Neve e Valanghe

n° 72 - aprile 2011

Meteorologia alpina, Glaciologia, Prevenzione Sicurezza in montagna

Rivista quadrimestrale - Sped. A.P. 70% - d.c.i.Tn - Tassa pagata/Tax percue

Validazione dell'indice di pericolo valanghe di Meteotrentino

N.A.T.L.E.F.S.

Incidenti da valanga: versanti e stratigrafie tipiche, tempi di ritrovamento dei sepolti

Variabilità climatica e rischio valanghivo in Valle Ossola

Precipitazioni nivali future sulle Alpi italiane

Snow-Pillow - cuscinetto per la misura della densità della neve

72

AINEVA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Gli utenti di "NEVE E VALANGHE":

- Sindaci dei Comuni Montani
- Comunità Montane
- Commissioni Locali Valanghe
- Prefetture montane
- Amministrazioni Province Montane
- Genii Civili
- Servizi Provinciali Agricoltura e Foreste
- Assessorati Reg./Provinciali Turismo
- APT delle località montane
- Sedi Regionali U.S.T.I.F.
- Sedi Provinciali A.N.A.S.
- Ministero della Protezione Civile
- Direzioni dei Parchi Nazionali
- Stazioni Sciistiche
- Scuole di Sci
- Club Alpino Italiano
- Scuole di 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 preven-zione delle valanghe.

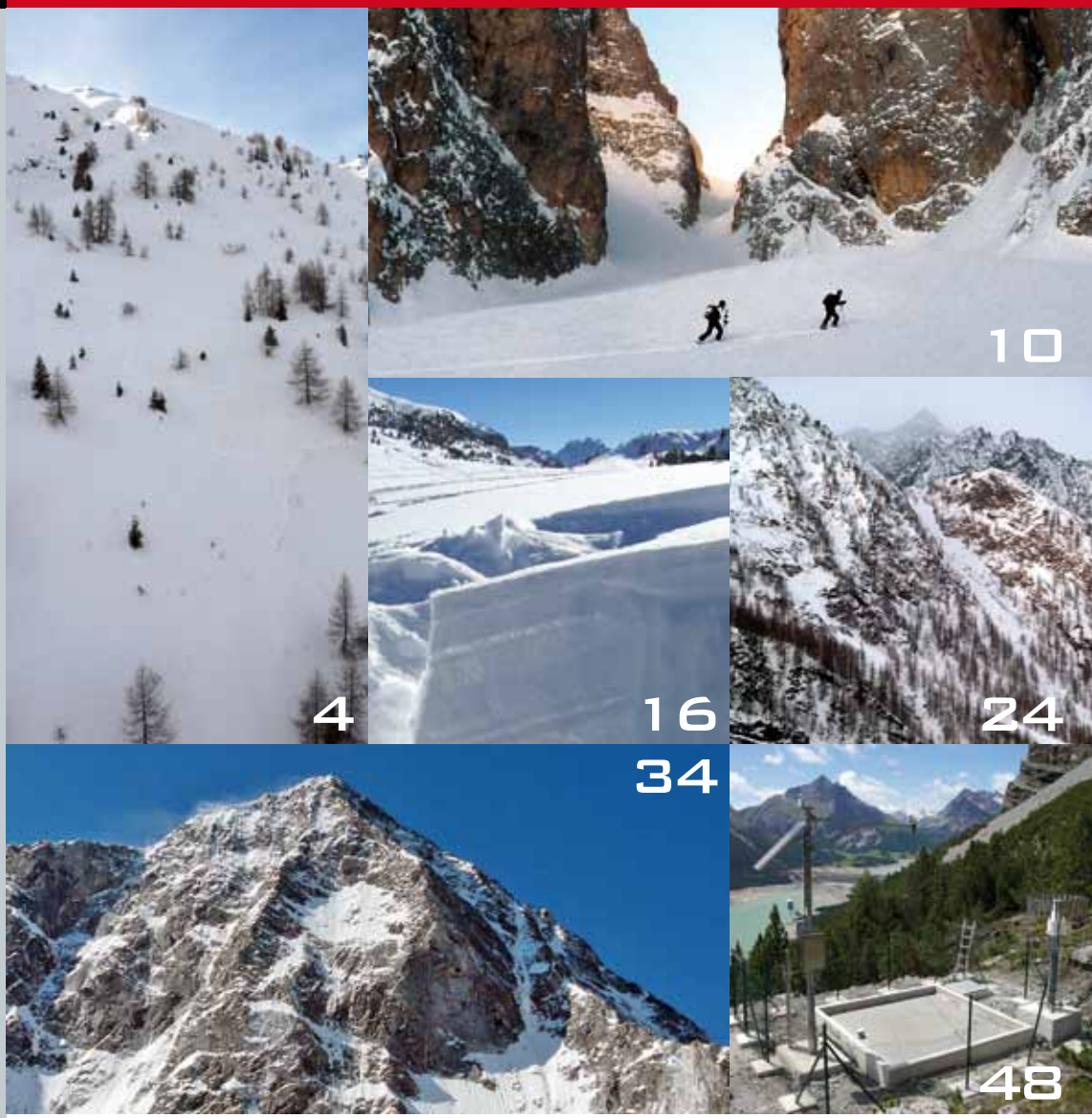
Periodico associato all'USPI
Unione Stampa Periodica Italiana

Neve e Valanghe

Meteorologia alpina, Glaciologia, Prevenzione e Sicurezza in montagna

SOMMARIO

APRILE 2011 NUMERO 72



4
VALIDAZIONE DELL'INDICE DI PERICOLO VALANGHE: ANALISI DEI DATI DI METEOTRENTINO
C. Franzolin, E. Rettore, G. Tognoni, P. Tosi

10
N.A.T.L.E.F.S. - UNA EFFICACE COLLABORAZIONE TRA IL SERVIZIO PREVENZIONE VALANGHE DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO E IL COLLEGIO GUIDE ALPINE DELL'ALTO ADIGE
F. Gheser

16
INCIDENTI DA VALANGA: VERSANTI E STRATIGRAFIE TIPICHE, TEMPI DI RITROVAMENTO DEI SEPOLTI
M. Valt

24
VARIABILITÀ CLIMATICA E RISCHIO VALANGHIVO IN VALLE OSSOLA
N. Canevarolo, D. Testa, S. Fratianni, F. Acquaotta, S. Terzago

34
VALUTAZIONE DEI REGIMI FUTURI DELLE PRECIPITAZIONI NIVALI SULLE ALPI ITALIANE USANDO MODELLI DI CIRCOLAZIONE GLOBALE
A. Soncini, D. Bocchiola

48
CUSCINETTO PER LA MISURA DELLA DENSITÀ DELLA NEVE (SNOW-PILLOW)
P. Valgoi

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

Direttore Responsabile
Giovanni PERETTI
Coordinatore di redazione
Alfredo PRAOLINI
ARPA Lombardia

Comitato di redazione:
Luciano LIZZERO, Rudi NADALET, Elena TURRONI, Mauro VALT, Nicola PAOLI, Enrico BORNEY, Elena BARBERA

Comitato scientifico editoriale:
Valerio SEGOR, Alberto TRENTI, Stefano BOVO, Francesco SOMMAVILLA, Luciano DAVANZO, Gregorio MANNUCCI, Michela MUNARI

Segreteria di Redazione:
Vicolo dell'Adige, 18
38122 TRENTO
Tel. 0461/230305
Fax 0461/232225

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

Stampa:
LITOTIPOGRAFIA ALCIONE srl
Lavis (TN)

Referenze fotografiche:
Foto di copertina: Alfredo Praolini

Lodovico Mottarella: II, 2
Gianluca Tognoni: 5, 7, 8, 56, 57
Alfredo Praolini: 49
Paolo Valgoi: 50, 51, 53
Noemi Canevarolo: 25, 27, 31, 32, 33
Fabio Gheser: 11, 12, 13, 14, 54
Andrea Soncini: 35

Hanno collaborato a questo numero:
Serena Mottarella, Stefania Del Barba, Nadia Preghenella, Monica Rossi, Igor Chiambretti.

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

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

EDITORIALE

Sovente fra le indicazioni contenute nei Bollettini Valanghe, in funzione del grado di pericolo, si legge la raccomandazione di prestare attenzione ovvero di evitare la frequentazione di ambiti montani al di fuori delle aree controllate, cioè dei Comprensori sciistici. In relazione a ciò qualcuno potrebbe chiedersi e chiedere: ma i comprensori sciistici intesi come insieme di impianti di risalita, piste da sci di discesa e di fondo, garantiscono la sicurezza di chi li frequenta in relazione al pericolo di valanghe? Per la mia esperienza e per le conoscenze che ho maturato in trent'anni di attività di analisi e valutazione del pericolo di valanghe nei comprensori sciistici mi pare di poter affermare che, ad oggi, le aree sciistiche gestite e controllate sono sufficientemente sicure pur rimanendo una certa alea di pericolo potenziale soprattutto nelle zone a morfologia impervia e complessa dove, per naturale conseguenza, insistono gli impianti di risalita più arditi e le piste da discesa più appetite. L'attuale soglia di sicurezza è il risultato di un lungo percorso culturale, tecnico e normativo, iniziato alla fine degli anni '70 e che ha coinvolto Istituzioni, Imprenditori, Tecnici e Ricercatori. Percorso culturale: gli Imprenditori ed i Gestori dei Comprensori sciistici, da una posizione agnostica o massimalista nei confronti del rischio valanghe hanno nel tempo modificato sostanzialmente il proprio atteggiamento maturando la coscienza che garantire la sicurezza dei clienti-utenti è importante non solo perchè previsto dalla norme o per non dover rispondere in sede guidiziaria ma perché rappresenta ormai un requisito essenziale di qualificazione dell'offerta in un settore difficile e competitivo quale quello impiantistico dove la domanda è estremamante elastica. A riprova di ciò ricordo l'elevato numero di Operatori dei comprensori sciistici che, su incarico e ad onere dei Concessionari, hanno frequentato i corsi Aineva acquisendo i titoli per gestire razionalmente il problema valanghe. Percorso tecnico: dopo un periodo in cui la difesa dalle valanghe veniva effettuata con sistemi e tecniche per lo più artigianali, a partire dai primi anni '80, la ricerca nel campo nivologico e valangologico ha consentito un affinamento delle tecniche e delle tipologie di intervento strutturali di difesa dalle valanghe. Ma lo sviluppo più importante ha interessato gli interventi preventivi ed in particolare il distacco artificiale di valanghe. Da iniziali sistemi che implicavano l'uso di esplosivi solidi con i conseguenti noti problemi di acquisizione e di stoccaggio nonchè di dislocazione sui siti d'intervento, sono stati sviluppati efficaci sistemi che prevedono l'utilizzo di miscele gassose esplosive, gestibili da remoto e in condizioni di sicurezza se fissi, ovvero trasportabili con elicottero. Sistemi risultati efficienti, pur con i loro limiti intrinseci, soprattutto in chiave costi-benefici, rispetto ad interventi strutturali. Percorso normativo: fino agli anni '80 le disposizioni normative in materia di difesa dalle valanghe dei comprensori sciistici vertevano essenzialmente sugli impianti di risalita e indicavano come idonei, e quindi accettabili, i soli interventi strutturali. In seguito all'evoluzione delle tecnologie e dei dettami della ricerca scientifica, anche le norme sia statali che locali sono state rivisitate e, in particolare, è stata sancita, per ovvi motivi, l'importanza dell'azione preventiva rispetto alle opere non solo per le piste da sci da discesa ma, ove possibile, anche per gli impianti di risalita.

Dicevo sopra che, a mio parere, i comprensori sciistici sono in media sufficientemente tutelati, ma, è possibile migliorare ulteriormente? Io credo di si, non tanto, ma qualcosa certamente. Cosa? Di tante che mi balzano alla mente ne cito due. Anzitutto credo sia opportuno, anche a fronte di qualche sacrificio viste le attuali condizioni di sofferenza economica in cui versano sia le istituzioni che gli imprenditori, favorire l'aggiornamento dei responsabili incaricati, a vario titolo, della gestione della sicurezza valanghe.
Ma è altresì urgente che venga promulgata una direttiva europea che stabilisca, oltre a modalità e procedure gestionali, una soglia di rischio accettabile comune a tutti i Paesi che afferiscono per lo meno all'intero arco alpino, sia per una maggiore chiarezza a favore dei fruitori della montagna ma anche per non creare disparità e penalizzazioni, anche economiche, fra gli imprenditori del turismo invernale a fronte di una domanda che, ormai da tempo, trascende i confini amministrativi.

Dott. Francesco Sommavilla
Coordinatore del CTD AINEVA

Validazione dell'INDICE PERICOLO VALANGHE

analisi dei dati di Meteotrentino

Claudio Franzolin
Università di Padova

Enrico Rettore
Università di Padova, IRVAPP Trento

Gianluca Tognoni
Provincia Autonoma di Trento, Servizio Prevenzione Rischi - Meteotrentino

Paolo Tosi
Università di Trento

Gli autori ringraziano:
Orietta Bonaldo e Giovanni Busato per i loro utili commenti

Negli ultimi 10 anni il numero medio annuale di vittime di valanghe è diminuito, soprattutto per merito del miglioramento dei mezzi di soccorso e autosoccorso. Tuttavia il numero di incidenti è aumentato (Valt 2009), nonostante la maggiore disponibilità di informazione a disposizione degli utenti della montagna e in generale di una maggiore conoscenza dei fenomeni valanghivi. Si pone dunque il problema di capire perché, nonostante i maggiori strumenti a disposizione, gli incidenti aumentino e di come i vari organi preposti possano intervenire per porre rimedio al problema.

Un aspetto interessante da verificare è l'affidabilità dell'indice di pericolo diffuso dalle agenzie nivo-meteo nell'approssimare la probabilità che lo scialpinista provochi un distacco. In secondo luogo è, non meno importante, ottenere informazioni sul comportamento degli utenti in funzione del grado di pericolo diramato. L'indice di pericolo diffuso dalle agenzie nivo-meteo locali più volte nell'arco della settimana è un elemento essenziale - seppure non esclusivo - a disposizione degli alpinisti nella pianificazione delle loro gite. L'indice di pericolo sintetizza in una scala a cinque livelli la gran mole di informazioni disponibili alle agenzie sulle condizioni della montagna e del tempo meteorologico, e sulla loro evoluzione recente attribuendo implicitamente un peso ad ognuno dei fattori presi in considerazione.

L'alpinista consapevole sa che la corretta valutazione delle condizioni della montagna richiede un'analisi non banale delle relazioni tra situazione meteorologica e struttura del manto nevoso. E' tuttavia evidente che la misura di sintesi costituita dall'indice di pericolo, predisposta da professionisti opportunamente dedicati, costituisce uno strumento fondamentale di comunicazione delle condizioni di pericolo della montagna. Non sorprende dunque che uno studio recente (Furman 2010) indichi la considerazione dell'indice di pericolo come l'elemento di gran lunga più importante tra le regole euristiche usate in pratica dagli scialpinisti per decidere se affrontare o meno un certo pendio. E' dunque di notevole interesse stabilire se l'indice di pericolo elaborato dalle agenzie locali sintetizzi correttamente le informazioni disponibili ed approssimi in modo affidabile la probabilità che lo scialpinista con il suo passaggio provochi un distacco. Ciò può essere fatto indagando la distribuzione degli incidenti da valanga effettivamente osservati secondo i valori assunti dall'indice di pericolo.

I dati sui quali si è per lo più lavorato fino ad oggi si riferiscono agli *incidenti da valanga* registrati dalle varie agenzie regionali. Ad esempio, Valt (Valt 2009) ha analizzato dati relativi agli *incidenti da valanga* sul versante italiano delle Alpi negli ultimi 25 anni. Particolarmente interessante è il grafico riportato in Fig. 1 che mostra la distribuzione degli incidenti secondo l'indice di pericolo nel momento e nel luogo dell'incidente.

Come si nota, il maggior numero di incidenti avviene in corrispondenza a gradi di pericolo intermedi, pari a 2-3. Risultati analoghi sono stati ottenuti per gli incidenti avvenuti nell'arco di dieci anni nel Tirolo austriaco (Rainer 2008). A prima vista il risultato può apparire paradossale, perché sembrerebbe che per valori dell'indice di pericolo elevati il rischio di incidente sia minore. In realtà, per interpretare correttamente la Fig. 1 è necessario tenere conto del fatto che i vari gradi dell'indice di pericolo si presentano con frequenza diversa nel corso di una stagione. Presumibilmente si osservano molto più spesso i livelli *moderato* e *marcato* che *debole*, *forte* e *molto forte*. Per cui non deve sorprendere che si osservino più incidenti in corrispondenza ai livelli intermedi. Inoltre, bisogna considerare che il numero di frequentatori della montagna invernale plausibilmente diminuisce al crescere dell'indice di pericolo. La comprensione di come cambi il numero di frequentatori della montagna in funzione delle condizioni nivo-meteo e del grado di pericolo è in effetti il problema cruciale da risolvere per passare dal semplice conteggio del numero degli incidenti alla stima della probabilità di incidente *per persona esposta*. In prima approssimazione, possono tornare utili i risultati di Furman (Furman 2010). Il suo studio condotto su un gruppo di scialpinisti nordamericani mostra che la disponibilità a sciare su un dato pendio diminuisce *marcatamente* al crescere dell'indice di pericolo. Adattando i suoi risultati alla scala di pericolo in uso in Europa, se ne può ricavare che ad ogni aumento di un grado dell'indice di pericolo corrisponde una riduzione del numero di persone esposte al rischio pari ad almeno il 15% del totale dei praticanti. In questo lavoro abbiamo analizzato i dati delle condizioni nivo-meteo raccolti 2-3 volte la settimana in una cinquantina di località della Provincia Autonoma di Trento, nell'arco di tempo che va dal 1995 a 2009. In corrispondenza ad ogni rilevazione delle condizioni della montagna e meteorologiche è stato rilevato anche se in zona si fossero verificati *distacchi provocati*. E' del tutto plausibile che il numero di distacchi provocati registrati da Meteotrentino *sottostimi* il loro numero effettivo: di sicuro qualcosa sfugge. Tuttavia, per i nostri fini - lo studio della

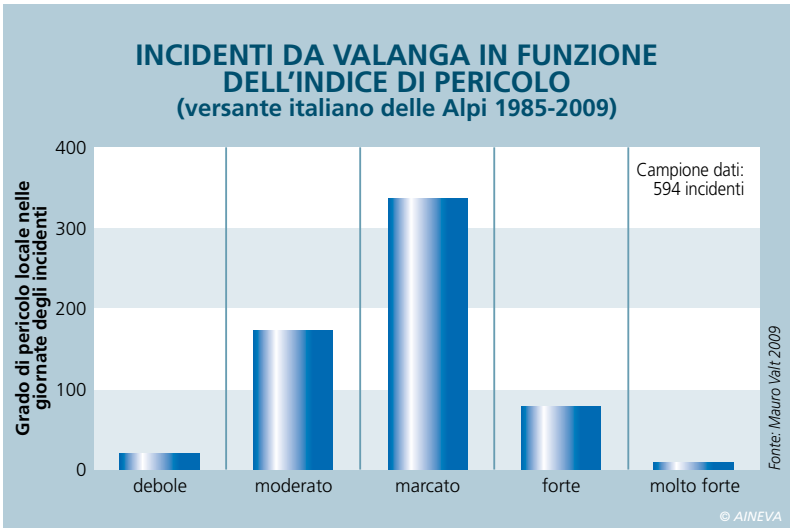


Fig. 1 - Indice di pericolo al momento e nel luogo dell'incidente stesso.

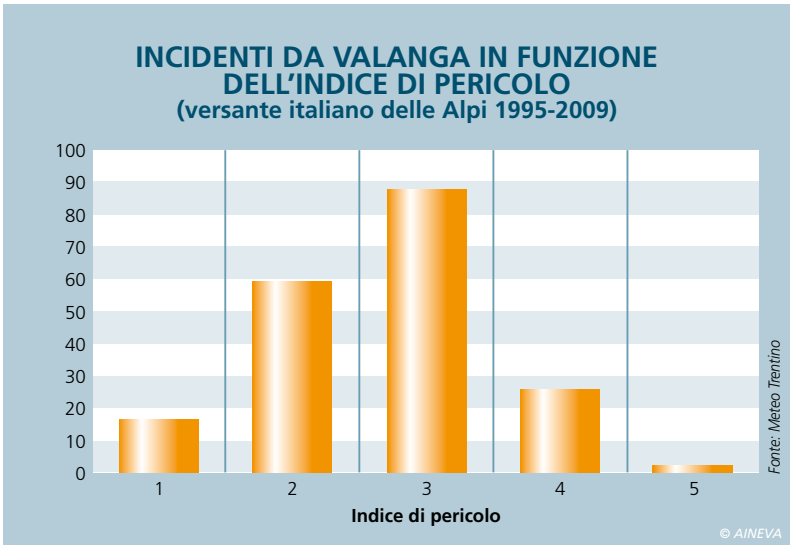


Fig. 2 - Indice di pericolo al momento e nel luogo del distacco.

variazione della probabilità di provocare un distacco, non il suo *livello*, al variare dell'indice di pericolo - il fatto che un certo numero di distacchi provocati sfugga all'osservazione non costituisce un problema, a patto che la mancata osservazione di un distacco non dipenda dal valore dell'indice di pericolo. In effetti, le cose sembrerebbero stare esattamente così.
Facendo uso dei dati di Meteotrentino la distribuzione del *numero* di distacchi provocati in funzione dell'indice di pericolo, rappresentata in Fig. 2, risulta molto somigliante alla corrispondente distribuzione degli incidenti da valanga ottenuta da Valt (Valt 2009).

La tabella di Fig. 3 consente di apprezzare quanto incida la diversa frequenza dei vari gradi dell'indice di pericolo nell'arco dei 15 anni considerati nel determinare la forma del grafico in Fig. 2 (e in Fig. 1).

Ad esempio, il valore 3 dell'indice viene osservato circa *100 volte più spesso* del valore 5. Il valore 2 viene osservato circa *10 volte più spesso* del valore 4.
Ragion per cui è inevitabile osservare più distacchi provocati in corrispondenza ai gradi 2 e 3 che non ai gradi 4 e 5.
Per tenere conto della diversa frequenza dei vari gradi dell'indice di pericolo è sufficiente passare dal *numero* al *tasso* di distacchi provocati, vale a dire al rapporto tra il numero di distacchi provocati in corrispondenza ad un certo grado dell'indice di pericolo ed il numero di volte che *quel* particolare grado si è manifestato.
I valori che si ottengono (in percentuale) sono quelli nell'ultima riga di Fig. 3 e sono rappresentati in Fig. 4.

Il grafico mostra con chiarezza che ad ogni aumento di un grado dell'indice di pericolo corrisponde un considerevole aumento del tasso di distacco provocato: si osserva un distacco provocato ogni circa 500 occasioni con indice di pericolo pari a 1, ma solo ogni 50 occasioni se l'indice di pericolo è pari a 5. E' importante sottolineare che tali tassi *sottostimano* la variazione della probabilità di distacco

DISTRIBUZIONE DELL'INDICE DI PERICOLO, NUMERO DI DISTACCHI PROVOCATI SECONDO IL VALORE DELL'INDICE DI PERICOLO E TASSO DI DISTACCHI PROVOCATI SECONDO IL VALORE DELL'INDICE DI PERICOLO (PROVINCIA DI TRENTO, 1995-2009)

Fig. 3

Indice di Pericolo	1	2	3	4	5
Frequenze distacchi provocati	17	59	88	26	3
Frequenze Indice di Pericolo	8744	21390	14215	2233	147
Tasso di distacco provocato (%)	0,19%	0,28%	0,62%	1,16%	2,04%

Dati forniti da MeteoTrentino - © AINEVA

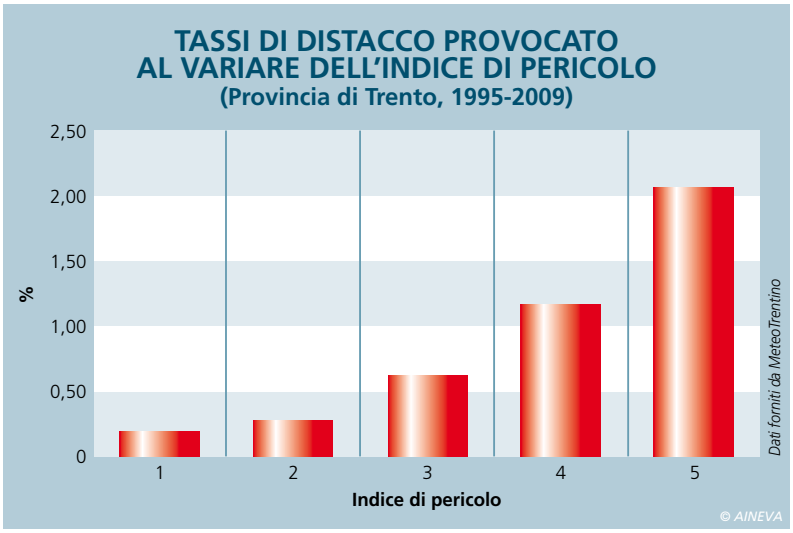


Fig. 4

provocato *per persona esposta* al crescere dell'indice di pericolo. Come già accennato poco sopra, gli alpinisti verosimilmente operano le loro scelte in modo tale da ridurre per quanto possibile il rischio di incorrere in un incidente, scegliendo gite meno esposte al rischio o astenendosi del tutto se le condizioni sono sfavorevoli ovunque. Conseguentemente il numero di persone esposte al rischio si riduce passando da luoghi/giorni caratterizzati da bassi valori dell'indice di pericolo a luoghi/giorni caratterizzati da alti valori dell'indice di pericolo.

Ciò comporta che se fosse possibile calcolare la probabilità di osservare un distacco provocato *a parità di numero di persone esposte al rischio* il suo andamento al variare dell'indice di pericolo risulterebbe ancora più crescente di quanto appare in Fig. 4. I risultati di Furman (Furman 2010) aiutano a capire come si modificherebbe il grafico in Fig. 4 se fosse possibile tenere conto di come varia il numero di persone esposte al rischio al variare dell'indice di pericolo. Posto pari a 100 il numero di persone esposte al rischio al livello 1 dell'indice, tali risultati suggeriscono che ad ogni aumento unitario dell'indice corrisponde una diminuzione pari ad *almeno* 15 del numero di persone esposte. Per cui, secondo questo ragionamento, il numero di esposti al rischio ai livelli da 2 a 5 dell'indice sarebbe non superiore a, rispettivamente, 85, 70, 55 e 40.

Conseguentemente, la probabilità di osservare un distacco provocato *a parità di numero delle persone esposte* si ottiene dalle corrispondenti probabilità in Fig. 4 (e in Fig. 3) dividendole per, rispettivamente, 0.85, 0.70, 0.55 e 0.40. La sequenza delle probabilità che si ottiene è la seguente: 0.19%, 0.33%, 0.89%, 2.11%, 5.1%, come mostrato in Fig.5

In conclusione, basandoci sulle figure 4 - 5 e sulle considerazioni appena svolte, l'indice di pericolo diramato da Meteotrentino negli ultimi 15 anni appare un'eccellente approssimazione, *per difetto*, della probabilità di provocare un distacco. Una stima più accurata richiederebbe la conoscenza esatta del numero di frequentatori della montagna in funzione dell'indice di pericolo. E' importante, infatti, sottolineare ancora una volta che i nostri risultati riguardano la *variazione* della probabilità di distacco in funzione dell'indice di pericolo, e non la stima del livello di tale probabilità, come si potrebbe essere erroneamente portati a credere guardando i valori riportati in ordinata in Fig. 5. Assodato che l'indice di pericolo elaborato da MeteoTrentino rappresenta una affidabile misura della probabilità di provocare un distacco, si tratta di capire se con le informazioni a disposizione si potrebbe fare ancora meglio.

Le informazioni elementari a disposizione sono date dalla registrazione dei vari parametri rilevati dalle centraline sparse sul territorio della Provincia o direttamente osservati dagli operatori: la temperatura minima e massima nelle ultime 24 ore, l'altezza della neve al suolo, lo spessore della neve caduta nelle ultime 24 ore, l'accadimento di distacchi spontanei recenti, il grado di penetrazione della sonda nella neve, le condizioni del tempo al momento della rilevazione, le caratteristiche della superficie nevosa, l'accadimento e le caratteristiche di episodi ventosi recenti. Consideriamo il caso del parametro *accadimento di un distacco spontaneo recente* come risulta dall'osservazione diretta svolta dagli operatori incaricati di rilevare le informazioni registrate dalle centraline sparse sul territorio della Provincia. Per stabilire se tale fattore è correttamente riassunto nell'indice di pericolo si può confrontare il tasso di distacco provocato *in presenza* di distacchi spontanei recenti con il tasso di distacco provocato *in assenza* di distacchi spontanei recenti, *a parità di valore assunto dall'indice di pericolo*. In Fig. 6 sono rappresentati tali confronti ai vari gradi dell'indice di pericolo (i livelli 4 e 5 sono stati accorpati per ottenere un numero di osservazioni sufficientemente elevato).

Fig. 5

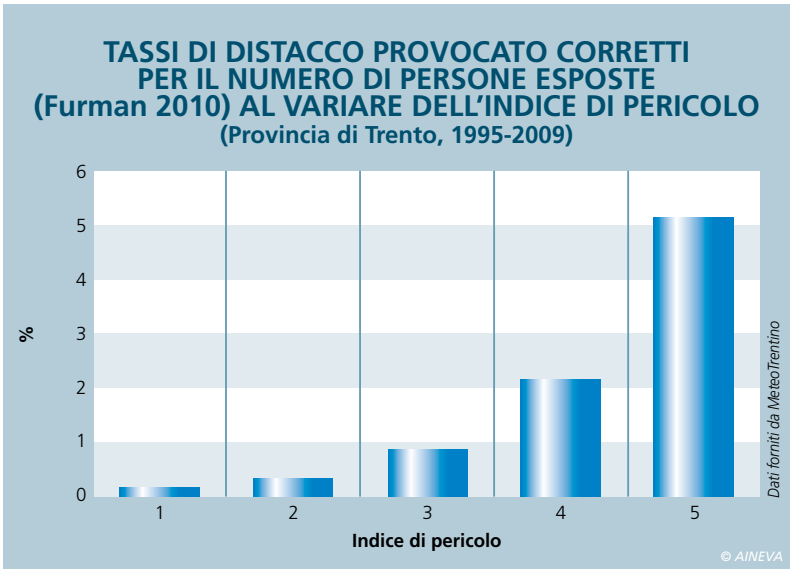
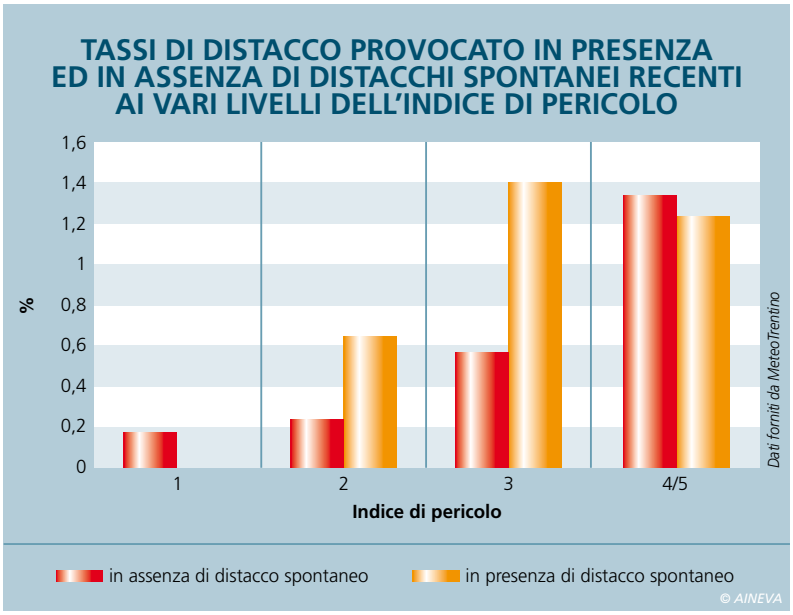


Fig. 6



Se tale fattore di rischio fosse incorporato correttamente nell'indice di pericolo, l'accadimento o meno di un distacco spontaneo non dovrebbe influire sul tasso di distacco provocato *dato il valore dell'indice di pericolo*. In realtà, si osserva che in corrispondenza ai valori intermedi dell'indice (2 e 3) il tasso di distacco provocato appare molto *più elevato* se vi sono stati distacchi spontanei recenti. Vale a dire che tenere conto *anche* del fattore di rischio *accadimento di un distacco spontaneo recente - oltre* che dell'indice di pericolo - consente di approssimare meglio la probabilità di distacco provocato. In questo senso il modo in cui viene elaborato l'indice di pericolo da MeteoTrentino ci sembra migliorabile, tenendo meglio conto di tale parametro.

Analoghe analisi svolte con riferimento agli altri fattori di rischio elencati poco sopra non hanno rivelato margini di miglioramento significativi dell'indice di pericolo diffuso da MeteoTrentino.

