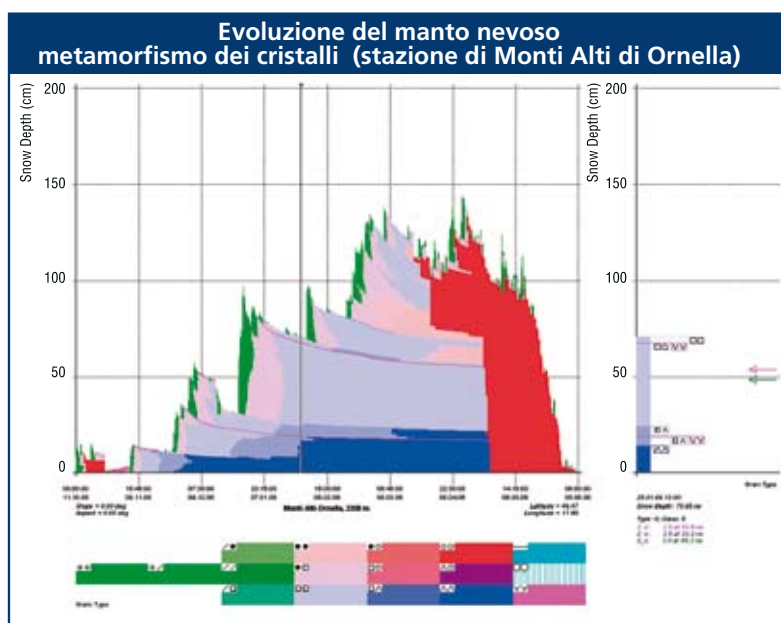


Fig. 6



Fig. 7

Cavia (q. 2100 m), che può essere, per quota ed esposizione, parificata a Monti Altì di Ornella (q. 2200 m). L'evoluzione del manto nevoso è stata particolarmente condizionata dalle basse temperature

invernali (Fig. 5), dai lunghi periodi senza precipitazione di dicembre e gennaio e da 9 episodi nevosi. I primi 2 episodi sono degli inizi di ottobre e novembre e vanno a costituire uno stato basale, non uniformemente distribuito

sul territorio. Il manto nevoso si forma definitivamente con le nevicate di fine novembre e inizio dicembre alle quali segue un periodo ventoso che determina la formazione di uno strato duro di neve ($F=3$ a, $E=0,5$ mm) che sarà osservabile durante tutta la stagione invernale. Dopo le nevicate di fine dicembre, segue un periodo freddo che trasforma cineticamente la neve.

A fine gennaio, infatti, il manto nevoso è freddo e costituito prevalentemente, da cristalli sfaccettati ($F = 4$ a) e da brina di profondità ($F = 5$ a). Segue uno dei più importanti episodi nevosi della stagione (100 cm di neve in 48 ore nelle Prealpi e nei fondovalle delle Dolomiti meridionali), cui segue un episodio ventoso. Dalla metà del mese di febbraio inizia un periodo perturbato che dura fino a fine mese con frequenti nevicate, cui segue un'ulteriore serie di nevicate. Il primo riscaldamento del manto nevoso, con la formazione di grani da fusione ($F=6$) avviene nel periodo fra il 22 e il 27 di marzo.

Le temperature interne e basali del manto nevoso, nella stazione di Monti Altì di Ornella, assumono andamenti isotermici a 0°C da fine del mese di marzo e solo in superficie le temperature diminuiscono in occasione degli episodi freddi o delle gelate notturne del mese di aprile. La fine dell'inverno è inoltre caratterizzata da alcuni episodi nevosi primaverili (30 aprile, 10, 24 e 31 maggio, Fig. 6).

Andamento della stagione invernale nelle Alpi centrali

La stagione invernale ha anticipato di gran lunga i tempi annunciandosi in quota già ad inizio ottobre con le prime nevicate: al Passo dello Stelvio (2760 m s.l.m.) tra il 2 ed il 6 ottobre si sono registrati complessivamente

te 74 cm di neve fresca ed oltre 120 cm a 3175 m s.l.m. del Rifugio Livrio; il limite delle nevicate ha temporaneamente raggiunto i 1500-1700 m di quota.

Il cumulo della neve fresca nel periodo novembre-aprile a Bormio 2000 è risultato di 267 cm (molto prossimo alla media dei 270 cm degli ultimi 30 anni) con un picco massimo di 94 cm di neve al suolo il 6 marzo (Fig. 7). Va considerato che se l'evento di precipitazione di fine novembre ha determinato la comparsa del manto nevoso al suolo la sua altezza è però oscillata tra i 30 e i 40 cm, merito delle basse temperature che hanno caratterizzato l'inverno, fino al 26 gennaio quando un passaggio fortemente perturbato dovuto ad una depressione sulla Penisola Iberica ha incrementato il manto nevoso di 15 cm (da 80 a 100 cm su Prealpi ed Orobie). Altri 3 episodi meteorologici significativi hanno caratterizzato la stagione: tra il 18 ed il 20 febbraio si sono registrati apporti di 50 cm di neve fresca; l'inizio di marzo (4-6) è stato altrettanto prodigo con oltre 40 cm di neve fresca; ultime nevicate della stagione, con circa 40 cm, sono state segnalate anche tra il 10 ed il 12 aprile.

Frequentemente gli episodi perturbati sono stati accompagnati e seguiti dal rinforzo dei venti che, su creste e dorsali hanno fortemente eroso il manto nevoso accumulando la neve trasportata in canali ed avvallamenti o, addirittura, trasportandone buona parte dalla quote più elevate all'interno delle aree boscate.

Le basse temperature che hanno caratterizzato l'intera stagione invernale hanno fatto sì che già da inizio stagione l'esiguo spessore del manto nevoso si trasformasse completamente: il forte gradiente ha gradualmente innescato processi di metamor-

fismo costruttivo con formazione di cristalli dapprima sfaccettati e angolari per poi progressivamente costruire cristalli a calice. Le nevicate di febbraio e marzo si sono quindi depositate su un manto nevoso caratterizzato da uno strato basale a debole coesione e resistenza favorevole al distacco di valanghe, spesso anche di fondo, sia per cause spontanee (lastroni sovraccaricati da accumuli da vento) sia per cause accidentali dovute a debole sovraccarico da parte degli escursionisti.

Si riscontra un elevato gradiente fino al rilievo stratigrafico del 15 marzo, quando, peraltro, comincia ad evidenziarsi la formazione di croste da fusione e rigelo portanti nelle prime ore del mattino, mentre sui versanti in ombra il manto nevoso preserva caratteristiche prettamente invernali. Condizioni prossime all'isotermità si presentano verso la fine di marzo, quando si evidenziano cristalli a grappoli arrotondati da fusione e fusione-rigelo.

Il forte rialzo termico nella seconda decade del mese di aprile innesca fenomeni di ablazione con sensibile perdita di spessore del manto nevoso: in poco più di due settimane si perdono complessivamente 75 cm di neve al suolo.

Se consideriamo, invece, il ba-

cino del Ticino con il Basodino, nelle Alpi centrali, dell'inverno 2005/06 si potrebbe annotare una prima parte estremamente secca. I mesi di settembre, ottobre, novembre e dicembre sono risultati estremamente asciutti. Solo due modeste nevicate si sono verificate in dicembre: la prima, a inizio dicembre è sopraggiunta da nord, la seconda, come normalmente, da sud. Anche gennaio freddo e secco, fino alla nevicata di fine mese. Inizio febbraio pure freddo e secco, mentre nella seconda parte le ne-



vicate sono di rilievo ed il mese è stato l'unico di tutto l'inverno a registrare valori sopra la media. Nuovamente molto avari di neve marzo e aprile, mentre anche maggio resta troppo asciutto. Sul ghiacciaio del Basodino, dove viene eseguito il bilancio di massa da 14 anni, non era

mai stata individuato un totale di precipitazione così scarso come quello dell'inverno 2005/06. A inizio maggio sono stati individuati poco più di 900 mm d'equivalente in acqua, mentre il valore minimo precedente era di 1310 mm ed il valore medio degli ultimi 13 inverni 1670 mm.

Andamento della stagione invernale nelle Alpi occidentali (Valle d'Aosta)

In Valle D'Aosta la stagione invernale è stata principalmente caratterizzata da perturbazioni provenienti dai quadranti nord occidentali, che hanno interessato la dorsale alpina di confine con la Francia e la Svizzera, con ripetute precipitazioni a carattere nevoso a partire dai primi giorni di dicembre 2005 e fino al 10 maggio 2006, con due fenomeni particolarmente intensi. Il primo nei giorni compresi dal 16 al 20 febbraio 2006, caratterizzato da un iniziale temporaneo rialzo termico e successivo repentino abbassamento delle temperature con apporti di neve fresca di 50 cm in 7-8 ore. Il secondo nei giorni compresi dal 3 al 5 marzo 2006, caratterizzato dall'azione di venti da moderati a forti provenienti da ovest e poi in rotazione da nord, associati ad una moderata precipitazione.

L'area sud orientale della Regione è stata invece caratterizzata da scarse precipitazioni e basse temperature, ad eccezione della perturbazione del 26-27 Gennaio 2006 che, di provenienza sud orientale, si è manifestata con carattere intenso, principalmente nel settore orientale della Regione, senza interessare la testata delle valli (per es. in Valle del Lys si è pressoché esaurita all'altezza del Comune di Gaby) e quella del 19-20 Febbraio.

L'area centrale della Regione anche in questa stagione è stata la meno interessata dalle precipitazioni, confermandone il carattere più secco (Mercalli et al., 2003). Analizzando l'evoluzione del manto nevoso nel settore nord occidentale (zona Monte Bianco, Gran San Bernardo, La Thuile, Valgrisenche, Val di Rhemès, Valsavarenche), si rileva che esso, pur avendo carattere sen-

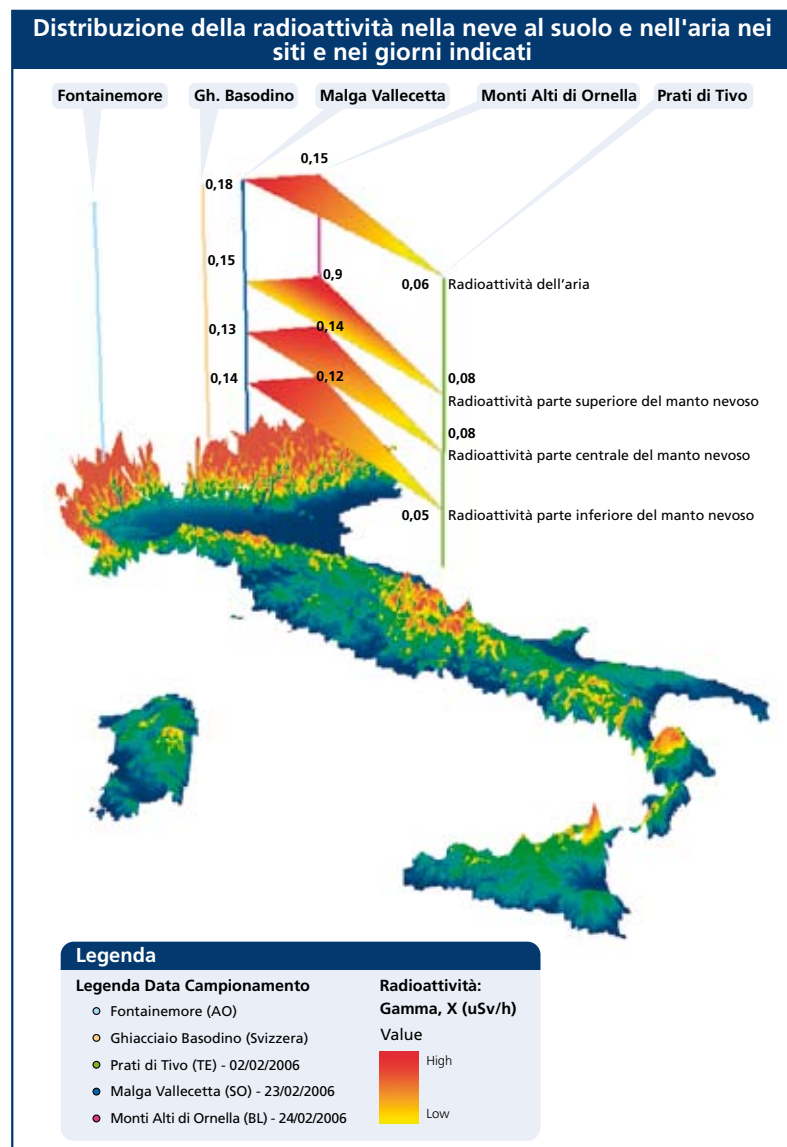


Fig. 8



sibilmente vario, in termini di quantitativi di neve, di temperature e dell'azione dei venti, si accomuna per una costante presenza negli strati basali di cristalli a calice che alla quota media di 2000 m si sono formati nella prima decade di gennaio 2006 e si sono mantenuti tali fino alla fine di marzo. Nel mese di febbraio, questo strato è stato ricoperto da neve a debole coesione che ha subito metamorfismo costruttivo fino alla prima decade di marzo. Croste da vento, con durezza particolarmente importanti, si sono formate dopo l'evento dei primi giorni di marzo. Il primo rialzo termico determinante per l'isotermia del manto, alla quota media di 2000 m, si è verificato all'inizio di aprile 2006.