Infine un'ultima considerazione: il fatto che nell'arco dei 15 anni considerati si siano osservati distacchi provocati anche in presenza di valori elevati dell'indice di pericolo indica in modo inequivocabile che la montagna viene frequentata anche in condizioni non opportune. Poiché tale comportamento potrebbe essere indotto da un non sufficiente apprezzamento della validità del bollettino nivo-meteo (che magari viene considerato un insieme di informazioni tutto sommato solo approssimative che lasciano dunque ampio spazio a scelte individuali) ci pare importante aver dimostrato, dati alla mano, che l'indice di pericolo è un ottimo indicatore della probabilità di provocare un distacco. Valori elevati dell'indice di pericolo lasciano in realtà poco spazio alla valutazione individuale sul terreno. Gli alpinisti consapevoli dovrebbero tenerne adeguatamente conto.

Bibliografia

- [Furman 2010] Furman N., Shooter W., Schumann S. The roles of heuristics, avalanche forecast, and risk propensity in the decision making of backcountry skiers. Leisure Sciences 2010, 32: 453-469
- [Rainer 2008] Rainer B., Frimmel C., Sumann G., Brugger H., Kinzl J. F., Lederer W. Correlation between avalanche emergencies and avalanche danger forecast in the alpine region of Tyrol. European Journal of Emergency Medicine 2008, 15:43-47
- [Valt 2009] Valt M. Incidenti da valanga sulle alpi italiane 1985-2009. http://www.aineva.it/pubblica/neve68/2_valt.html

NATLEFS

una efficace collaborazione

tra il Servizio prevenzione valanghe della Provincia autonoma di Bolzano e il Collegio Guide Alpine dell'Alto Adige

Fabio Gheser
Provincia autonoma di Bolzano - Alto Adige
Ripartizione antincendi e civile - Servizio prevenzione valanghe

N.A.T.L.E.F.S. è un progetto nato tra il Servizio valanghe della Provincia autonoma di Bolzano e il Collegio delle Guide Alpine dell'Alto Adige. È una progetto che vede la collaborazione attiva delle Guide alpine in una sorta di rete di rilevamento e osservazione itinerante. La particolarità è che le Guide offrono questa collaborazione mentre svolgono la loro attività professionale, mentre cioè accompagnano in escursioni invernali i loro clienti. Le osservazioni sono sette, come le lettere che compongono la parola NATLEFS. Sono infatti le lettere iniziali di sette parole di lingua tedesca che indicano parametri tanto facilmente rilevabili mentre si effettua una escursione quanto importanti per il servizio prevenzione valanghe. Queste informazioni vanno a completare il quadro informativo di dati a disposizione al Servizio valanghe per la valutazione della stabilità del manto nevoso e la redazione del bollettino valanghe. La trasmissione delle osservazioni avviene via SMS ad un server dedicato che ha il compito di gestire i messaggi nelle varie procedure che seguono la ricezione stessa. Il progetto è giovane e alla sua prima stagione invernale completa, ma ha dimostrato ottime doti di base e una buona flessibilità gestionale che possono permettere eventuali modifiche future che l'esperienza vorrà suggerire.

UN PO' DI STORIA...

La collaborazione tra l'Istituzione pubblica intesa come Servizio prevenzione valanghe e le Guide Alpine, professionisti della montagna, è sempre esistita con fasi più o meno attive.

Questa collaborazione era spesso legata a rapporti personali di buona conoscenza, stima o amicizia, tra le parti. In occasioni di corsi o altri incontri istituzionali si è sempre concordato sul bisogno di una maggiore collaborazione e di un dialogo aperto. Nello stesso momento però, i diversi punti di vista con i quali le parti vivono la problematica valanghiva, spesso facevano nascere discordanze che allontanavano dagli obbiettivi comuni.

La sempre maggiore diffusione dei telefoni cellulari e della copertura telefonica anche in alta quota, ha aiutato, per così dire, a rompere il ghiaccio.

Ancora diversi anni fa infatti, Maurizio Lutzenberger, guida alpina di Vipiteno iniziò sporadicamente a comunicare al Servizio valanghe di Bolzano, impressioni e osservazioni dalle gite effettuate con o senza clienti.

All'iniziativa, nata spontaneamente, non ebbe però seguito un progetto, un concetto o quant'altro di strutturato e duraturo, e purtroppo si esaurì.

Nell'inverno 2008/2009 l'Istituto federale per la neve e le Valanghe di Davos in Svizzera (SLF), tentò un progetto chiamato "M-Avalanche", progetto ambizioso e tecnicamente molto completo che vedeva un ristretto gruppo di Guide Alpine svizzere collaborare con l'SLF nella comunicazione di osservazioni lungo itinerari escursionistici invernali. Il progetto curato da Christoph Suter, Stephan Harvay e Lukas Dürr, si avvaleva di apparecchi di comunicazione dell'ultima generazione, con integrati GPS e quant'altro, che con un software dedicato permetteva la comunicazione di numerosissime informazioni e dati, in tempo reale, al Servizio valanghe svizzero di Davos.

Affascinati da questa idea, a Bolzano abbiamo cercato di creare un modello simile, molto più snello, realizzabile in tempi rapidi e con un minimo impegno economico. Si sono unite le idee iniziali di comunicazione via SMS con l'idea del progetto M-Avalanche e nell'inverno 2009/2010 con la spontanea disponibilità del Collegio Guide Alpine dell'Alto Adige e di numerosi di loro si è sperimentata per due mesi una prima bozza di quello che poi è diventato "NATLEFS".

COS'È NATLEFS?

Natlefs è l'acronimo di sette parole in lingua tedesca. Sono le sette informazioni-osservazioni che le guide alpine effettuano nel corso di una escursione e trasmettono quanto prima via SMS al Servizio valanghe provinciale.

Con la preziosa collaborazione di Maurizio Lutzenberger, si sono selezionate alcune delle molte informazioni importanti per il Servizio valanghe.

Queste devono poter essere facilmente raccolte dalle guide, mentre con i loro clienti effettuano una normale escursione, senza dover per questo interrompere il loro lavoro.

È doveroso sottolineare che per questo servizio, alle guide alpine non è stato finora previsto alcun compenso.

A maggior ragione quindi il compito di "rilevatore" deve avere caratteristiche di rapidità e semplicità.

Quale contropartita per questa collaborazione, le guide alpine selezionate che fanno parte del gruppo NATLEFS ricevono le informazioni che tutti i loro colleghi inviano.

Dispongono cosi d'informazioni importanti per il loro lavoro, qualificate e di prima mano.

NATLEFS, dopo una prima stagione di test e una seconda stagione invernale completa, è già considerato dal Servizio valanghe di Bolzano una sorta di rete di rilevamento itinerante, complementare alle altre reti dati automatiche e manuali, giornaliere o settimanali, che fornisce osservazioni molto utili da ambiti d'alta montagna dove le informazioni normalmente reperibili sono più scarse.

Questi dati fanno parte di un concetto di rete dati allargata che consente ai previ-

Fig. 1

	OSSERVAZIONI	VALORE			
		0	1	2	/
N	Neve fresca in 24h	< 10 cm	10-30 cm	> 30 cm	non rilevabile
A	Segnali di allarme (Wumm, crepe)	nessuno	singoli (1 max 2)	Spesso (>2)	
T	Accumuli di neve ventata (fresca)	nessuno	singoli (qualche localizzazione)	diffusi (illimitati)	
L	Distacchi spontanei	nessuno	pochi (da 1a 3)	molti (>3)	
E	Sprofondamento senza sci	< 5 cm	5-30 cm	> 30 cm	
F	Umidità della superficie del manto	asciutta	umida	bagnata	
S	Tracce	nessuna	poche	molte	

© AINEVA

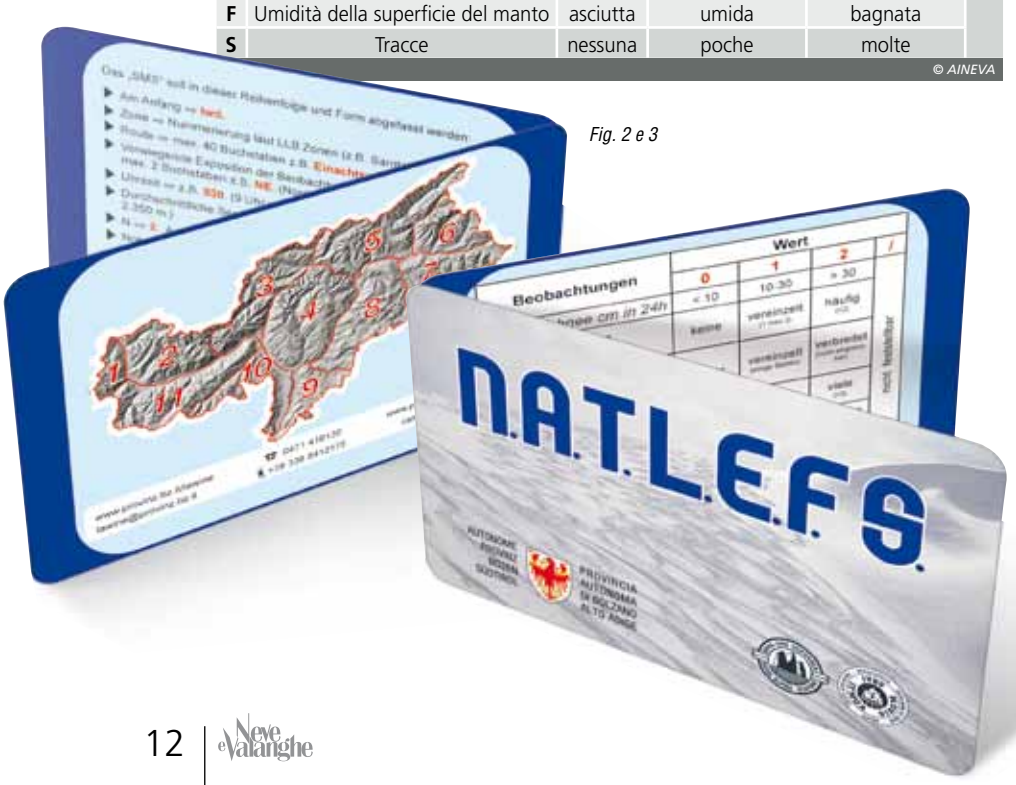


Fig. 2 e 3

Fig. 4

sori del Servizio valanghe di avere sempre più informazioni qualificate. Infatti il fine principe del rilevamento dei dati nivometeo è la valutazione della stabilità del manto nevoso e la redazione del bollettino valanghe.

COSA VUOL DIRE NATLEFS

Come detto sopra la parola è composta dalle iniziali di sette parole in lingua tedesca.

L'idioma scelto corrisponde alla lingua madre della maggior parte delle guide che partecipano a questo progetto, ed è stato quindi scelto per comodità e semplicità d'uso.

Per comprenderne il significato, di seguito le singole parole con la relativa traduzione:

N = Neuschnee = neve fresca
A = Allarmzeichen = segnali di allarme del manto nevoso
T = Triebschnee = accumuli eolici
E = Einsinktiefe = sprofondamento
F = Feuchtigkeit = umidità del manto
S = Spuren = tracce d'altri sciatori

Ognuna di queste informazioni è caratterizzata con i valori "0, 1 oppure 2 " secondo la situazione che viene incontrata e osservata lungo l'itinerario che la guida effettua. La tabella di figura 1 mostra nel dettaglio le informazioni codificate da ogni singolo valore.

All'inizio della stagione invernale 2010/11 è stato stampato un pratico pieghevole plastificato formato "bancomat", con le principali istruzioni per la corretta trasmissione degli SMS. Si è rilevato anche molto utile come promemoria delle osservazioni con relativi codici, specie all'inizio dell'inverno o in caso di dubbi (figure 2 e 3). Infatti la stringa di dati da trasmettere in una determinata sequenza, oltre i codici NATLEFS, comprende anche l'indicazione della zona dove viene fatto l'itinerario (una della 11 zone che caratterizzano il bollettino valanghe), il nome dell'itinerario o la cima, l'esposizione del versante in osservazione, la quota media delle osservazioni, l'orario di riferimento (figura 4).

COME FUNZIONA IN PRATICA NATLEFS

Il progetto si basa sulla collaborazione e disponibilità di circa 30 guide, selezionate dal Collegio Guide Alpine dell'Alto Adige. Queste guide al termine della loro escursione, o appena è loro possibile, trasmettono col cellulare un messaggio "SMS" strutturato ad hoc, ad un server. Questo, mediante un software riconosce le informazioni contenute nel messaggio e le salva nella banca dati dell'Ufficio. Contemporaneamente spedisce, ad un elenco di numeri telefonici già impostati, al quale fanno riferimento le guide NATLEFS, lo stesso SMS ricevuto. In tempo reale quindi tutto il gruppo guide riceve

Fig. 5

DATA	ORA	ZONA	ITINERARIO	ESPOS.	QUOTA	N	A	T	L	E	F	S	NOTE
19/02/2011	14	8	Forceladiciamores	SW	2800	1	0	1	0	1	0	1	
19/02/2011	13	3	telfer weißen	SO	2250	0	1	1	0	2	0	0	gefahrenstufe 3- super Pulver
20/02/2011	9	3	wetterspitze	NO	2550	1	0	0	1	1	0	2	
20/02/2011	9	3	wetterspitze	NO	2450	1	0	0	1	1	0	2	
20/02/2011	13	4	punta del cervo	W	2200	2	0	0	0	2	0	1	polvere su croste tenere
20/02/2011	12	11	langenferner Richtung Cassati	SO	3000	0	0	1	0	1	0	0	Pulver
21/02/2011	11	3	Ellespitz	N	2300	0	0	0	0	1	0	2	super pulverschnee
21/02/2011	13	11	rosimtal	SW	2900	0	0	0	0	1	0	1	super Pulver
21/02/2011	11	8	langkofelscharte	N	2400	0	0	1	0	1	0	1	
21/02/2011	12	10	stübele	W	2500	0	1	1	0	1	0	0	
22/02/2011	12	8	roascharte	N	2400	1	0	0	0	1	0	0	
22/02/2011	13	11	hintergradkopf	SO	2600	0	0	0	0	1	0	1	super Schnee
24/02/2011	12	11	madritschtal	NO	2800	0	1	2	0	1	0	1	scheis Schnee
24/02/2011	15	3	tofring	NO	2100	0	0	2	1	2	0	0	super pulfer
24/02/2011	11	7	Caminscharte	N	2400	0	1	2	0	2	0	0	

© AINEVA

le informazioni che un loro collega ha osservato e trasmesso al Servizio valanghe. Nella centrale del Servizio valanghe queste informazioni sono gestite in due diversi modi. Il primo, in un formato tabellare, mediante l'aggiornamento automatico di un foglio excel salvato su un disco di rete provinciale (figura 5).

Il secondo con un formato grafico, che visualizza le informazioni qualitativamente e quantitativamente su un'unica schermata, rappresentando i singoli sette parametri con dei simboli a bandiera su sette cartine distinte.

Le cartine possono rappresentare le segnalazioni ricevute in una, due o tre giornate consecutive (figura 6).

Inoltre, ogni venerdì pomeriggio il Servizio valanghe spedisce via email a tutte le guide la tabella delle segnalazioni che sono avvenute nell'ultima settimana.

OSSERVAZIONI

Nella sua semplicità, NATLEFS si presta facilmente a future modifiche, migliorie o ampliamenti che l'esperienza vorrà suggerire.

A conclusione della prima stagione completa si tirano già le prime conclusioni analizzando i dati e s'ipotizzano le possibili novità per l'inverno 2011/12.

Evidente è stata l'importanza che queste comunicazioni hanno avuto in alcune situazioni dell'inverno dove le complesse condizioni di stratificazione del manto nevoso rendevano difficile la valutazione

della sua stabilità, o avverse condizioni meteo avevano bloccato il funzionamento di numerose stazioni automatiche.
E non solo in queste occasioni, le osservazioni giunte dalle Guide NATLEFS hanno portato un contributo tangibile per la redazione di bollettini valanghe migliori.
Un aspetto collaterale, ma molto importante, indotto da questo progetto, è la maggiore generale comunicazione che intercorre tra le Guide alpine e il Servizio prevenzione valanghe.
Anche semplici telefonate con le quali sono scambiati pareri sulla situazione e si cerca di interpretare la complessa situazione invernale del manto nevoso sulle montagne, sono importanti segni d'avvicinamento e collaborazione.
Sono la testimonianza attiva di uno sforzo concreto fatto per meglio capirsi nel difficile linguaggio delle valanghe.
Con questo progetto comune, si sono gettate le basi anche per altre collaborazioni che vedono i professionisti della montagna invernale uniti con sincera passione nella prevenzione degli incidenti valanghivi.

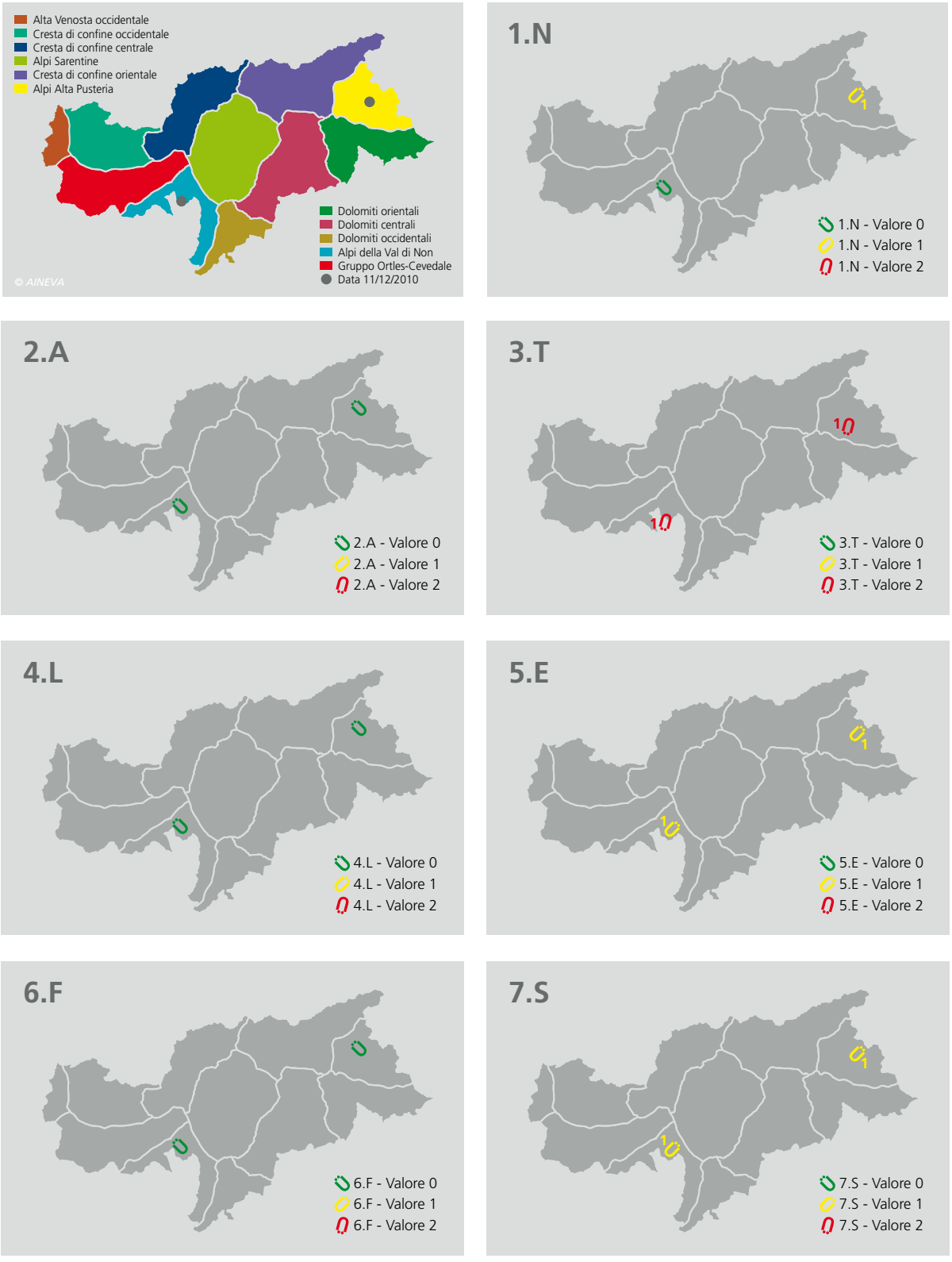


Fig. 6

Versanti e stratigrafie tipiche, tempi di ritrovamento dei sepolti

incidenti da valanga

Mauro Valt
ARPAV-DRST Centro Valanghe di Arabba
mvalt@arpa.veneto.it

con la collaborazione di:
Gruppo di Lavoro dei Previsori
Valanghe AINEVA

In Italia i dati sugli incidenti da valanga sono raccolti da diverse organizzazioni di soccorso e prevenzione. La banca dati più completa è quella messa a disposizione dall'AINEVA che contiene i dati degli incidenti noti dal 1984 al 2011. Lo studio delle caratteristiche e delle dinamiche degli incidenti da valanga e della loro evoluzione negli ultimi decenni consente di ottenere delle importanti informazioni al fine della prevenzione e della sicurezza.

Negli ultimi 10 anni è stato osservato un aumento degli incidenti nei primi mesi dell'inverno e soprattutto nella fascia altimetrica fra i 2400 e i 2700 m di quota, specie nelle Alpi orientali. La presenza di strati di brina di superficie ricoperta è spesso la causa dei distacchi sia nelle esposizioni settentrionali che in quelle orientali e sud orientali. Nelle esposizioni sud orientali, dove si verificano un buon numero di incidenti, gli spessori delle valanghe provocate sono inferiori alle altre esposizioni. Infine, per quanto riguarda la sopravvivenza dei travolti sepolti, il tempo medio di ritrovamento delle persone in vita da parte dei compagni è di circa 10 minuti mentre il tempo di intervento medio dei soccorsi organizzati è di 62 minuti.

In generale, sulla base dei dati del periodo 2005- 2011, i tempi di sopravvivenza delle persone sepolte da valanga sono risultati migliori sulle Alpi italiane rispetto alla Svizzera e al Canada.

14a

TECNICA SCI-ALPINISTICA

(Norme integranti il capitolo "Condotta di una gita" a pag. 10-15)

Il periodo migliore per lo sci-alpinismo

Non si dovrebbe iniziare una vera attività sci-alpinistica prima della metà di marzo (a seconda dell'innevamento e dell'andamento stagionale); limitandosi prima a salite medie fra i 2 e i 3 mila metri di quota e senza inoltrarsi su itinerari che comportano percorsi su ghiacciaio. Con l'avanzare della primavera si potrà aumentare gradatamente la quota e proseguire con percorsi di un certo impegno nel mese di maggio e percorrere i grandi itinerari a partire dal mese di giugno. Anche in luglio possiamo trovare condizioni ideali salendo i quattromila nella zona del Bianco, del Rosa e della Jungfrau.

Per meglio comprendere i motivi di queste raccomandazioni ricordiamo che nei mesi invernali la neve è leggera ed inconsistente, vi si affonda perciò notevolmente rendendo molto faticosa la progressione. La coltre nevosa è instabile, quindi ci troveremo spesso di fronte al pericolo valanghe; sui ghiacciai i ponti sui crepacci

tratto da
"Lezioni sullo
sci Alpinismo 1976"
CAI Commissione
centrale sci alpinismo

INTRODUZIONE

Lo studio delle caratteristiche morfologiche dei distacchi delle valanghe naturali e/o provocate può fornire delle indicazioni sulle caratteristiche regionali delle valanghe molto importanti anche al fine della prevenzione. Ad esempio, per quanto riguarda i distacchi spontanei di valanghe, Marcel de Quervain e Roland Meister (1987) descrivono che nell'area di Davos, il 65% delle valanghe avvengono nei settori Nord e Est, la pendenza media della zona di distacco è di 37,7°, l' altezza media della corona di distacco è di 80 cm e che circa il 20% delle valanghe osservate è di neve umida. Sempre gli stessi autori evidenziano che nel 17 % dei casi il piano di rottura delle valanghe è dovuto alla brina di superficie (SH) ricoperta e che anche in oltre il 50% dei distacchi sono presenti dei cristalli sfaccettati (FC) e/o della brina di profondità (DH).

Sempre per quanto riguarda le relazioni fra cambiamenti climatici e l'attività valanghiva spontanea, alcuni studi effettuati sui dati osservati (Laternsen e altri, 1997) (Valt e Cianfarra, 2010, 2011) hanno evidenziato una sostanziale stabilità dell'attività valanghiva mentre altri studi modellistici (Martin e altri, 2001, Eckert, 2009) hanno ipotizzato poche variazioni quantitative ma con un incremento della proporzione relativa di valanghe di neve bagnata. Altri lavori riguardano più propriamente la descrizione delle caratteristiche delle valanghe provocate. Schweizer e Lutschg (2001) ne descrivono le caratteristiche morfologiche nel periodo 1988- 1997 in Svizzera, sia dal punto di vista morfologico (larghezza media 74 m, lunghezza 256 m, spessore medio al distacco 49 cm, inclinazione media 38,7°, esposizione maggiormente frequente NE, etc) che dal punto di vista nivologico: la massa nevosa in movimento (un lastrone nella maggioranza dei casi) è formata spesso da particelle frammentate (DF) e/o da grani arrotondati (RG) mentre il piano di rottura è formato prevalentemente da cristalli sfaccettati (FC), da brina di superficie ricoperta (SH) e da brina di profondità (DH); il lavoro è completato anche da alcune interessanti analisi sulle durezze degli strati. Schweizer e Jamieson (2003) confrontano le caratteristiche delle valanghe provocate dagli sciatori fra la Svizzera e il Canada evidenziandone le caratteristiche, come ad esempio, la maggior frequenza della brina di superficie (SH) ricoperta nei distacchi provocati nordamericani. Sulla base del lavoro di Schweizer e Jamieson (2003), Valt e altri (2003) hanno tracciato una prima analisi del fenomeno degli incidenti da valanga in Italia relativamente al periodo 1985- 2000. Questo lavoro è stato poi ampliato e aggiornato nel 2009 (Valt, 2009), evidenziando le caratteristiche peculiari delle valanghe provocate sul versante meridionale delle alpi: le esposizioni più frequenti sono da N a NE con un picco a SE, l'inclinazione media di 37,5°, uno spessore medio al distacco di 57 cm di neve, il giorno della settimana con maggiore incidenti oltre al sabato e alla domenica è il lunedì, una maggior incidenza degli incidenti da valanga nei mesi di dicembre e gennaio nell'ultimo decennio, rispetto a febbraio e marzo del decennio 1985- 1994. Sempre nel lavoro di Valt (2009) sono anche evidenziate nuove tipologie di incidenti, come quelli fra gli escursionisti con racchette da neve. Già Harvey e Zweifel (2007) avevano effettuato una analisi delle tendenze nelle discipline ricreative in Svizzera evidenziando, ad esempio, come l'autosoccorso abbia diminuito la mortalità negli incidenti da valanga dei sepolti.

Recentemente Haegeli e altri (2011) hanno analizzato e confrontato le possibilità di sopravvivenza dei sepolti da valanga in Canada e Svizzera, evidenziandone la similarità della possibilità (89-94%) di sopravvivenza nei primi 10 minuti e mettendo in luce una netta diversità, nel tempo fra gli 11 e i 20 minuti (36% di estratti vivi in Canada e 71% in Svizzera) e nei tempi successivi (21-35 minuti: 24 % estratti vivi in Canada e 44 % in Svizzera). Per quanto riguarda il Canada è stata riscontrata una netta differenza delle possibilità di sopravvivenza a seconda delle regioni climatiche. Nelle nevi di clima marittimo, in generale, la possibilità di sopravvivenza dei travolti è del 41%, nelle nevi del clima di transizione del 51% e nelle valanghe di nevi continentali del 44 % (in Svizzera è pari al 47%). Con il presente lavoro si vuole dare un nuovo contributo alla conoscenza del fenomeno delle valanghe provocate sul versante italiano delle Alpi analizzando alcuni aspetti già oggetto di studio oltre alpe, come l'esposizione dei versanti dove avvengono gli incidenti, le stratigrafie tipiche degli incidenti e i tempi di ritrovamento dei completamente sepolti.

Il dati analizzati coprono un periodo che va dal 1980 ad oggi caratterizzato da condizioni di innevamento molto differenti (Fig. 1). Pertanto, al fine di dare uno spaccato sulle tendenze in corso, vengono effettuate alcune considerazioni generali focalizzando il lavoro sull'ultimo periodo 2002-2011, caratterizzato da una alternanza di inverni secchi ad altri nevosi ad altri ancora eccezionalmente nevosi. Il campione dell'ultimo decennio è di 379 (58%) incidenti sui 651.

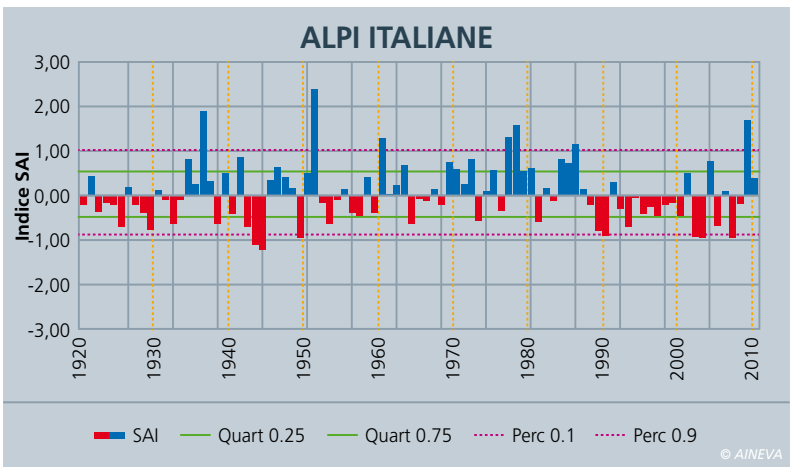


Fig. 1 - Andamento dell'Indice di Anomalia Standardizzato (SAI Index) per il cumulo stagionale di neve fresca rispetto al periodi riferimento 1975- 2009. Sono stati considerati come valori rientranti nella variabilità media quelli situati fra il 1° e il 3° quartile (25% e 75%), come eventi al di fuori della norma quelli che si collocano all'interno del 1° quartile e del 3° quartile, fino al 0.10 e 0.90 percentile ed eventi eccezionali (estremi o rari) quelli situati oltre lo 0.10 e il 0.90 percentile.

I DATI

In Italia i dati sugli incidenti da valanga sono raccolti da diverse organizzazioni preposte alle prevenzione e al soccorso in montagna: gli Uffici Valanghe afferenti all'AINEVA, il Corpo Nazionale del Soccorso Alpino e Speleologico (CNSAS), l'Alpin Verein Sudtirol (AVS), il Servizio Valanghe Italiano (SVI/CAI) e il Soccorso Alpino della Guardia di Finanza (SAGF). Gli eventi catalogati sono limitati agli incidenti noti e che hanno interessato persone e, in taluni casi, hanno richiesto l'intervento delle squadre di soccorso oppure sono stati oggetto di studio da parte degli Uffici Valanghe. Non sono stati presi in considerazione gli incidenti di cui non si hanno notizie documentate e degli eventi che hanno provocato solo danni materiali. Per la ricostruzione storica di alcuni eventi, sono stati consultati i lavori di Gansser (1986), Cagnati e Valt (1989), Valla (1990) e Zuanon (1996), Valt e altri (2003), Valt (2009). Nel presente lavoro e principalmente negli elaborati grafici, quando si fa riferimento ad eventi relativi ad un anno, o ad una stagione, è da intendersi l'anno idrologico (dal 1 ottobre al 30 settembre dell'anno solare successivo). I dati tenuti in considerazione sono relativi ai mesi da novembre ad aprile compresi.

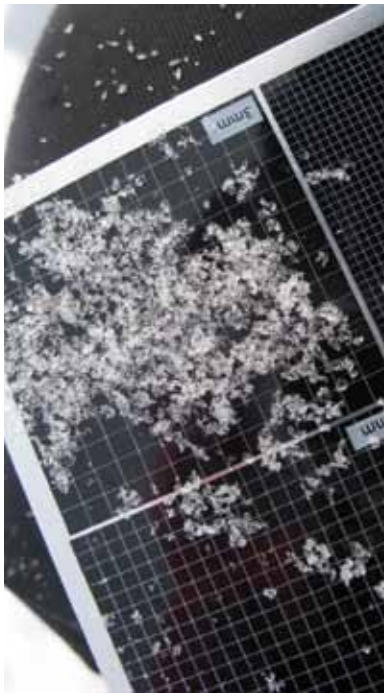
I dati relativi alle esposizione dei pendii sono espressi come settori nord (N), nord est (NE), est (E), sud est (SE), sud (S), sud ovest (SW), ovest (W) e nord ovest (NW).

RISULTATI

Sono di seguito riportati i primi risultati riguardo allo studio delle esposizioni tipiche di tutti gli incidenti da valanga noti con e senza vittime, delle stratigrafie e dei piani di rottura, dei tempi di ritrovamento dei sepolti in valanga, di una selezione di 50 incidenti da valanghe nelle Dolomiti e Prealpi venete.

Esposizione

I dati analizzati riguardano 651 incidenti da valanga nel periodo 1984-2011 (28 anni), che rappresentano il 57% degli incidenti noti sul versante italiano delle Alpi nello stesso periodo.

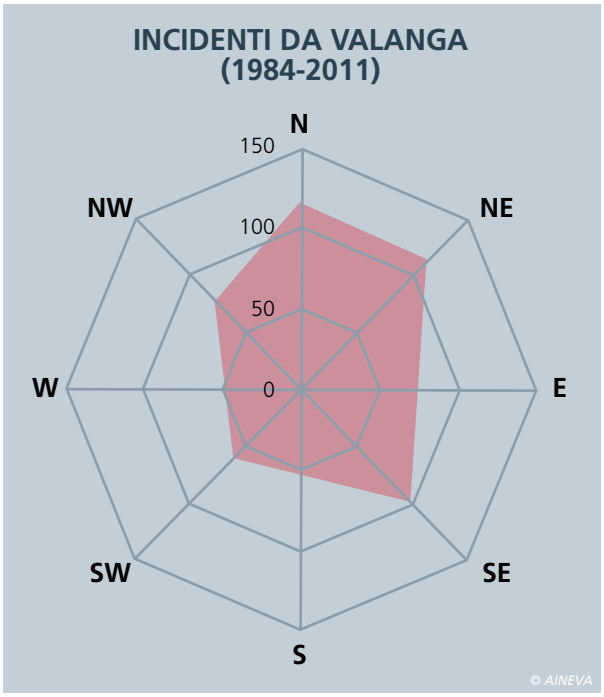


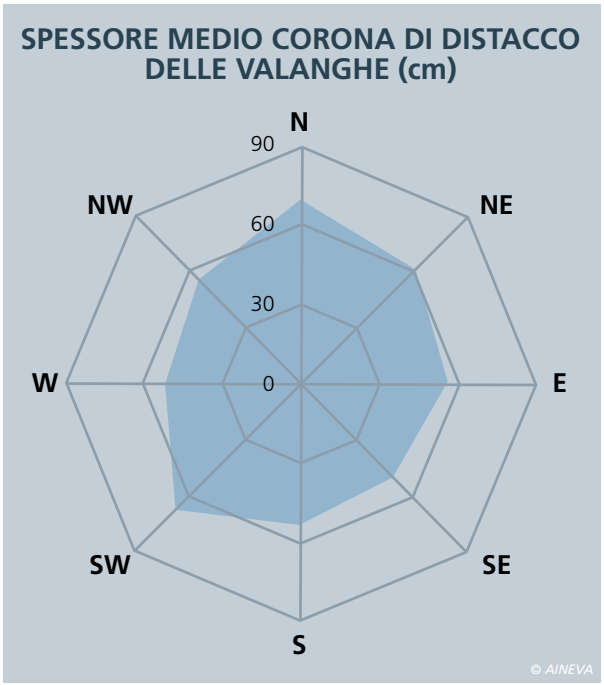
Sull'arco alpino italiano, nel periodo 1984- 2001, il maggior numero di incidenti da valanga è avvenuto nei settori N (18%) e NE (18%), seguiti dal SE (15%) (Fig. 2); in generale nel settore settentrionale (NW-N-NE -E) avvengono il 60% degli incidenti. L'elevato numero di incidenti nel settore SE rappresenta quindi una peculiarità del versante sud delle Alpi in quanto tale settore non è risultato così intenso nè in Svizzera e nemmeno in Canada. Oltre il 55% degli incidenti nel settore SE è avvenuto nelle Alpi orientali (Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia) e solo il 22% nelle Alpi occidentali.

La maggior incidenza è nella regione del Trentino Alto Adige e nella fascia altimetrica fra i 2400 e i 2700 m.

Interessante notare che in questo settore sia stato osservato anche il valore medio (media fra lo spessore massimo e minimo al distacco) di altezza neve al distacco (Fig. 3) inferiore a tutti gli altri settori con 50 cm (media 61 cm, massimo settore N con 70 cm).

Al fine di verificare se gli incidenti avvengono in esposizioni diverse a seconda della stagione, sono stati raggruppati per settori di esposizione più ampi per 3 diversi periodi dell'inverno: inizio (novembre e dicembre), metà (gennaio e febbraio) e fine (marzo e aprile).





Questa analisi condotta per il periodo 1984- 2011 ha evidenziato che verso la fine dell'inverno avvengono più incidenti da valanga nei settori da N a SE rispetto all'inizio dell'inverno e che nel contempo diminuiscono nelle esposizioni da S a NW (Fig. 4). Con cautela, si può affermare che i pendii in ombra e quelli orientali diventano più pericolosi con il trascorrere dell'inverno e che quelli occidentali diventano più sicuri. La stessa analisi condotta nel periodo recente (2001- 2011) ha evidenziato una leggera diminuzione degli incidenti nei settori N e NE (-3%) e

Dall'alto, fig. 2 - Distribuzione degli incidenti da valanga di cui si dispongono dei dati sull'esposizione nel periodo 1984 – 2011 (651 casi). Il settori più frequenti sono quelli settentrionali e sud orientale.

Fig. 3 - Spessore medio del manto nevoso lungo la corona di distacco delle valanghe negli incidenti da valanga noti per esposizione (469 casi). Nel settore sud orientale si misura lo spessore minimo di rottura.

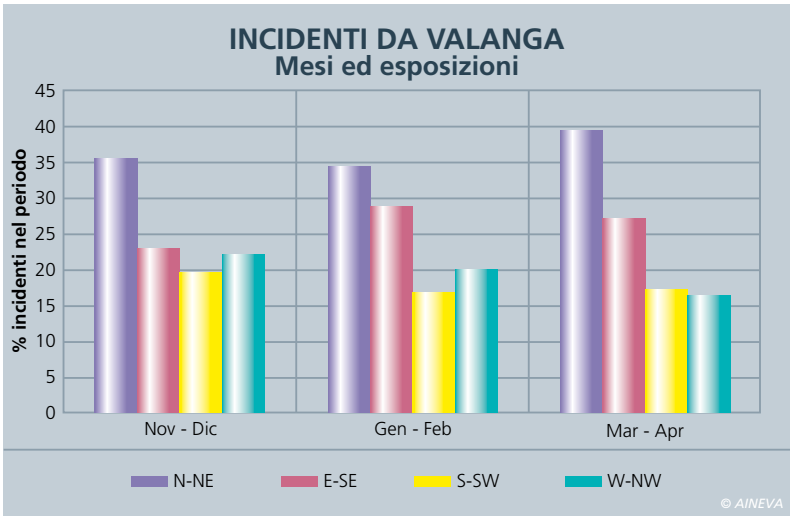


Fig. 4 - Distribuzione degli incidenti da valanga per periodo invernale in relazione all'esposizione. Nei mesi primaverili il maggior numero degli incidenti da valanga avvengono lungo i versanti N-NE, mentre in generale diminuiscono gli incidenti nei settore W- NW.

un aumento nel settore SE che risulta il più importante (+3%) e NW (+2%) (Fig. 5).

Quota ed esposizione

Al fine di verificare se sussiste una correlazione fra esposizione e quota dei versanti degli incidenti da valanga, per l'ultimo decennio, sono stati analizzati anche i dati relativi alle quote di distacco degli incidenti avvenuti (291 casi su 397). In generale nella fascia altimetrica fra i 2100 e i 2400 m di quota avvengono il maggior numero di incidenti da valanga da dicembre a febbraio, mentre nei mesi di marzo e aprile il maggior numero degli incidenti avviene oltre i 2700 m di quota (Fig. 6 a e 6b). Di più difficile interpretazione la correlazione fra fasce altimetriche e esposizioni. Fino a 2100 m di quota, i versanti da NW a NE sono quelli maggiormente interessati dagli incidenti, fra i 2100 m e i 2700 si ha una rotazione verso le esposizioni da N a SE (maggiore frequenza nella fascia altimetrica fra i 2400 e i 2700 m), per poi ruotare oltre i 2700 a SW (Fig. 7).

Strati deboli del manto nevoso negli incidenti da valanga

Nel periodo 2001- 2011 sono noti 89 incidenti da valanga nelle Dolomiti e Prealpi venete che hanno determinato la morte di 21 persone. La stagione invernale 2009-2010, pur non straordinariamente nevosa, con 27 incidenti e 7 morti è stata la più intensa. Al fine di comprendere i meccanismi di distacco delle valanghe, sono stati analizzati 50 profili del manto nevoso rilevati nelle Dolomiti e Prealpi venete nel periodo 2001- 2011 (24 relativi alla sola stagione 2009-2010) in corrispondenza o nelle vicinanze della corona di distacco delle valanghe che hanno causato incidenti. Secondo Schweizer (2006) il distacco delle valanghe provocate avviene nel 38% dei casi all'interno di un sottile strato debole sepolto e nel 42% dei casi fra strato e strato. Nei 29 dei 50 profili analizzati (58%) nella regione delle Dolomiti e Prealpi Venete, il piano di rottura è avvenuto in corrispondenza di un sottile strato debole nel manto nevoso (Fig. 8). In particolare in ben 16 incidenti è stata rilevata la presenza di un sottile strato di brina di superficie (SH), ricoperta in 11 casi da neve di precipitazione (PP e DP), in 3 casi da neve ventata (RGwp) e in altri casi da neve di diversa origine (RGmx e FCmx). Gli strati di brina di superficie ricoperti sono stati osservati soprattutto nelle esposizioni da NW a E (10 casi) e nelle esposizioni da SE a SW (6 casi). Questa tipologia di distacchi è stata osservata soprattutto nei mesi di gennaio e febbraio (11 casi) rispetto alla primavera (4 casi) o all'inizio dell'inverno (1 caso). In 9 casi è stato rilevato uno strato debole formato da grani da fusione e rigelo (MF) o da un sottile e duro strato di ghiaccio (IF). I grani osservati non sono mai stati di grandi dimensioni anche perché spesso hanno subito pochi o un unico ciclo di fusione e rigelo. Infatti questa tipologia di strati deboli è stata riscontrata in ben 5 casi da dicembre a febbraio in conseguenza di piogge fino in quota o di episodi di forte riscaldamento, e solo in 4 casi nei mesi di marzo e aprile. Altri 4 casi di strati deboli sono riconducibili a neve di precipitazione (DC) ricoperti nel 75% dei casi da neve ventata (RG, E=0,5). Per quanto riguarda i rimanenti 21 profili del manto nevoso, in ben 16 lo strato basale era formato da cristalli sfaccettati (FC) (9 casi) e brina di profondità (DH) combinati fra loro (4 casi) di dimensioni medie di 1,4 mm. Questa tipologia di strato basale è stata riscontrata soprattutto nei mesi da dicembre a febbraio (12 casi) con la combinazione di brina di profondità (DH) solo nei mesi di febbraio e marzo (2 casi per mese). In 6 situazioni lo strato basale era ricoperto da neve di precipitazione (PP e DF), in 7 casi di particelle arrotondate (RG) di lastroni da vento. In altre 5 situazioni delle 50, lo strato basale è risultato formato da neve fusa (MF) con grani di dimensioni medie di 1,4 mm.

Lo strato sovrastante è risultato formato da particelle frammentate (DF) in 3 casi e da neve fusa (MF) nelle 2 rimanenti situazioni. Per quanto riguarda le dimensioni dei cristalli nello strato debole sottile, la dimensione media riscontrata nella brina di superficie (SH) è stata di 4,1 mm, per le particelle decomposte (DC) e frammentate di 1,5 mm. Per quanto riguarda invece le fratture fra strato e strato, le dimensioni medie dei cristalli nello strato formato solo da cristalli sfaccettati (FC) era di 1,2 mm, mentre negli strati misti con brina di profondità (DH) di 3,0 mm.

TEMPI DI RITROVAMENTO DEI SEPOLTI DA VALANGA

Prendendo spunto dal recente lavoro di Haegeli e altri (2011) che compara i tempi di sopravvivenza dei travolti sepolti in Canada e in Svizzera nel periodo 1980-2005, pur con un campione di dati inferiori nel tempo (2005 – 2010), sono state effettuate le prime elaborazioni per l'arco alpino italiano. Nel periodo 2005- 2010 sono noti in Italia 379 incidenti, 158 dei quali hanno completamente sepolto delle persone causando 86 vittime. Per 80 di questi incidenti sono anche stati segnalati i tempi indicativi di ritrovamento delle persone sepolte, sia esse ritrovate ancora in vita (63 persone) che decedute (42 persone). Alcuni dati degli incidenti analizzati in Canada, in Svizzera e quelli determinati per l'arco alpino italiano sono riassunti in Fig. 9. Per quanto riguarda l'arco alpino italiano è stata riscontrata una profondità media dei sepolti di 86 cm che si pone fra il valore del Canada e della Svizzera, ma con alcune vittime ritrovate a più di 3 metri di profondità e, quindi, più profondamente di quella delle statistiche del Canada (50- 180 cm) e della Svizzera (50-120 cm).

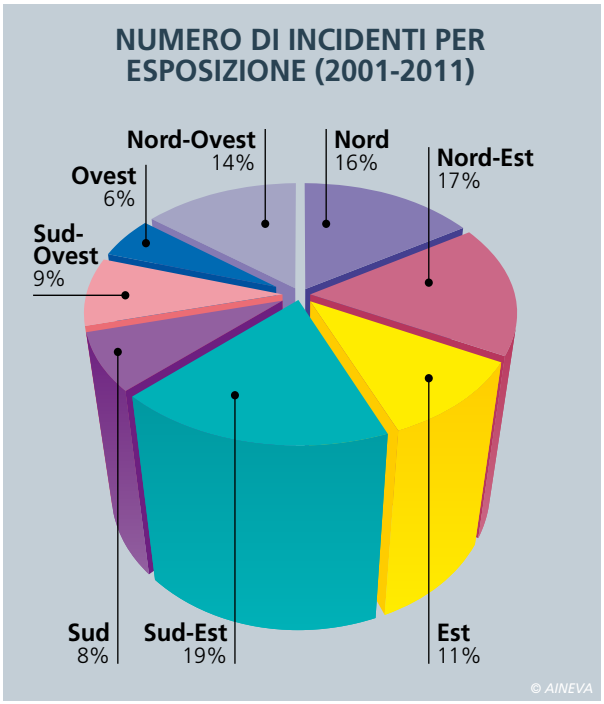
Il tempo medio di ritrovamento del sepolto di 42 minuti è superiore ai 18 e ai 35 minuti rispettivamente del Canada e della Svizzera. Un tempo così elevato è forse dovuto ad alcuni ritrovamenti (5 persone), avvenuti fra le 3 e le 5 ore.

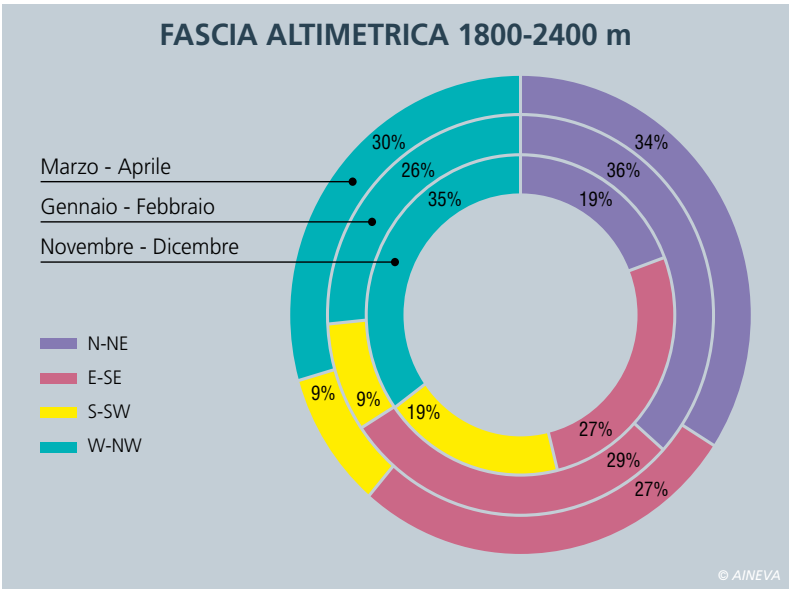
Il dato buono è che il 36% dei sepolti è stato rinvenuto nei primi 10 minuti, percentuale maggiore anche della Svizzera, come anche la percentuale dei ritrovati fra gli 11 e i 20 minuti, pari ad un ulteriore 22,6 %.

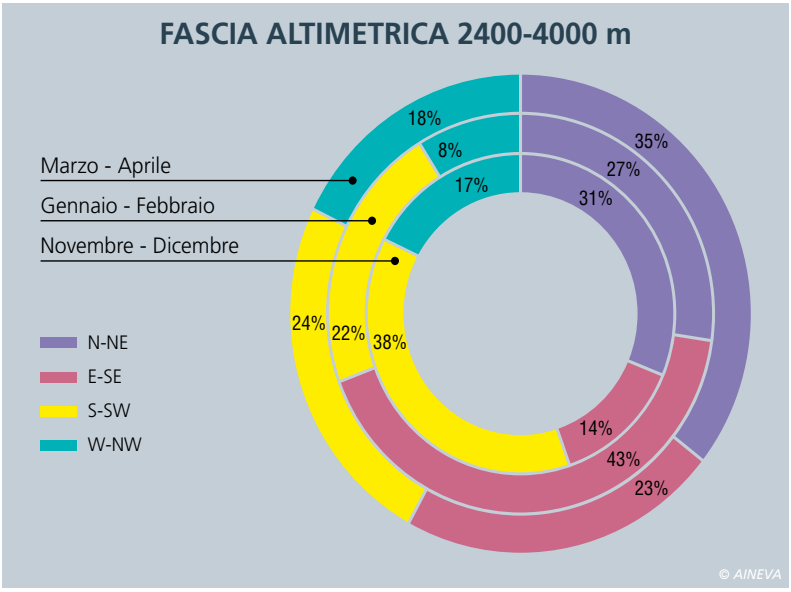
Questi due dati messi assieme indicano che oltre il 58% dei sepolti è stato ritrovato nei primi 20 minuti (40% circa in Svizzera, 57% circa in Canada).

Per quanto riguarda la proporzione fra le persone estratte dalla neve dai propri compagni e quelle estratte dal soccorso organizzato nei primi 20 minuti, è significativamente alta in Italia (64% dei sepolti) e superiore sia al Canada (56,8%) che alla Svizzera (40,9%).

Invece, tale percentuale dopo i 60 minuti è molto bassa in Italia (5%) e molto più







Dall'alto, fig. 5 - Distribuzione degli incidenti da valanga di cui si dispongono dei dati sull'esposizione nel periodo 2001 - 2011 (651 casi). Il settore più frequente è quello sud orientale.

Fig. 6a e 6b - Analisi della frequenza degli incidenti da valanga in funzione della quota, dell'esposizione e del periodo della stagione invernale. Ogni settore circolare rappresenta un periodo della stagione invernale. Il settore esterno marzo - aprile, quello centrale gennaio - febbraio e quello centrale l'inizio dell'inverno. In ogni settore è rappresentato percentualmente il numero di incidenti avvenuti in quel periodo nella fascia altimetrica relativa al grafico (fig. 6a nella fascia altimetrica 1800 - 2400 m, fig. 6b, oltre i 2400 m). E' possibile osservare la diversa distribuzione degli incidenti da valanga nei settori S-SW nelle due fasce altimetriche (più frequenti in quota).

elevata in Canada (24,3%) e in Svizzera (36,4%). Il tempo medio di ritrovamento dei sepolti da parte dei compagni (autosoccorso) è di 16 minuti, con un tempo di 10 minuti per i ritrovati ancora in vita. Per quanto concerne il soccorso organizzato, il tempo medio è stato di 62 minuti, con un valore di 25 minuti per i ritrovati vivi. Questi valori sottolineano l'importanza dell'autosoccorso come anche l'importanza del tempestivo intervento del soccorso organizzato che, in tempi relativamente brevi (25 minuti), ha estratto ancora in vita molte persone. I dati del database evidenziano che il soccorso effettuato dai compagni ha determinato il ritrovamento ancora in vita del 70% delle persone ricercate mentre il soccorso organizzato il 51%. In Fig. 10 è riportata la proporzione dei ritrovati in vita in funzione della durata del seppellimento per le 3 nazioni.

I primi risultati sui sepolti ritrovati ancora vita sulle Alpi italiane sono molto incoraggianti: nei primi 10 minuti, nel 91% dei casi il sepolto è stato ritrovato ancora in vita; fra gli 11 e i 20 minuti l'81%, molto maggiore che in Svizzera (71%) e in Canada (36%); anche fra i 21 e i 35 minuti la percentuale è elevata e pari al 67% dei casi.

Ne consegue che, in via del tutto sperimentale, è possibile tracciare una curva di sopravvivenza dei sepolti per le Alpi italiane (Fig. 11).

La curva sembra esprimere che sono state ritrovate in vita un maggior numero di persone nei primi 35 minuti rispetto alle altre nazioni prese in considerazione.

Occorre tuttavia sottolineare che i dati delle vittime includono sia le vittime per traumi che per asfissia in quanto non è possibile effettuare una distinzione con i dati oggi a disposizione.

Inoltre, dato il relativo esiguo numero di incidenti di cui si dispongono i dati dei sepolti, non è ancora possibile effettuare una analisi attendibile di eventuali tendenze geografiche, come ad esempio le differenze fra Alpi occidentali e le Alpi più basse di quota, o per fasce orografiche come ad esempio dalle Prealpi alla cresta di confine delle Alpi.

Fig. 7 - Numero di incidenti per fasce altimetriche ed esposizioni. In color giallo i settori più frequenti.

	NOV-DIC	GEN-FEB	MAR-APR	
1500-1800				**TOT**
N-NE	2	8	0	10
E-SE	0	3	2	5
S-SW	2	5	2	9
W-NW	8	4	2	14
1800 - 2100				**TOT**
N-NE	1	7	8	16
E-SE	1	6	7	14
S-SW	2	5	2	9
W-NW	3	11	7	21
2100 - 2400				**TOT**
N-NE	4	26	7	37
E-SE	6	20	5	31
S-SW	3	5	3	11
W-NW	2	5	6	13
2400 - 2700				**TOT**
N-NE	2	13	8	23
E-SE	4	18	6	28
S-SW	3	5	3	11
W-NW	2	5	6	13
> 2700				**TOT**
N-NE	7	3	14	24
E-SE	0	7	8	15
S-SW	8	8	12	28
W-NW	3	0	5	8

© AINEVA

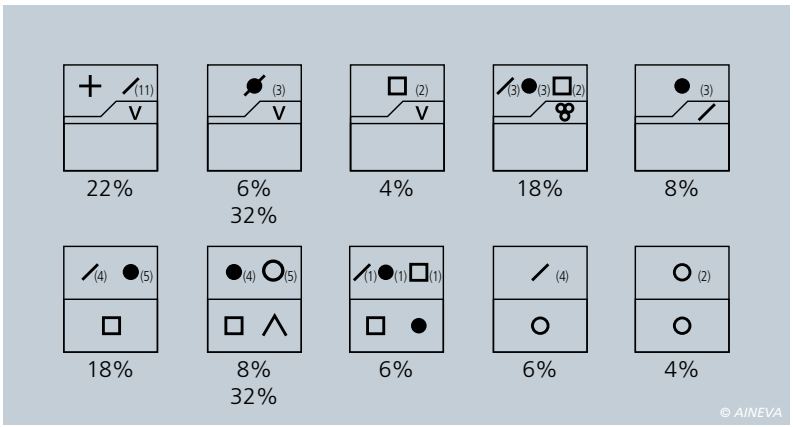


Fig. 8 - Rappresentazioni delle strutture del manto nevoso osservate nelle zone di distacco delle Dolomiti e Prealpi venete nel periodo 2001- 2011. La simbologia utilizzata per rappresentare i cristalli è quella internazionale. I numeri fra parentesi indicano gli eventi noti; quelli sotto le percentuali e il numero di casi rispetto al campione analizzato (50 incidenti).

CONCLUSIONI

L'analisi delle caratteristiche delle valanghe provocate sul versante sud delle Alpi, ha consentito di porre delle conferme su lavori analoghi effettuati in Svizzera e in Canada, nonché di evidenziare alcune peculiarità regionali. Come evidenziato in molti lavori, i versanti dove avvengono il maggior numero di distacchi provocati sono quelli esposti ai quadranti settentrionali (NW-N-NE) ma con una incidenza per il settore SE. In questa esposizione, specie negli ultimi 10 anno, è stato osservato un aumento del numero di incidenti (percentuale sul totale stagionale) specie nella fascia altimetrica fra i 2400 e i 2700 m di quota. Inoltre, questo particolare settore, è critico maggiormente nelle Alpi orientali rispetto a quelle occidentali.

L'analisi delle stratigrafie del manto nevoso relative agli incidenti da valanga, condotta nelle Dolomiti e Prealpi venete (Alpi orientali), ha evidenziato che molti distacchi avvengono per la presenza di brina di superficie (SH) ricoperta specie lungo i versanti settentrionali e anche nelle esposizioni orientali (E-SE).

Gli strati di cristalli sfaccettati (FC) sono presenti in molti distacchi come anche gli strati di brina di profondità (DH), specie nei mesi di febbraio e marzo.

I dati a disposizione non permettono ancora di tracciare delle ipotesi regionali più di dettaglio per le Alpi italiane.

Per quanto riguarda la ricerca dei travolti completamente sepolti in valanga i dati a disposizione, che sono inferiori a quelli analizzati nel Canada e in Svizzera, e relativi alle ultime 6 stagioni invernali, confermano che il soccorso prestato dai compagni riesce a recuperare il maggior numero di persone vive (sepolte), sia nei primi 10 minuti, ma anche per i restati 20 e 35 minuti. La percentuale di sopravvivenza è buona fino a 35 minuti e si è dimostrata maggiore rispetto a quanto elaborato nelle altre nazioni. Il tempo di recupero di persone ancora in vita (sepolte) da parte delle organizzazioni di soccorso è risultato relativamente breve (25 minuti), evidenziando quindi una buona efficacia.

Bibliografia

- De Quervain, M., and Meister, R., 1987. 50 years of snow profiles on the Weissfluhjoch and relations to the surrounding avalanche activity (1936/37-1985/86). In: Salm, B. and H. Gubler (eds), Avalanche Formation, Movement and Effects, International Association of Hydrological Sciences, Publication No. 162, pp. 161–181.
- Eckert, N. 2009. Assessing the impact of climate change on snow avalanche activity in France over the last 60 winters using hierarchical Bayesian spatio-temporal change point models. !8th World IMACS/ MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009
- Laternsen , M., M. Schneebeli, P. Fhön and W. Amman. 1997. Climate, neige et avalanches. In Arguments de la recherche. Vol. 13. Birmensdorf Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 9-15
- Martin, E., G. Giraud, Y. Lejeune and G. Boudart. 2001. Impact of a climate change on avalanche hazard. Annals of Glaciology, 32, 163-167
- Marty, C. 2000. Step-like decrease of snow days in the Alps. MOCA 2009 Our Warming Planet, Montreal, Canada, 19-24 July 2009
- Haegeli P., Falk M, Brugger H., Etter, H.J., Boyd J. 2011 Comparison of avalanche survival patterns in Canada and Switzerland. Canadian Medical Association or its licensors. (in stampa) www.slf.ch
- Harvey, S., Zweifel, B., 2007, New trends of recreational avalanche accidents in Switzerland: www.slf.ch Schweizer, J. and Wiesinger, T., 2003. Snow profile interpretation for stability evaluation. Cold Regions Sci. Tech., 33 (2-3): 179-188
- Schweizer, J., and Jamieson, J.B., 2003, Snow Cover properties for skier triggering of avalanches: Cold Regions Sc. and Tech., 33, pp 207 - 221
- Valt M. (2009). Gli incidenti da valanga in Italia. Neve e Valanghe, 68 Valt M., Cagnati A., Crepaz A.(2003). Gli incidenti da valanga - analisi di un fenomeno. Neve e Valanghe n. 49, pagg. 1- 14
- Valt M., Cianfarra P. (2010). Recent snow cover variation and avalanche activity in the Italian southern Alps. Geophysical Research Abstract- Vol. 12, EGU 2010-122664-2010
- Valt M., Cianfarra P. (20111). Recent snow cover and temperature variability in the Italian Alps and relations to avalanche activity EGU 2011

CARATTERISTICHE DEGLI INCIDENTI DA VALANGA CHE HANNO SEPOLTO COMPLETAMENTE DELLE PERSONE IN CANADA, SVIZZERA E ITALIA*

CARATTERISTICHE	CANADA	SVIZZERA	ITALIA
Periodo			
1 Ottobre 1980 - 30 Settembre 2005	301	946	-
1 Ottobre 2005 - 30 Aprile 2011	-	-	106
Attività	**%**	**%**	**%**
Sci alpinisti	54,5	53,6	50,9
Sciatori fuori pista	8	30,2	21,7
Escursionisti con motoslitte	21,6	0	5,7
Alpinisti	5,3	6,7	4,7
Escursionisti con racchette da neve	0	0	3,8
Altri	**%**	**%**	**%**
Attività ricreative	6,6	4,9	2,8
Attività non ricreative	4	4,7	10,4
Profondità media di seppellimento (cm)	**100**	**80**	**86,5**
Durata media di seppellimento (min)	**18**	**32**	**42**
Durata del seppellimento (min)	**%**	**%**	**%**
< 10	41,2	24,9	35,8
11 - 20	15,6	15,5	22,6
21 - 35	9,6	11,3	7,5
36 - 60	9,3	12,4	13,2
> 60	24,3	36,4	20,8

** incidenti dei quali sono noti i tempi - © AINEVA*

Fig. 9 - Tabella riassuntiva delle caratteristiche delle valanghe che hanno travolto e sepolto delle persone negli incidenti noti del Canada, della Svizzera nel periodo 1980 - 2005 e per dell'Italia nel periodo 2005 - 2011.

PROPORZIONE DI PERSONE COMPLETAMENTE SEPOLTE ED ESTRATTE VIVE PER DURATA DI SEPPELLIMENTO

DURATA	CANADA	SVIZZERA	ITALIA
Durata media di seppellimento (min)	**%**	**%**	**%**
< 10	89,5	93,5	91,4
11 - 20	36,2	71,1	80,8
21 - 35	24,1	43,9	66,7
> 36	4	16,3	15,6
TOTALE	**46,2**	**46,9**	**60,4**

© AINEVA

Fig. 10 - Tabella riassuntiva delle persone sepolte e estratte in vita in relazione al tempo di seppellimento.

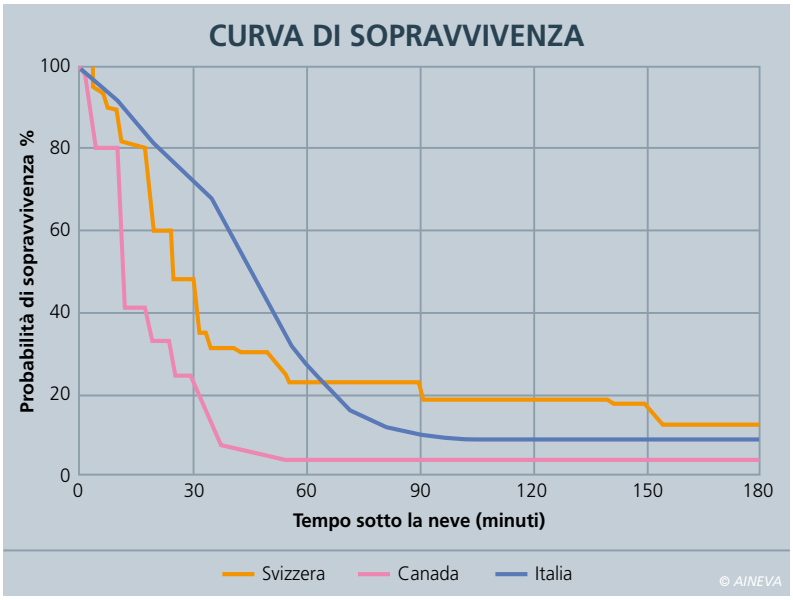


Fig. 11 - Nuove curve di sopravvivenza in funzione del tempo per la Svizzera e il Canada indicate nel lavoro di Haegeli e altri (2011) e curva sperimentale di sopravvivenza elaborata in funzione del campione di incidenti avvenuti in Italia nel periodo 2005 - 2011.

VARIABILITÀ CLIMATICA e RISCHIO VALANGHIVO in VALLE

Noemi Canevarolo, Daniela Testa, Simona Fratianni, Fiorella Acquaotta e Silvia Terzago
Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino - Italia

Con la collaborazione di: Marco Cordola
Regione Piemonte, Settore Protezione Civile, Torino - Italia

Maria Cristina Prola
Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) del Piemonte, Torino - Italia

Scopo del lavoro è stato quello di analizzare i principali elementi climatici - temperatura, precipitazione liquida e solida - registrati presso tre stazioni meteorologiche della valle Ossola (Alpe Cavalli, Alpe Devero e Formazza Vannino), con l'obiettivo di studiarne la variabilità climatica e di verificare la presenza di variazioni nel tempo dei relativi indici, mediante l'individuazione di tendenze significative.