Nel settore sud orientale (Valli di Champorcher, Lys, Ayas, Valtournenche) la prima neve si è depositata a fine dicembre e solo a metà febbraio e a metà marzo il manto nevoso è stato interessato da due significativi episodi nevosi. Si sono intervallate splendide giornate di sole con temperature rigide e spesso venti moderati in quota; solo a fine inverno inizio primavera nuove precipitazioni hanno interessato il settore. Quindi il ridotto manto nevoso si è presentato principalmente costituito da cristalli a calice e sfaccettati, con particelle frammentate, croste da vento e ampie zone erose.

METODOLOGIE UTILIZZATE

Rilievi del manto nevoso

I rilievi del manto nevoso sono stati eseguiti secondo la metodologia classica (Cagnati, 2004) misurando i seguenti parametri: spessore dello strato, forma e dimensione dei grani, durezza della neve, densità, temperatura della neve e stimando il contenuto in acqua liquida. Per la valu-

tazione delle dimensioni e delle forme dei grani è stata utilizzata una lente di ingrandimento 8x munita di reticolo con dimensione di 1/10 di mm. La densità è stata misurata ogni strato utilizzando un tubo da 0.5 l e un dinamometro a molla da 500 g. I valori di temperatura della neve sono stati misurati utilizzando un termometro digitale a contatto (range -50/+ 50°C).

Gli indici di durezza degli strati determinati sia con la RAM Sonde che con il test della mano (hand test).

Tutti i dati sono stati riportati facendo riferimento alla classificazione internazionale "The International Classification for Seasonal Snow on the Ground" (Colbeck et alii, 1990) della International Commission on Snow and Ice e archiviati con il software YETI (<http://www.aineva.it/presenta.html>).

Per la rappresentazione dell'evoluzione stagionale del manto nevoso sono state utilizzate le elaborazioni fornite dal modello di evoluzione del manto nevoso SNOWPACK (Lehning et alii 2001; 2002a; 2002b) per la stazione di riferimento di Monti Alti di Ornella (BL) a quota 2200 m; nel caso delle stazioni al Gran Sasso d'Italia (TE), i dati sono stati archiviati, gestiti, elaborati e visualizzati in ambiente Arc/GIS, tramite la realizzazione di un database geografico, creato ad hoc.

Campionamenti della neve

Per ogni profilo del manto nevoso, eseguito con inizi diversificati a seconda delle stazioni di monitoraggio, sono state fatte misure di pH e conducibilità elettrica per ogni singolo strato rilevato. Inoltre nel caso di due campionamenti per i Prati di Tivo e costantemente per Monte Alti di Ornella sono stati prelevati dei campioni di neve in corrispondenza di strati significativi e di spessore di almeno 5-10 cm.

Durante la stagione invernale i prelievi sono stati ripetuti per strato, annotando l'altezza di campionamento da terra. In questo modo è stato possibile



Strumentazione utilizzata per le misure di pH e conducibilità elettrica

unità operativa	pHmetro	risoluzione	taratura	conduttimetro	risoluzione	taratura
Appennino centrale	Combo HI 98129 tester pH Conducibilità	0,01 pH	Settimanale con tamponi 4, 7 e 10	Combo HI 98129 tester pH Conducibilità	1 µS	Settimanale con standard a 1.413 µS/cm
Alpi orientali	Hanna	0,1 pH	Settimanale con tamponi 4 e 7	HACH	0,01 µS/cm	Settimanale con standard da 140 µS a 200 µS
Alpi centrali	Hanna Instruments pHep FAMILY	0,1 pH	21.02.2006 e 7.04.2006	CRISON MicroCN 2201	0,01 µS/cm	A ottobre (ma non è stato utilizzato) e successivamente il 6 febbraio 2006 con standard a 75,8 µS a +20° C
Alpi centrali Svizzere	Laboratorio specializzato	0,01 pH	continua	Laboratorio specializzato	0.1 µS	continua
Alpi occidentali	ION83 ION METER	0,01 pH	Giornaliera con tamponi 4.00 e 9.00	Crison microCN 22001	0.01 µS/cm	Settimanale con standard a 1278 µS/cm

Fig. 9

Caratteristiche salienti dei siti sperimentali di misura							
Sito	Quota (m. slm)	Esposizione	pH	Conducibilità (μS/cm)	Analisi chimiche di dettaglio	Periodo di monitoraggio	Frequenza dei rilievi
Prati di Tivo, TE (principale)	1793	N	si	si	si, il 02/02/06 e il 30/03/06	25/11/05 30/03/06	settimanale
Prati di Tivo, TE	1450	N	si	si	no	07/12/05 04/01/06 19/01/06	variabile in base a condizioni meteo
Piana di Laghetti, TE	1670	ENE	si	si	no	20/11/05	singola a inizio stagione
Prato Selva, TE	1430	N	si	si	no	03/12/05	inizio stagione
Monti Alti di Ornella, BL	2200	N	si	si	si, settimanale	25/01/06 01/06/06	settimanale
Malga Vallecetta, SO	2232	WNW	si	si	no	19/01/06 26/04/06	settimanale
Ghiacciaio del Basodino (Svizzera)	2900	NE	si	si	si	gen-mag 06	solo 2 uscite
Fontainemore, AO	1825	SO	si	si	si, il 18/03/06 e il 15/04/06	18/03/06 15/04/06	

Fig. 10

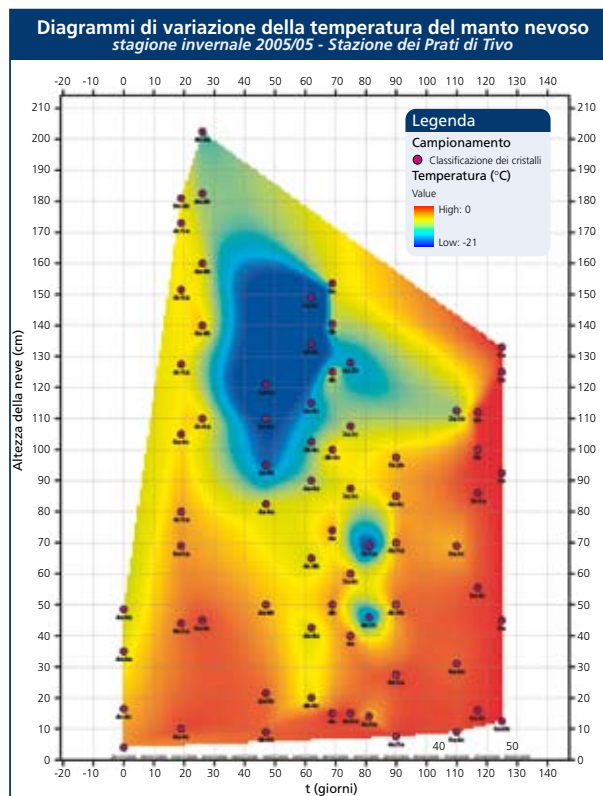


Fig. 11a - Diagrammi di variazione della temperatura, del pH e della conducibilità elettrica del manto nevoso durante la stagione invernale 2005/06 per la Stazione dei Prati di Tivo; i punti disegnati rappresentano i dati realmente campionati; la scala cromatica rappresenta un'interpolazione di tali punti, per favorirne l'interpretazione.

monitorare, durante la stagione, l'evoluzione di ogni strato di neve. Il prelievo è stato effettuato indossando guanti in teflon e controvento. La neve è stata raccolta carotando orizzontalmente con il contenitore stesso, da 500 ml e in PVC. I contenitori erano stati precedentemente lavati e preparati in laboratorio, al DAP di Belluno, con acido nitrico sovrappuro e acqua distillata MILLIQ. Ogni serie di campioni è stata stoccata in un apposito frigorifero ($T = -20^{\circ}\text{C}$) presso il CVA Arabba, pronta per le analisi e il

successivo trasferimento al DAP di Belluno.

Infine, in occasione di alcuni campionamenti nel periodo centrale della stagione invernale e nei siti dei Prati di Tivo, di Monti Alti di Ornella e di Malga Vallecetta, sono state effettuate delle misure di radioattività ambientale in situ, utilizzando lo strumento Rados RDS 110 e la sonda esterna Rados GNP - 11, al fine di ottenere valori, rispettivamente, di radiazione α più γ e β (Figura 8); i valori rilevati, anche se bassi e tali da non generare allarme, non sono trascurabili.

Analisi di conducibilità e pH

Nel caso delle misure di pH e conducibilità i campioni prelevati sono stati analizzati lo stesso giorno presso la sede di lavoro (Università di Chieti per il Gran Sasso d'Italia - 200 m; CVA Arabba - 1630 m) o il giorno successivo al prelievo per permettere alla neve di sciogliersi al completo e di raggiungere la T di circa 20°C - T delle soluzioni standard in fase di taratura degli strumenti (Centro Nivometeo di Bormio) Per la determinazione del pH e della conducibilità elettrica della neve sono stati utilizzati gli strumenti elencati nella figura 9. Le analisi di pH e conducibilità sono state effettuate lasciando sciogliere una piccola parte della

neve raccolta (circa 50 ml) in un beker e lasciandola riposare fino al raggiungimento della temperatura ambiente (circa 20°C).

I SITI SPERIMENTALI DI RILIEVO

Le attività di rilievo in sito, comprendenti le operazioni necessarie per la realizzazione del profilo (sia tradizionale, sia chimico-ambientale speditivo) del manto nevoso sono state effettuate in alcuni siti sperimentali di particolare significato geografico, dove fosse possibile garantire una frequenza ed una sistematicità delle indagini, a fronte anche di un accesso ed una logistica favorevoli. La scelta e l'opportunità è ricaduta sui siti ubicati in figura 1, i cui dati e caratteristiche salienti sono riportate nella figura 10. Tutti i rilievi tradizionali del manto nevoso sono stati eseguiti settimanalmente (ad esclusione dei siti sperimentali della Valle d'Aosta e del ghiacciaio del Basodino) e sono, comunque, consistiti in una prova penetrometrica ed in una analisi stratigrafica secondo gli standard internazionali (Colbeck, 1990. Cagnati, 2004). A titolo di esempio sono riportati i grafici di temperatura, pH e conducibilità elettrica del primo sito sperimentale presentato; nella pagina web relativa all'articolo (www.aineva.it/pubblicazioni...) sono riportati nel dettaglio tutti i grafici relativi anche agli altri siti.

Il sito del Gran Sasso d'Italia - Prati di Tivo (TE)

Il sito dei Prati di Tivo, è localizzato lungo il versante settentrionale del Corno Piccolo, ad una quota di circa 1800 (Fig. 1); il substrato è di natura carbonatica, ricoperto da uno strato di detrito e di cotica erbosa (generalmente di genere Festuca), con utilizzo del suolo a prato-pascolo.

La stazione consiste in un campo neve, in cui vengono realizzati settimanalmente i rilievi nivo-meteorologici tradizionali, integrati da un profilo chimico speditivo del manto nevoso (pH e Conducibilità elettrica); inoltre in concomitanza di due stratigrafie è stato effettuato un profilo delle caratteristiche di radioattività del manto nevoso, nonché il prelievo di campioni per un'analisi chimica di dettaglio.

Gli altri due siti (Prato Selva e Piana dei Laghetti), di controllo rispetto al sito principale, presentano caratteristiche morfoclimatiche simili, ma, a causa di alcuni problemi logistici, non si è riusciti ad eseguire rilievi sistematici.

Tutte le stazioni sono ubicate sulla destra orografica del fiume Vomano. Le stazioni di rilevamento di Prati di Tivo, Prato Selva e Piana dei Laghetti sono rappresentative dell'evoluzione generale del manto nevoso sui versanti settentrionali del Gran Sasso d'Italia; sono raggiungibili con strada e/o impianti di risalita; quando il sito principale dei Prati di Tivo non è stato raggiunto a causa di pessime condizioni meteorologiche, si è provveduto ad effettuare i rilievi ad una quota inferiore (1450 m), nei pressi della partenza della seggiovia dei Prati di Tivo alti.

Primi risultati

I rilievi nivometrici, accompagnati dal prelievo di campioni per l'analisi chimica speditiva del manto nevoso, si sono svolti, per questo sito, dal 25/11/06, al 30/03/06.

Da un'analisi preliminare (Fig. 11a, b, c) risulterebbe una certa correlazione tra l'andamento del pH, della temperatura e della conducibilità, sia nel tempo, sia nello spazio (spessore del manto nevoso).

C'è da precisare, per quanto

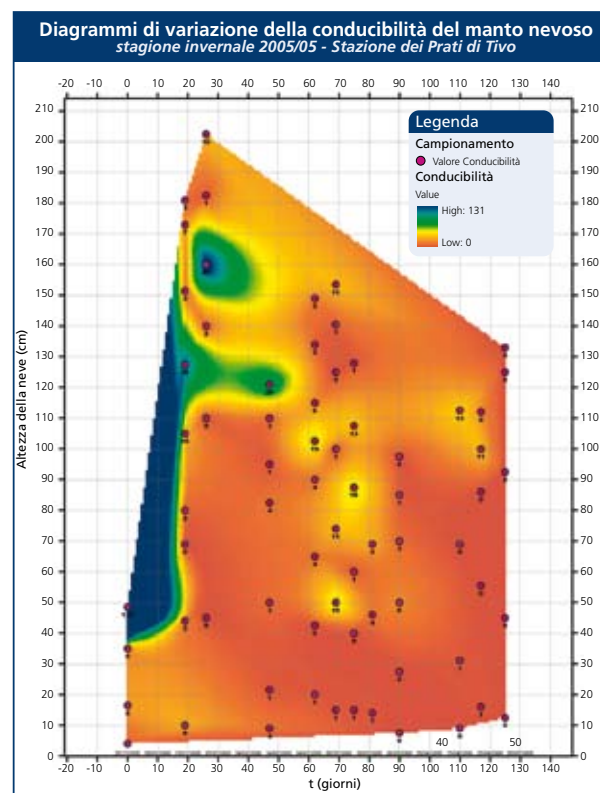
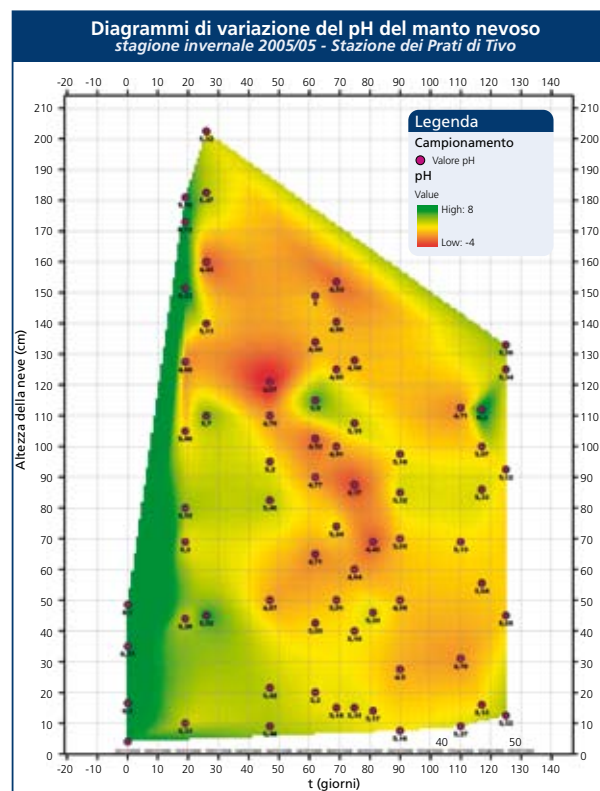
riguarda la lettura dei grafici della Fig. 11, che i valori della scala cromatica sono da ritenersi "reali" solo in prossimità dei punti campionati, in quanto, trattandosi di un grafico interpretativo, sono stati estrapolati valori anche dove, in realtà, la coltre nevosa non era presente; a tal proposito si fa notare come i punti disegnati sul grafico rappresentino i campioni prelevati e che per ogni colonna il valore con ordinata maggiore indica lo spessore massimo della neve a quella data (in ascissa).

Dall'analisi dei grafici si può dedurre come i parametri analizzati presentino il seguente andamento nel corso dei rilievi effettuati:

- la temperatura presenta un andamento, durante il corso dell'inverno, caratterizzato da una fase centrale molto fredda (area in rosso); lungo lo spessore del manto (area in blu) si può notare come vi sia un aumento della temperatura verso la base del manto, legata, in linea di massima, al flusso geotermico;
- la conducibilità presenta un andamento, durante il corso dell'inverno, caratterizzato da una continua diminuzione dei valori con l'avanzare della stagione (area in rosso); analogo andamento si riscontra lungo lo spessore del manto (area in blu);
- il pH presenta un'andamento molto simile a quello della temperatura, con una fase centrale caratterizzata da pH più acidi.

Il sito di Monti Alti di Ornella

La stazione di rilevamento di Monti Alti di Ornella a 2250 m di quota (Fig. 1) è situata sul versante settentrionale del gruppo del Padon, catena di rocce vulcaniche immediatamente a Nord della Marmolada, e sulla destra orografica del torrente Cordevole (bacino del Piave). La stazione è caratterizzata da



un campo neve e da una stazione automatica di monitoraggio dei parametri meteorologici e nivo-logici (Cagnati, 1983).

Il soprasuolo del sito è di tipo silicatico ed è stato sottoposto, fino a circa 35/40 anni fa, a sfalcio e successivamente a pascolo. Esso può essere considerato "prateria

Fig. 11 b
Fig. 11c

Fig. 12 - Campionamenti di neve e distribuzione della temperatura dell'aria, del pH e della conducibilità elettrica media.

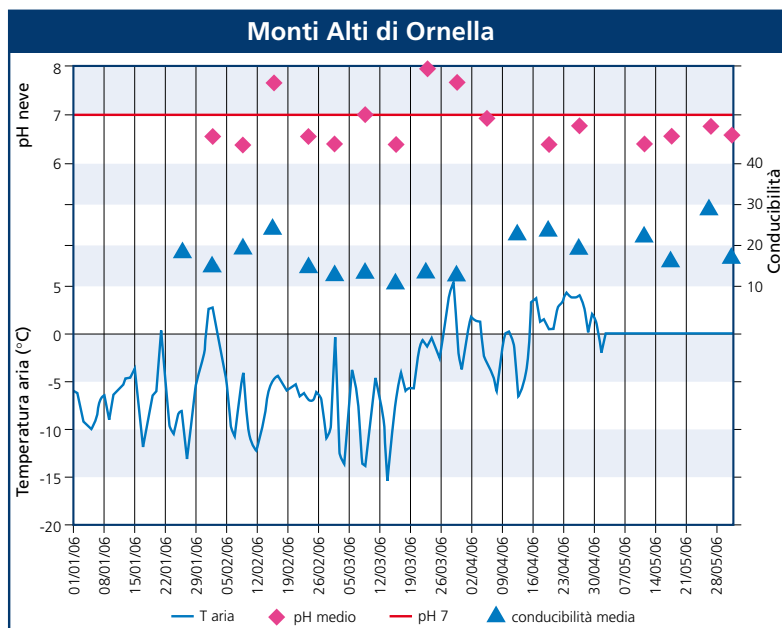


Fig. 13 - Monti Altì di Ornella, andamento del pH rispetto alla densità e alla temperatura dell'aria.

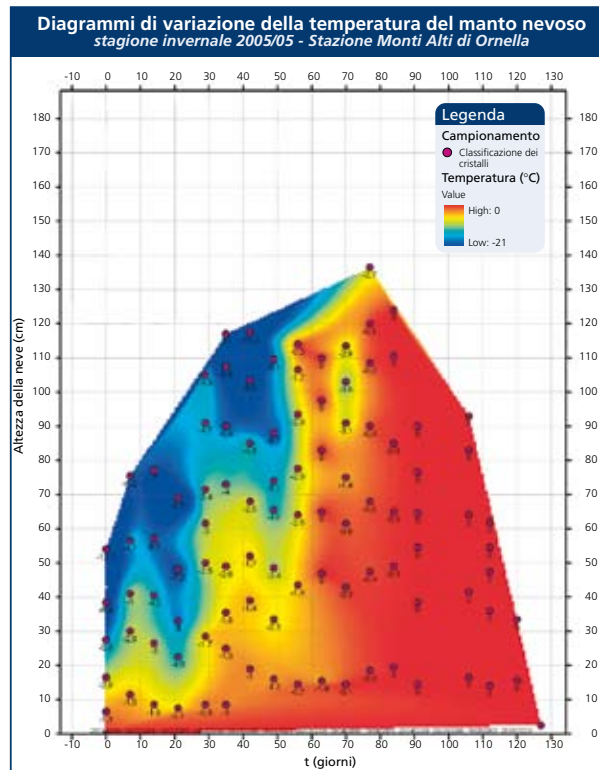
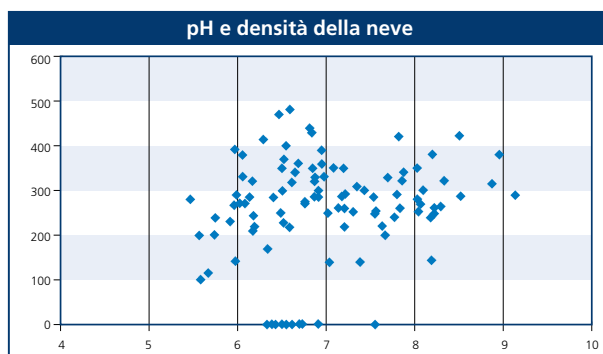


Fig. 14a,b e c - Diagrammi di variazione della temperatura, del pH e della conducibilità

alpina di alta quota", con totale assenza di specie arbustive. La temperatura media annuale del sito è di +1,8°C, la precipi-

tazione di 971 mm (relativa alla vicina stazione di Passo Pordoi q. 2142 m), il cumulo stagionale di neve fresca pari a 605 cm (relativa alla vicina stazione di Lago di Cavia q. 2100 m) e l'altezza media di neve al suolo, da novembre ad aprile, di 92 cm.

La stazione di rilevamento di Monti Altì di Ornella è rappresentativa dell'evoluzione generale del manto nevoso sui versanti settentrionali delle Dolomiti.

La stazione è raggiungibile in inverno solo con gli sci (dista circa 400 m da una pista) e in estate con un mezzo fuoristrada. Non ci sono infrastrutture abitative nelle vicinanze.

Primi risultati

Dal 25 gennaio 2006 al 1 giugno 2006 sono stati eseguiti settimanalmente i campionamenti della neve per un totale di più di 100 campioni di neve prelevati e analizzati (Fig. 12).

In Fig. 13 sono rappresentati gli andamenti del pH rispetto a densità e temperatura.

Un'analisi più approfondita dei valori di pH misurati e rispettiva temperatura della neve campio-

nata ha evidenziato (Fig. 14):

- con temperature medio-basse della neve i valori di pH tendono ad essere relativamente

alcalini;

- gli strati di neve più superficiali hanno valori di pH acido rispetto alla base del manto nevoso;

- nel periodo di disgelo il pH della neve risulta leggermente acido e i valori di conducibilità sono più alti;

- durante tutta la stagione invernale i valori di conducibilità sono più elevati e di pH più acidi alla base del manto nevoso, rispetto alla superficie.