I dati climatici provengono da Annali cartacei, compilati per conto dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (SIMI) e conservati presso gli archivi di Arpa Lombardia di Milano. Le serie sono state recuperate e digitalizzate su foglio elettronico ed i dati giornalieri di temperatura e precipitazione sono stati poi sottoposti al controllo di qualità impiegando il software RClimDex (Zhang e Yang, 2004). Individuate le disomogeneità, si è proceduto all'omogeneizzazione dei dati di temperatura mediante il metodo SPLIDHOM (Mestre et al., 2009). In seguito i dati sono stati aggregati a livello mensile, stagionale ed annuale. I valori medi sono stati calcolati sia su tutto il periodo di osservazione, sia sull'ultimo periodo trentennale (1971-2000) come definito dalla WMO (2007) e sono stati ricavati i principali parametri e indici climatici e le loro tendenze anche grazie all'utilizzo del software AnClim (Stepanek, 2005). Per verificare la significatività statistica dei trend è stato applicato il test non–parametrico di Mann-Kendall (Sneyers 1990; 1992). Lo studio delle tendenze conferma quanto già emerso in altri lavori che evidenziano come i cambiamenti climatici abbiano comportato, nell'ultimo trentennio, un aumento significativo delle temperature (IPCC 2001; 2007).

L'assenza di tendenze significative per i dati di precipitazione risulta in accordo con risultati pervenuti in altri studi sull'arco alpino (Beniston, 2000; 2005; Ronchi et al., 2008). La copertura di neve al suolo mostra un significativo decremento, evidentemente correlato all'aumento di temperatura.

Lo studio si è poi focalizzato sugli eventi valanghivi verificatisi durante le stagioni invernali 1985/86 e 2008/09, le più nevose dell'ultimo trentennio. Alla luce di questa analisi è stata realizzata la Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (CLPV) dell'Alta Valle Antrona (comune di Antrona Schieranco).

OSSOLA

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni sono nati diversi progetti internazionali, aventi come obiettivo quello di favorire e far progredire l'attività di recupero dei dati climatici. Per cercare di caratterizzare e comprendere la variabilità climatica, sono infatti necessarie serie di dati storici lunghe, affidabili e di elevata qualità (Aguilar et al., 2003). Questo studio, frutto del lavoro di due tesi di laurea magistrale in Analisi e Gestione dell'Ambiente (AGAm) in Scienze Naturali, rientra nell'ambito del progetto internazionale MEditerranean climate DAta Rescue (ME.DA.RE.), mirato a migliorare la disponibilità e l'accessibilità dei dati climatici strumentali per una più corretta ed affidabile interpretazione di trend e scenari futuri.

Nella realizzazione di questo lavoro si è scelto di analizzare le serie di dati provenienti da tre stazioni nivometeorologiche della Valle Ossola: Alpe Cavalli (1500 m), Alpe Devero (1634 m) e Formazza Vannino (2177 m). I dati impiegati riguardano misure giornaliere che coprono un periodo di osservazione pari a 77 anni per Alpe Cavalli e 58 anni per Alpe Devero e Formazza Vannino, soddisfacendo il requisito della World Meteorological Organization (WMO, 2007) secondo cui sono necessari almeno 30 anni di dati per poter svolgere uno studio rappresentativo delle caratteristiche climatiche dell'area in esame.

Scopo del lavoro è stato analizzare i principali elementi climatici - temperatura, precipitazione liquida e solida - registrati presso le tre stazioni meteorologiche, con l'obiettivo di studiare la variabilità climatica della Valle Ossola e di verificare la presenza di variazioni nel tempo dell'andamento di tali parametri e dei relativi indici, mediante l'individuazione di tendenze significative. Il lavoro ha poi assunto un carattere applicativo, concentrandosi sull'analisi del rischio valanghivo in Valle Ossola. Lo studio si è focalizzato sugli eventi valanghivi verificatisi durante le stagioni invernali 1985/86 e 2008/09, le più nevose dell'ultimo trentennio. Alla luce di questa analisi è stata realizzata la Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (CLPV) dell'Alta Valle Antrona (comune di Antrona Schieranco).

AREA DI STUDIO

L'Ossola è un'estesa valle della Provincia del Verbano - Cusio - Ossola, corrispondente al bacino idrografico del fiume Toce. Geograficamente è compresa fra 45° 55' - 46° 28' di latitudine Nord e 3° 58'- 4° 35' di longitudine Ovest dal meridiano di Monte Mario. Ubicata all'estremità settentrionale del Piemonte, è confinante a Nord, Est ed Ovest con la Svizzera ed a Sud con la Valsesia. E' composta da sette valli laterali: l'area presa in esame è rappresentata dalle Valli Antrona, Formazza e Devero (Fig. 1). La Valle Antrona, orientata Est-Ovest, è compresa nel settore delle Alpi Pennine e si estende per una lunghezza di 23 km. È attraversata dal torrente Ovesca posto alla destra idrografica del fiume Toce. E' caratterizzata da versanti con pendenze medio-elevate e da un substrato composto da rocce cristalline (gneiss, ofioliti, calcescisti, micascisti), appartenenti al dominio Pennidico (AA. VV., 1992). La Val Formazza, orientata Nord-Sud, è compresa nel settore delle Alpi Lepontine e si estende per una lunghezza di 15 km. Percorsa interamente dal fiume Toce, è costituita dal profondo solco vallivo che si incunea nelle Alpi Elvetiche. La Valle Devero, orientata NO–SE, è compresa nel settore delle Alpi Lepontine e si estende per una lunghezza di 12 km. Si dirama dall'estremità inferiore della Val Formazza, dove il torrente Devero si immette nel fiume Toce e si apre alla sommità formando un'ampia conca nota come Piana del Devero.

Le valli in esame presentano una forte predisposizione all'attività valanghiva, dovuta alla morfologia caratteristica delle valli glaciali (con la presenza di ampi bacini di accumulo sulle zone sommitali, sovrastanti versanti ad elevata pendenza) ed alla particolare nevosità della zona.

Fig. 1 - Localizzazione geografica dell'area di studio.

STAZIONI NIVOMETEOROLOGICHE E SERIE CLIMATICHE ANALIZZATE

La stazione nivometeorologica di Alpe Cavalli è stata installata nel 1928 a seguito della costruzione della diga omonima da parte della società Edison ed è attualmente gestita dall'ENEL. E' situata a circa cento metri di distanza dal bacino, in un'area aperta in prossimità della casa del guardiano (Fig. 2). La stazione di Formazza

Vannino, installata nel 1921, è collocata sull'angolo esterno della balconata dell'edificio dell'ENEL, società di gestione della diga del Lago Vannino (Fig. 3).
Entrambe le stazioni - di tipo manuale - sono dotate di una capannina meteorologica contenente al suo interno il termometro a massima e minima, un pluviografo a bascula in cabina metallica, un'asta graduata fissa per la misura dell'altezza totale della neve al suolo ed una tavoletta da neve in legno per la misura del quantitativo di neve fresca. La stazione dell'Alpe Devero è stata installata nel 1916 presso l'impianto idroelettrico del Devero. La stazione, inizialmente di tipo manuale, era dotata di termometro a massima e minima in capannina meteorologica e pluviografo in cabina metallica. Nel 1992 i rilevamenti manuali sono stati interrotti; nel 1991 è stata installata dalla Regione Piemonte una stazione automatica dotata di termoigrometro, pluviometro riscaldato e nivometro ad ultrasuoni, a poca distanza da quella manuale, in un'area aperta nella Piana del Devero (Fig. 4). Pertanto, dopo opportune valutazioni sulla correlazione esistente tra le due serie, si è utilizzata la serie della nuova stazione automatica per il periodo recente. Le informazioni relative alla localizzazione ed alle principali caratteristiche delle stazioni sono riportate nella tabella di Fig.5. I dati meteorologici giornalieri delle stazioni manuali provengono da schede presenti solo su supporto cartaceo dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (SIMI). Le serie di dati, digitalizzate su foglio elettronico, riguardano valori giornalieri di temperatura massima e minima (°C), precipitazione liquida (mm), spessore del manto nevoso (cm) ed altezza della neve fresca (cm), ricavata per differenza giornaliera

Fig. 2 - Stazione nivometeorologica manuale di Alpe Cavalli - cabina meteorologica e pluviografo.

Fig. 3 - Stazione nivometeorologica manuale di Formazza Vannino - cabina meteorologica e pluviografo.

Fig. 4 - Stazione nivometeorologica automatica di Alpe Devero.

LOCALIZZAZIONE E CARATTERISTICHE DELLE STAZIONI CONSIDERATE IN VAL D'OSSOLA

STAZIONI	TIPO DI STAZIONE	QUOTA (m)	COMUNE	BACINO PRINCIPALE	LATITUDINE N	LONGITUDINE E	PERIODO SERIE DATI
Alpe Cavalli	Manuale	1500	Antrona Schieranco (VB)	Ticino	46°05'	08°07'	1932-2008
Alpe Devero	Manuale	1634	Baceno (VB)	Ticino	46°19'	08°15'	1951-1992
Alpe Devero	Automatica	1640	Baceno (VB)	Ticino	46°19'	08°15'	1991-2008
Formazza Vannino	Manuale	2177	Formazza (VB)	Ticino	46°23'	08°24'	1951-2008

© AINEVA

Fig. 5

PRINCIPALI PARAMETRI CLIMATICI CALCOLATI PER LA STAZIONE ALPE CAVALLI (1500 m) NEL PERIODO 1932-2008, PER LA STAZIONE ALPE DEVERO (1634 m) E PER LA STAZIONE FORMAZZA VANNINO (2177 m) NEL PERIODO 1951-2008

ALPE CAVALLI	TM	Tm	Gg	Gsd	P	Gp	Hs	HsM	Hn	Gn
Gennaio	1,9	-5,9	29	10	51	6	61	93	67	5
Febbraio	3,1	-5,6	26	8	50	6	73	104	62	5
Marzo	6,1	-3,1	23	4	89	8	71	110	63	5
Aprile	8,8	0,0	13	2	147	10	43	80	47	4
Maggio	12,8	4,2	3	0	193	13	8	25	7	2
Giugno	17,3	8,2	2	0	150	11	0	0	0	1
Luglio	20,4	11,0	0	0	94	9	0	0	0	0
Agosto	19,6	10,8	1	0	129	10	0	0	0	0
Settembre	15,1	7,9	1	0	147	9	0	0	0	1
Ottobre	10,1	4,0	5	2	181	9	1	7	8	2
Novembre	5	-0,3	15	3	137	8	13	39	49	5
Dicembre	2,9	-4,2	26	7	69	7	38	70	66	6
DEVERO	**TM**	**Tm**	**Gg**	**Gsd**	**P**	**Gp**	**Hs**	**HsM**	**Hn**	**Gn**
Gennaio	1,2	-9,8	30	11	70	9	104	139	81	6
Febbraio	2,5	-9,4	28	8	81	8	125	161	84	6
Marzo	6	-5,7	28	2	104	10	125	166	79	5
Aprile	8,3	-2,4	22	0	149	11	99	143	63	4
Maggio	11,8	1,4	8	0	185	13	33	73	11	1
Giugno	15,9	4,2	3	0	153	12	2	7	0	0
Luglio	18,1	6,3	0	0	108	10	0	0	0	0
Agosto	17,6	5,9	0	0	140	11	0	0	0	0
Settembre	12,4	3	5	0	143	9	0	1	1	0
Ottobre	8,4	-0,7	17	0	193	10	2	12	14	1
Novembre	3,8	-5	26	4	157	10	25	63	75	6
Dicembre	1,8	-8,2	30	10	89	9	67	107	86	6
VANNINO	**TM**	**Tm**	**Gg**	**Gsd**	**P**	**Gp**	**En**	**EnM**	**Hn**	**Gn**
Gennaio	-2,7	-11,5	31	22	60	9	161	200	95	7
Febbraio	-1,3	-11,6	28	16	62	8	195	234	92	7
Marzo	0,1	-9,8	31	15	65	9	207	249	87	6
Aprile	3,4	-6,7	29	7	101	11	205	255	89	6
Maggio	6,8	-2,2	23	2	134	13	144	203	30	3
Giugno	11,2	1	11	0	134	13	33	80	3	0
Luglio	14,1	4,2	4	0	103	11	1	6	1	0
Agosto	13,5	4,6	3	0	145	13	0	0	0	0
Settembre	9,5	0,7	12	0	140	11	1	5	7	1
Ottobre	5,6	-2,7	24	3	151	10	9	32	39	4
Novembre	0,5	-7,5	29	12	105	11	54	99	102	8
Dicembre	-2,2	-10	31	20	68	9	112	156	99	7

TM = Temperatura massima (°C), Tm = Temperatura minima (°C), Gg = Giorni di gelo, Gsd = Giorni senza disgelo, P = Precipitazioni (mm), Gp = Giorni piovosi, Hs = Altezza della neve al suolo (cm), HsM = Altezza massima della neve al suolo (cm), Hn = Altezza della neve fresca (cm), Gn = Giorni nevosi.

© AINEVA

PRINCIPALI PARAMETRI CLIMATICI CALCOLATI PER LA STAZIONE ALPE CAVALLI (1500 m), PER LA STAZIONE ALPE DEVERO (1634 m) E PER LA STAZIONE FORMAZZA VANNINO (2177 m) NEL PERIODO 1971-2000

ALPE CAVALLI	TM	Tm	Gg	Gsd	P	Gp	Hs	HsM	Hn	Gn
Gennaio	1,8	-5,2	29	9	59	6	56	93	79	5
Febbraio	2,2	-5,5	26	9	50	6	75	107	70	5
Marzo	4,8	-3,0	23	4	96	8	74	118	73	4
Aprile	7,0	-0,6	14	0	149	10	51	94	60	4
Maggio	11,6	3,9	1	0	193	14	10	29	7	1
Giugno	15,9	7,8	0	0	146	11	0	0	0	0
Luglio	19,5	10,7	0	0	99	9	0	0	0	0
Agosto	18,9	10,9	0	0	126	11	0	0	0	0
Settembre	14,8	7,7	0	0	158	8	0	1	1	0
Ottobre	10,1	3,8	3	0	217	9	1	6	7	1
Novembre	5,0	-0,6	15	3	97	8	10	34	43	3
Dicembre	2,9	-3,9	26	7	61	6	30	63	60	5
DEVERO	**TM**	**Tm**	**Gg**	**Gsd**	**P**	**Gp**	**Hs**	**HsM**	**Hn**	**Gn**
Gennaio	1,0	-10,1	31	11	72	9	98	141	97	7
Febbraio	2,2	-9,8	28	8	81	9	122	161	90	7
Marzo	5,5	-6,3	29	2	118	10	126	173	91	6
Aprile	7,3	-3,4	25	0	171	11	105	156	78	4
Maggio	10,7	0,6	12	0	199	14	40	79	13	2
Giugno	15,1	3,0	4	0	146	12	2	10	0	0
Luglio	17,6	5,5	0	0	115	10	0	0	0	0
Agosto	17,5	5,3	1	0	124	11	0	0	0	0
Settembre	12,1	2,3	6	0	164	9	0	2	2	0
Ottobre	7,9	-1,2	19	1	227	11	3	14	16	1
Novembre	3,5	-5,7	27	6	119	9	21	57	67	5
Dicembre	1,7	-8,2	30	10	81	8	59	101	83	6
VANNINO	**TM**	**Tm**	**Gg**	**Gsd**	**P**	**Gp**	**En**	**EnM**	**Hn**	**Gn**
Gennaio	-2,5	-11,1	31	21	61	10	125	169	102	7
Febbraio	-1,3	-11,6	28	16	53	8	162	201	88	7
Marzo	0,1	-9,7	31	15	69	9	182	228	99	6
Aprile	2,7	-6,9	30	9	110	11	196	248	95	6
Maggio	6,7	-2,1	24	2	137	14	147	202	35	3
Giugno	10,9	1,0	10	0	124	13	40	93	5	1
Luglio	14,3	4,5	3	0	100	11	1	8	0	0
Agosto	14,2	5,1	2	0	124	12	0	0	0	0
Settembre	9,8	0,9	12	0	150	10	1	7	9	1
Ottobre	5,4	-2,7	25	3	167	11	10	34	44	4
Novembre	0,4	-7,6	30	13	85	10	41	81	82	7
Dicembre	-1,6	-9,7	31	19	58	9	84	122	84	7

TM = Temperatura massima (°C), Tm = Temperatura minima (°C), Gg = Giorni di gelo, Gsd = Giorni senza disgelo, P = Precipitazioni (mm), Gp = Giorni piovosi, Hs = Altezza della neve al suolo (cm), HsM = Altezza massima della neve al suolo (cm), Hn = Altezza della neve fresca (cm), Gn = Giorni nevosi.

© AINEVA

Da sinistra, fig. 6 e 7

dai cm di neve al suolo. La serie di Alpe Cavalli interessa un periodo di 77 anni, che va dal 1932 al 2008; le serie dell'Alpe Devero e Formazza Vannino interessano un periodo di 58 anni, dal 1951 al 2008.

METODI DI ANALISI

La percentuale minima dei dati necessaria affinché le serie possano essere impiegate per l'analisi climatica è dell'80% a livello mensile, stagionale ed annuale (Sneyers, 1990). Pertanto si è proceduto alla valutazione della consistenza delle serie, calcolando la percentuale dei dati presenti per ogni mese, stagione ed anno. Per la stazione Alpe Cavalli, gli unici dati invalidati sono stati quelli relativi al mese di marzo del 1946 per le temperature ed ai mesi di luglio, agosto, settembre del 1944 per la precipitazione solida. Per la precipitazione liquida la serie è risultata completa anche per quanto riguarda tutti i valori giornalieri. La serie della stazione Vannino è risultata completa, mentre quella dell'Alpe Devero presenta due lacune nei periodi compresi tra settembre 1972 e maggio 1973 e tra agosto 1976 e settembre 1976. I dati giornalieri di temperatura e precipitazione liquida sono stati sottoposti al controllo di qualità impiegando RClimDex (Zhang e Yang, 2004). Il software ha verificato la presenza di valori "non ragionevoli" (valori giornalieri di temperatura massima minori o uguali a quelli di temperatura minima e dati di precipitazione liquida negativi) e di "outliers" (valori di temperatura che ricadono al di fuori dell'intervallo definito dalla media ± 3 volte la deviazione standard). I valori "non ragionevoli" frutto di errori di digitalizzazione sono stati corretti riconfrontandoli con gli originali cartacei, mentre quelli già presenti nelle trascrizioni originali sono stati invalidati; gli "outliers" sono stati accuratamente controllati attraverso una ricerca storica. Successivamente sono state rilevate le disomogeneità basandosi sull'analisi de-

gli Annali Idrografici, dell'inventario delle stazioni di misura del SIMI e sulle testimonianze orali degli operatori delle stazioni. La ricerca è stata completata utilizzando il software AnClim (Stepanek, 2005), mediante l'applicazione del t Test di Student iterato. Individuate le disomogeneità, si è proceduto all'omogeneizzazione dei dati mediante il metodo SPLIDHOM (Mestre et al., 2009), che effettua una correzione a livello giornaliero dei dati, sulla base di una serie di riferimento costruita mediando in maniera opportuna i dati omologhi di sei stazioni presenti nelle vicinanze delle stazioni considerate. Le tecniche di omogeneizzazione sono state applicate ai dati giornalieri di temperatura massima e minima, non ai dati di precipitazione per i quali non sono ancora stati sviluppati metodi attendibili. In seguito i dati sono stati aggregati a livello mensile, stagionale ed annuale. I valori medi sono stati calcolati sia su tutto il periodo di osservazione, sia sull'ultimo periodo trentennale (1971-2000) come definito dalla WMO (2007) e sono stati ricavati i seguenti parametri (tabelle di Fig. 6 e 7):

- TM e Tm = temperatura massima e minima mensile (°C);
- Gg = numero giorni di gelo (Tmg<0°C);
- Gsd = numero giorni senza disgelo (TMg<0°C);
- P = precipitazione liquida cumulata mensile (mm);
- Gp = numero giorni piovosi (Pg≥1mm);
- Hs = altezza media mensile di neve al suolo (cm);
- HsM = altezza massima mensile di neve al suolo (cm);
- Hn = altezza cumulata mensile di neve fresca (cm);
- Gn = numero giorni nevosi (Gn≥1cm).

Al fine di analizzare l'andamento nel tempo delle variabili climatiche e di determinare la presenza di tendenze è stato applicato il metodo dei minimi quadrati grazie all'utilizzo del software AnClim (Stepanek, 2005). Per verificare la significatività statistica dei trend è stato applicato il test non–parametrico di Mann–Kendall (Sneyers, 1990; 1992).

La verifica della presenza di tendenze è stata effettuata sui dati annuali di temperatura, precipitazione liquida e solida, dei giorni piovosi e nevosi. Per ciò che concerne il risvolto applicativo del lavoro, è stata effettuata la ricerca storica relativa agli eventi valanghivi del passato. L'attenzione è stata rivolta alle stagioni invernali 1985/86 e 2008/09, molto significative sia dal punto di vista della quantità di precipitazione nevosa registrata, sia dei fenomeni verificatisi. Sono stati dunque analizzati e descritti i principali eventi valanghivi, utilizzando anche i dati di precipitazione e temperatura, al fine di individuare un'eventuale correlazione tra il dato climatico e il fenomeno osservato. Per la Valle Antrona, le valanghe cadute nelle due stagioni esaminate sono state riportate ex-novo sulla CLPV in scala 1:25.000, concentrando l'attenzione sui versanti orientati verso le strade provinciali SP67 e SP141 nel comune di Antrona Schieranco.

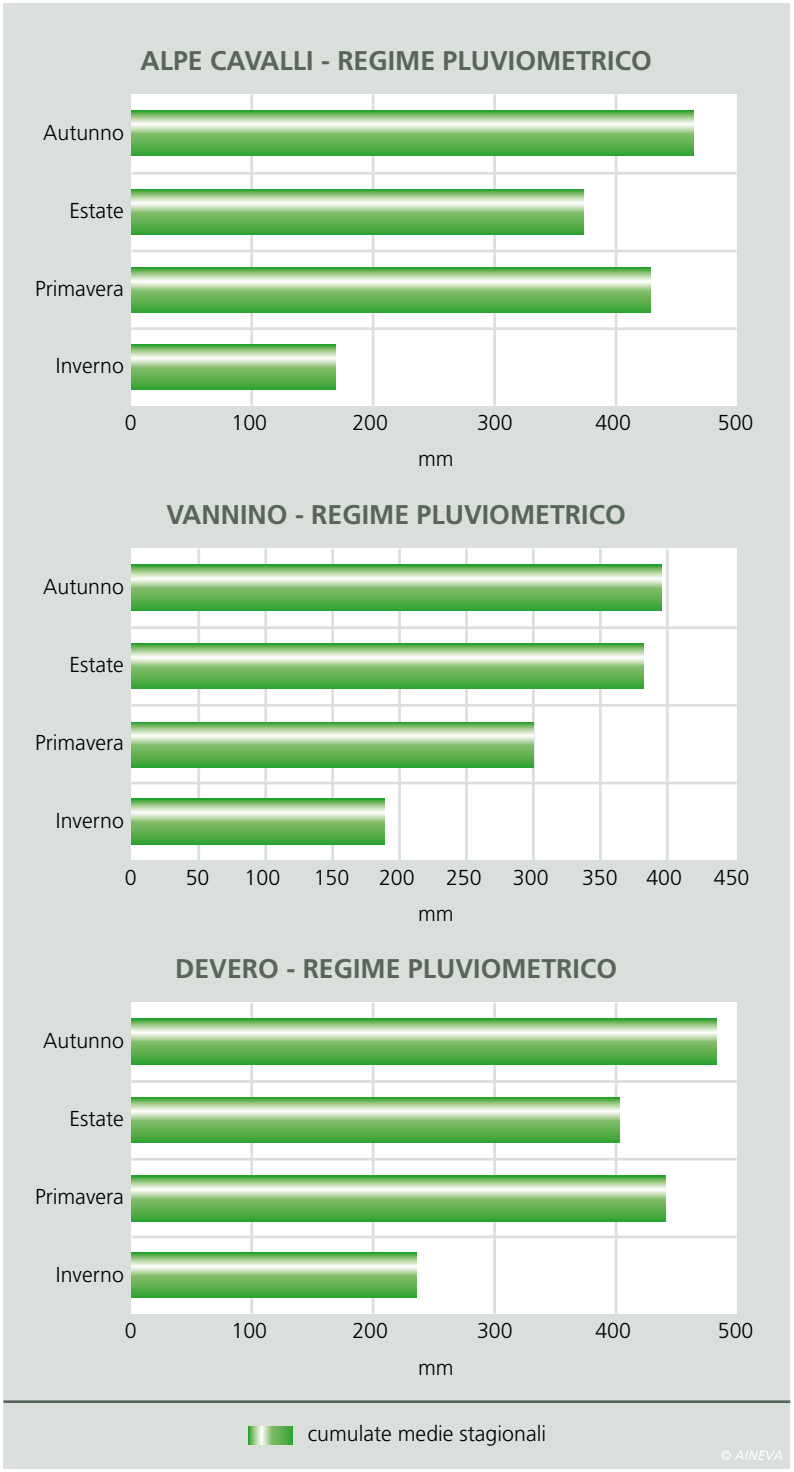
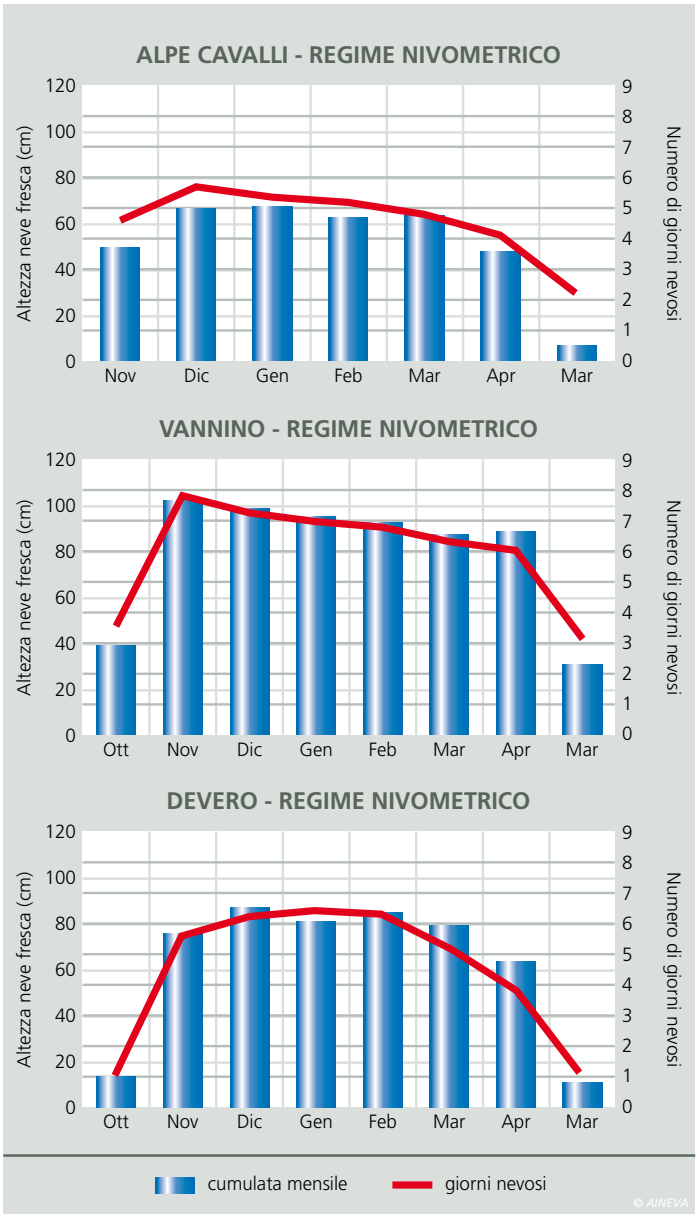
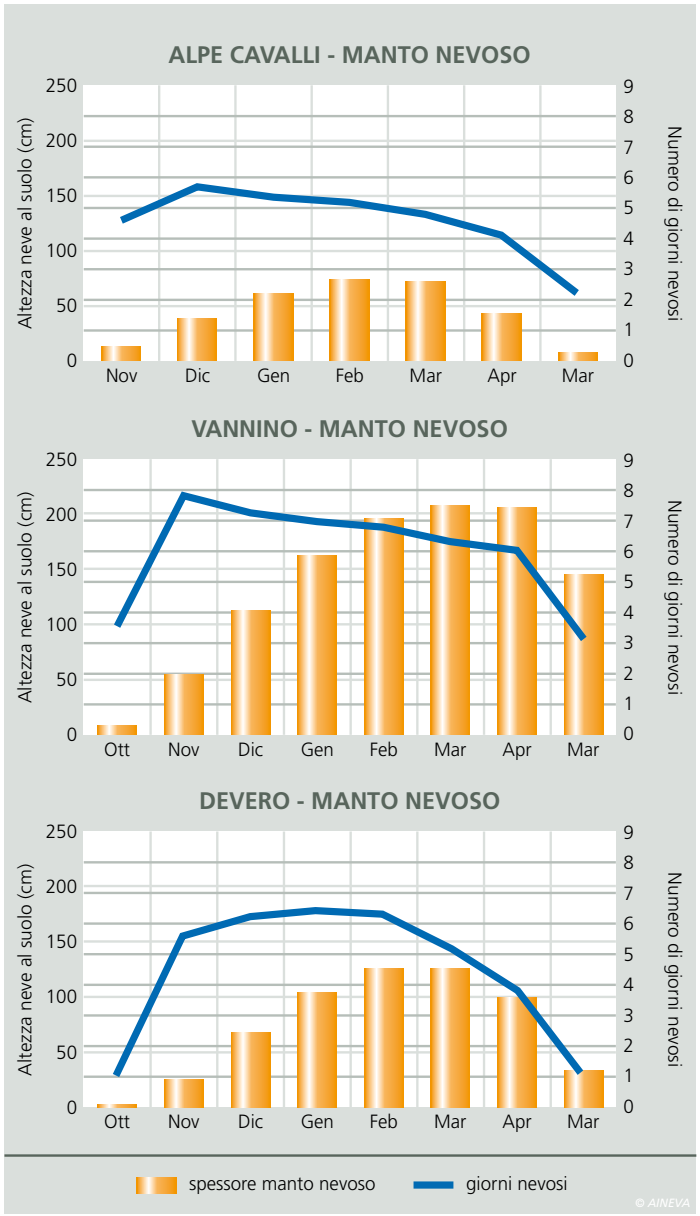


Fig. 8 - Distribuzione trimestrale delle precipitazioni presso le stazioni.





Sopra da sinistra, fig. 9 - Regime nivometrico registrato presso le tre stazioni.

Fig. 10 - Andamento medio dello spessore del manto nevoso presso le tre stazioni.

Il lavoro di realizzazione della carta si è composto di tre fasi: la foto-interpretazione, l'inchiesta sul terreno e la restituzione cartografica, secondo la metodologia adottata dall'AINEVA. Per lo studio del rischio valanghivo in Valle Formazza è stata utilizzata la CLPV (Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe) redatta nel 1994 (Prola, inedita), resa fruibile da Arpa Piemonte attraverso il SIVA, [Sistema Informativo Valanghe], e aggiornata dall'Agenzia nella primavera del 2009 alla luce degli eventi valanghivi eccezionali avvenuti nella stagione invernale appena trascorsa (Prola et al., 2009). Contestualmente sono state tratte le informazioni necessarie all'analisi degli eventi valanghivi della stagione invernale 1985-86. In ultimo sopralluoghi approfonditi sono stati fatti per la raccolta delle informazioni necessarie allo studio degli eventi più recenti, relativi alla stagione 2008-09.

RISULTATI

Dall'analisi climatica si evince come le stazioni siano situate in una regione climatica axerica fredda (Bagnouls e Gaussen, 1957). Dall'analisi dei dati di precipitazione si ricava che il regime pluviometrico (Mori, 1969) di Alpe Cavalli e Devero è subalpino (andamento bimodale con un massimo principale in autunno, minimo principale in inverno, massimo secondario in primavera e minimo secondario in estate), mentre al Vannino il regime è subcontinentale (andamento bimodale con massimo principale in autunno, minimo principale in inverno, massimo secondario in estate e minimo secondario in primavera) (Fig. 8). Presso tutte le stazioni, la densità di precipitazione è massima nella stagione autunnale (Alpe Cavalli registra una densità pari a 18 mm, Alpe Devero 17 mm e Vannino 12,5 mm). L'analisi dei dati di neve ha evidenziato un regime nivometrico di tipo maximum étalé (Besancenot, 1990) per tutte e tre le stazioni considerate, con precipitazioni nevose quasi equivalenti nei mesi di dicembre, gennaio, febbraio e marzo (Fig. 9).

La copertura nevosa al suolo è assicurata durante tutta la stagione invernale e si protrae da novembre a maggio (Fig. 10).