Il sito di Malga Vallecetta - Comprensorio sciistico di Bormio

Il sito sperimentale, localizzato nelle vicinanze di Malga Vallecetta (comune di Valdisotto - SO, Fig. 1), si trova ad una cinquantina di metri all'esterno della pista di sci alpino Bimbi al Sole che dalla Cima Bianca conduce a Bormio 2000. Il sito selezionato per i campionamenti della neve è posto al limite del bosco, su una piccola radura pianeggiante del versante Nord-occidentale del Monte Vallecetta, lungo la dorsale che delimita l'ampio canalone in cui storicamente correvano le grandi valanghe primaverili che raggiungevano il fondovalle. Il soprasuolo è costituito prevalentemente da pascolo; intorno predominano giovani pini cembri e mughi alternati a cespugli di ginepro e rododendro.

La stazione nivometeorologica più vicina, in cui quotidianamente vengono rilevati i dati del Mod. 1 AINEVA (Bormio 2000), è posta alla stessa esposizione ma a quota 2010 m s.l.m.. Qui la media delle precipitazioni nevose negli ultimi 30 anni da dicembre a maggio è di 270 cm.

La montagna del Vallecetta, sul versante Nord-occidentale è rappresentativa solamente per la conca di Bormio che è, in assoluto, la zona più secca dell'Alta Valtellina oltre che dell'intera Lombardia.

Primi risultati

Le variazioni dei parametri in studio sono presentati nei grafici di Fig. 15.

Le distribuzioni dei valori non mostrano una tendenza marcata da una permanenza di condizioni di acidità negli spessori più superficiali del manto nevoso e al contatto con il suolo, almeno, nella parte centrale dell'inverno e da un impulso ionico quasi immediato nella prima decade del mese di aprile (grafico della conducibilità) che interessa la quasi totalità del manto. È da segnalare anche il fenomeno della precoce fusione incipiente del manto, in condizione di isoterma, già a partire dall'ultima decade di marzo, che sembra favorire un successivo rimescolamento ionico e una più incisiva dinamica chimica.

Il sito del Ghiacciaio del Basodino

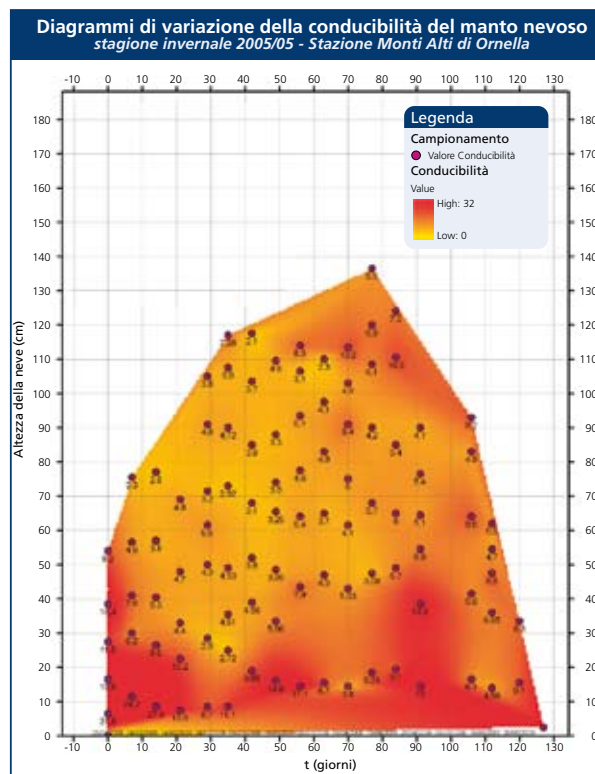
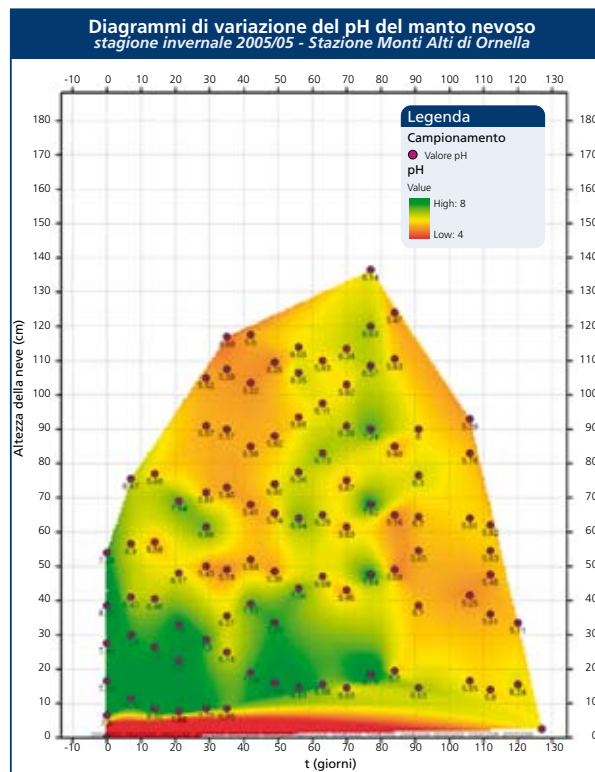
Il sito del Ghiacciaio del Basodino è localizzato sul Ticino nordoccidentale (Fig. 1), nell'Alta Valle Maggia, a soli 4 km di distanza a sudest del Lago Toggia, in cima alla Valle Formazza. Il punto di campionamento è situato al centro del Ghiacciaio, esteso su un'area di poco più di 2 km². Il ghiacciaio, in condizioni morfologiche sommitali, è rivolto verso nordest e presenta una pendenza media dai 15° ai 20°. Il ghiacciaio è oggetto di misurazioni glaciologiche dirette, per la determinazione del bilancio di massa, a partire dal 1993. In questo contesto già negli anni scorsi sono state effettuate misurazioni di chimismo della neve, con campionamenti effettuati in occasione delle misurazioni di densità della neve invernale, prima dell'inizio della fusione superficiale e della saturazione del manto nevoso ad opera delle acque di fusione. Il substrato del Massiccio del Basodino è composto princi-

palmente da gneiss cristallini, con alcune limitate intrusioni di marmo nella zona antistante il ghiacciaio, a qualche km di distanza dalla fronte. Questi affioramenti sono esigui, ma potrebbero svolgere un'azione di tamponamento chimico nei confronti dei laghetti circostanti, caratterizzati da acidità marcata. Durante la stagione invernale, invece, la loro azione dovrebbe essere ininfluenza sulle deposizioni di neve sul ghiacciaio.

Il ghiacciaio è raggiungibile a piedi, in circa 3 ore, d'inverno con le pelli di foca, dalla stazione di Robie (1900 m s.l.m.), dove giunge una teleferica gestita dalle Officine Idroelettriche Maggia OFIMA. A Robie MeteoSvizzera possiede una stazione meteorologica automatica che rileva dati ogni 10 minuti: le misurazioni delle precipitazioni vengono eseguite con un pluviometro riscaldato, grazie al collegamento alla rete elettrica, mentre i dati vengono trasmessi per linea telefonica. Inoltre, a Robie gli addetti OFIMA gestiscono un campo di rilevamento neve della rete di rilevamento manuale dell'Istituto Federale della Neve e delle Valanghe di Davos.

Nella Fig. 16 sono riportati i dati raccolti manualmente presso la stazione di Robie a 1900 m, durante l'inverno 2005/06. Essi mostrano, in alto, l'andamento dell'altezza della neve (linea rossa), che non ha mai raggiunto la media (linea verde) degli ultimi decenni, ma addirittura ha superato la curva minima assoluta, a fine gennaio, quando la poca neve presente al suolo è stata asportata dal vento.

Da notare come in anni nevosi la curva massima può raggiungere valori considerevoli. Il massimo assoluto a Robie è stato registrato il 24 aprile 1986 con 624 cm di coltre nevosa al suolo.

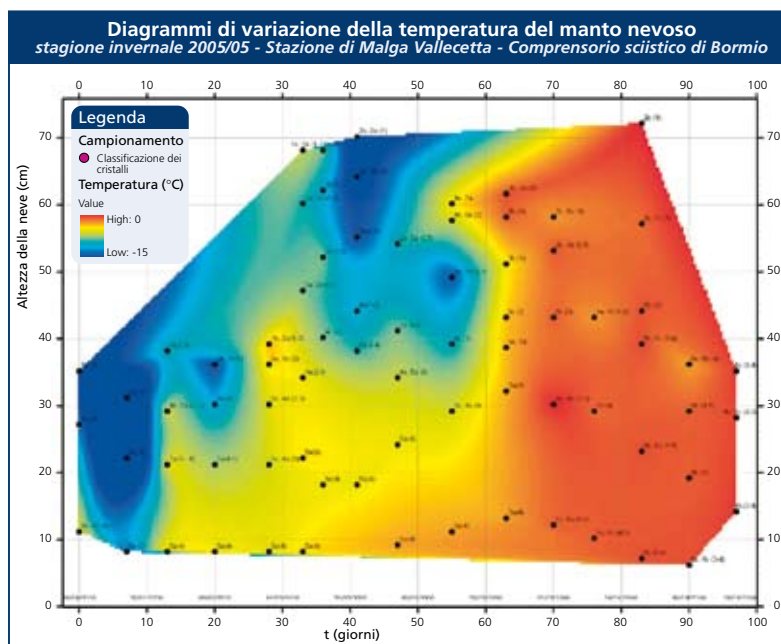


Primi risultati

I campionamenti della neve al suolo sono stati eseguiti l'8 febbraio ed il 3 maggio 2006; le analisi chimiche sono state condotte il giorno successivo presso il Laboratorio studi ambientali del Cantone Ticino (Dr. G. Righetti). Come si era già verificato anche in occasione di precedenti

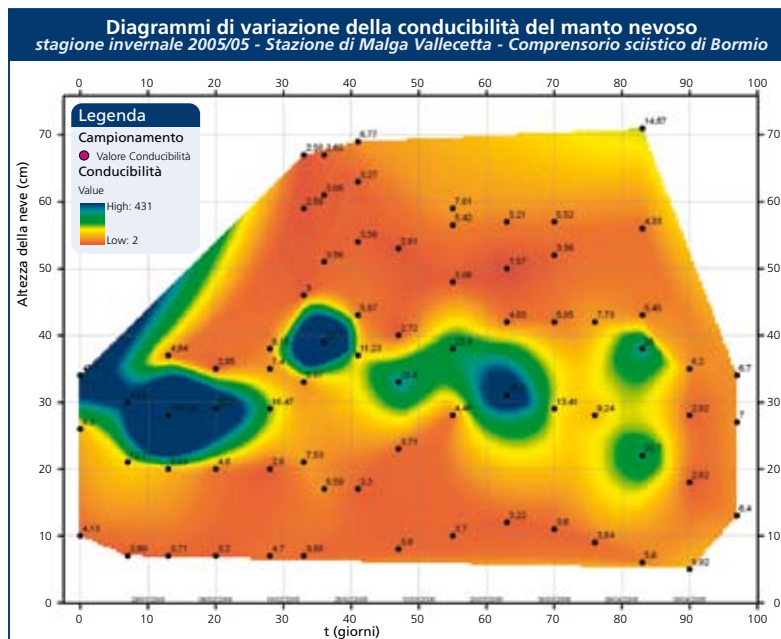
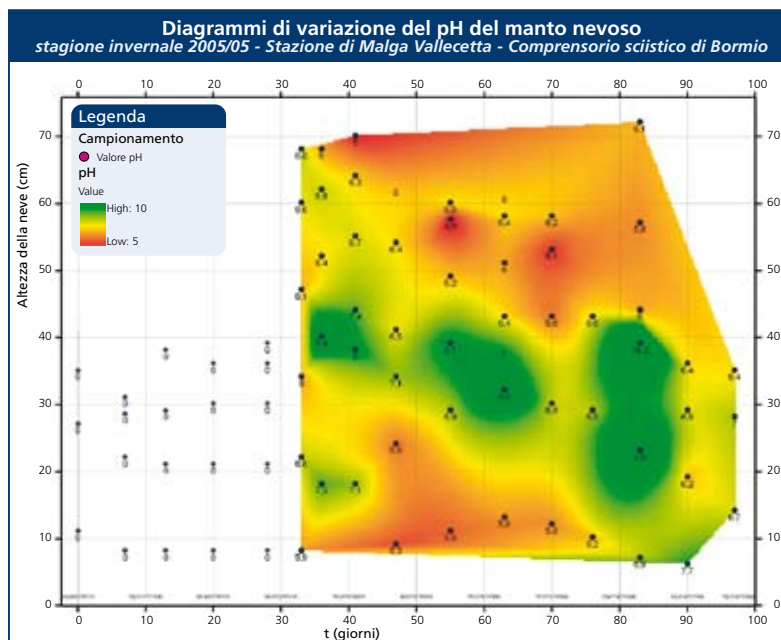
elettrica del manto nevoso durante la stagione invernale 2005/06 per la stazione di Monti Altì di Ornella; i punti disegnati rappresentano i dati realmente campionati; la scala cromatica rappresenta un'interpolazione di tali punti, per favorire l'interpretazione.

Fig. 15a, b e c
- Diagrammi di
variazione della
temperatura, del pH
e della conducibilità
elettrica del manto
nevoso durante la
stagione invernale
2005/05 per
la stazione di
Malga Vallecetta;
i punti disegnati
rappresentano
i dati realmente
campionati; la
scala cromatica
rappresenta
un'interpolazione
di tali punti,
per favorirne
l'interpretazione.



Pagina a fianco
Fig. 16 - Dati nivo-
climatici raccolti
manualmente presso
la stazione di Robiei

Fig. 17a e b
- Diagrammi di
variazione della
temperatura, del pH
e della conducibilità
elettrica del manto
nevoso durante la
stagione invernale
2005/05 per
la stazione del
ghiacciaio Basodino;
i punti disegnati
rappresentano
i dati realmente
campionati; la
scala cromatica
rappresenta
un'interpolazione
di tali punti,
per favorirne
l'interpretazione.



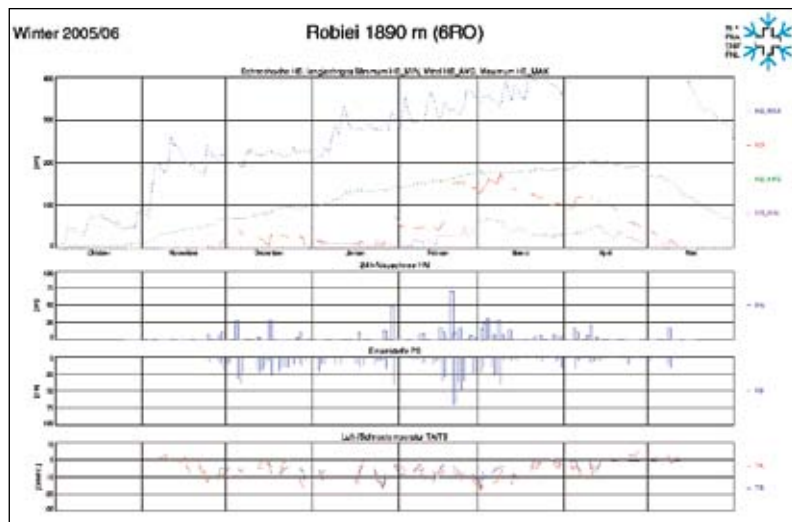
annate e come si può apprezzare dai grafici di figura 17, la conducibilità si mantiene bassa, a fronte di una elevata acidità, sempre minore, però, di quella delle precipitazioni che cadono nelle Prealpi del Ticino, dove il "Washout" ed il "Rainout" sono maggiormente evidenti.

Lo strato totale (97 cm) che era stato campionato in 2 frazioni a inizio febbraio 2006 e che mostrava, rispettivamente, pH di 5.54 di 5.26, a maggio, ridotto a 85 cm di spessore, manteneva costante un pH pari a 5.31, a dimostrare una stabilità del valore pH nel medesimo strato indisturbato, a fronte di temperature sempre decisamente sotto lo zero durante il corso dell'inverno. Delle due frazioni campionate nella trincea del giorno 8 febbraio 2006, quella basale comprendeva un alcune deboli nevicate di fine novembre (brina di fondo), uno strato di neve sopraggiunta da nordovest ad inizio dicembre ed una nevicata arrivata da sud a fine dicembre. Risultava un po' meno acida di quella del campione soprastante; il secondo, che comprendeva in particolare la nevicata del 26-28 gennaio, sopraggiunta con venti meridionali.

Nella trincea eseguita a inizio maggio il campione basale rendeva conto degli stessi 2 strati rilevati a febbraio ed il campione più superficiale tutte le successive nevicate verificatesi tra metà febbraio e inizio maggio.

Il sito della Valle D'Aosta

Il sito di Fontainemore-Punta Leretta (Fig. 1) è situato a 1825 m di quota, sulle pendici esposte a sud-ovest del Mont Mars, un massiccio geologicamente situato nella Zona Sesia-Lanzo e formato prevalentemente da rocce a reazione acida (micascisti e micascisti eclogitici). Il sito è localizzato su un pascolo



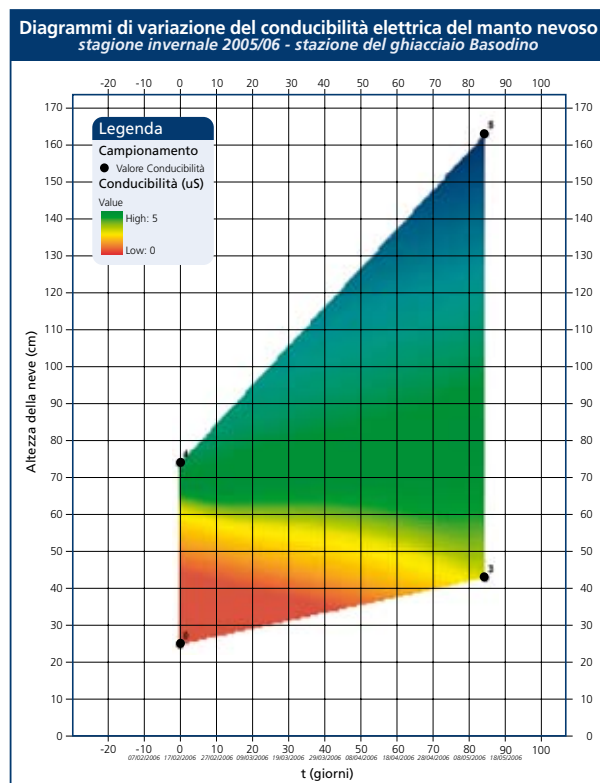
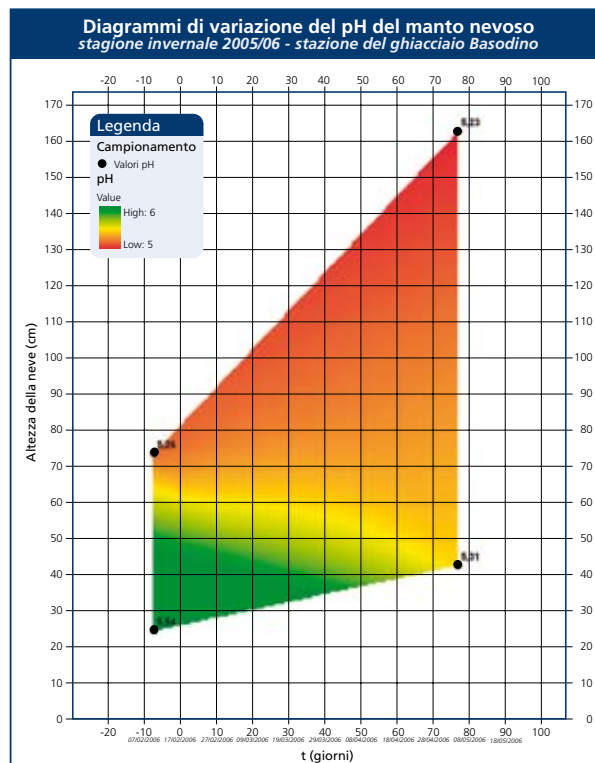
d'alta quota, circondato da un popolamento di Larice. La stazione è raggiungibile in inverno solo con gli sci e in estate con un mezzo fuoristrada. Non ci sono infrastrutture abitative nelle vicinanze.

La circolazione atmosferica responsabile della maggior parte delle precipitazioni è prevalentemente di provenienza meridionale. Essa è messa in movimento da aree cicloniche centrate sul golfo di Genova che possono portare precipitazioni anche consistenti. Una tale figura sinottica è frequente nei mesi primaverili e autunnali, mentre risulta meno diffusa in inverno e estate. Il clima della stagione invernale è normalmente freddo e asciutto, caratterizzato da lunghi periodi di stabilità anticiclonica; la stagione estiva presenta, invece, attività temporalesche sia dinamiche, sia convettive (Mercalli et al., 2003). Le precipitazioni hanno una distribuzione stagionale caratterizzata da un massimo principale primaverile (aprile-maggio), ed un massimo secondario ad ottobre; il minimo principale si presenta durante i mesi invernali (dicembre, gennaio e febbraio); durante l'estate si riscontra una flessione nel mese di luglio, ma essa è generalmente soggetta a fenomeni temporaleschi piuttosto

frequenti. Il sito di rilevamento presenta inoltre condizioni microclimatiche peculiari, essendo caratterizzato, nella stagione estiva, dallo scontro tra le correnti fredde che scendono dal Monte Rosa e quelle più calde provenienti dalla pianura piemontese; ciò determina un'abbondanza delle precipitazioni, localizzate specialmente nelle ore pomeridiane. La temperatura media annua è di 3,8°C.

Primi risultati

Nel corso dell'inverno 2005/06 sono stati effettuati due campionamenti di manto nevoso in occasione dei periodi critici di accumulo e di fusione della neve (18/03/2006 e 15/04/2006). A partire dalla determinazione della stratigrafia e del profilo, il manto nevoso è stato successivamente campionato ogni 10 cm di profondità. I campioni sono stati conservati in congelatore e successivamente analizzati per la determinazione del pH e della conducibilità elettrica (Hiltbrunner et al., 2005). I risultati di fig. 18 *on line* mostrano valori di pH subacidi e una conducibilità elettrica compresa fra 3 e 17 $\mu\text{S cm}^{-1}$, valori in linea con quanto riportato da altri autori per l'ambiente Alpino (e.g. Puxbaum et al., 1991; Hiltbrunner et al., 2005). Si assiste generalmente ad un aumento di pH col progressivo avvicinarsi



alla superficie del manto nevoso. Nel caso del profilo del 18/03 si assiste anche ad un leggero incremento di pH all'interfaccia suolo-neve; tale incremento è accompagnato da un analogo aumento della conducibilità elettrica, che in quel punto raggiunge il valore massimo. Nel caso del profilo campionato il 15/04 la

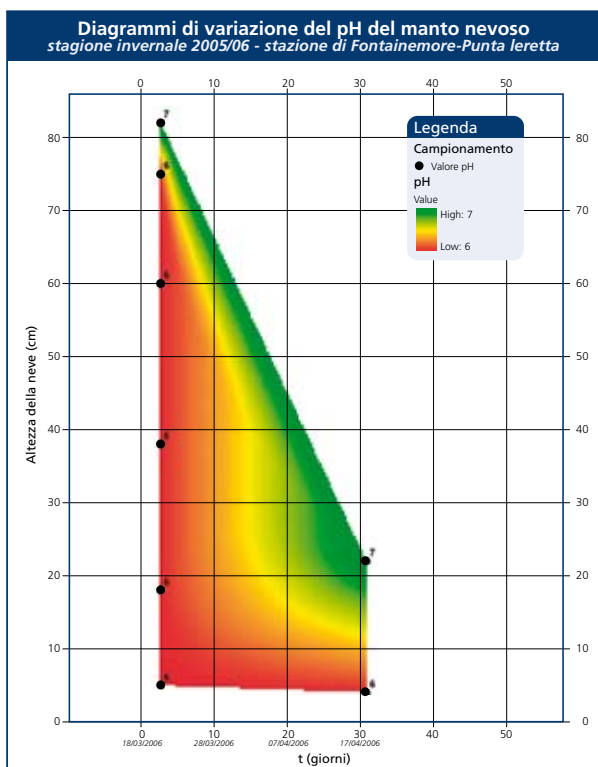
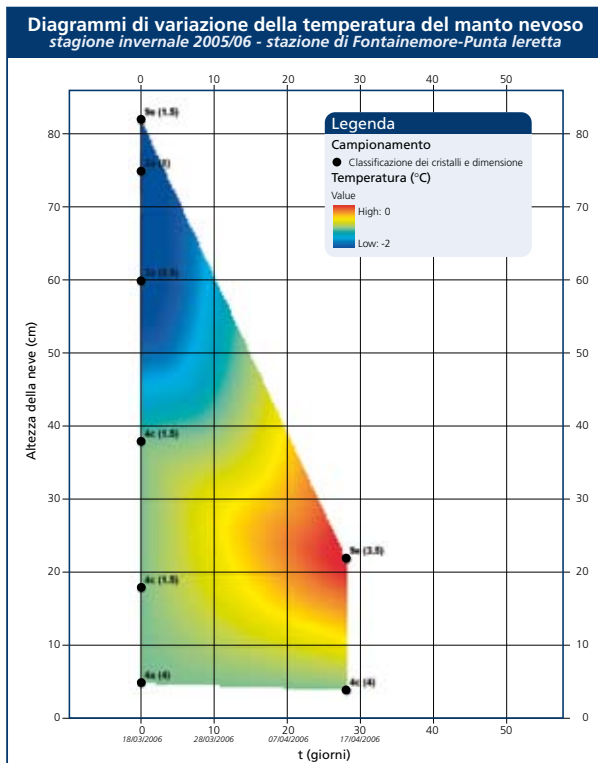


Fig. 18a,b e c
- Diagrammi di
variazione della
temperatura, del pH
e della conducibilità
elettrica del manto
nevoso durante la
stagione invernale
2005/06 per
la stazione di
Fontainemore-Punta
Ieretta; i punti
disegnati

conducibilità elettrica è invece
massima nello strato di neve a
contatto con l'aria, mostrando,
insieme alla fusione, n completo
rimiscelamento nel chimismo
del manto.