La stessa analisi è stata effettuata sul periodo di riferimento 1971-2000 e i risultati ottenuti sono comparabili a quelli relativi all'intero periodo di osservazione.

Per tutti gli indici é stata considerata la differenza "valor medio sull'intero periodo" - "valor medio 1971-2000". Per le temperature sono stati messi in evidenza i mesi in cui tale differenza, in valore assoluto, è maggiore di 0.5° C. Più in dettaglio, le differenze maggiori sui valori medi di temperatura si registrano alle quote più basse: nella stazione di Devero, la temperatura minima relativa al trentennio 1971-2000 è inferiore di più di 0.5°C rispetto a quella calcolata sull'intero periodo da marzo a novembre, la temperatura massima è invece più bassa da marzo a giugno; nella stazione di Alpe Cavalli la temperatura massima calcolata sul trentennio è inferiore di più di 0.5°C da febbraio ad agosto, mentre le temperature minime sono circa equivalenti.

Per quanto riguarda le precipitazioni liquide, sul trentennio 1971-2000 esse sono state più abbondanti in settembre-ottobre e più scarse in novembre dicembre; anche le precipitazioni solide sono più scarse in novembre-dicembre ma sono più intense verso la fine della stagione nivologica (marzo-aprile), anche grazie alle temperature più rigide. Tracciando i diagrammi relativi all'andamento nel tempo delle temperature e delle precipitazioni medie annue è stato possibile valutare la presenza di tendenze significative (Fig. 11). E' stato considerato il massimo periodo di osservazione privo di discontinuità climatiche importanti, rappresentate da una marcata variazione del valor medio. Per questo motivo, l'andamento delle temperature è stato valutato nel periodo 1978-2008 per la serie di Alpe Cavalli, nel periodo 1974-2008 per Alpe Devero, mentre è stata conservata la serie completa (1951-2008) per Formazza Vannino. Nel periodo considerato, tutte le stazioni esaminate registrano un incremento significativo delle temperature (Fig. 12). In particolare tale aumento è compreso tra 0,04 e 0,05 ± 0,01 °C/anno per le temperature massime, mentre per le minime tra 0,03 e 0,07 ± 0,01 °C/anno. L'andamento nel tempo della precipitazione liquida e solida mostra tendenze statisticamente non significative ed evidenzia un'elevata variabilità interannuale di tali parametri. L'altezza di neve al suolo ed il numero di giorni nevosi registrano una tendenza negativa statisticamente significativa; questa varia da -0,35 ± 0,10 a -1,44 ± 0,41 cm/anno per la neve al suolo, mentre per i giorni nevosi da -0,08 ± 0,06 a -0,10 ± 0,04 giorni/anno.

Per quanto riguarda l'analisi dei fenomeni valanghivi si è analizzata la relazione tra precipitazioni nevose ed eventi valanghivi delle stagioni più nevose degli ultimi 30 anni. Durante la stagione invernale 1985/86 i primi eventi sono stati registrati in Val Formazza a partire dal 31 gennaio, sottoforma di due valanghe di neve polverosa che hanno danneggiato il bosco e le urbanizzazioni nelle varie frazioni del comune di Formazza. Nel mese di aprile 1986, sia in Valle Antrona che in Val

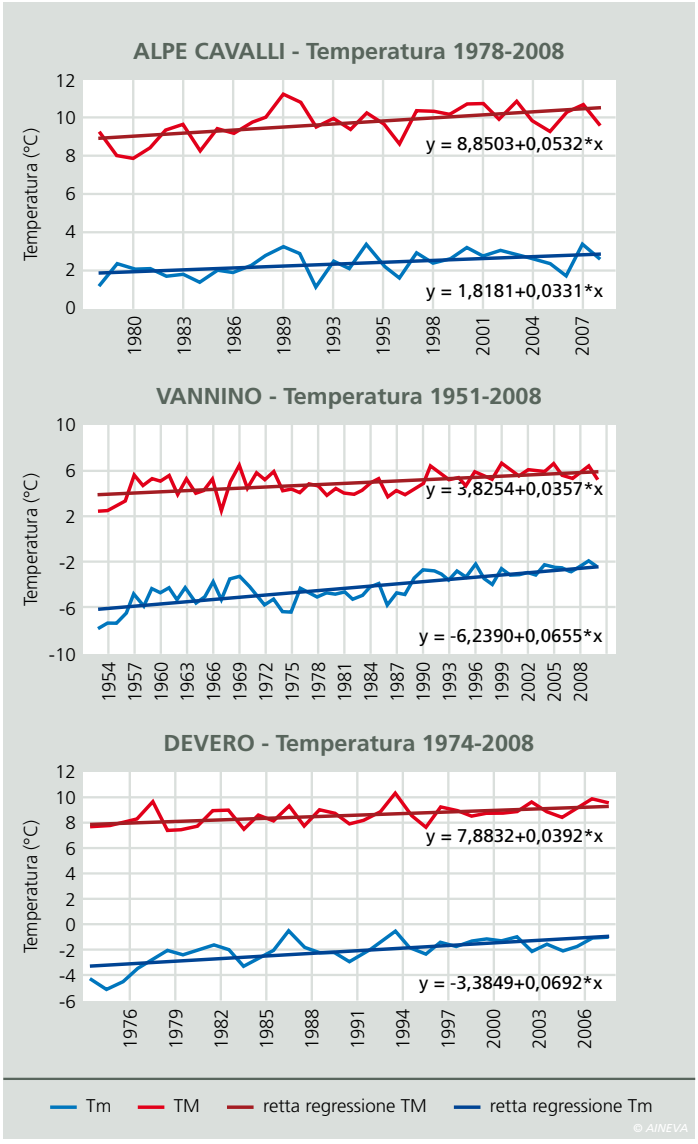
Fig. 11

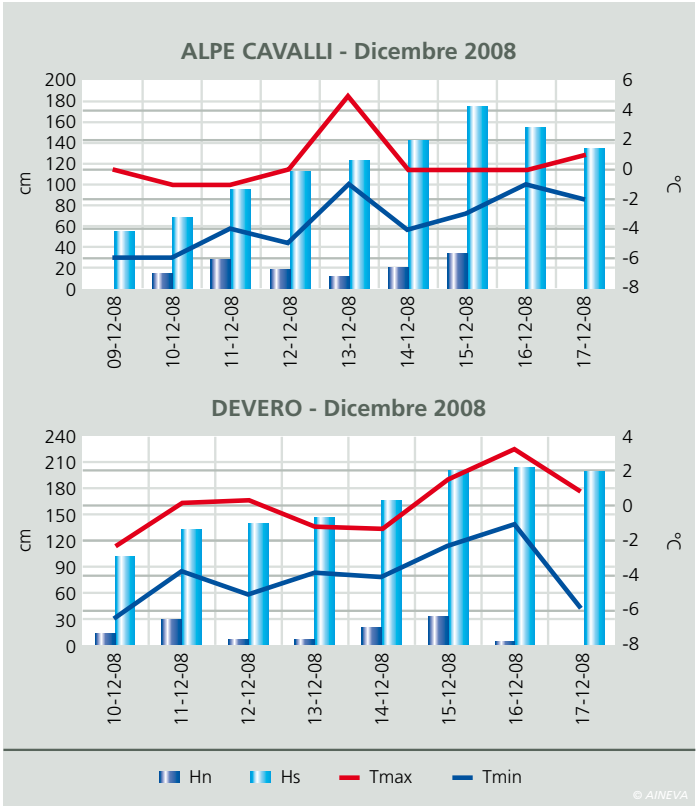
PRINCIPALI TENDENZE CALCOLATE PER I DIVERSI PARAMETRI CLIMATICI

ALPE CAVALLI	Periodo	Retta regressione	Err. a	Sign 95%	Media	Dev.st.
TM	1978-2008	y=8,85+0,05*x	0,01	*	9,7°C	0,8
Tm	1978-2008	y=1,82+0,03*x	0,01	*	2,3°C	0,6
P	1932-2008	y=1436,3+0,24*x	1,84		1436 mm	357
Gp	1932-2008	y=108,52-0,02*x	0,07		108 gg	13
Hn	1932-2008	y=386,07-0,65*x	0,81		361 cm	159
Gn	1932-2008	y=33,07-0,10*x	0,04	*	30 gg	8
Hs	1932-2008	y=57,24-0,35*x	0,10	*	44 cm	27
ALPE DEVERO	**Periodo**	**Retta regressione**	**Err. a**	**Sign 95%**	**Media**	**Dev.st.**
TM	1974-2008	y=7,88+0,04*x	0,01	*	8,6°C	0,8
Tm	1974-2008	y=-3,38+0,07*x	0,01	*	-2,1°C	1,1
P	1951-2008	y=1704,99-5,07*x	2,73		1561 mm	353
Gp	1951-2008	y=128,58-0,28*x	0,10	*	121 gg	14
Hn	1951-2008	y=472,44+0,01*x	1,11		473 cm	143
Gn	1951-2008	y=34,89-0,02*x	0,06	*	34 gg	7
Hs	1951-2008	y=104,25-0,81*x	0,28		81 cm	38
F. VANNINO	**Periodo**	**Retta regressione**	**Err. a**	**Sign 95%**	**Media**	**Dev.st.**
TM	1951-2008	y=3,82+0,04*x	0,01	*	4,9°C	1,1
Tm	1951-2008	y=-6,24+0,07*x	0,01	*	-4,3°C	1,4
P	1951-2008	y=1396,75-4,51*x	2,24		1264 mm	293
Gp	1951-2008	y=133,23-0,13*x	0,11		129 gg	14
Hn	1951-2008	y=650,66-1,99*x	1,04	*	591 cm	139
Gn	1951-2008	y=46,43-0,08*x	0,06		44 gg	7
Hs	1951-2008	y=193,70-1,44*x	0,41	*	151 cm	57

TM = Temperatura massima (°C), Tm = Temperatura minima (°C), P = Precipitazioni (mm), Gp = Giorni piovosi, Hs = Altezza della neve al suolo (cm), Hn = Altezza della neve fresca (cm), Gn = Giorni nevosi, Retta regressione: y=ax+b, Err. a = errore relativo al parametro a dell'equazione della retta di regressione, Sign 95% = livello di confidenza del test di Mann-Kendall pari al 95% (* = trend statisticamente significativo), Dev.st = deviazione standard

© AINEVA





Sopra da sinistra, fig. 12 - Andamento dei valori medi delle temperature massime e minime per le tre stazioni.

Fig. 13 - Dati nivometrici (Hn e Hs) e termometrici (Tmax e Tmin) in occasione dell'evento valanghivo del dicembre 2008.

Formazza, sono stati individuati eventi valanghivi che hanno coinvolto i tracciati stradali. Si è trattato di valanghe di neve umida, dovute alle abbondanti precipitazioni nevose miste a pioggia ed abbinate al repentino innalzamento dei valori di temperatura. La stagione 2008/09 è stata caratterizzata da intense nevicate durante il mese di dicembre 2008, le quali si sono impostate su di un territorio montano già decisamente innevato in rapporto alla stagione: le abbondanti nevicate, abbinate alle frequenti variazioni giornaliere di temperatura massima e minima, hanno determinato una situazione di elevata criticità per pericolo valanghe (Fig. 13).

In Val Formazza, il primo evento valanghivo, legato ad intense precipitazioni nevose è stato registrato il 15 dicembre, mentre l'evento principale è avvenuto il 28 febbraio, giorno in cui si è registrato un repentino aumento della temperatura massima. In Valle Antrona sono stati individuati quattro eventi valanghivi che hanno coinvolto il tracciato stradale che collega il centro abitato di Antronapiana con la diga di Alpe Cavalli (Fig. 14).

Attraverso uno studio fotointerpretativo e indagini d'archivio e di terreno, e anche alla luce degli eventi riscontrati, è stata redatta la CLPV del Comune di Antrona Schieranco, a scala 1:25.000, focalizzando l'attenzione sui versanti orientati verso le strade provinciali SP67 e SP141 che collegano la frazione di San Pietro alla diga di Alpe Cavalli (Fig. 15). Sono stati riportati sulla CLPV 139 eventi, comprendenti le valanghe, le zone pericolose e le zone di pericolo localizzato. La CLPV redatta per il comune di Antrona Schieranco è stata di seguito integrata nel Sistema Informativo VAlanghe (SIVA) dell'Arpa Piemonte.

CONCLUSIONI

Lo studio del clima richiede la disponibilità di dataset climatici completi e di elevata qualità. Grazie a questo lavoro sono state reperite e digitalizzate tre nuove serie di dati climatici della Valle Ossola ed è stata realizzata una completa analisi climatica. Dai dati termometrici delle tre stazioni è possibile individuare le caratteristiche climatiche della zona alle diverse quote e in base ai fattori geografici.

I valori di precipitazione cumulata mensile e stagionale sono molto elevati, carattere questo che rispecchia l'andamento delle precipitazioni tipico del bacino del Toce (Biancotti et al., 1998). La registrazione di un diverso regime pluviometrico tra le stazioni è dovuta alla variazione di quota: il regime subalpino è infatti tipico delle stazioni poste a quote inferiori (Alpe Cavalli e Devero), il subcontinentale di quel-

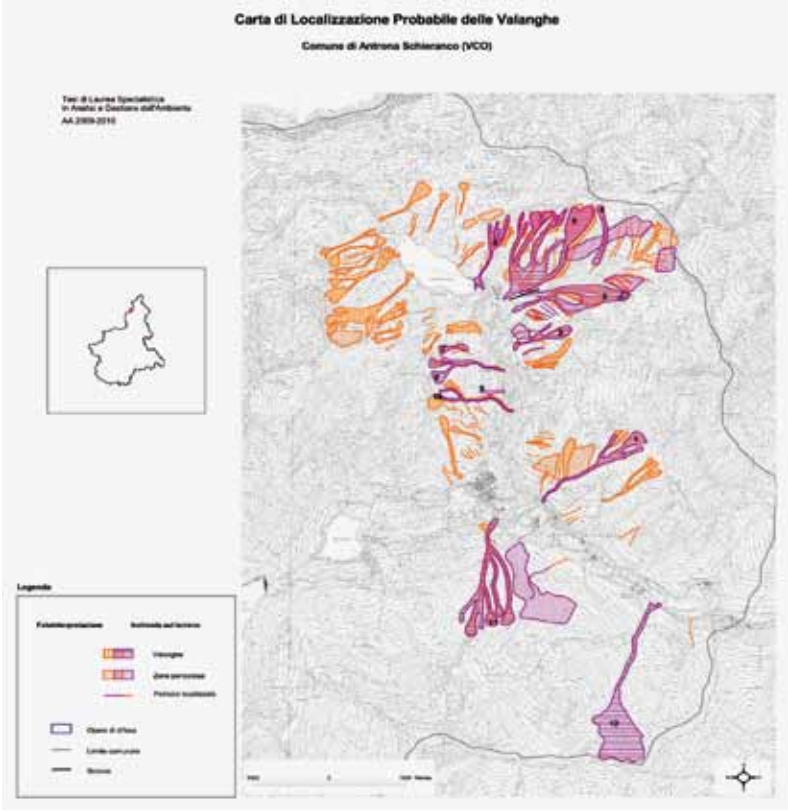
le a quote superiori (Formazza Vannino). L'analisi dei dati nivometrici mostra come il regime sia di tipo equilibrato per tutte le stazioni e come la copertura nevosa al suolo sia garantita da novembre a maggio. Lo studio delle tendenze conferma quanto già emerso in altri lavori che evidenziano come i cambiamenti climatici abbiano comportato, nell'ultimo trentennio, un aumento significativo delle temperature (IPCC 2001; 2007). L'assenza di tendenze significative per i dati di precipitazione risulta in accordo con risultati pervenuti in altri studi sull' arco alpino (Beniston, 2000; 2005; Ronchi et al., 2008).

La copertura di neve al suolo mostra un significativo decremento, evidentemente correlato all'aumento di temperatura.

E' stata poi indagata ed individuata una correlazione tra i dati climatici di temperatura e precipitazione e gli eventi valanghivi studiati.

I parametri meteorologici analizzati hanno permesso quindi, da un lato, di arricchire il patrimonio di dati storici al fine di comprendere meglio i cambiamenti climatici in atto e dall'altro di caratterizzare i principali eventi valanghivi dell'area in esame, attraverso la redazione e l'aggiornamento delle CLPV, utile strumento per una corretta gestione del rischio valanghivo nei settori alpini.

Fig. 14 - Dicembre 2008, Maggio 2009, Giugno 2009 - le 3 fotografie testimoniano l'evoluzione nel tempo del sito valanghivo riportato nella CLPV con il numero 6. La valanga è caduta nel mese di dicembre 2008 nei pressi della stazione di Alpe Cavalli.



Fif. 15 - CLPV in scala 1:25.000. Sono riportati i siti valanghivi dei versanti orientati verso la diga di Alpe Cavalli e verso le strade provinciali SP67 e SP141 del comune di Antrona Schieranco.
I siti valanghivi desunti da fotointerpretazione sono stati riportati in arancione; quelli derivanti dall'inchiesta sul terreno in viola.

Bibliografia

- AGUILAR E., AUER I., BRUNET M., PETERSON T.C., WIERINGA J., Guidelines on Climate Metadata and Homogenization, World Climate Programme Data and Monitoring WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. Geneva, WMO, 2003.
- AA.VV., "Le Alpi dal M.Bianco al Lago Maggiore", Guide Geologiche Regionali, a cura della Società Geologica Italiana, 1992, pp. 159–165.
- BAGNOULS F., GAUSSEN H., "Les climates biologiques et leur classification", Annales de Geographie, 66, 1957, pp. 193–22.
- BENISTON M., Environmental change in mountains and uplands, New York, Oxford University Press, 2000.
- BENISTON M., "Mountain climates and climatic change: An overview of processes focusing on the European Alps", Pure and Applied Geophysics, 192, 2005, pp. 1587-1606.
- BESANCENOT J.P., Climat et tourisme, Paris, Masson, 1990, p.224.
- BIANCOTTI A., BELLARDONE G., BOVO S., CAGNAZZI B., GIACOMELLI L., MARCHISIO C., Distribuzione regionale di piogge e temperature, "Studi climatologici in Piemonte 1", a cura di Biancotti A., Bovo S., Torino, Regione Piemonte, 1998, p.80.
- DELLA–MARTA P.M., WANNER H., "A method of Homogenizing the Extremes and Mean of Daily Temperature Measurements", Journal of Climate, 19, 2006, pp. 4179-4197.
- IPPC, Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPPC, 2007.
- IPCC, Climate Change 2001: the Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, a cura di Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001.
- MESTRE O., PRIEUR C., GRUBER C., CAUSSINUS H., JOURDAIN S., "A method for homogenization of daily temperature observations", submitted to JAMC, 2009.
- MORI A., "Carta del regime delle precipitazioni", Roma, CNR, 1969.
- RONCHI C., CICCARELLI N., VON HARDENBERG J., PROVENZALE A., "La variabilità climatica nell'Italia nordoccidentale. Analisi statistica di temperature e precipitazioni giornaliere su Piemonte e Valle D'Aosta nella seconda metà del XX secolo", Neve e Valanghe, 63, 2008, pp. 28-33.
- PROLA M.C., ALIBRANDO M., LORUSSO B., CASSULO R. " 10 anni di esperienza del SIVA di Arpa Piemonte", Neve e valanghe, 68, 2009, pp. 30-37.
- PROLA M.C. - Fenomenologia Valanghiva in Val Formazza", Tesi di laurea inedita aa 1993-94. Universita' degli studi di Torino, Facoltà di Scienze MFN, pp 387-396, 401-418, allegato cartografico.
- SNEYERS R., On the statistical Analysis of series of observations, WMO No.415, Geneva, WMO, 1990.
- SNEYERS R., "Use and misuse of statistical methods for the detection of climate change", American Meteorological Society 12th Conference on Probability and Statistics in the Atmospherics Sciences, Toronto, 1992, Boston, American Meteorological Society.
- STEPANEK P., AnClim – software for time series analysis. Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, Masaryk University, Brno, 2005.
- WANG X.L., WEN Q.H., WU Y., "Penalized Maximal t Test for Detecting Undocumented Mean Change in Climate Data Series", Journal of Applied Meteorology and Climatology, 46, 2007, pp. 916-931.
- WMO, Guide to climatological practices. Third edition, WMO No.100, Geneva, WMO, 2007.
- ZHANG X., YANG F., "RClimDex (1.0) user manual", 2004.

PRECIPITAZIONI NIVALI FUTURE sulle Alpi italiane usando modelli di circolazione globale

Andrea Soncini,
Daniele Bocchiola
Politecnico di Milano, Dip. I.I.A.R.,
C.I.M.I. Section,
32 Leonardo da Vinci Sq. I,
Milano - Italia

I modelli di circolazione globale GCM, sono strumenti ampiamente utilizzati per produrre proiezioni climatologiche per il futuro. E' tuttavia noto che il loro utilizzo è soggetto alla verifica della accuratezza degli scenari prodotti dai modelli stessi. Tale verifica è possibile soltanto tramite confronto valori di controllo prodotti dai GCM con i dati osservati in passato. La memoria qui prodotta si propone di verificare la prestazione di due modelli GCM (HadCM3, CCSM3), che forniscono stime delle precipitazioni nivali per l'arco alpino, inclusi nel *panel* dell'IPCC, tramite il confronto con una base corposa di dati al suolo (ca. 400 stazioni di misura giornaliera del manto nivale) situata nelle Alpi italiane, per il periodo 1990-2009. Le simulazioni dei GCM vengono confrontate in modo obiettivo con il volume delle precipitazioni nivali osservate tramite indicatori statistici valutati su base regionale. Il modello CCSM3 fornisce risultati migliori rispetto al modello HadCM3, probabilmente in considerazione della griglia di calcolo più fine. Tuttavia, la prestazione di entrambi i modelli sembra in assoluto piuttosto scarsa. Abbiamo quindi valutato su base mensile il *Bias*, o errore sistematico, fra i modelli e le osservazioni, che può essere utilizzato per una correzione preliminare su base regionale delle simulazioni delle precipitazioni nivali fornite dai GCM, nonché al fini di proiezione futura delle precipitazioni nivali stesse. Abbiamo poi effettuato una analisi di stazionarietà dei volumi nivali osservati e simulati per il periodo di controllo, utilizzando il test di Mann Kendall e la regressione lineare. Abbiamo quindi utilizzato i GCM, opportunamente corretti tramite *Bias*, per valutare le proiezioni future delle precipitazioni nivali secondo lo scenario, o *storyline* A2 dell'IPCC. I due modelli utilizzati forniscono risultati differenti riguardo le precipitazioni nivali attese durante il ventunesimo secolo (fino al 2099). La memoria fornisce una valutazione di prima approssimazione dell'accuratezza dei modelli GCM nella descrizione delle precipitazioni nivali passate, e possibilmente future, sulle Alpi (Italiane), come pure un metodo per correggere le proiezioni fornite dai GCM per studi di vasta scala relativi alla future evoluzione delle precipitazioni nivali.

INTRODUZIONE

Le Alpi europee sono un ecosistema complesso estremamente sensibile e spesso vengono denominate *water towers* d'Europa. La maggior parte dei fiumi europei nasce dalle Alpi ed è alimentato dalla fusione della neve e dei ghiacci. Durante le ultime 4 decadi (dal 1970 circa) è stato osservato un significativo riscaldamento all'interno delle Alpi europee, causando una diminuzione della copertura nivale e dell'area dei ghiacciai (Beniston, 1997; Laternser e Schneebeli, 2003; Begert *et al.*, 2005; Cannone et al., 2008; Maragno *et al.*, 2009; Bocchiola e Diolaiuti, 2009; Diolaiuti *et al.*, 2011). All'interno dell'area alpina la temperatura è aumentata di circa il doppio rispetto alla tendenza globale: si stima un aumento di +2°C, mentre non è stata osservata una tendenza significativa per quanto riguarda la precipitazione totale (Beniston *et al.*, 2003). Questo ha condotto ad una diminuzione importante della frazione di precipitazione nivale e di conseguenza sulla copertura nivale (Diaz e Bradley, 1997; Bocchiola e Diolaiuti, 2010; Bocchiola e Groppelli, 2010). Il limite, la persistenza e la dinamica della copertura nivale influenzano la dinamica delle specie vegetali ed animali nelle zone alpine di alta quota (per esempio Gottfried *et al.*, 1999; Theurillat e Guisan, 2001; Keller *et al.*, 2005; Tews *et al.*, 2007), mentre la disponibilità di acqua dolce durante la primavera e l'estate regola il ciclo idrologico dei bacini idrografici ed influenza lo sviluppo degli ecosistemi (per esempio McGlynn *et al.*, 1999; Beniston *et al.*, 2003). La presenza di neve al suolo fa ritardare la fusione del ghiaccio tramite un aumento di albedo (Ohlendorf *et al.*, 1997) e la neve che sopravvive alla stagione di ablazione alimenta i ghiacciai (*p.es.* Diolaiuti *et al.*, 2006). I modelli che descrivono le precipitazioni solide e la dinamica del manto nivale sono necessari per una vasta gamma di applicazioni, che va dalla previsione delle inondazioni e delle valanghe fino alla simulazione dei cambiamenti di lungo termine nelle dinamiche idrologiche (Lehning *et al.*, 2002; Bocchiola e Rosso, 2007; Bavay *et al.*, 2009; Egli *et al.*, 2009; Bocchiola *et al.*, 2009). I modelli di circolazione globale GCM ed i modelli ad area limitata LAM sono strumenti matematici fisicamente basati utilizzati per la predizione degli effetti del cambiamento climatico (Bardossy, 1997; Bates *et al.*, 1998). I modelli GCM calcolano le variabili meteorologiche con una risoluzione temporale fine (da 30 minuti ad alcune ore), ma utilizzano una griglia spaziale solitamente grossolana (250-500 km di lato), mentre i LAM lavorano con una griglia di calcolo più fine, annidata all'interno delle celle del GCM. Per valutare l'effetto del cambiamento climatico, spesso i modelli idrologici utilizzano come input gli output dei modelli di circolazione globale opportunamente corretti (Drogue *et al.*, 2004; Gangopadhyay e Clark, 2005; Kang e Ramirez, 2007), fornendo così le informazioni per l'analisi degli effetti a medio e lungo termine sulle risorse idriche (Bultot *et al.*, 1992; Beniston, 2003; Hagg e Braun, 2005; Hagg *et al.*, 2007) e sugli estremi idrologici (Boroneant *et al.*, 2006). Anche se GCM e LAM forniscono risultati ragionevoli nella simulazione delle grandezze atmosferiche su vasta scala, alle scale più fini di interesse idrologico (dal bacino idrografico al singolo strumento puntale) si riscontrano errori rilevanti (Gangopadhyay e Clark, 2005), che rendono necessaria l'applicazione di una correzione, o *downscaling* prima di poter effettuare qualsiasi tipo di analisi (Lammering e Dwyer, 2000; Groppelli *et al.*, 2010, 2011a). Tuttavia, prima di sviluppare un metodo per il *downscaling*, è utile svolgere un'analisi preliminare per comprendere l'entità degli errori con cui i GCM riproducono le varie grandezze, per fornire un'idea della prestazione generale del modello all'interno di una determinata zona geografica, o per scegliere un GCM fra quelli disponibili (*p.es.* Groppelli *et al.*, 2010; 2011a). Allo stato attuale, la maggior parte dei modelli GCM non fornisce il valore di precipitazione nivale, ma quello di precipitazione totale (neve più pioggia). Groppelli *et al.* (2010; 2011a) hanno fornito una valutazione della capacità di simulare le precipitazioni sull'Italia del Nord di 4 modelli GCM comunemente utilizzati dall'IPCC. Tuttavia, in questo lavoro, si vogliono studiare esplicitamente le prestazioni di alcuni GCM nel riprodurre la precipitazione nivale sulle Alpi Italiane, al fine di fornire una valutazione obiettiva per coloro che vogliono utilizzare queste simulazioni per qualsiasi tipo di studio legato alla copertura nivale. Un'analisi sullo stato dell'arte della modellistica climatica indica che la variabile "precipitazione nivale" attualmente è fornita da tre modelli: l'NCAR-PCM, l'HadCM3 e l'NCAR-CCSM3 di recente sviluppo. Ad una prima osservazione è risultato che il modello NCAR-PCM fornisce dei valori di neve non realistici (cioè maggiori della precipitazione totale). Da qui deriva immediatamente il primo risultato, ossia che i dati nivali forniti dall'NCAR-PCM devono essere usati con prudenza sulle Alpi Italiane. Per questo studio è stata riunita una base di dati di altezza giornaliera del manto nivale al suolo (ca. 400 stazioni, 1990-2009) inclusiva dell'intero arco alpino italiano (ad esclusione della regione Friuli Venezia Giulia, per cui no né stato possibile reperire i dati relativi), che è stata utilizzata per valutare l'equivalente idrico nivale della neve fresca giornaliera (SWE). Sono quindi stati usati degli indicatori per valutare la corrispondenza statistica tra i volumi di precipitazione nivale forniti dai GCM e quelli calcolati sulla base dei dati al suolo. Al termine della valutazione sono stati calcolati i *Bias* moltiplicativi fra il modellato e l'osservato, utili per effettuare una correzione di massima degli output dei GCM per la zona di interesse. Correzione che è stata applicata alle serie simulate per il prossimo secolo (fino al 2099) dai diversi modelli, nell'ipotesi di scenario, o *storyline* A2 definito dall'IPCC al fine di proporre una possibile ipotesi sul futuro delle precipitazioni nivali sulle Alpi italiane.

AREA DI STUDIO

Si studia la regione delle Alpi italiane (Figura 1), estesa da ca. 6.5°E a 13°E in longitudine e da 44°N a 47°N in latitudine.

La quota massima è di 4765 mslm. Secondo la classificazione climatica di Köppen-Geiger (Peel *et al.*, 2007) questa zona cade principalmente nel clima temperato freddo continentale, caratterizzato dalla presenza di copertura nivale stagionale continua superiore a 1000 mslm e da un massimo di

precipitazione tardo estivo/autunnale con minimo durante l'inverno. In pianura padana l'altezza media annua di neve è tra 5 - 20 cm a est e tra 20 - 50 cm ad ovest. Sulle Alpi questa quantità aumenta significativamente con la quota e con l'esposizione alle correnti d'aria umida provenienti dai Balcani e dal mar Mediterraneo. Generalmente in questa zona, il deflusso idrico è influenzato principalmente dalla fusione della neve in primavera e dalla pioggia nella stagione autunnale. Numerosi studi recenti indicano l'esistenza di un riscaldamento all'interno delle Alpi Italiane (Faggian e Giorgi, 2009), che influenza l'area innevata e l'equivalente idrico nivale disponibile (nel seguito SWE) al disgelo causando il ritiro dei ghiacciai (Citterio *et al.*, 2007; Maragno *et al.*, 2009; Bocchiola e Diolaiuti, 2009) e modifiche significative al ciclo idrologico (per esempio Barontini *et al.*, 2009; Groppelli *et al.*, 2011b). L'area di studio (ca. 7000 km^2) è stata divisa in 8 zone (Figura 1, Tabella 1), seguendo in parte i confini delle regioni amministrative italiane e delle province e la morfologia del territorio, ai fini di identificare delle aree con caratteri climatici omogenei (*p.e.* il gradiente altitudinale di precipitazione e temperatura, ecc...).

BASE DI DATI

Dati nivometrici

Per questo studio sono state raccolte le serie di altezza del manto nivale al suolo di 367 stazioni nelle Alpi italiane (Figura 2), dal 1° gennaio 1990 al 31 dicembre 2009. I dati provengono da diversi enti regionali, affiliati all'AINEVA (Associazione Interregionale Italiana Neve e Valanghe). Tipicamente, il dato misurato è la profondità H_S del manto nivale, che usiamo per determinare la precipitazione nivale quotidiana H_n tramite differenza (Bocchiola *et al.*, 2006; 2009) e successivamente vengono trasformati in valori di SWE. Per poter fare questa operazione è necessario conoscere la densità della neve ρ_n.

La densità è calcolata attraverso una relazione lineare con la quota, basata sui dati provenienti da 2600 misure di neve fresca, già utilizzate in studi precedenti (Bocchiola e Rosso, 2007; Medagliani *et al.*, 2007).