DISCUSSIONE E PROSPETTIVE

Il monitoraggio del profilo chi-
mico-ambientale speditivo del

manto nevoso, realizzato nel cor-
so della stagione invernale 2005-
2006 in alcuni siti sperimentali di
interesse dell'Italia settentrionale
e in uno dell'Italia centrale mette
in evidenza una qualità della
neve dubbia (anche se non com-
promessa), per quanto riguarda
sia il chimismo speditivo, sia la
radioattività ambientale.

I dati di pH oscillano tra valori
più marcatamente acidi a "leg-
germente" alcalini, a conferma
di precedenti studi effettuati
(Pecci et al., 2003; Pecci et al.,
2004; Pecci 2005) e i valori di
radioattività segnalano, comun-
que, una presenza ed attività
dei radioisotopi sia nell'aria (più
direttamente legate alla com-
posizione e provenienza delle
masse d'aria), sia nella neve
(principalmente legate ai feno-
meni di condensazione fredda),
non certo nuova nell'alta quota
(Balerna et al., 2003).

La fase sperimentale della ri-
cerca evidenzia, quindi, alcuni
interrogativi e problematicità e,
allo stesso tempo, interessanti
possibilità di sviluppo ed appli-
cazioni.

Le criticità risiedono principal-
mente nella "non completa con-
frontabilità e univocità" delle me-
tologie e delle strumentazioni
utilizzate, che risentono, anche,
del percorso di aggregazione
delle unità operative rispetto al
tema centrale della valutazione
ambientale della neve al suolo,
che è avvenuto a più riprese nel
corso della fase preparatoria del
2005 e anche alla fine dell'inver-
no 2005-2006. Nella prospettiva
di una più ampia condivisione
delle finalità della ricerca e di
una base di esperienze e dati più
ampia, si è preferito, di comune
accordo, di procedere anche a
fronte di una base di partenza
"disomogenea" e con differenti
finalità.

I risultati preliminari sono, quin-

di, talora disomogenei, anche
se individuano alcune tendenze
generali che riguardano una
variabilità e non trascurabilità
dell'inquinamento, almeno nelle
sue componenti speditive.

In particolare l'andamento del
pH e della conducibilità sembra
legato fortemente alle condizioni
di temperatura, anche se risulta
notevolmente influenzato dalla
composizione locale del sub-
strato e dalla sua "reazione": il
tema è di sicuro interesse e
andrà investigato più appropfon-
ditamente nei test futuri. I valori
di pH sembrano aumentare in
corrispondenza della superficie
e della base del manto nevoso
(ad esclusione del caso di Arab-
ba, in cui alla base si riscontrano
valori alcalini probabilmente
legati, più che alla composizione
del substrato, alla "disponibilità"
nell'area - centrale delle Dolomiti
- di contributi carbonatici - al-
calini), anche se non sono ben
chiarite, al momento attuale, le
relative dinamiche.

Di sicuro interesse saranno le
conferme quantitative dell'inter-
pretazione delle analisi chimiche
inorganiche che si stanno ulti-
mando sull'intero campiona-
mento spazio-temporale del manto
nevoso a Monti Alti di Ornella
(Arabba, BL) e in corrispondenza
di 2 campionamenti ai Prati di
Tivo (TE).

L'argomento della ricerca sem-
bra di sicuro interesse sia per gli
aspetti scientifici, sia, soprattutto
per le implicazioni applicative e
ambientali.

Sulla scorta del primo anno di
sperimentazione ci si sta, quindi,
organizzando per affrontare il
prossimo, secondo inverno, per
realizzare un test con metodo-
logie comuni e condivise e con
i medesimi strumenti, al fine di
poter effettuare un monitoraggio
che fornisca risultati confronta-
bili, utilizzabili e, in prospettiva,

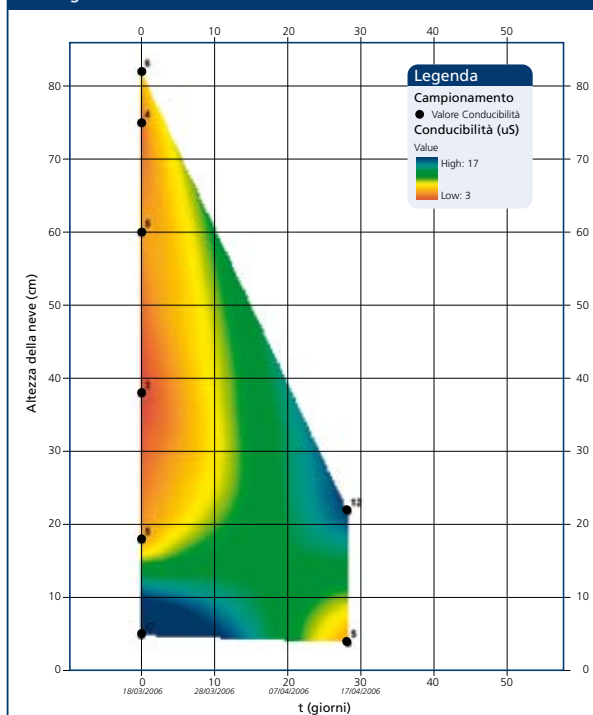


modellizzabili sia alla scala temporale, sia a quella spaziale sul territorio nazionale.

Bibliografia

- BALERNA A., BERNIERI E., PECCI M., POLESSELLO S., SMIRAGLIA C. & VALSECCHI S. (2003). Chemical and radio-chemical composition of fresh-snow samples from northern slopes of Himalayas (Cho Oyu range, Tibet). *Atm. Env.*, 37, 12, pp 1573-1581, Elsevier.
- CAGNATIA. (1983). I Servizi valanghe regionali e provinciali dell'arco alpino italiano. *Neve e Valanghe*, 0, 7-17.
- CAGNATIA. (2003). Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.
- COLBECK S., AKITAYA E., ARMSTRONG R., GUBLER H., LAFEUILLE J., LIED K., MCCLUNG D. & MORRIS E. (1990). The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. International Commission on Snow and Ice, IAHS, 23 p.
- 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.
- GIUFFRIDA A., M. CONTE. (1989). Variations climatiques en Italie: tendencies des temperatures et des precipitations. *Publ. Ass. Int. Climatologie*, 2, pagg. 209-216
- HILTBRUNNER E., SCHWIKOWSKI M., KÖRNER C. (2005). Inorganic nitrogen storage in alpine snow pack in the Central Alps (Switzerland). *Atmospheric Environment*, 39, 2249-2259
- LEHNING M., BARTELT P., BROWN B., RUSSI T., STUCKLI U., ZIMMERLI M. (1999). Manto nevoso e stazioni automatiche: nuovo modello di calcolo dei dati. *Neve e Valanghe* n. 37. 18 – 27.
- LEHNING M., FIERZ C., LUNDY C. (2001). An objective snow profile comparison method and its application to SNOWPACK. *Cold region science and technology*, 853. 1 – 9.
- LEHNING M., BARTELT P., BROWN B., FIERZ C., SATYAWALI P. (2002 a). A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part II: Snow microstructure. *Cold region science and technology* 35. 147 – 167.
- LEHNING M., BARTELT P., BROWN B., FIERZ C. (2002 b). A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation. *Cold region science and technology* 35. 169 – 184.
- MERCALLI L., CAT BERRO D., MONTUSCHIS., CASTELLANO C., RATTIM., DINAPOLI G., MORTARA G., GUINDANI N. (2003). *Atlante Climatico della Valle d'Aosta*. SMI, 405 pp.
- PECCI M., BOLZACCHINI E., MAGGI V., PERRONE M. G. (2003). Industrial POPs (Persistent Organic Pollutants) Accumulation in the Cryosphere: Environmental and Applied Issues. Abstracts EGS – AGU – EUG, Nice (France), 6-11 April 2003.
- PECCI M., SMIRAGLIA C., MAGGI V., RINALDINI R., D'AGATA C., DIOLAIUTI G., MARINONI A., POLESSELLO S., VALSECCHI S., DEAMICIS M. & FILIPPAZZI M. (2004). Il glacialismo e la criosfera in area mediterranea come indicatori degli effetti delle attività industriali sugli ambienti di vita. *Prevenzione Oggi*, numero unico 2002-03, 5 – 43.
- PECCI M. (2005). In situ surveys and researches on the snow cover in high altitude: case studies in italian and himalayan mountain ranges. *Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, Suppl. VII (2005), 253-260, 8 figg.
- POLESSELLO S., VUILLERMOZ E., TARTARI G., VALSECCHI S., MARINONI A., PECCI M., COMI M. (2005).

Diagrammi di variazione del conducibilità elettrica del manto nevoso stagione invernale 2005/06 - stazione di Fontainemore-Punta Ieretta



Chemical Composition of Fresh Snow in Hymalayas and Karakoram. Convegno Shareasia "Le montagne testimoni dei cambiamenti globali"- Roma 16 e 17 ottobre 2005.

- PUXBAUM H., KOVAR A., KALINA M. (1991). Chemical composition and fluxes at elevated sites (700-3105 m a.s.l.) in the eastern Alps (Austria). In NATO ASI Series G: Ecol. Sci., 28, Seasonal Snowpacks, Processes of Compositional Change, T.D. Davies, M. Tranter and HG Jones (Eds). Springer-Verlag, Berlin, pp. 273-298.

rappresentano i dati realmente campionati; la scala cromatica rappresenta un'interpolazione di tali punti, per favorirne l'interpretazione.



Secondo corso di aggiornamento per previsori valanghe

Si è svolto in Valle d'Aosta il secondo corso di aggiornamento per previsori valanghe.

Questa tipologia di corso è incentrata, di anno in anno, su un argomento specifico inerente gli aspetti di valutazione locale e previsionali del pericolo di valanghe.

La prima edizione, svoltasi a fine luglio 2005 in Arabba, è stata incentrata sulla modellizzazione del manto nevoso ed in particolare sugli output possibili avendo come dati di partenza i valori di stazioni nivometeorologiche automatiche. Sull'argomento era intervenuto il dr Michael Lehning di Davos illustrando le potenzialità del modello Snowpack.

Il tema di quest'anno è stato: "Procedure e metodologie nella valutazione del pericolo valanghe a scala locale".

Per l'occasione è stato invitato a relazionare sull'argomento Alain Duclos, che ha illustrato i risultati delle ultime ricerche effettuate assieme a Francois Louchet riguardo ai meccanismi di distacco delle valanghe a lastroni. Duclos ha illustrato quanto esposto in alcuni suoi recenti lavori pubblicati su Neige et Avalanche (n. 113), The Avalanche Review (Vol.24, n.3) e anticipando anche quanto sarà illustrato in occasione del convegno ISSW 2006 di Telluride (USA). In particolare ha descritto la combinazione dei 4 fattori che innescano il distacco di una valanga a lastroni e cioè il collasso dello strato debole all'interno del manto nevoso a seguito di un sovraccarico con la conseguente nucleazione della prima rottura, la necessaria propagazione e estensione della rottura all'interno dello strato debole, la iniziale frattura sommitale lungo la corona del lastrone e l'estensione di questa frattura con conseguente movimento della valanga a lastroni.

Duclos ha terminato la mattinata, presso il Salone del Palazzo Regionale in Aosta, con la relazione dal titolo "Estimation locale de la probabilité d'avalanches dangereuses pour la sécurité des pistes de ski, des chabriers et des voies de communication".

Il pomeriggio, presso il Vivaio Forestale

Regionale "Abbé Henry" in località Olleyes - Quart, si è aperto con la presentazione di Daniele Moro dal titolo "La previsione locale del pericolo valanghe in occasione di gare scialpinistiche: l'esperienza del Friuli Venezia Giulia" a cui è seguito un altro intervento AINEVA riguardante un breve riassunto dell'andamento della stagione invernale 2005 - 2006 sulle Alpi Meridionali (innnevamento e incidenti) e la presentazione de "Il grado di pericolo 1: debole", illustrante un caso tipico di pericolo debole. Il lavoro realizzato in Power Point è una parte di quello realizzato per tutti i 5 gradi di pericolo dai Servizi Valanghe AINEVA all'interno del progetto, fra i Servizi Valanghe Europei, di illustrazione di casi tipici.

Sono seguiti poi gli interventi, molto interessanti e seguiti con grande attenzione, dal parte del Meteomont del Corpo Forestale dello Stato e delle Truppe Alpine con illustrazione di casi tipici sull'arco appenninico.

Al corso sono intervenuti previsori valanghe afferenti sia all'AINOVA sia al METEMONT.

La giornata di formazione è risultata intensa e esaustiva, nonché egregiamente organizzata dall'Ufficio Neve e Valanghe della Regione Valle d'Aosta.

Mauro Valt

ARPAV Centro Valanghe Arabba
Coordinatore Gruppo Previsori AINEVA



Il PGUAP della Provincia di Trento

Il Piano Generale di utilizzazione delle acque Pubbliche (PGUAP) è finalmente entrato in vigore dopo un lungo periodo di gestazione.

Grazie a quanto previsto dall'art. 14 dello Statuto di Autonomia ed alla modifica del D.P.R. 22 marzo 1974, n. 381, avvenuta attraverso il D.lgs. 11 novembre 1999 n. 463, la Provincia si è dotata di uno strumento per la pianificazione e la gestione delle acque corrispondente ad un piano di bacino di livello nazionale.

In questo piano si è riusciti ad integrare ogni aspetto relativo alla gestione delle acque, da quello relativo alla difesa del suolo, al risanamento e all'ottimizzazione dell'uso della risorsa idrica.

Dopo circa 6 anni di intenso lavoro a cavallo di due legislature, si è giunti alla conclusione di un complesso percorso, compiuto d'intesa con lo Stato, la Provincia Autonoma di Bolzano, le Regioni Lombardia e Veneto, le Autorità di bacino. Tale percorso nella sua ultima fase ha visto coinvolti, oltre ai rappresentanti delle comunità locali, anche tutta la società civile.

La gestione sostenibile della risorsa idrica, improntata al risparmio idrico e alla protezione dell'integrità ecologica degli ambienti acquatici, attraverso scelte urbanistiche coerenti ed interventi a basso impatto ambientale per il controllo del

rischio, è una delle principali indicazioni del piano.

Il PGUAP unitamente alla disciplina già introdotta dal Piano di Tutela delle Acque costituisce pertanto il quadro di riferimento per la gestione integrale delle acque sia sotto il profilo quantitativo e della sicurezza del territorio sia sotto quello qualitativo.

Alla concreta attuazione di questi due importanti strumenti di pianificazione sono rivolte le aspettative di un futuro migliore nel quale si potrà godere di una maggiore qualità ambientale e di maggiore sicurezza del territorio. In questo campo il PGUAP ha gettato le fondamenta di un'opera che dovrà essere continuata e sempre più affinata nel tempo.

Nell'ottica del nuovo piano viene preso in considerazione il rischio idrogeologico nel quale ricade la problematica relativa al movimento di masse nevose instabili, valanghe.

La parte IV del piano individua le aree a rischio idrogeologico su tutto il territorio provinciale in ottemperanza a quanto stabilito dal decreto legge n.180 del 11.06.98 e secondo le indicazioni del relativo atto di indirizzo emanato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 29.09.98.

A tal fine il rischio idrogeologico, ovvero quello derivante da fenomeni di esondazione, frana e valanga è stato definito dalla seguente relazione:

R: Rischio idrogeologico relativo ad una determinata area;

P: Pericolosità dell'evento calamitoso che può interessare l'area stessa;

Classi di pericolosità idrogeologica e relativi valori

Tipologia di pericolo	Classi di pericolosità	Valori di pericolosità	Fonte dei dati
Alluvione	Aree ad elevata pericolosità di esondazione	1	Aree di esondazione con tempo di ritorno di 30 anni perimetrate dall'Autorità di Bacino del Fiume Adige
	Aree a moderata pericolosità di esondazione	0,8	Aree di esondazione con tempo di ritorno di 100 anni perimetrate dall'Autorità di Bacino del Fiume Adige
	Aree a bassa pericolosità di esondazione	0,4	Aree passibili di esondazione della carta di sintesi geologica integrate dalle aree di esondazione con tempo di ritorno di 200 anni perimetrate dall'Autorità di Bacino del Fiume Adige.
Frana	Aree ad elevata pericolosità geologica	1	Aree ottenute sottraendo le aree di esondazione dalle aree ad elevata pericolosità geologica, idrologica della carta di sintesi geologica.
	Aree a moderata pericolosità geologica	0,8	Aree critiche recuperabili della carta di sintesi geologica.
	Aree a bassa pericolosità geologica	0,4	Aree con penalità gravi o medie della carta di sintesi geologica.
Valanga	Aree ad elevata pericolosità valanghiva	1	Aree ad elevata pericolosità valanghiva

V: Valore degli elementi presenti nell'area (persone, beni materiali e patrimonio ambientale);

v: vulnerabilità degli stessi elementi (funzione della loro esposizione all'evento calamitoso).

Il rischio può assumere valori compresi tra 0 e 1 ed è suddiviso in quattro classi: R4 molto elevato, R3 elevato, R2 medio, R1 moderato. Le Norme di Attuazione regolamentano le aree R3 ed R4 nel Capo IV mentre demandano ai Piani regolatori generali dei comuni (PRG) la disciplina delle aree R1 ed R2.

Per l'individuazione del rischio è stato necessario costruire la carta della pericolosità idrogeologica e la carta del valore d'uso del suolo.

La carta della pericolosità, derivata essenzialmente dalla carta di "Sintesi Geologica" del PUP, distingue innanzitutto i tre tipi principali di pericolo idrogeologico (alluvione, frana e valanga), differenziando poi all'interno di essi le classi di pericolosità (elevata, moderata e bassa).

Al fine di realizzare la carta della pericolosità valanghe del Trentino, presso l'Ufficio previsioni e organizzazione è stato

predisposto un apposito gruppo di studio con il compito di elaborare su questo schema la mappatura del territorio dal pericolo valanghe utilizzando gli strumenti di simulazione più attuali.

Come riferimento è stato preso il programma di dinamica delle valanghe sviluppato dall'Istituto Federale SNV di Davos AVAL-1D in grado di calcolare distanze di arresto per valanghe dense e polverose inserendolo nel contesto del territorio trentino. Il lavoro iniziato in primavera ha cominciato a dare i suoi frutti sulla zona ladina della Val di Fassa dove sono state eseguite le prime simulazioni che consentiranno alle comunità montane di utilizzare in maniera diversa il territorio montuoso che ricopre circa l'80% della superficie provinciale.



Novità editoriali

"Climate and Hydrology in Mountain Areas" (ISBN: 0-470-85823-0) pubblicato da John Wiley & Sons e cui autori sono Carmen de Jong, Davis Collins e Roberto Ranzi è una pregevole e recente pubblicazione che riguarda le interazioni fra idrologia e



meteorologia in zone montane, con casi relativi alle montagne dell'Europa, del nord America e dell'Asia centrale

La pubblicazione, basata su ricerche effettuate e risultati emersi dallo studio di numerosi scienziati di tutto il mondo, con siti test ubicati sulle Alpi, Giant Mountains, Himalaya, Ande, Alpi norvegesi e Caucaso, fornisce una sintesi dell'interazione fra processi idrologici e climatologici in ambiente montano.

Questi argomenti sono sviluppati all'interno di cinque temi: neve e fusione di ghiaccio, acqua sotterranea e permafrost, evapotraspirazione e bilancio d'acqua, accoppiamento meteorologia e idrologia, impatto dei cambiamenti climatici e idrologia montana.

Si tratta di una lettura sia per studenti universitari sia per ricercatori, adatto anche per organizzazioni professionali, autorità di bacini, agenzie di pianificazione e di sviluppo del territorio montano.

Il volume (338 pagine) è acquistabile presso le Libreria specializzate o in Internet (esempio <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470858230.html>)

Mauro Valt



La montagna si è presa Marco Zambelli Franz

Mercoledì 20 Settembre 2006, la Guida Alpina Marco Zambelli Franz è precipitata per una trentina di metri dal sentiero 321 dove effettuava la manutenzione del tratto attrezzato.

Nato nel 1970 in Comelico, abitava ad Auronzo con la moglie Anna e i suoi 2 piccoli bambini. Alpinista esperto,

instancabile soccorritore e dotato di una sensibilità straordinaria, viveva un particolare approccio con la montagna. In una intervista pubblicata sull'ultimo numero di "Quota 864" sulla bellezza della montagna disse: *"Sicuramente la passione per la montagna nasce e si alimenta anche dalla componente estetica: l'armonia delle forme, la purezza delle linee, i contrasti cromatici, i giochi di luce. Tutto questo distoglie l'appassionato dal quotidiano e lo invita a riflettere. Per chi frequenta come me la montagna tutte le stagioni e quasi tutti i giorni, il bello è sentirsi parte di essa e non ospite occasionale"*

Marco Zambelli Franz è stato uno stimato osservatore nivologico per il Centro Valanghe di Arabba nelle Dolomiti Orientali (Auronzo, Cadore e Comelico) e istruttore negli ultimi corsi AINEVA svoltisi a Falcade.

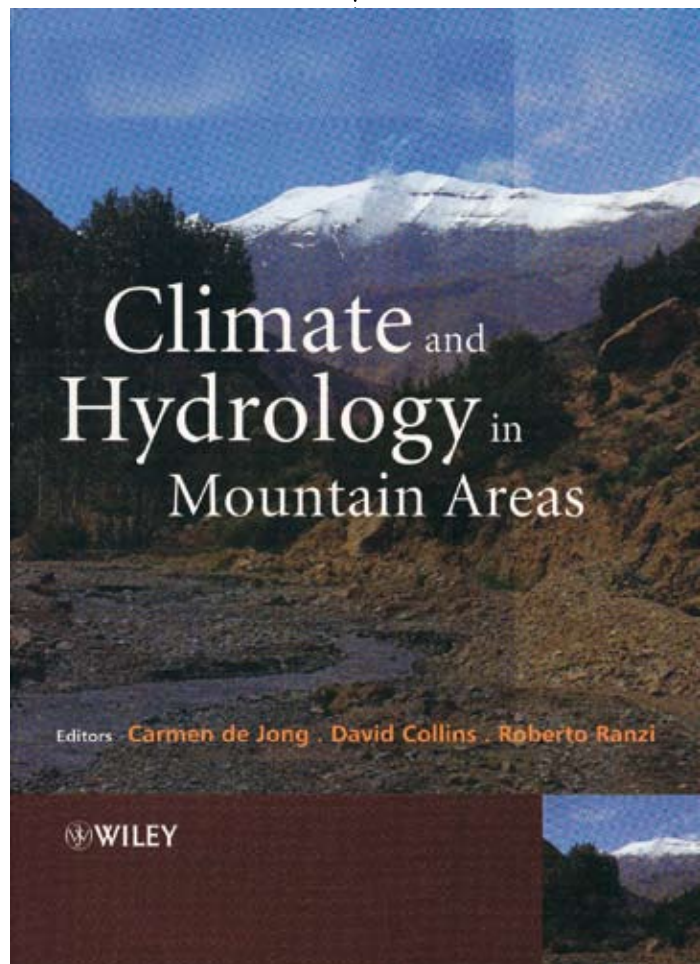
Mauro Valt



Checkpoint A.R.Va. a Solda (Alto Adige)

Su iniziativa del Soccorso Alpino di Solda e con il supporto della Cassa di Risparmio di Bolzano S.p.a., nel corso della passata stagione invernale è stata installata la prima stazione automatica per l'autocontrollo della funzionalità dell'apparecchio A.R.Va. in Alto Adige.