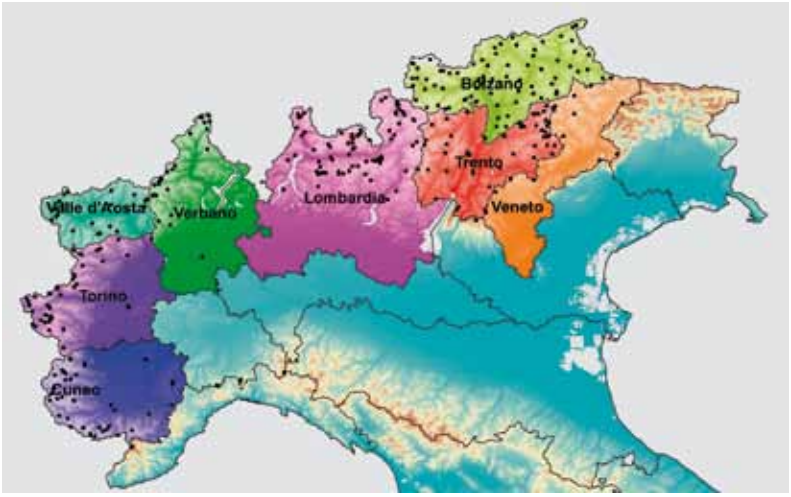
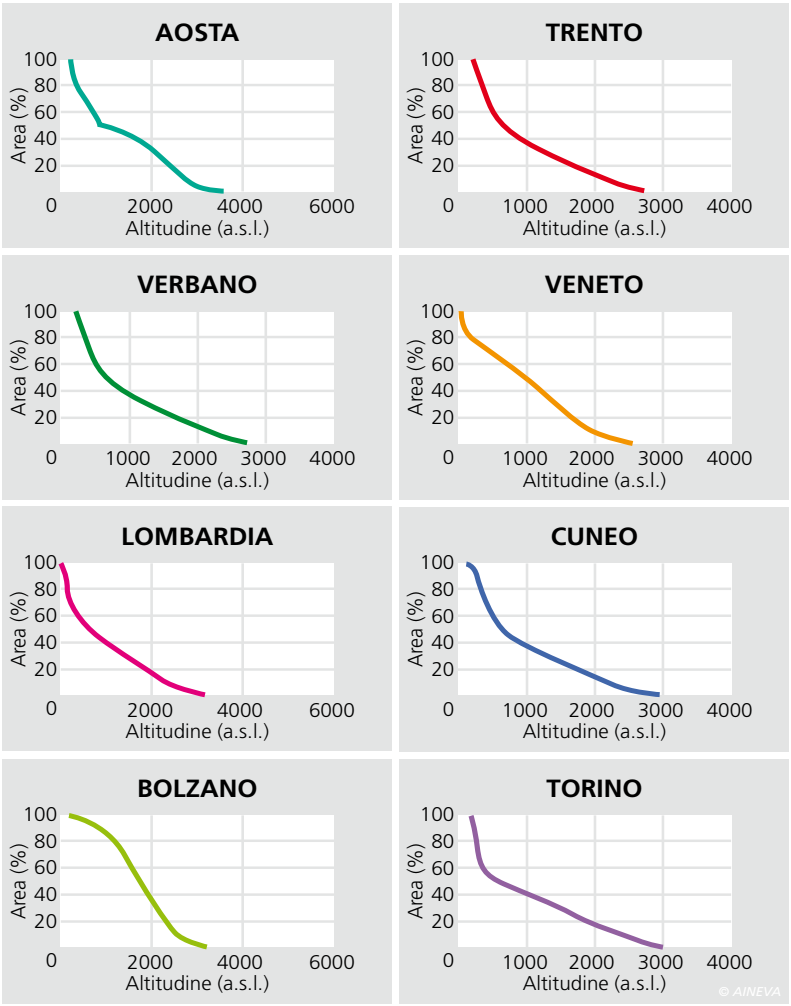


Fig. 1 - Area di studio.



REGIONI NIVALI ADOTTATE

REGIONE	NOME	S (km^2)	A_{min} (m asl)	A_{max} (m asl)	A_{av} (m asl)	STAZIONI (-)
1	Cuneo	6898	135	3750	969	45
2	Torino	7068	140	3800	996	51
3	Aosta	6020	204	4765	1353	20
4	Verbano	18984	5	4500	420	29
5	Lombardia	14347	5	3990	935	82
6	Trento	6189	15	3685	1407	46
7	Bolzano	7271	190	3862	1736	79
8	Veneto	6385	11	3212	973	15
	Totale	73166	-	-	968	367

© AINEVA

Tab. 1 - Regioni nivali adottate.

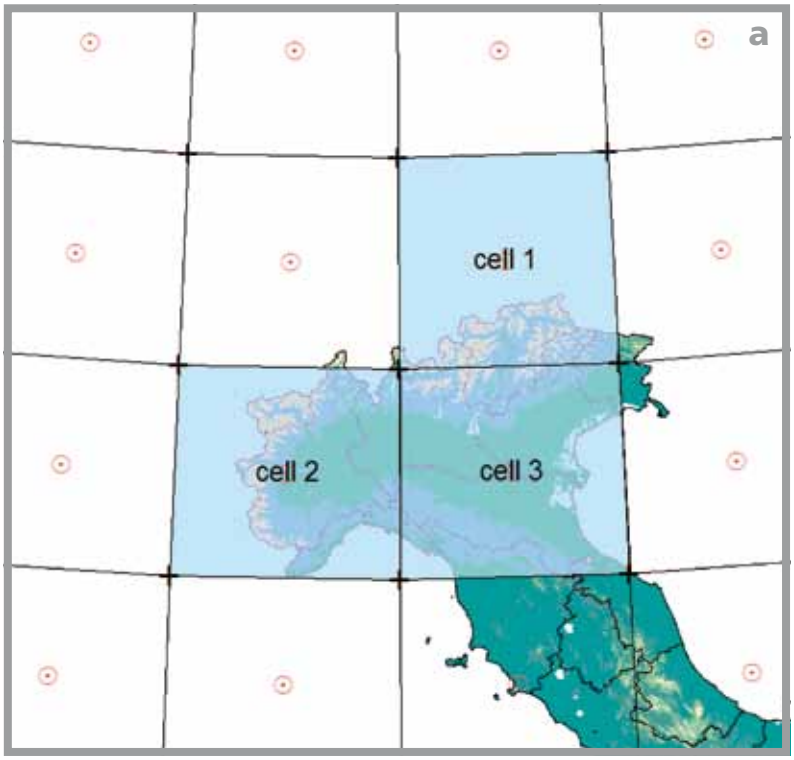
Equazioni

(1) $\hat{\mu}_\rho = -0.0992 \cdot A + 301.94$

(2) $V_{oss,i,1} = \sum_{k=1}^{K_i} \left(S_{GCM,i,k} \frac{1}{N_{k,i}} \sum_{j=1}^{N_{k,i}} SWE_{n,j} \right)$

(3) $V_{oss,i,1} = \sum_{k=1}^{K_i} \left(S_{s,i,k} \frac{1}{N_{k,i}} \sum_{j=1}^{N_{k,i}} SWE_{n,j} F_k \right)$

(4) $$F_k = \frac{\int_{Amin,k}^{Amax,k} \hat{\mu}_{SWE}(A_k) \cdot S(A_k) dS}{\int_{Amin,j}^{Amax,j} \hat{\mu}_{SWE}(A_j) \cdot S(A_j) dS} = \frac{\int_{Amin,k}^{Amax,k} [SWE_{0,k} + s_k A_k] \cdot S(A_k) dS}{\int_{Amin,j}^{Amax,j} [SWE_{0,k} + s_k A_j] \cdot S(A_j) dS}$$



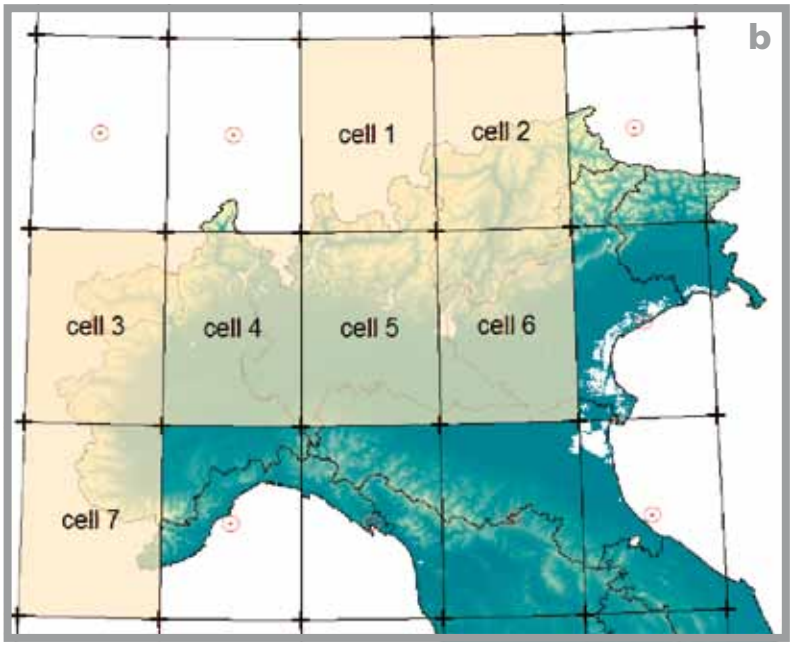


Fig. 2 - Griglia dei modelli GCM scelti sull'Italia. a) HadCM3 b) NCAR-CCSM3

La densità osservata della neve in ogni sito è modellata tramite una variabile casuale distribuita secondo una distribuzione Log-normale, con valore medio μ_p, che diminuisce con la quota (Bocchiola e Rosso, 2007). La densità media osservata è pari a $\rho_{n,av} = 123$ kgm^{-3} e la dipendenza lineare di μ_p può essere espressa come (Medagliani *et al.*, 2007 - equazione 1) con $R^2 = 0.69$, $p\text{-}val = E^{-4}$.

Si è quindi utilizzata questa relazione insieme ai dati di altezza di neve fresca giornalieri per calcolare il valore di SWE per ogni stazione come $SWE_{n,j} = H_n \rho_{n,j}$.

Dati dei modelli GCM

Inizialmente abbiamo considerato 3 diversi modelli GCM, più precisamente l'NCAR-PCM e l'NCAR-CCSM3 (di recente sviluppo) dal centro nazionale per la ricerca atmosferica, a Boulder, Colorado; ed il modello HadCM3 dell'Hadley Center, Exeter, Regno Unito. Questi modelli sono stati inclusi all'interno del terzo rapporto dell'IPCC (2007). Si può notare che la risoluzione spaziale del CSM3 è il doppio rispetto agli altri due modelli. La Tabella 2 mostra le caratteristiche principali di ogni modello. Una prima analisi preliminare, ha subito evidenziato un'incongruenza nelle serie fornite dall'NCAR-PCM (valori di precipitazioni nivali maggiori della precipitazione totale), incongruenza che è stata confermata dal personale dell'NCAR (Strand, G., comunicazione personale, Febbraio 2010). A causa di questo fatto è stato deciso di scartare il modello PCM nelle analisi successive riguardo all'esattezza delle precipitazioni nivali e di concentrarsi sul CCSM3, di più recente sviluppo.

Per realizzare il confronto sono state utilizzate le serie di precipitazioni nivali, pioggia, precipitazioni totali e temperatura dell'aria, con una risoluzione temporale giornaliera. Tuttavia, la variabile di maggior interesse è certamente la precipitazione solida.

L'orizzonte temporale del confronto va dal 1° gennaio 1990 al 31 dicembre 2009, coincidente con il periodo coperto dai dati osservati di profondità del manto nivale.

La Figura 2 mostra i punti di griglia dei due modelli utilizzati e le celle che contengono la zona di studio.

METODI

Confronto tra gli output dei GCM

Il confronto diretto in termini di SWE fra osservazioni e simulazioni non è possibile in quanto i valori si riferiscono ad aree differenti. Infatti i valori forniti dai modelli GCM sono riferiti ad un punto nella griglia di calcolo e validi su celle di grandi dimensioni, mentre invece le osservazioni sono sostanzialmente rappresentative del singolo punto di misura e richiedono quindi una spazializzazione (Bocchiola, 2010; Bocchiola e Groppelli, 2010). Per questo motivo è stata fatta la scelta di eseguire il confronto applicando due metodologie differenti, con complessità crescente. Anzitutto sono state considerate le parti delle celle dei modelli ricadenti sul territorio italiano, in quanto per le aree esterne non possediamo alcuna informazione. Il primo metodo, denominato T1 è il più semplice e consiste nel paragonare il volume d'acqua equivalente di ogni cella *i*, $V_{GCM,\,i} = SWE_{GCM,i}\, S_{GCM,\,i}$ dove $S_{GCM,i}$ è l'area della cella (sopra le Alpi italiane), con il valore di volume ottenuto dai dati osservati mediati su ogni regione *k* compresa nella cella del GCM (vedi eq. 2) dove K_i è il numero delle zone che cadono nella cella *i* e $N_{k,i}$ il numero delle stazioni nivometriche contenute nella regione *k*, rientranti nella cella *i*. Il secondo metodo, denominato T2, è più complesso e considera esplicitamente la variabilità delle precipitazioni nivali con la quota. I valori $V_{GCM,\,i}$ sono stati confrontati con il volume idrico equivalente caduto sottoforma di neve al di sopra di una quota limite A_S. Per poter applicare questo metodo, è stata definita una soglia di temperatura T_{tr} = di 0°C per formazione della neve e di conseguenza è stata calcolata la relativa quota A_S. La quota dello zero termico è stata stimata attraverso una regressione lineare tra temperatura e quota per ciascuna delle zone considerate.

A tal fine sono state utilizzate le serie di temperature misurate in 142 stazioni distribuite nell'area di studio, nel periodo 1° gennaio 1990 al 31 dicembre 2009 con le quali sono stati stimati i tassi di crescita mensili costanti sul periodo considerato per ogni regione. L'ipotesi di stazionarietà è stata verificata sulle serie osservate nelle quali non è stato rilevato alcun trend significativo. Il passo successivo è stato la correzione dei valori di SWE per tenere conto del gradiente altitudinale della precipitazione solida s_k valido per ogni zona. Il volume idrico equivalente per la cella *i* diventa quindi (vedi eq. 3): dove $S_{s,i,K}$ è l'area a quota maggiore di A_s nella regione *k* ricadente nella cella *i*, e *Fk* è un fattore correttivo che considera la quota delle stazioni nivometriche, della regione e il gradiente verticale come segue (vedi eq. 4), dove A_{max} e A_{min} sono la quota massima e minima rispettivamente della regione *k* e delle stazioni nivometriche *j*, $SWE_{0,k}$ è il valore dell'intercetta della relazione di SWE in funzione della quota. Il fattore di correzione *Fk* è stato valutato per via numerica utilizzando l'informazione di un DEM (Digital Elevation Model) dell'area di studio con risoluzione di 30m. Questo metodo corregge l'errore causato dalla differenza fra l'altezza media dell'area e l'altezza media delle stazioni nivometriche. Per lo stesso scopo esistono metodologie più complicate di quella qua presentata, ad esempio l'utilizzo del Kriging (vedi Bocchiola, 2010; Bocchiola e Groppelli, 2010). Va sottolineato però come queste metodologie siano valide a scala locale e richiedano quindi una calibrazione locale che a sua volta necessita di un'importante base di dati. Vista la considerevole estensione dell'area considerata per questo studio, si è preferito optare per un approccio più semplice che considera la quota come unica variabile che influenza la distribuzione spaziale della precipitazione solida. Un'analisi preliminare ha però mostrato come il metodo T1 fornisca volumi di neve eccessivamente elevati. Tale comportamento deriva dal mancato utilizzo della quota (temperatura) come discriminante tra precipitazione nivale e pluviale. Il metodo T1 è stato quindi scartato e si è utilizzato solo il metodo T2. Da qui in poi ci si riferisce semplicemente al volume osservato $V_{oss,i}$, con metodo T2.

Tab. 2 - Geometria dei GCM utilizzati.

GEOMETRIA DEI GCM UTILIZZATI

MOD	CENTRO RICERCA	NAZ	GRID SIZE (°)	N° CELLE	N° LIVELLI
HadCM3	Hadley Center for Climate Prediction and Research	U.K.	2.5° x 3.75°	96 x 73	19
PCM	National Center for Atmospheric Research	U.S.A.	2.8° x 2.8°	128 x 64	18
CCSM3	National Center for Atmospheric Research	U.S.A.	1.4° x 1.4°	256 x 128	26

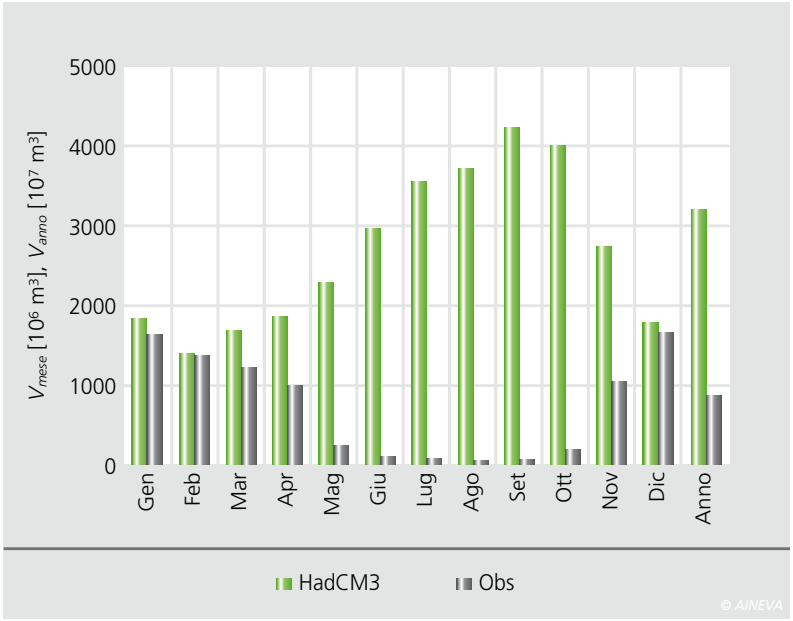
© AINEVA

Test di adattamento

Il confronto tra V_{GCM} e V_{obs} per i due modelli GCM testati è stato effettuato tramite l'applicazione di alcuni test statistici (Groppelli *et al.*, 2011a). Sono stati considerati sia i cumulati annuali che i totali mensili medi. In primo luogo, è stata analizzata l'esattezza statistica di V_{GCM}, cioè la relativa capacità di rappresentazione delle precipitazioni nivali in termini sia di valor medio che di variabilità. La prima ipotesi che è stata testata riguarda l'omoschedasticità (omogeneità delle varianze) delle popolazioni attraverso il test F di Fisher. La secondo fase è l'applicazione di un test T sulla media differenziato per i casi di varianze uguali o diverse sulla base del risultato precedentemente ottenuto. In aggiunta ai test statistici, è stato calcolato il valore del bias tra V_{GCM} e V_{obs}, calcolato come $Bias = E[V_{GCM}]/ E[V_{obs}]$ che fornisce una rappresentazione della differenza media fra modello e osservazioni (Faggian e Giorgi, 2009). Come ultimo passo, si è valutato tramite il calcolo di RMSE (root mean square error) il grado di accuratezza tra le serie accoppiate (stesso anno o stesso mese).

Test di stazionarietà

Al fine di indagare la presenza di eventuali trend significativi all'interno delle serie, sono stati applicati due diversi test statistici: il test di regressione lineare e il test di Mann Kendall MK (p.es. Bocchiola e Diolaiuti, 2009). Sono stati considerati i valori cumulati annuali sia di V_{obs} che di V_{GCM} durante il 1990-2009 ed è stata valutata



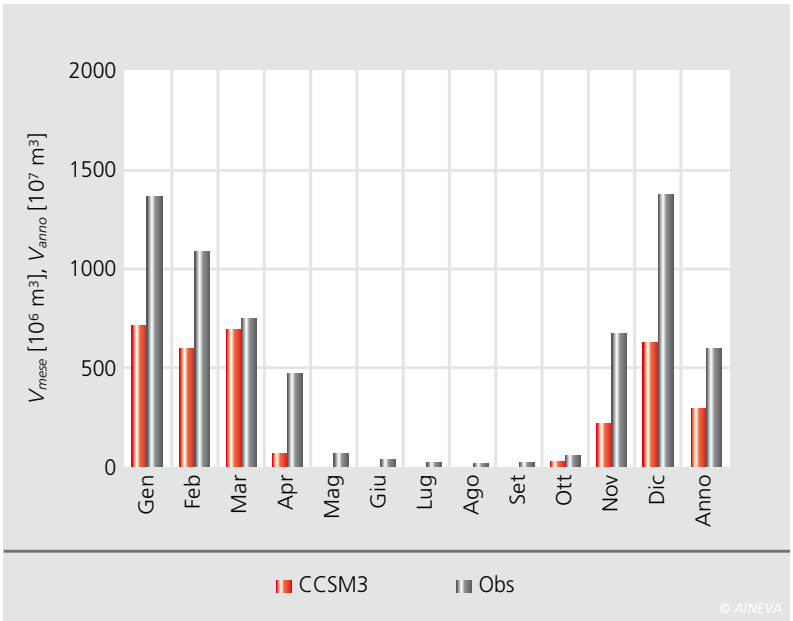


Fig. 3 - Valori mensili e annuali V_{obs} e V_{GCM}, mediati sul periodo 1990-2009 e sull'intera regione alpina.

Tab. 3

TEST DI ADATTAMENTO, HadCM3
Valori dimensionali

MESE	CELL H1		CELL H2		CELL H3	
	F	*T*	*F*	*T*	*F*	*T*
Gennaio	**1.7**	**0.0**	50.4	44.6	**0.9**	**0.0**
Febbraio	**0.4**	**0.0**	44.6	83.8	**2.3**	**0.0**
Marzo	**0.2**	**0.0**	8.5	**0.4**	**0.1**	**0.0**
Aprile	**0.5**	**0.0**	6.5	**0.1**	**0.0**	**0.0**
Maggio	29.5	**0.3**	**0.1**	**0.0**	**0.0**	**0.0**
Giugno	**3.8**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**
Luglio	**1.8**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**
Agosto	**1.1**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**
Settembre	**0.2**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**
Ottobre	45.3	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**
Novembre	**0.2**	**0.5**	6.2	**0.0**	**1.7**	**0.0**
Dicembre	**6.0**	**0.0**	36.9	34.6	**0.2**	**0.5**
Anno	**0.0**	**0.0**	**0.3**	**0.0**	**0.0**	**0.0**

F di Fisher per la varianza , *T* di Student per la media.
p-val [*10^2]. In grassetto, rifiuto dell'ipotesi del test (i.e. stessa media o varianza, α = 5%).

© AINEVA

la presenza di un comportamento non stazionario. Gli obbiettivi sono: i) individuare la presenza di non stazionarietà (MK) e/o di tendenze lineari (RL) all'interno dei dati osservati e ii) valutare l'esattezza dei GCM nella descrizione delle caratteristiche non stazionarie delle statistiche della neve nel periodo studiato. Normalmente, sono richiesti almeno 30 anni di dati per valutare le tendenze nel tempo delle variabili climatiche (IPCC 2001; Juen *et al.*, 2007; Jiang *et al.*, 2007). Recentemente Bocchiola e Diolaiuti (2009) hanno studiato una serie di altezza del manto nevoso più lunga all'interno di una piccola (ca. 300 km^2) regione delle Alpi italiane (zona dell'Adamello, qui all'interno della regione 5) per il periodo 1965-2007. Va sottolineato però che tale serie è stata raccolta da ENEL (produttore di energia idroelettrica) e rappresenta un caso raro. In ogni caso l'andamento delle precipitazioni nivali all'interno delle Alpi è sembrato un tema di interesse dai molti risvolti, per questo è stato deciso di condurre l'analisi sui 20 anni di dati disponibili. Va tenuto comunque conto che si tratta di serie osservate in quasi 400 stazioni distribuite su tutto l'arco alpino, quindi nonostante la durata limitata, i risultati possono essere significativi. Il test di MK è stato applicato ai dati grezzi, senza operare un filtro di pre-withening (Yue e Wang, 2002). Questi test sono stati applicati alle celle dei GCM e non alle regioni geografiche, in quanto l'interesse è volto a studiare le proiezioni future operate appunto dai modelli e quindi riferite alle celle. I test di stazionarietà sono stati applicati alle serie dopo la correzione effettuata tramite l'applicazione del *Bias* (come *p.es.* in Faggian e Giorgi, 2009). Così facendo, viene verificata la stazionarietà di una serie simulata che, in media, è equivalente a quella osservata.

Proiezioni di scenario

Sono state utilizzate le simulazioni a lungo termine (1990-2099) prodotte dai due GCM considerati per fare una proiezione delle precipitazioni nivali nella zona di studio. Fra i diversi scenari definiti dall'IPCC all'interno dei suoi rapporti sul clima, si è deciso di usare lo scenario A2 (business as usual, Beniston, 2004), spesso considerato come riferimento. Si è ipotizzato che i *Bias* calcolati fra modello e osservazioni rimangano costanti nel tempo, come normalmente assunto per il *downscaling* dei GCM (Groppelli *et al.*, 2011a). Successivamente sono stati applicati i test MK e LR per valutare la non stazionarietà delle precipitazioni nivali future (fino al 2099) nella zona di studio. Così facendo è possibile fornire una valutazione delle precipitazioni future ed evidenziare possibili tendenze e differenze fra i due modelli considerati. Oltre al test MK classico, è stato applicata anche la versione progressiva, PMK (in avanti e indietro, *p.es.* Bocchiola e Diolaiuti, 2009), che permette di stimare la presenza e la posizione di un possibile punto di partenza di una tendenza all'interno della serie.

Tab. 4

TEST DI ADATTAMENTO, CCSM3
Valori dimensionali

MESE	CELL C1		CELL C2		CELL C3		CELL C4		CELL C5		CELL C6		CELL C7	
	F	*T*	*F*	*T*	*F*	*T*	*F*	*T*	*F*	*T*	*F*	*T*	*F*	*T*
Gennaio	13.7	**1.3**	14.6	**0.0**	20.2	**0.0**	5.7	54.1	28.5	26.7	41.1	**0.6**	**0.0**	**0.2**
Febbraio	17.5	**1.3**	17.3	**0.0**	42.2	**0.0**	**0.5**	12.9	23.1	77.6	43.4	**0.2**	**0.0**	**0.3**
Marzo	16.6	16.9	18.1	**1.1**	40.2	**0.6**	**0.0**	**1.1**	**0.3**	9.4	8.7	68.5	**3.7**	**0.0**
Aprile	**1.0**	**0.0**	1.9	**0.0**	**0.0**	**0.0**	47.3	**0.0**	**4.7**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**
Maggio	**3.2**	68.0	6.4	5.0	**0.0**	**0.0**	**4.2**	**0.0**	**0.0**	**0.1**	**0.0**	**0.1**	**0.0**	12.8
Giugno	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.2**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**2.0**	43.0	55.4	38.3	40.1
Luglio	**4.7**	40.5	**0.0**	44.9	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**1.0**	**0.0**	**3.0**	**0.0**	**0.0**
Agosto	**0.0**	29.6	**0.0**	24.0	**0.0**	**0.1**	**0.0**	**0.1**	**0.0**	**0.8**	**0.0**	**1.6**	**0.0**	**0.2**
Settembre	**0.0**	**0.7**	**0.0**	9.0	**0.0**	**0.2**	**0.0**	**0.2**	**0.1**	**3.6**	**0.0**	10.3	**0.0**	**0.0**
Ottobre	16.2	92.3	22.8	40.6	**0.0**	**0.1**	26.1	**4.6**	**0.2**	22.3	**0.6**	19.2	**0.0**	**3.2**
Novembre	**0.3**	**0.6**	**0.7**	**0.1**	**1.0**	**0.4**	10.4	89.0	49.2	16.0	**0.4**	**1.6**	**0.0**	**0.0**
Dicembre	**0.8**	**0.6**	**3.7**	**0.0**	11.4	**0.0**	34.9	39.0	39.3	25.1	23.8	**1.9**	**0.0**	**0.0**
Anno	**0.5**	**0.1**	**1.8**	**0.0**	9.3	**0.0**	8.7	33.4	24.0	18.0	31.7	**0. 0**	**0. 0**	**0. 0**

F di Fisher per la varianza , *T* di Student per la media. *p-val* [*10^2].
In grassetto, rifiuto dell'ipotesi del test (i.e. stessa media o varianza, α = 5%).

© AINEVA

RISULTATI

Accuratezza delle simulazioni dei GCM

In Figura 3 sono riportati i valori cumulati mensili ed annuali di V_{obs} e V_{GCM} (mediati sul periodo 1990-2009) per tutta l'area di studio. Nelle tabelle 3-8 sono contenuti i risultati dei test statistici (F di Fisher e T di Student, RMSE, bias) per i due GCM nel periodo di controllo sulle diverse celle. Viene indicato il valore del *p-value* con l'indicazione dell'accettazione o del rifiuto dell'ipotesi dei test (varianza uguale e/o media uguale, α = 5%). Per quanto riguarda il modello HadCM3, si osserva chiaramente in Figura 3a come il comportamento stagionale delle precipitazioni sia poco realistico. Infatti la precipitazione nivale viene concentrata durante la primavera e l'estate, mentre in autunno ed in inverno si osservano i valori minori. Confrontato con le osservazioni al suolo (V_{obs}, T1) si osserva un certo accordo nel caso in cui V_{obs} è calcolato con l'approccio, cioè quando viene considerato il gradiente verticale di precipitazione in modo tale da descrivere in modo più accurato l'effettiva area di nevicata.

Le tabelle 3-8 forniscono il livello di accuratezza dei modelli GCM. I test statistici per l'HadCM3 (Tabella 3) indicano una scarsa capacità del modello di rappresentare le statistiche mensili (media, varianza) delle precipitazioni nivali e le statistiche mensili di RMSE (Figura 4a, SWE [mm]) confermano la presenza di un errore nella previsione (mensile) delle precipitazioni nivali. Paradossalmente però valori alti di RMSE si osservano durante l'estate, quando le precipitazioni nivali dovrebbero essere molto basse (e di conseguenza anche l'errore dovrebbe esserlo). Di nuovo, questo fatto dipende dall'errata riproduzione del carattere stagionale delle precipitazioni nivali.

Il modello CCSM3 funziona meglio dell'HadCM3, infatti le statistiche risultano maggiormente simili (Tabella 4). Inoltre i valori di RMSE (Figura 4b) sono generalmente più bassi rispetto all'HadCM3.

Nella stagione estiva i valori di RMSE risultano essere limitati a causa delle limitate precipitazioni nivali.

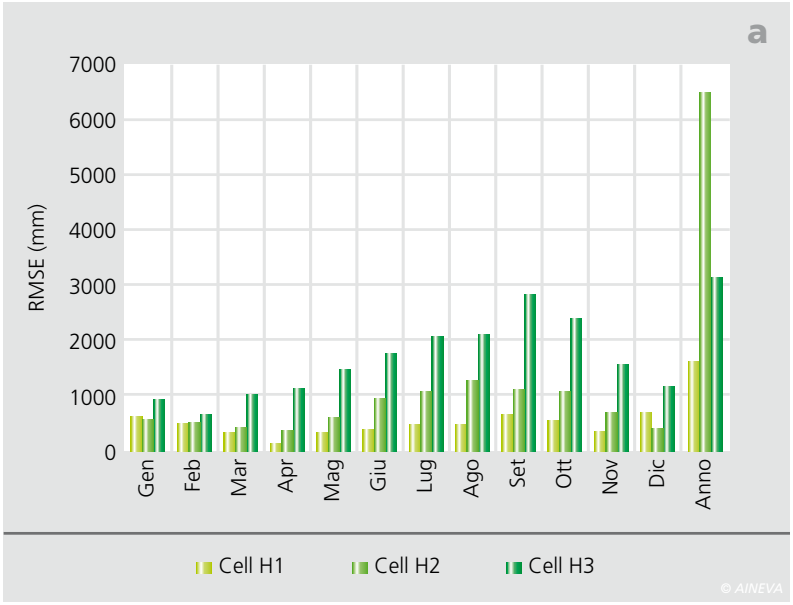
Analisi di stazionarietà delle serie di controllo e delle proiezioni

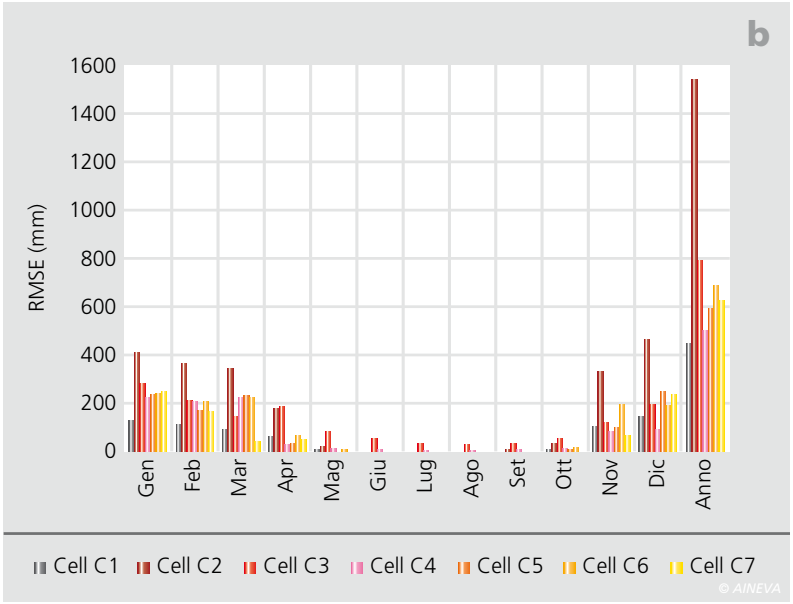
La Figura 5 mostra i risultati dei test MK e LR sui volumi cumulati annuali (V_{obs}, durante il 1990-2009 e di V_{GCM}, rispettivamente durante il 1990-2009 e il 1990-2099). La Figura 6 rappresenta il risultato del test PMK. Ove non si osservi una precisa tendenza, le due linee (test avanti e test indietro) sul piano z^* *vs* anni presentano molteplici intersezioni. Invece quando le due linee presentano un solo punto di intersezione, oltre il quale non si incrociano più, è possibile localizzare il periodo di inizio di un dato trend.