L'apparecchiatura è stata collocata nelle vicinanze della stazione a monte delle funivie di Solda, un punto molto strategico perché partenza della grande maggioranza di gite sci alpinistiche della zona. Inoltre questo è un luogo di sicuro passaggio anche per i freeriders, cate-



goria "emergente" nelle statistiche degli incidenti in valanga sulle Alpi, che utilizzano gli impianti di risalita per effettuare poi discese fuoripista.

In poco meno di tre mesi di funzionamento (da fine gennaio a Pasqua) il contatore installato nell'apparecchiatura ha registrato il controllo di circa 1600 apparecchi correttamente funzionanti. "Un risultato molto soddisfacente, sperato ma quasi inaspettato" dice la guida alpina Olaf Reinstadler, Capostazione del Soccorso Alpino di Solda.

Ogni sci alpinista può, in modo autonomo, semplice e veloce, controllare se il suo

apparecchio trasmette correttamente e se le batterie sono sufficientemente cariche. Passando davanti al checkpoint si può udire il segnale emesso dal proprio apparecchio (se correttamente azionato) e l'accensione di una lampada verde indica il buon stato di carica delle batterie. Un tabellone spiega graficamente la semplice procedura di controllo e ricorda che l'attrezzatura di autosoccorso è composta, oltre che dall'apparecchio A.R.Va., anche da una sonda e una pala.

Questa iniziativa, come tutte le altre simili, non può che fare bene all'impegnativo lavoro di sensibilizzazione alla prevenzione, che per gli escursionisti invernali si conferma essere la più efficace difesa dalle valanghe.

Fabio Gheser

ABSTRACT

SNOW IN THE ITALIAN ALPS 2005 - 2006 WINTER

M. Valt

Through the quantitative analysis of historic snowfalls and snowfalls recorded in the 2005-2006 winter season provided by 46 stations in the southern alpine range, it was possible to draw up a SAI snowfall rate to express a higher or lower snowiness degree of a determined winter season. In winter 2005 - 2006, standard values were found in the southern side of Alps. The analysis of the cumulated snow values for western, central and eastern Alps underlines a different snowfall rate at all heights in last winter. Central, and mainly eastern Alps recorded the largest snowfalls, mainly in the Prealps and valley bottoms. Yet, these snowfalls have not contributed to a positive pluviometric balance for the period between November 2005 and April 2006.

SNOW IN THE CENTRAL APENNINES 2005-2006 WINTER

Meteorological-climate conditions and their effects on the snowcover stability

P. D'Aquila, M. Pecci

The 2005-06 winter season has been characterised by a complex and different evolution of phenomena on the two sides of Central Apennines, with dominant western currents in the general weather chart (and related heavy precipitations on the Tyrrhenian side) but also with frequent cold air currents often accompanied by strong winds (which caused a large amount of snowfalls, even at low heights on the Adriatic side). However, the weather

chart in the central Apennines (particularly Abruzzo and Molise), was rather anomalous when compared with last winter seasons (DE SISTI et al., 2004; FAZZINI et al., 2005), being often characterised by prevailing eastern flows, and without the exceptional and usual snowfalls on the Adriatic side, even at the lowest heights. Such anomaly of thermal anemobaric flows had also had consequences on the distribution of snowfalls, which were much more intense and heavier on the western side of the Apennines range than on the eastern side; moreover, the frequent sirocco flows, typical of the previous winter seasons (especially in full winter season) did not occur, and the winter season ended with the first major temperature rises occurring in the first half of March, when a large amount of the snowcover, even at relatively high quotes, started to melt. Last but not least, an anomalous "cold snap" occurred in full spring between late May and early June, which resulted in a homogenous snowcover above 1,600-1,800 m a.s.l. on the eastern sides of Maiella and Gran Sasso, with up to 1 m fresh snow in the period between 31 May and 2 June 2006, at around a height of 2,500 m a.s.l.

SNOW FALL ANALYSIS OVER PENINSULAR ITALY IN THE LAST 20 YEARS: FIRST RESULTS

M.Fazzini, A.Giuffrida, G.Frustaci, M. Di Lisciano, M.Gaddo & L.Magagnini

The time series of snow data for a sample of Italian meteorological stations have been analyzed taking into account, for the time series, an acceptable continuity and quality of meteorological data. The data set is that of the Italian Meteorological Service (UGM), and refer to the period 1982-2004 for 26 stations. The Slovenian station of Kredarica, located in the Julian Alps, has been added for convenience. The study is composed of two different parts:

- Spatial climatologic analysis of the snow during the last 20 years. In particular, the height of the fresh snow, the days with snowfall (> 1cm) and the number of days with permanence of snow at the ground have been analyzed, in relationship with altitude and with also topo-geographic parameters.
- Seasonal trend study for the same parameters: the results of the analysis are an absolutely unexpected. In particular, is



obvious, to forehand an generalised decrease in the Alpine system and in central and north Apennine too, an increasing of the snowfall and of the persistence of the snow to the ground in the southern part of Apennine, specially in the Lucanian sector.

DISTRIBUTION OF SNOWFALLS IN THE FRIULI MOUNTAINS

A statistical analysis of the main nivometric variables

M. Barbolini, M. Gagliardi, F. Ferro, P. Stefanelli and E. Filaferro

Referring to the Friuli alpine and prealpine territory, this work presents the statistical analysis of two important nivometric variables: ground snowcover depth (Hs) and the rise of snowcover depth after three consecutive days of snowfall (DH3gg). The analysis allowed us to determine the project values of these variables, that is to say, the values for a predetermined geographical area, height and return time. These values are fundamental referring to both the construction of avalanche barriers and the carrying out of dynamic simulations for the mapping of areas at risk. The use of "regionalisation" techniques has offered reliable results with reference to temporal (i.e. for long return times) and spatial extrapolations (i.e. in the sites fitted with no instruments). The study results have been implemented in a facilitated display and research programme (e.g. search by municipality, height, return time), which allowed researchers to simply and rapidly consult and diffuse data.

SNOW LOAD ON BUILDINGS IN ITALY

R. Del Corso and P. Formichi

The Eurocode 1 - Actions on structures - Snow loads has been converted from an ENV experimental standard into a EN regulation, following a review work that has assimilated the notes officially sent to the CEN by member countries, while taking into account the important results achieved within a scientific research work funded by the DGIII - D3 European Commission and carried out by eight European institutions.

This paper illustrates the main results of the research concerning the Italian territory, while proposing an alternative snow load standard to that included in the new national regulations, recently updated with the Ministerial Decree 14/9/2005.

CALCUL OF THE "INDEX OF SKIABILITY" IN THE "PANEVEGGIO-PALE DI SAN MARTINO" AREA.

M. Fazzini, F. Cenacchi, P. Billi & M. Gaddo

Aim of the research is to study the climatic conditions favourable to winter tourism in an area of eastern Trentino that corresponds to the Natural Park of Paneveggio - Pale di San Martino. The study is carried out with by a new statistical approach to the climatic parameters. The problem of snow cover in relation to the global warming is a relevant issue for winter tourism and skiing and nordic sports in general, but it also characterizes the high mountain physical environment affecting size variations of glaciers and water resources. In this study the snowfall pattern was analysed with respect to elevation and aspect and the effects of climatic characteristics on winter sports, a relevant tourists resource in the area, has been investigated as well.

ARTIFICIAL SNOW

M. Passeri

Scarcity and inconstancy of snowfalls, and the necessity to guarantee a high number of days for skiing has forced ski lift operators to make use of increasingly efficient and sophisticated snowmaking equipment. To meet these requirements, suppliers have started a sort of engineering "competition" that has led the snowmaking technology to take a major leap forward, concerning not only snow guns, but also the different infrastructures that make up a snowmaking system, with the aim of improving the inherent efficiency of every element and optimise the whole system.

A snowmaking system therefore does not only include snow guns, but also the wells for catching water and connecting electricity located along the ski run, the pumping or compressed-air stations, the water catchments systems, the meteorological stations, and the systems for remote data control and management.

SNOW DEPTH MANIPULATION AND ITS INFLUENCE ON SOIL TEMPERATURE AND NUTRIENT DYNAMICS IN NORTH WEST ITALY (AOSTA VALLEY)

M. Freppaz, M. Marchelli, D. Viglietti, E. Bruno, E. Zanini

Snow cover and duration play a key role in a number of environmental and socio-

economic systems in mountain regions. As an indicator of climatic change, snow is an interesting variable, because is dependent not only on temperature, but also on precipitation.

Several studies in the Alps reported that snow amount and duration has been sensitive to changes in climate over the last 15 years at altitudes below 1500 m asl. This is consistent with the rise in average snowline projected under a warmer global climate.

In this study the snow depth was manipulated by removing snow for one winter, simulating a year with little snow. We established two sites, each with two paired plots, at the Riserva Naturale Mont Mars, in Fontainemore (Valle d'Aosta, North West Italy), and instrumented all four plots with soil thermistors. For one winter we removed snow from the designated treatment plots. Snow in the reference plots was undisturbed. Snow samples have been collected during the winter for the determination of the chemical content.

The data show that winters with low snowfall, simulated by snow removal, will result in increased soil freezing, with implications for changes in soil biogeochemical processes.

A STUDY ON POTENTIAL PERMAFROST DISTRIBUTION IN THE CORDEVOLE BASIN USING THE ALPINE 3D MODEL

A. Cagnati, A. Crepaz, F. Crollo, M. Lehning and Ingo Völksch

One of the most serious consequences of the climatic changes underway, with a major temperature increase occurring starting from the 1980s, was degradation of permafrost in the high mountains, resulting in slope instability. All the climate models drawn up on a global scale suggest that this trend is also destined to continue in the XXI century, and for this reason studies on the current permafrost presence and its future distribution are of fundamental importance also to get a better knowledge of hydrogeological hazards in high mountain areas. This work illustrates the implementation of the Alpine 3D model, developed by the Swiss institute for snow and avalanche study, for the detection of potential permafrost areas in the Cordevole stream basin on a surface of 1,650 km². The simulation results have shown that, in the current climatic phase (integration of 15-year data from 1989 to

2004) the total potential (probable and possible) permafrost surface in the area examined amounts to 32.2 km² and that, based on the weather conditions of summer 2003, which was particularly hot, and assuming that these conditions continue, within 8 years the permafrost surface would be reduced to 1.68 km².

THE SNOWCOVER CHEMICAL-ENVIRONMENTAL PROFILE

M. Pecci, P. D'Aquila, M. Valt, T. Corso, G. Crepaz, A. Crepaz, V. Cagnati, J. Gabrieli, A. Praolini, E. Meraldi, F. Berbenni, G. Kappenberger,

M. Freppaz, P. Dellavedova, G. Filippa
During the winter season 2004-2005 and in Italian territory sample sites a scientific co-operation has been promoted for the quick in situ control of the chemical features of the snow on the ground, in terms of pH and electrical conductivity. The activities have been realized within the routine surveys for the snow pack profile.

The quick surveys have been performed by 3 initial operative unit (IMONT for the Gran Sasso d'Italia, CVA-ARPA Veneto on the Dolomiti Bellunesi and Centro Nivometeo di Bormio for Bormio 3000) followed by 2 more (MeteoSvizzera for the area of the ghiacciaio Basodino and Ufficio Neve e Valanghe/Università di Torino for the Valle d'Aosta). In particular time period (continuously in the case of the Dolomiti Bellunesi), sites and quick field surveys have been coupled with snow samples (to be analyzed in laboratory) with a control aim.

The experimental goal reached in the first year was the verify of the feasibility of new "quick environmental snow pack profiles"; furthermore field sites, measure features, a "standardized" and shared methodology were experimented and chosen.

In the paper the used methodologies and the obtained results (showing a general pattern of contamination, even if not dramatic) are presented. The problems founded are also discussed in order to perform an operative test in the next winter season, aimed at the standardization of procedures and tools for a possible introduction in routine surveys.

In this way a new tool for monitoring the quality of water resources coming from the cryosphere could be proposed.