La Figura 7 riporta, come riferimento, il volume idrico equivalente sull'intera area (somma delle celle). Si osservano alcune tendenze lineari nelle serie del *control run* di V_{GCM}. In particolare si nota come il modello HadCM3 descriva un aumento della precipitazione nivale annua all'interno di tutte le celle, seppur con valori di *p-value* molto bassi (non significativi). Diversamente, nei risultati del test MK si osserva una tendenza non stazionaria significativa nella cella H2 (Alpi occidentali). Per contro, il modello CCSM3 descrive sostanzialmente (ma non in maniera significativa) una diminuzione delle precipitazioni nivali in tutta l'area di studio, per entrambi i test MK e LR. I valori osservati V_{obs} indicano in alcuni casi un aumento (in pochi casi significativo) sia nella prova LR che MK, durante il 1990-2009.

Le proiezioni (1990-2099) di precipitazione nivale fornite dal modello HadCM3 sono sostanzialmente stazionarie in entrambi i test, mentre i risultati del PMK (Figura 6a) mostrano che nella cella H2 (Alpi occidentali) nel periodo 2003-2015 il valore della statistica test in andata è maggiore del limite di confidenza superiore (5%). Questo fatto spiega anche i risultati di Figura 5a, che in quella cella evidenziano un trend positivo. Diversamente il modello CCSM3 (Figura 5b) simula una diminuzione significativa in tutte le celle, confermata sia da MK che da LR (a meno della cella C6, Trento e parte del Veneto, dove la diminuzione non è significativa). Il test PMK (Figure 6b, c) mostra una considerevole non stazionarietà per tutte le celle. Sulle Alpi occidentali e settentrionali (celle da C1 a C4, Figura 6b) vengono evidenziate delle variabilità particolari.

Fig. 4 - RMSE-SWE
a) HadCM3
b) CCSM3





Tab. 5

Bias MOLTIPLICATIVO (*Bias*=E[V_{GCM}]/ E[V_{obs}], E E[] media) Valoriadimensionali, HadCM3

MESE	CELL H1	CELL H2	CELL H3
Gennaio	0.84	2.83	0.27
Febbraio	0.95	2.82	0.22
Marzo	2.07	5.53	0.25
Aprile	2.26	12.70	0.31
Maggio	7.57	482.02	1.87
Giugno	16.94	3257.04	6.26
Luglio	36.54	4521.89	8.40
Agosto	51.29	9658.22	14.12
Settembre	42.03	8801.07	14.91
Ottobre	23.33	313.55	3.62
Novembre	3.79	8.39	0.47
Dicembre	0.79	2.96	0.24
Anno	0.39	2.873	5.6

© AINEVA

Un'intersezione netta tra il grafico del test in avanti e quello indietro si verifica nella seconda metà del 21° secolo, circa intorno al 2065. Questo indica l'inizio di un deciso trend negativo. Risultati simili sono stati trovati per la parte centro-orientale delle Alpi (cella C5, C6) e per le Alpi sud-occidentali (cella C7), dove, intorno al 2060, si osserva un aumento della velocità di decrescita del volume equivalente di precipitazione nivale (Figura 6c). La Figura 8 rappresenta i valori medi delle precipitazioni nivali (in mm di SWE sulle celle della griglia) per i due modelli su tre periodi di riferimento. Insieme al *control run*, si sono scelti i periodi 2031-2060 e 2071-2099, per evidenziare le differenze prima e dopo il punto critico identificato dal modello CCSM3 fra il 2060 e il 2070.

DISCUSSIONE

Dai risultati emergono alcune chiare considerazioni. In linea generale i GCM esaminati forniscono un'immagine distorta della realtà delle precipitazioni nivale, sia in termini di dinamica stagionale che di quantità. Il modello HadCM3 ad esempio simula significative precipitazioni nivali durante l'estate, ovviamente errate. Tale comportamento può essere collegato alla limitata risoluzione spaziale, ossia alla dimensione delle celle della griglia di calcolo del modello che non permette di riprodurre gli effetti legati alla complessa topografia dell'area. Groppelli *et al.* (2011b), hanno recentemente esaminato l'utilizzo accoppiato di precipitazioni e temperatura del modello HadCM3 (ed altri) allo scopo di simulare il ciclo idrologico in un bacino alpino (fiume Oglio, ca. 1800 km^2, regione Lombardia, qui compreso nelle celle H1, H3 e C1, C5). Secondo i risultati ottenuti, i valori di temperatura forniti dal modello HadCM3, comparati con i dati osservati a terra si dimostrano effettivamente rappresentativi del clima di zone di alta quota. Durante la primavera e l'estate (da Maggio a Settembre), l'altezza rappresentativa (cioè la quota dove la temperatura al suolo è in media uguale a quella fornita dal modello HadCM3) varia da un mese all'altro, ma si mantiene costantemente superiore a 1500 m slm. Poiché la temperatura è usata all'interno del GCM per convertire la precipitazione in precipitazione solida, le temperature basse riferite a zone elevate potrebbero giustificare il considerevole volume di neve simulato. In effetti, il modello HadCM3 fornisce la migliore rappresentazione delle precipitazioni nivali durante l'autunno e l'inverno (Figura 3a, Dicembre-Marzo), quando le temperature sono comunque basse.

Il modello CCSM3, che presenta una risoluzione spaziale doppia rispetto all'HadCM3, riproduce più fedelmente l'andamento stagionale delle precipitazioni nivali. In alcune delle celle considerate, il valore cumulato annuo è descritto abbastanza fedelmente (cioè non statisticamente differente dalle osservazioni al suolo). Tuttavia l'errore di valutazione, o *Bias*, che è necessario applicare prima di poter utilizzare in qualche modo gli output di questi modelli, presenta

valori distanti dall'unità (ossia da una buona accuratezza media, Tabella 5, Tabella 6, Figura 3a,b) e risulta essere molto variabile a seconda del mese. La cella C7 del CCSM3, che copre la parte sud-occidentale delle nostre Alpi, presenta una situazione particolare con valori annuali di *Bias* = 0.04. Questo indica una forte sottostima delle precipitazioni nivali durante l'anno. Si può però osservare come parte della cella C7 sia occupata dal mar Mediterraneo. Per tale motivo è ipotizzabile una non corretta simulazione della precipitazione nivale (che interesserebbe solamente una parte limitata della cella). L'analisi di stazionarietà delle precipitazioni nivali durante il *control run* (1990-2009) fornisce alcuni suggerimenti per la discussione. Il volume osservato V_{obs} risulta aumentare dovunque durante questo periodo. Come confronto con i nostri risultati, Bocchiola e Diolaiuti (2009) hanno studiato un database di altezza di neve di durata maggiore (dal 1965-2007) di quattro stazioni a quota variabile tra 1820 e 2300 mslm) all'interno della zona dell'Adamello (celle H3, C5). Lo studio mostra una significativa tendenza negativa dei valori di profondità annuale media HS_{av} della neve, che è strettamente correlata con il volume di precipitazioni nivali annuali esaminato nel presente lavoro. La prova PMK ha mostrato l'inizio della tendenza fin dal 1990 circa.

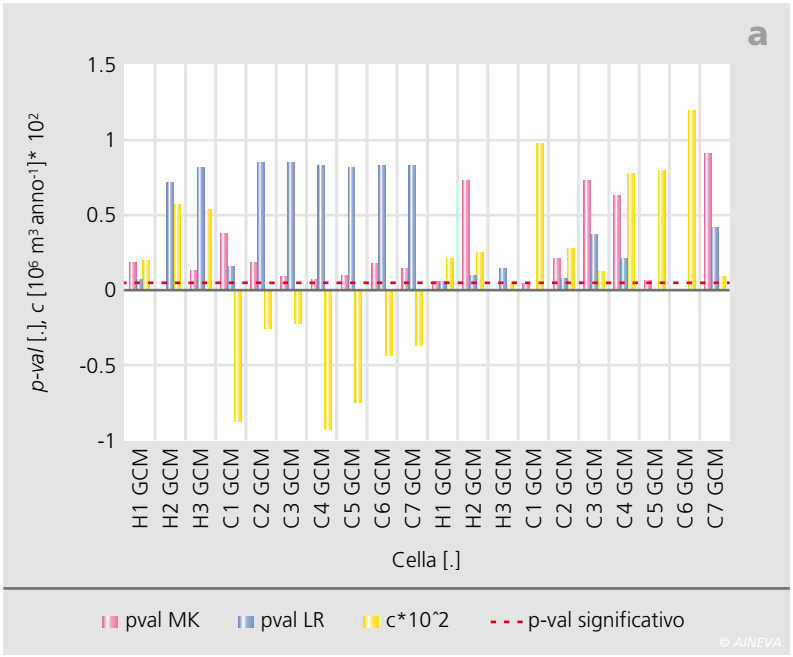
Cannone *et al.* (2007) hanno studiato lo spessore giornaliero HS_{av} del manto nivale nella stazione di Cancano (1948 mslm, celle H1, C1) per il periodo 1978-2003 ed hanno trovato una diminuzione di circa -1 cm/anno. Diolaiuti *et al.* (in revisione) hanno studiato la neve accumulata all'inizio della stagione di ablazione (1° aprile, *H1*) per cinque stazioni distribuite nella regione Lombardia (celle H1, H3 e C1, C5) durante il 1985-2005, trovando una tendenza negativa di *H1* in tutti i siti. Nelle Alpi svizzere (cella H1, H2, C1, C3 e C4), Laternser e Schneebeli (2003), hanno esaminato, tra le diverse variabili, anche i valori di HS_{av} per una rete di 190 stazioni nivometriche nel periodo 1930-1999. In particolare, hanno costruito una mappa della distribuzione dell'anomalia annuale di HS_{av}, trovando una crescita durante gli anni '60 (+25% circa)

Tab. 6

Bias MOLTIPLICATIVO (Bias=E[V_{GCM}]/ E[V_{obs}], E E[] media), CCSM3 Valori adimensionali

MESE	CELL C1	CELL C2	CELL C3	CELL C4	CELL C5	CELL C6	CELL C7
Gennaio	0.54	0.40	0.31	1.26	0.70	0.42	0.03
Febbraio	0.55	0.36	0.33	1.85	0.92	0.41	0.02
Marzo	0.70	0.51	0.44	4.40	2.38	0.86	0.09
Aprile	0.21	0.18	0.03	0.29	0.19	0.02	0.00
Maggio	0.77	0.20	0.00	0.05	0.04	0.01	0.08
Giugno	0.10	0.05	0.00	0.00	42.37	1.40	1.47
Luglio	0.65	0.30	0.00	0.00	34.88	2.00	1.98
Agosto	0.20	0.03	0.00	0.00	13.27	2.37	3.59
Settembre	0.05	0.02	0.00	0.00	0.18	0.04	2.15
Ottobre	0.95	0.64	0.02	0.38	2.65	0.20	0.01
Novembre	0.29	0.24	0.15	0.93	0.55	0.21	0.00
Dicembre	0.42	0.28	0.29	0.80	0.69	0.49	0.01
Anno	0.52	0.36	0.52	2.39	0.93	0.48	0.04

© AINEVA



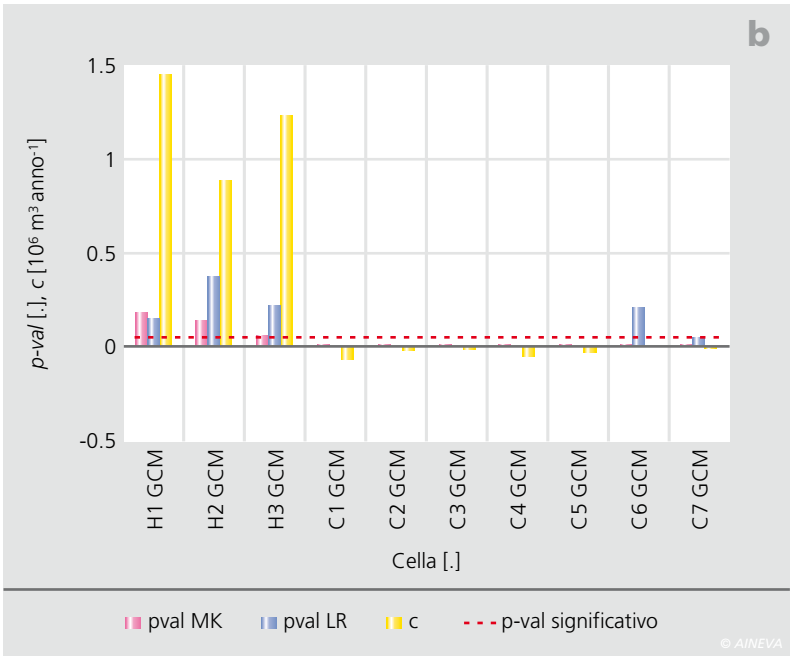
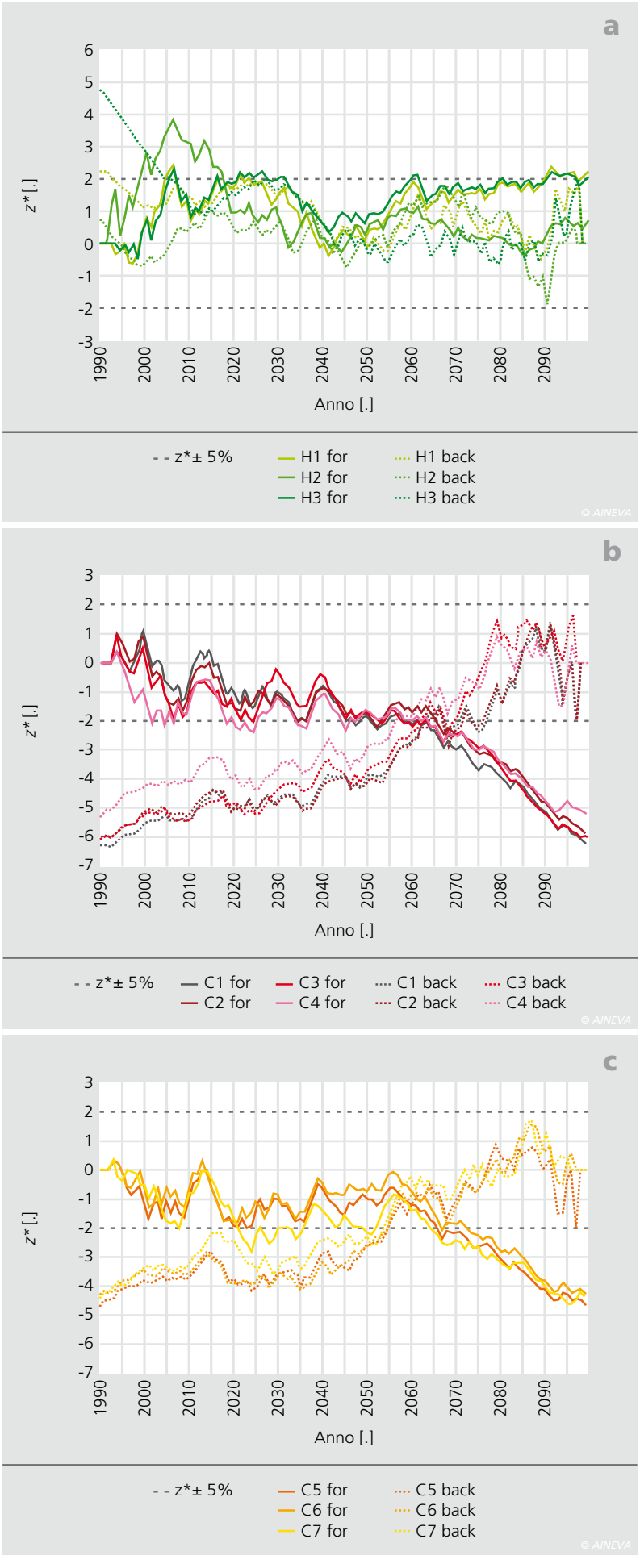


Fig. 5 - Test MK e LR, p-values e pendenza LR, volumi accumulati annuali.
a) 1990-2009
b) 1990-2099

Fig. 6 - Mann Kendal test progressivo sui volumi nivali proiettati.
a) HadCM3
b) CCSM3, celle C1-C4
c) CCSM3, celle C5-C7



e gli anni '70 (+15% circa), seguita da una decrescita durante gli anni `80s (-15% circa) particolarmente marcata a partire dal 1987 (- 30% circa). Sulla base dei risultati segnalati riguardo alle tendenze relative della copertura di neve alle Alpi (vedi Bocchiola e Diolaiuti, 2009, per una rassegna più completa), la nostra analisi di tendenza mette in luce un'immagine differente, cioè un aumento, anche se non significativo in pratica. Va sottolineato però come nell'ultimo decennio (2000-2009), si sono registrati alcuni anni particolari, cioè con un'elevata nevosità (2001, 2004 e 2009), mentre il comportamento tra il 1990 e il 1999 risulta essere stazionario. Di conseguenza è ragionevole supporre che l'esistenza di una debole tendenza positiva di V_{obs}, sia causata da questi valori, che ne influenzano l'andamento. Tali risultati evidenziano ancora una volta l'esigenza di studiare serie di dati sufficientemente lunghe per avere una maggior significatività statistica e sottolineano l'importanza di mantenere attiva e funzionante una così importante rete di stazioni di misura.

Risultati simili si ottengono per le serie dei GCM durante il *control run*, dove nessuna tendenza significativa è stata trovata. Quando si usano gli output dei GCM per costruire proiezioni a lungo termine, sarebbe necessario applicare una procedura di *downscaling* (p.es. Droghe *et al.*, 2004; Gangopadhyay e Clark, 2005; Groppelli *et al.*, 2010; 2011a). Tuttavia le strategie di *downscaling* sono valide localmente e richiedono un'indagine ad una scala spaziale più fine (scala di bacino, 1-10^2 km^2) rispetto a quella utilizzata in questo studio (scala regionale, 10^3-10^4 km^2) e la loro messa a punto va oltre i nostri scopi. Tramite il confronto delle simulazioni con i dati osservati, è possibile tuttavia definire dei *Bias* regionali da utilizzare per correggere le precipitazioni mensili nella valutazione di previsioni future (Faggian e Giorgi, 2009, per un'applicazione di un metodo simile a simulazioni climatiche su larga scala). Un'ipotesi necessaria riguarda la validità del *Bias* calcolato anche per il futuro: si suppone infatti che tale correzione si mantenga costante nel tempo. Diversi studi disponibili nella letteratura idrologi-

ca applicano quest'ipotesi alle procedure di *downscaling* (*p.es.* Kang e Ramírez, 2007; Barontini *et al.*, 2009; Bavay *et al.*, 2009; Groppelli *et al.*, 2010; 2011a). Applicando quindi questo metodo semplificato di *downscaling*, abbiamo potuto realizzare delle proiezioni di precipitazione nivale per il prossimo secolo (1990-2099). I due modelli HadCM3 e CCSM3 descrivono scenari in contrapposizione. Il primo mostra un cumulato annuo di neve sostanzialmente immutato e dopo il 2040 circa si osserva un lieve aumento (Figura 5b, Figura 6a). Il modello CCSM3 descrive invece una diminuzione (significativa) del volume annuale in tutte le celle (Figura 5b, Figure 6b,c). Groppelli *et al.* (2011a) hanno mostrato che l'HadCM3 fornisce delle proiezioni (dal 2045-2054) per il fiume Oglio con un aumento delle precipitazioni totali rispetto al presente circa del 40% (1810 mmanno^{-1} contro 1268 mmanno^{-1} durante il 1990-1999). Hanno inoltre studiato le precipitazioni nivali e le temperature, evidenziando come al di sopra dei 1000 m slm, nella stagione invernale le precipitazioni aumenterebbero rispetto al *control run*, probabilmente a causa di un generale aumento delle precipitazioni totali (la temperatura sarebbe aumentata di circa +2°C verso il 2045-2054). Diversamente il modello CCSM3 prevede una diminuzione delle precipitazioni di circa il 20% (1071 mm/a contro 1268 mm/a). Le precipitazioni nivali sarebbero ridotte a tutte le quote, a causa delle temperature più alte (+ 4.8°C circa entro il 2045-2054, vedere Faggian e Giorgi, 2009) e della precipitazioni totali minori. Brunetti *et al.* (2006) hanno studiato la presenza di tendenze nelle precipitazioni nella regione alpina italiana, compreso la zona da noi studiata. In particolare hanno utilizzato delle osservazioni di lungo termine provenienti da 192 stazioni. Gli autori hanno evidenziato quattro regioni differenti contraddistinte da un particolare comportamento delle precipitazioni. Nella loro regione di Nord-Ovest coincidente con le celle H2 e le celle C1, C3, C4, hanno osservato un aumento della precipitazione annuale P_{CUM}. Diversamente, nella zona a sud-ovest, compresa nelle celle H1, H3 e C2, C5, C6, C7, P_{CUM} diminuisce anche se in maniera meno evidente. Faggian e Giorgi (2009) hanno osservato le proiezioni di precipitazione fornite da 20 diversi modelli GCM (compresi HadCM3 e CCSM3) per le Alpi fino al 2100. Il periodo di riferimento va dal 1961 al 1990. Gli autori evidenziano variazioni (in ipotesi di scenario IPCC A2) di P_{CUM} durante il trentennio 2071-2100, in

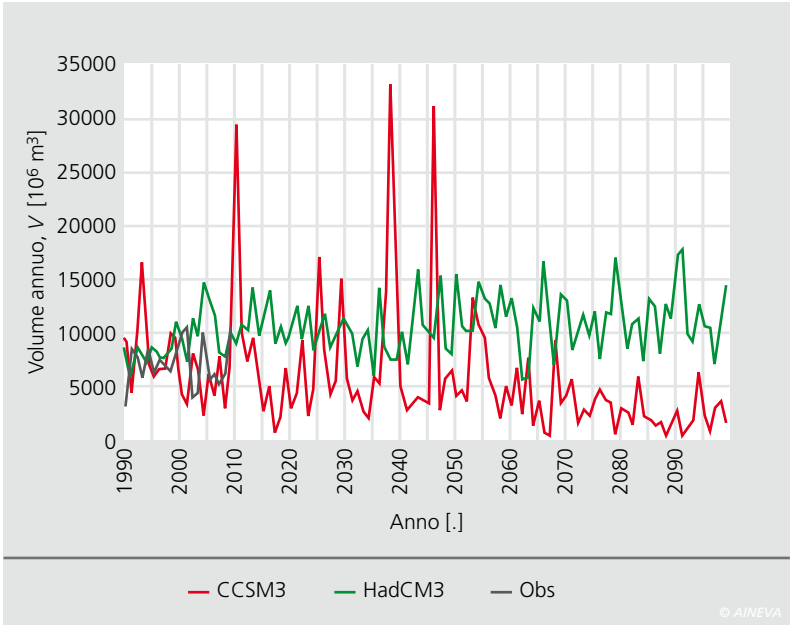


Fig. 7 - Volume di precipitazione nivale cumulato annuo e proiezioni fino al 2100.

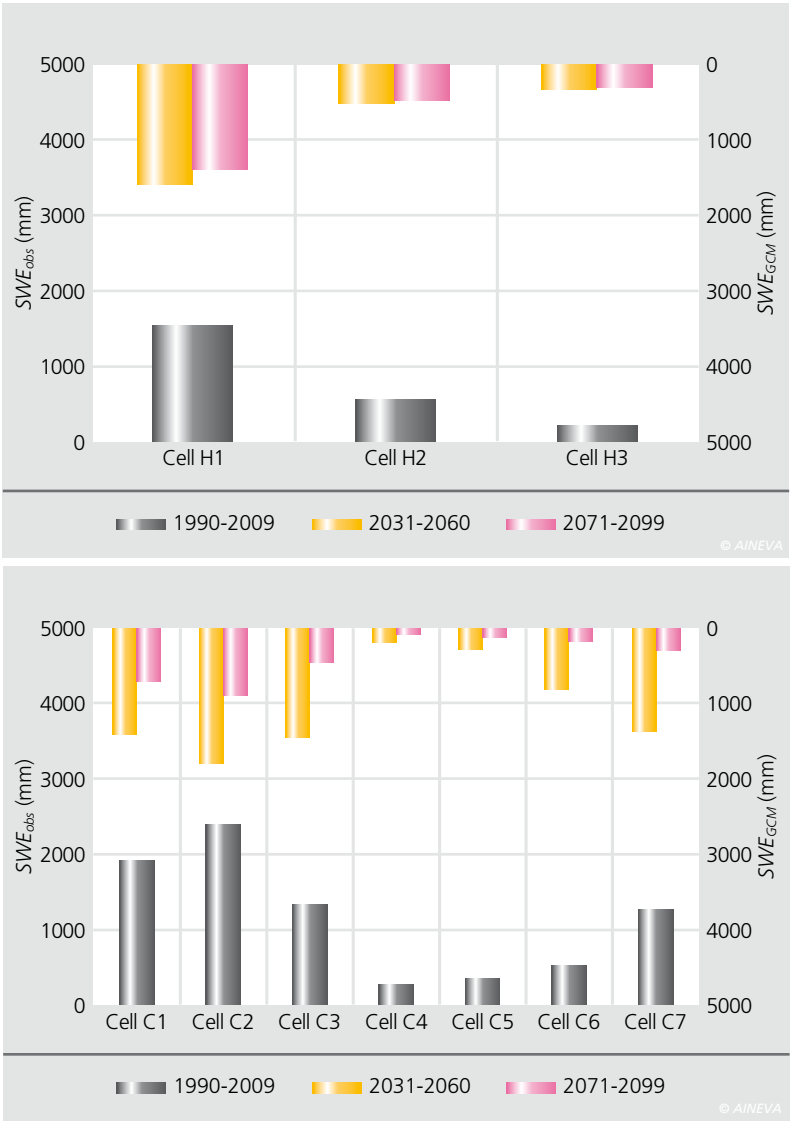


Fig. 8 - Valori medi annui proiettati di precipitazione nivale (mm SWE) per tre periodi di riferimento.
a) HadCM3
b) CCSM3

particolare si osserva una diminuzione (dal 30% al 10%) durante la primavera e l'autunno, mentre le precipitazioni rimangono sostanzialmente invariate in inverno (± 10%). Inoltre prevedono un aumento nella temperatura media annuale dell'aria fino a +5°C entro il 2100, più o meno omogeneo con la quota. Questo suggerisce come l'aumento di temperatura faccia diminuire significativamente la frazione solida della precipitazione, in particolare nella seconda metà del secolo prossimo, in accordo con le proiezioni fornite qui dal CCSM3 nella Figura 6 (b, c). Bocchiola e Diolaiuti (2009) hanno verificato la presenza di tendenze di precipitazione totale all'interno del parco dell'Adamello (celle H3 e C5), usando i dati da quattro pluviometri per il periodo 1967-2007. Le tendenze osservate (non statisticamente significative) risultano essere più pronunciate dal 1990 circa. In funzione della quota (da 1820 a 2300 mslm), è stato trovato un diverso tasso di variazione da +10 mmanno^{-1} (bassa quota, 1820 mslm) a -3.3 mmanno^{-1} (ad alta quota, 2300 mslm), con una media di +2.7 mmanno^{-1}. Cannone *et al.* (2008), utilizzando le serie di precipitazione totale P_{CUM} di tre stazioni meteorologiche (Uzza, 1250 mslm, Santa Caterina Valfurva, 1730 mslm e diga dei Forni, 2180 mslm) in Valfurva (celle H1 e C1), hanno rilevato una diminuzione di P_{CUM} (fino a -10% a 2.180 mslm) durante il 1988-2006. Non hanno tuttavia effettuato alcun test di significatività. Alla luce dei diversi studi già effettuati, possiamo ipotizzare che future precipitazioni nivali costanti sono in sostanza improbabili. Il modello CCSM3 prefigura precipitazione decrescente, che, insieme alla temperatura, fornirebbe precipitazioni nivali decrescenti dappertutto nelle alpi. Tale discrepanza potrebbe essere dovuto alla griglia più raffinata rispetto al modello HadCM3, ed al più recente periodo di rilascio. L'analisi quantitativa delle precipitazioni nivali per i tre periodi di riferimento considerati (Figura 8, mm SWE) indica per HadCM3 un leggero aumento, con diminuzione successiva nella cella H1 (1513 mm durante il 1990-2009, 1598 mm durante il 2031-2060, 1373 mm durante il 2071-2099), una leggera diminuzione in cellula H2 (541 mm, 500 mm e 478 mm, rispettivamente) ed un aumento in cella H3 (201 mm, 301 mm e 298 mm, rispettivamente). Per contro, il modello CCSM3 prefigura una diminuzione in tutte le celle fino al 2071-2099, con le precipitazioni nivali ridotte ad un terzo o meno durante quel periodo. Si osservi tuttavia che all'interno delle celle C3, C6 e C7, un leggero aumento si osserverebbe durante il 2031-2060 (particolarmente nella cella C6, con 808 mm durante il 2031-2060, contro 508 mm durante il 1990-2009), comunque seguito da una diminuzione drastica (cella C6, 182 mm durante il 2071-2100), come appare anche figura 6 (b, c), che mostra il PMK test.

CONCLUSIONI

Abbiamo costruito una base di dati nivali considerevole (ca. 400 stazioni) per le Alpi italiane, atta a convalidare le proiezioni di precipitazione nivale da due modelli GCM di comune utilizzo, mai validati in tal senso per quanto ne sappiamo. La messa a punto relativamente recente della rete (con alcune stazioni risalenti ai primi anni '80) non si presta ad una valutazione robusta delle tendenze. I risultati sono apparentemente contradditori rispetto a quelli ricavati da serie più lunghe, ma disponibili per pochi siti. Tuttavia, la rilevante dimensione della rete ci ha permesso di condurre il confronto con le proiezioni dei GCM ad una grande scala, cioè quasi l'intero arco alpino italiano. Dei tre GCM qui studiati, uno (PCM) è stato scartato rapidamente, poiché fornisce una rappresentazione non realistica delle precipitazioni nivali sulla zona. Gli altri modelli, HadCM3 e CCSM3, forniscono una valutazione poco corretta in senso assoluto, ma il CCSM3 descrive ragionevolmente il carattere stagionale della precipitazione nivale. Quando corrette per il *Bias*, o errore sistematico, le proiezioni dei modelli possono essere utilizzate per una prima valutazione a grande scala delle precipitazioni nivali future. I nostri test statistici relativi alla presenza di *trends* mostrano risultati in contrapposizione fra i due modelli.

Il modello HadCM3 fornisce volumi sostanzialmente costanti ed il modello CCSM3 prefigura volumi decrescenti.

Tuttavia, il confronto dei nostri risultati rispetto a quelli disponibili in letteratura suggerisce che le proiezioni del modello CCSM3 possa essere maggiormente verosimile, almeno qualitativamente. Di conseguenza, le precipitazioni nivali future fino al 2099 sono attese in diminuzione sulle Alpi. Un aumento provvisorio di ordine decadale potrebbe essere osservato in alcune zone, in particolare sul bordo orientale delle alpi, durante la prima metà del secolo (2031-2060). La valutazione della copertura di neve futura è di enorme importanza per un certo numero di motivi, dalla valutazione delle risorse idriche all'ecologia della specie fluviali e peri-fluviali, ai rischi naturali nelle zone alpine, allo sfruttamento del potenziale idropotabile, al turismo nelle regioni alpine ed altri ancora. Il lavoro presentato, che fornisce alcuni aspetti preliminari in ottica *what if*, rappresenta un primo tentativo in questo senso e apre la strada a perfezionamenti futuri. Studi futuri possono essere diretti a i) raffinare i prodotti dei GCM tramite disaggregazione (*downscaling*) degli scenari di controllo rispetto al dato osservato, ii) adottare le variabili fornite da più GCM, ove forniscano le precipitazioni nivali, per ridurre il divario fra proiezioni differenti e iii) studiare altri scenari, o *storyline* fornite dall'IPCC (A1B, B2, ecc...) oltre alla *storyline* A2 qui utilizzata, per evidenziare la sensibilità delle stime di precipitazioni ai potenziali scenari futuri di emissione dei gas di serra (GHG).

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo i vari centri regionali che hanno fornito i dati nivali relativi ai loro data base. In particolare Regione Lombardia, Regione Piemonte, Provincia Autonoma di Trento, Provincia Autonoma di Bolzano, ARPA Piemonte, ARPA Veneto, ARPA Lombardia, il Centro Valanghe di Arabba e AINEVA.

Ringraziamo inoltre il *National Center for Atmospheric Research*, NCAR, l'*Hadley Centre for Climate Prediction*, e l'IPCC per aver reso disponibili i dati dei GCM. Ringraziamo il Dott. Gary Strand di NCAR-CCR, per l'aiuto fornito per l'utilizzo dei dati CCSM3.

Il presente studio è stato sostenuto dai progetti IDRO-STELVIO e I-CARE.

Bibliografia

Bardossy, A. (1997). Downscaling from GCMs to Local Climate through Stochastic Linkages, Journal of Environmental Management, 49, 7–17.

Barontini, S. Grossi, G., Kouwen, N., Maran, S., Scaroni, P. and Ranzi, R (2009). Impacts of climate change scenarios on runoff regimes in the southern Alps, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 6, 3089–3141, www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/6/3089/2009/

Barry, R. G.(1992c). Mountain Climatology and Past and Potential Future Climatic Changes in Mountain Regions: A Review, Mountain Research and Development, 12, 71–86.

Bates, B. C., Charles, S. P. and Hughes, J. P. (1998). Stochastic downscaling of numerical climate model simulations, Environmental Modelling & Software, 13, 325–331.

Bavay, M., Lehning, M., Jonas, T., Löwe, H. (2009). Simulations of future snow cover and discharge in Alpine headwater catchments, Hydrol. Process., 23, 95-108.

Beniston, M. (1997) Variations of snow depth and duration in the Swiss Alps over the last 50 years: links to changes in large-scale climatic forcings. Clim Change 36,281–300.

Beniston, M., Keller, F., Goyette, S. (2003). Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: an empirical approach for climate impacts studies, Theor. Appl. Climatol., 74, 19-31.

Beniston, M. (2004). The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations, Geophysical Research Letters, 31, L02202, doi:10.1029/2003GL018857.

Begert, M., Schlegel, T., Kichhofer, W. (2005). Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000, Int. J. Climatol., 25, 65-80.

Bocchiola D., Medagliani M., Rosso R. (2006). Regional snow depth frequency curves for avalanche hazard mapping in central Italian Alps, Cold Regions Science and Technology, 46, 3, 204-221.

Bocchiola, D., Rosso, R. (2007). The distribution of daily Snow Water Equivalent in the Central Italian Alps, Advances in Water Resources, 30, 135–147.

Bocchiola, D., Medagliani, M., Rosso, R. (2009). Use of a regional approach for long term simulation of snow avalanche regime: a case study in the Italian Alps, Arctic Antarctic and Alpine Research, 41, 3, 285-300.

Bocchiola, D., Diolaiuti, G. (2009). Evidence of climatic trends in the Adamello glacier of Italy, Theor. App. Climat., 100, 3-4, 351-369, 2010, doi: 10.1007/s00704-009-0186-x.

Bocchiola, D. (2010). Regional estimation of Snow Water Equivalent using Kriging: a preliminary study within the Italian Alps, Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, GFDQ, 33, 3-14.

Bocchiola, D., Groppelli, B. (2010). Spatial estimation of Snow Water Equivalent at different dates within the Adamello Park of Italy, Cold Reg. Sci. Technol. (2010), 63(3), 97-109.

Bocchiola, D., Mihalcea, C., Diolaiuti, G., Mosconi, B., Smiraglia, C., Rosso, R. (2010). Flow prediction in high altitude ungauged catchments: a case study in the Italian Alps (Pantano Basin, Adamello Group), Advances in Water Resources, 33, 1224-1234.

Boroneant, C., Plaut, G., Giorgi, F., Bi, X. (2006). Extreme precipitation over the Maritime Alps and associated weather regimes simulated by a regional climate model: Present-day and future climate scenarios, Theoretical and Applied Climatology, 86, 1-4 , 81-99, doi: 10.1007/s00704-005-0211-7.

Bultot, F. Gellens, F., Spreafico, M. and Schadler, B. (1992). Ripercussions of a C02 doubling on the water balance: a case study in Switzerland, J. Hydrol., 137, 199-208

Cannone, N., Sgorbati, S., Guglielmin, M. (2007). Unexpected impacts of climate change on alpine vegetation. Front Ecol Environ, 5, (7), 360–364.

Cannone N, Diolaiuti G, Guglielmin M, Smiraglia C (2008) Accelerating climate change impacts on alpine glacier forefield ecosystems in the European Alps. Ecol. Appl. 18(3), 637 - 648.

Citterio, M., Diolaiuti, G., Smiraglia, C., D'agata, C., Carnielli, T., Stella, G. and Siletto, G.B. (2007). The fluctuations of Italian glaciers during the last century: a contribution to knowledge about Alpine glacier changes, Geografiska Annaler, 89, A3, 164-182.

De Michele, C., Rosso, R. (2002). A multi-level approach to flood frequency regionalization, HESS, 6(2), 185-194.

Diaz, H. F., Bradley, R.S. (1997). Temperature variations during the last century at high elevation sites, Clim. Change, 36, 253-279.

Diolaiuti, G., Maragno, D., D'Agata, C., Smiraglia, C., Bocchiola, D. (2011). A contribution to the knowledge of the last fifty years of Alpine glacier history: the 1954-2003 area and geometry changes of Dosdè Piazzi glaciers (Lombardy-Alps, Italy), Progress in Physical Geography, 35(2), 161-182.

Diolaiuti G., Smiraglia C., Pelfini M., Belo M., Pavan M., Vassena G. (2006). The recent evolution of an Alpine glacier used for Summer skiing (Vedretta Piana, Stelvio Pass, Italy), Cold Regions Science and Technology, 44, 206-216.

Diolaiuti, G., Maragno, D., D'Agata, C., Smiraglia, C., Bocchiola, D. (2011). A contribution to the knowledge of the last fifty years of Alpine glacier history: the 1954-2003 area and geometry changes of Dosdè Piazzi glaciers (Lombardy-Alps, Italy), Progress in Physical Geography, 35(2), 161-182.

Diolaiuti, G., Bocchiola, D., D'agata, C., Smiraglia, C. (in revisione). Evidence of climate change impact upon glaciers' recession within the Italian alps: the case of Lombardy glaciers, Theoretical and Applied Climatology, April 2011, in revisione.

Drogue, G., Pfister, L., Leviandier, T., El Idrissi, A., Ifflya, J.F., Matgen, P. Humbert, J. and Hoffmann, L. (2004). Simulating the spatio-temporal variability of streamflow response to climate change scenarios in a mesoscale basin, J. Hydrol., 293, 255–269.

Egli, L., Jonas, T., Meister, R. (2009). Comparison of different automatic methods for estimating snow water equivalent, Cold Regions Science and Technology, 57, 2-3, 107-115.

Faggian, P. and Giorgi, F. (2009). An analysis of global model projections over Italy, with particular attention to the Italian Greater Alpine Region (GAR), Climatic Change, DOI 10.1007/s10584-009-9584-4.

Gangopadhyay, S., Clark, M. (2005). Statistical downscaling using K-nearest neighbors, Water Resour. Res., 41, w02024, doi:10.1029/2004wr003444.

Gottfried, M., Pauli, H., Reiter, K., Grabherr, G. (1999). A fine scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate warming, Diversity and Distributions, 5, 241-252.

Groppelli, B., Bocchiola, D., Rosso, R. (2010). Precipitation downscaling using random cascades: a case study in Italy, Advances in Geosciences, 8, 1-6.

Groppelli, B., Bocchiola, D., Rosso, R. (2011a). Spatial downscaling of precipitation from GCMs for climate change projections using random cascades: A case study in Italy, Water Resour. Res., 47, W03519, doi:10.1029/2010WR009437, IF 2009: 2.45, ISI, SCOPUS.

Groppelli, B., Soncini, A., Bocchiola, D., Rosso, R. (2011b).Scenari futuri di risorsa idrica nei bacini Alpini: Il caso del fiume Oglio, L'ACQUA, 1, 9-24.

Hagg, W. and Braun, L. (2005). The influence of glacier retreat on water yield from high mountain areas: comparison of Alps and central Asia, In: Climate and Hydrology of Mountain Areas, 18, 263-275, Ed.: De Jong, C., Collins, D., Ranzi, R., Wiley and Sons, England.

Hagg, W., Braun , L.N., Kuhn , M. and Nesgaard, T.I. (2007). Modelling of hydrological response to climate change in glacierized Central Asian catchments, J. Hydrol., 332,40-53.

Hock, R. (2005). Glacier melt a review of processes and their modelling, Progress in Physical Geography, 29, 362–391.

Kang, B. and Ramírez, J. A. (2007). Response of Streamflow to Weather Variability under Climate Change in the Colorado Rockies, J. Hydrol. Eng., 12, 1, 63-72.

Keller, F. Goyette, S., Beniston, M. (2005). Sensitivity analysis of snow cover to climate change scenarios and their impact on plant habitats in Alpine terrain, Climatic Change, 72, 3, 299-319.

Jiang T., Su B., Hartmann H. (2007). Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, 1961–2000, Geomorphology, 85, 143–154.

Juen I., Kaser G., Georges C. (2007). Modelling observed and future runoff from a glacierized tropical catchment (Cordillera Blanca, Perú), Global and Planetary Change 59, 37–48.

Lammering, B. and Dwyer, I. (2000). Improvement of water balance in land surface schemes by random cascade disaggregation of rainfall, Int. J. Climatol., 20, 681–695

Laternser M, Schneebeli M (2003) Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). Int J Climatol 23:733–750.

Lehning, M., Bartelt , P., Brown, B., Fierz, C. (2002). A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation, Cold Regions Science and Technology, 35, 169–184.

Maragno, D., Diolaiuti, G., D'agata, C., Mihalcea, C., Bocchiola, D., Bianchi Janetti, E., Riccardi, A., Smiraglia, C. (2009). New evidence from Italy (Adamello Group, Lombardy) for analysing the ongoing decline of Alpine glaciers, Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, GFDQ, 32, 31-39.

McGlynn, B.L., McDonnell, J.J., Shanleyb, J.B. and Kendall, C. (1999). Riparian zone flowpath dynamics during snow melt in a small headwater catchment, J. of Hydrol. 222, 75-92.

Medagliani, M., Garavaglia, S., Bocchiola, D., Rosso, R. (2007). Il bilancio idrologico dei bacini a forte contributo nivale [Hydrological balance of snow fed watersheds: the case of Mallero river], L'ACQUA, N.3, 9-20, 2007, In Italian with abstract in English. Reprints available upon request

Ohlendorf, C., Niessenn, F., Weissert, H. (1997). Glacial Varve thickness and 127 years of instrumental climate data: a comparison. Clim. Change, 36, 391-411.

Peel, M. C., Finlayson, B. L. and McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrology and Earth System Sciences, 11, 1633-1644.

Tews, J., Ferguson M.A. D., Fahrig, L. (2007). Potential net effects of climate change on High Arctic Peary caribou: Lessons from a spatially explicit simulation model, ecological modelling, 207, 85-98.

Theurillat, J. P., Guisan A. (2001). Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: A review, Climatic Change, 50, 77-109.

Yue, S., Wang, C. Y. (2002). Applicability of pre-whitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test, Wat. Resour. Res., 38, 6, 1068, 10.1029/2001WR000861.

Cuscinetto per la misura della densità della neve

SNOW PILLOW

Paolo Valgoi
A2A - Impianti Idroelettrici
Grosio (SO)

Nel corso dell'estate 2008, nell'ambito di una serie di approfondimenti tecnici-scientifici sulla quantità e sulla distribuzione spaziale delle precipitazioni meteoriche, A2A ha ultimato i lavori di installazione di alcune innovative stazioni meteorologiche automatiche sui propri siti impiantistici in Valtellina, in località Eita, Malghera, Val Cancano.

Scopo delle installazioni è quello di acquisire, oltre alle classiche misure di temperatura, pioggia ed altezza neve anche alcune informazioni aggiuntive sulla densità del manto nevoso e sulla distribuzione della temperatura al suo interno.

Obbiettivo del presente documento è specificatamente quello di illustrare caratteristiche e funzionamento del cuscinetto per la misura della densità della neve (SNOW PILLOW).

Dall'alto in basso, fig. 1 e 2

DESCRIZIONE

Il sistema apparentemente semplice ma tecnologicamente innovativo, già diffuso negli Stati Uniti e ancora in fase di sperimentazione in Italia, consente di acquisire il peso del manto nevoso mediante la misura della sua pressione idrostatica. Il peso esercitato da uno strato di neve depositato su un tappettino plastico dello spessore di pochi mm ma di notevole estensione superficiale (fino a 10 m^2), riempito di un fluido costituito da una miscela di acqua ed antigelo, induce una variazione della pressione del fluido medesimo, misurabile mediante un trasduttore di pressione ad alta risoluzione. Il sensore è connesso al sistema di acquisizione dati/data logger che converte la misura nel corrispondente al "contenuto d'acqua equivalente" (SWE) della copertura nevosa. Tale misura, implementata poi dalla misura del nivometro ad ultrasuoni per il rilievo dell'altezza della neve, permette di risalire alla densità media del manto nevoso e quindi si propone, a livello sperimentale, di fornire una serie di informazioni puntuali idrologiche, opportunamente integrate dalla misura termometrica a diverse quote del manto nevoso, utili a capire la consistenza della neve e quindi la previsione sulla sua trasformazione in acqua. Lo snow pillow viene posizionato o direttamente su un letto di sabbia oppure su una platea in calcestruzzo munita di cordoli di contenimento laterali. Le grandi dimensioni del "cuscino" minimizzano l'effetto della formazione di cavità "ad arco" all'interno del manto nevoso. Il cavo del sensore piezometrico integra al suo interno un tubicino che permette di compensare le variazioni della pressione atmosferica, prevenendo così errori nella misura. L'anticongelante utilizzato è biodegradabile di tipo permanente a base di glicole propilenico e si distingue per l'assenza nel suo pacchetto inibitore di ammine, nitriti e fosfati. Ovviamente, essendo il contenuto d'acqua equivalente SWE una misura puntuale, la scelta del luogo di installazione dello snow pillow è di primaria importanza al fine di ottenere dati che rappresentino al meglio le caratteristiche dell'area in studio; sarebbe inoltre opportuno schermare

Fig. 3

la zona dalle raffiche di vento per evitare sovrastime/sottostime dovute alla neve ventata. Un ulteriore problema potrebbe essere rappresentato dalle precipitazioni piovose, che inducono una sovrastima al calcolo del SWE, dovuta al peso dell'acqua. Per evitare ciò, si dovrebbe circondare lo snow pillow con uno strato di materiale drenante (sabbia o materiale affine), al fine di allontanare nel più breve tempo possibile l'acqua che ruscella sullo stesso.

CARATTERISTICHE TECNICHE

Gli snow pillow installati da A2A rispondono alle seguenti caratteristiche tecniche:

- Range di misura: 0 ÷ 2500 mm di colonna d'acqua
- Risoluzione: 1 mm
- Precisione: 25 % F.S.
- Principio di misura: sensore piezoresistivo
- Interfaccia analogica: 4-20 mA; max carico 500 ohm
- Alimentazione: 9-33 VDC; consumo max 20 mA
- Temperatura operativa: -30 ÷ +60 °C
- Dimensione: 3 x 3 x 0,1 m (L x L x H)
- Protezione: IP68
- Installazione: posato su un letto di sabbia o su una struttura in calcestruzzo ben lisciata e con sponde laterali di contenimento

Le installazioni strumentali, le configurazioni e la trasmissione dei dati è stata effettuata per A2A a cura della società Hortus S.r.l. di Legnano.

L'alimentazione elettrica al sistema è garantita da un pannello fotovoltaico da 65 W completo di sistema orientabile a palo e regolatore di carica.

La trasmissione dati dalle stazioni di monitoraggio avviene con tecnologia GSM/GPRS. Il sistema è basato su un apparato GSM in grado di trasferire i dati acquisiti dalla stazione ad una piattaforma FTP sulla base di intervalli temporali configurabili.

I file trasferiti in formato binario, vengono successivamente interpretati da un post-processore necessario per riorganizzare le informazioni rilevate dai data-logger in file in formato CSV, direttamente accessibili all'utente. Gli snow pillow installati presso le stazioni meteorologiche A2A sono abbinati a termometro aria, igrometro, pluviometro totalizzatore a corda vibrante, nivometro ad ultrasuoni e colonna termometrica a cinque sensori nel manto nevoso.

Nella tabella 1 sono riportati modello e costruttore dei singoli sensori.

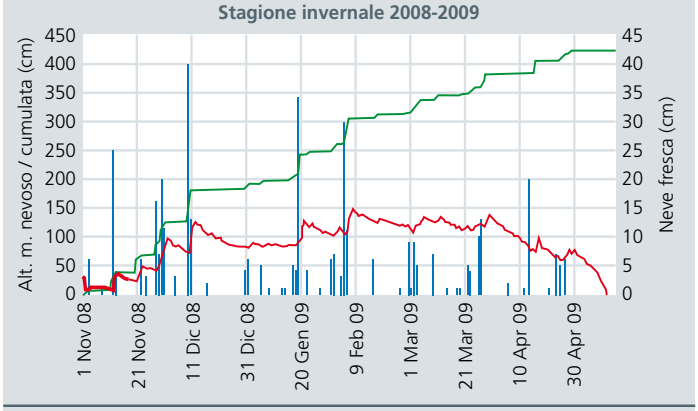
GRANDEZZA MISURATA	STRUMENTO		
	Tipo strumento	Costruttore	Modello
Pioggia (mm)	Pluviometro 1000 cm²	GEONOR	T200B
Temperatura atm (°C)	Termoigrometro	LSI-Lastem S.p.A.	DMA 575
Umidità (%)			
Temperatura neve (°C)	Termometro	Campbell Scientific	107
Altezza neve (cm)	Sensore a ultrasuoni	VEGA	VEGASON 61
Densità neve (kg/m³)	Trasduttore pressione	STS	ATM/N

© AINEVA

Sopra da sinistra, fig. 5 e 4

A lato, da sinistra, fig. 6, 7 e 8

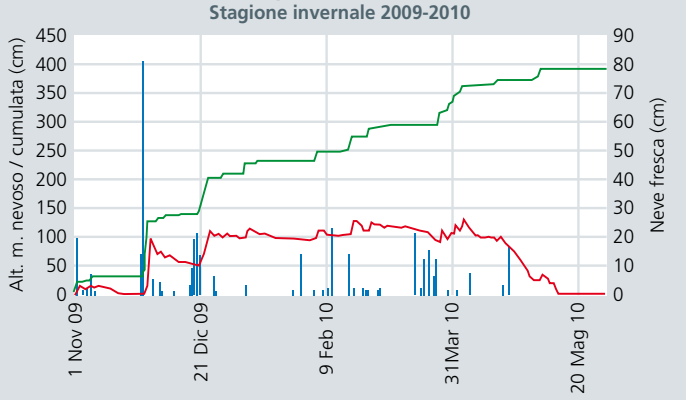
STAZIONE METEOROLOGICA VALCANCANO
Precipitazioni nevose
Stagione invernale 2008-2009



Neve fresca (cm) — Cumulata neve fresca (cm)
Altezza media manto nevoso (cm) — Altezza neve ore 00 (cm)

© AINEVA

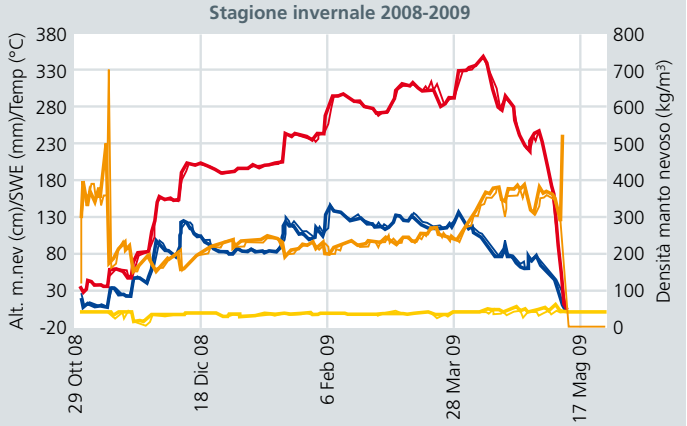
STAZIONE METEOROLOGICA VALCANCANO
Precipitazioni nevose
Stagione invernale 2009-2010



Neve fresca (cm) — Cumulata neve fresca (cm)
Altezza media manto nevoso (cm) — Altezza neve ore 00 (cm)

© AINEVA

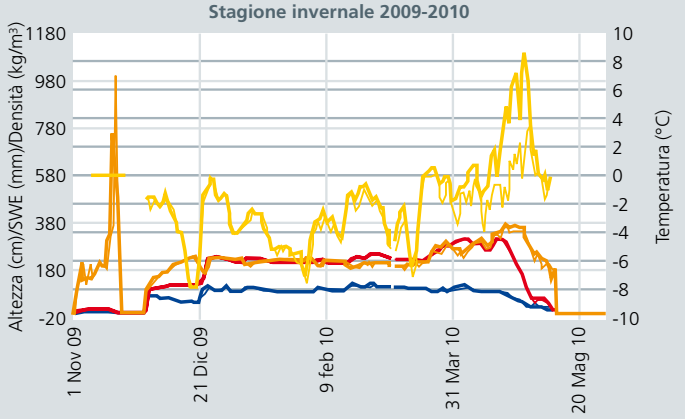
STAZIONE METEOROLOGICA VALCANCANO
Dati manto nevoso
Stagione invernale 2008-2009



Altezza manto nevoso ore 00 (cm)
SWE ore 00 (mm)
Temperatura media manto nevoso ore 00 (°C)
Densità manto nevoso ore 00 (kg/m³)
Altezza media giornaliera manto nevoso (cm)
SWE medio giornaliero (mm)
Temperatura media giornaliera manto nevoso (°C)
Densità media giornaliera manto nevoso (kg/m³)

© AINEVA

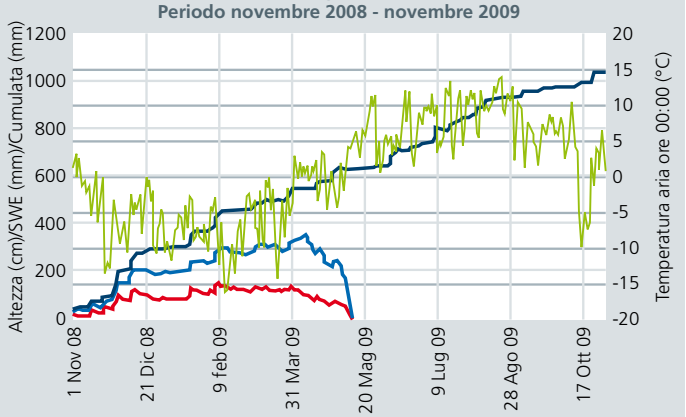
STAZIONE METEOROLOGICA VALCANCANO
Dati manto nevoso
Stagione invernale 2009-2010



Altezza manto nevoso ore 00 (cm)
SWE ore 00 (mm)
Temperatura media manto nevoso ore 00 (°C)
Densità manto nevoso ore 00 (kg/m³)
Altezza media giornaliera manto nevoso (cm)
SWE medio giornaliero (mm)
Temperatura media giornaliera manto nevoso (°C)
Densità media giornaliera manto nevoso (kg/m³)

© AINEVA

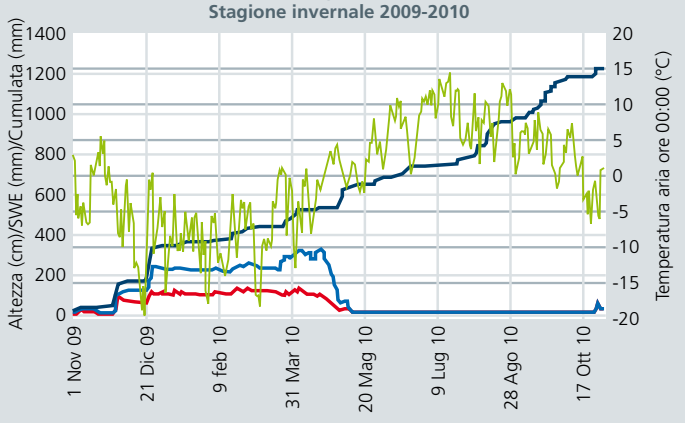
STAZIONE METEOROLOGICA VALCANCANO
Riepilogo misure
Periodo novembre 2008 - novembre 2009



Altezza manto nevoso (cm) — Cumulata misura pluviometrica (mm)
SWE ore 00:00 (mm) — Temperatura aria ore 00:00 (°C)

© AINEVA

STAZIONE METEOROLOGICA VALCANCANO
Riepilogo misure
Stagione invernale 2009-2010



Altezza manto nevoso (cm) — Cumulata misura pluviometrica (mm)
SWE ore 00:00 (mm) — Temperatura aria ore 00:00 (°C)

© AINEVA

PRIMI RISULTATI ACQUISITI

Nella pagina a lato (52) si riportano, a titolo di esempio e di confronto, i dati acquisiti presso la stazione meteorologica in Valcancano relativi alle stagioni invernali 2008-2009 e 2009-2010.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E SVILUPPI FUTURI

I grafici evidenziano il contributo dello snow pillow nell'acquisizione di quei parametri necessari per conoscere l'accumulo nevoso in termini di contenuto d'acqua equivalente (SWE) e densità.

Le due stagioni analizzate, simili dal punto di vista idrologico nel sito in oggetto, hanno rappresentato un importante test di validazione di quanto misurato con lo snow pillow.

A fronte di spessori medi del manto nevoso pari a circa 150 cm, in entrambe le stagioni analizzate il contributo d'acqua equivalente raggiunge picchi pari a circa 350 mm nel corso del mese di aprile; parallelamente la densità della neve assume valori massimi pari a circa 380 Kg/m^3. A seguito di tali picchi, il successivo riscaldamento primaverile, percepibile anche dal rilievo della temperatura media del manto nevoso, comporta lo scioglimento dello stesso ed il repentino azzeramento dei parametri controllati.

L'apparecchiatura e la strumentazione installata così come il sistema di alimentazione e trasmissione dati si sono dimostrati affidabili e le misure acquisite sono fondamentalmente di ottima qualità.

Necessita approfondire ed indagare altre tipologie di cuscinetti (metallici o simili) in quanto in siti ove vi è presenza di roditori (esempio marmotte), la struttura plastica utilizzata per lo snow pillow si è dimostrata essere facilmente attaccabile dagli stessi. In Italia sono ancora a livello sperimentale ma già all'estero vi sono installazioni di **cuscinetti metallici** attivi dalla metà degli anni '80 e solitamente equipaggiati con più snow pillow in serie di piccole dimensioni (cfr. fotografia allegata).

Fig. 15

Si evidenzia infine come esiste anche la **tecnologia dei sensori a raggi gamma**, oggi disponibili solo a prezzi molto elevati. La misura dell'indice SWE si ottiene monitorando i raggi gamma che vengono naturalmente emessi dal terreno. Un apposito spettrometro misura le radiazioni emesse da due elementi molto abbondanti in tutti i tipi di terreno: il potassio, nel suo isotopo 40, (^{40}K) e il tallio con l'isotopo 208, (^{208}Tl). Normalmente il potassio ^{40}K emette 1,46 MeV (megaelettronvolt), mentre il tallio ^{208}Tl emette 2,163 MeV. Quando la neve si accumula, il sensore misura un decremento della normale radiazione: maggiore è il contenuto d'acqua nella neve, maggiore sarà l'attenuazione delle radiazioni gamma.

Questo tipo di sensore presenta alcuni aspetti favorevoli:

- è un sensore senza contatto: si monta semplicemente al di sopra della superficie su cui si vuole effettuare la misura avendo l'accortezza di posizionarlo al di sopra della massima altezza di neve prevista;
- le sue performance non sono influenzate dalle condizioni meteo avverse;
- l'area di misura può essere molto vasta: si raggiungono coperture sino a 100 m^2, quando il sensore è montato a circa 3 metri di altezza;
- è efficace con qualsiasi tipo di copertura nivale (neve fresca, neve ghiacciata, ghiaccio).

Ma sono da tenere opportunamente in conto anche alcuni accorgimenti pratici di installazione e controllo:

- evitarne l'utilizzo in una zona ove nell'immediato intorno c'è presenza di legno. Il legno emette cioè radiazioni che andrebbero a falsare quelle rilevate dallo strumento;
- l'umidità del terreno dovrebbe essere il più possibile costante per non introdurre errori nelle misure e quindi particolare attenzione va posta nella scelta del sito;
- per calibrare il sensore in sito è opportuno montarlo quando ancora il terreno è sgombro da neve al fine di identificare il riferimento per tutte le misurazioni successive;
- l'alimentazione al sensore deve essere continua;
- il sensore va periodicamente ricalibrato.

Nell'altra pagina, partendo dall'angolo in alto a sinistra, in senso antiorario: fig. 9, 10, 11, 12, 13 e 14

L'Istituto SLF ha un nuovo responsabile

La direzione del WSL ha nominato Jürg Schweizer, che subentra al Dott. Jakob Rhyner , capo dell'SLF e dell'unità di ricerca "Avviso e prevenzione". Con questa scelta, il comitato direttivo ha puntato su uno dei più famosi ricercatori a livello mondiale nel campo "neve e valanghe". Nel suo palmarès non c'è solo la pluriennale attività di ricerca, ma anche l'insegnamento nel settore dei Politecnici Federali e la formazione dei responsabili della sicurezza nonché la guida del pool di periti dell'SLF che si occupa di incidenti da valanga. Jürg Schweizer lavora nell'SLF rispettivamente nel WSL già da 21 anni: dal 2006 guida inoltre il gruppo di ricerca "Origine dei pericoli naturali alpini" e ad interim, dal 1° marzo 2011, l'unità di ricerca "Avviso e prevenzione". Jürg Schweizer assumerà la sua nuova funzione il 1° maggio 2011, sostituendo Jakob Rhyner, che lascerà l'istituto alla metà di maggio 2011 perché nominato vice-rettore europeo dell'Università delle Nazioni Unite UNU e direttore dell'istituto UNU per l'ambiente e la sicurezza umana di Bonn. Jakob Rhyner ha contribuito in modo determinante ad accelerare la ricerca dell'SLF nel settore dei pericoli naturali, consolidando ulteriormente la posizione dell'SLF in questo settore con servizi come p.es. la Piattaforma unica per i pericoli naturali (GIN). Ha sempre incentivato la collaborazione con altri uffici tecnici che si occupano di pericoli naturali, con i cantoni, con il mondo industriale e scientifico, con l'unico obiettivo di migliorare la protezione della popolazione dai pericoli naturali.

Contatto:
Reinhard Lässig
Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio WSL
responsabile Comunicazione
reinhard.laessig@wsl.ch
Tel. 044 739 23 89

Julia Wessels
WSL Istituto per lo studio della neve e delle valanghe SLF
responsabile Comunicazione
Flüelastrasse 11

Continua la collaborazione tra il Soccorso Alpino della Guardia di Finanza e l'AINEVA per lo svolgimento di attività comuni nel settore della prevenzione del pericolo di valanga

La convenzione sottoscritta dall'AINEVA e dal Soccorso Alpino della Guardia di Finanza il 15 marzo 2006 ha consentito una proficua collaborazione nel settore della prevenzione del pericolo da valanga. Molte stazioni del Soccorso Alpino della Guardia di Finanza operanti sul territorio hanno fornito un prezioso supporto alle Regioni e Province Autonome associate in AINEVA mettendo a disposizione degli Uffici valanghe personale ed attrezzature per l'effettuazione di rilievi specialistici sulle condizioni nivometeorologiche e sulla stabilità del manto nevoso. Tale attività ha garantito un significativo potenziamento delle reti di monitoraggio degli uffici valanghe afferenti ad AINEVA. Al contempo, la Guardia di Finanza si è avvalsa delle competenze e dell'esperienza di AINEVA sulle tematiche connesse alla neve e alle valanghe per la formazione, l'aggiornamento e la specializzazione del proprio personale. L'aggiornamento dei tecnici del SAGF e la preparazione degli allievi finanzieri si è svolta nell'ambito dei tradizionali corsi AINEVA o attraverso iniziative straordinarie di formazione supportate dalla Scuola Alpina della Guardia di Finanza di Predazzo e dalla Stazione SAGF di Passo Rolle (Caserma Colbricon). Notevole è stato lo sforzo profuso da AINEVA per garantire agli allievi, come sempre, un ottimo livello di preparazione teorica e pratica. Le esercitazioni sul campo, oltre alla normale esecuzione delle prove stratigrafiche sul manto nevoso, si sono estese alla stima della pericolosità degli itinerari (al fine di una percorrenza in sicurezza e della prevenzione degli incidenti in valanga) e alla valutazione in loco della stabilità del manto nevoso sui singoli pendii ritenuti pericolosi. La Caserma Colbricon si è rivelata, per lo svolgimento dei corsi, logisticamente perfetta, garantendo alloggio confortevole e spazi per la didattica propriamente attrezzati, mentre l'incomparabile ambiente di Passo Rolle ha assicurato condizioni d'innevamento ideali e una varietà di morfologie e scenari utili ad una approfondita e completa formazione degli allievi. Dal 2006 (firma della convenzione) ad oggi, ben 108 militari hanno seguito i corsi 2a AINEVA e 76 hanno conseguito la qualifica di "Osservatore Nivologico".

dott. Igor Chiambretti
Responsabile Tecnico di AINEVA

Il nuovo volumetto di meteorologia alpina edito da AINEVA

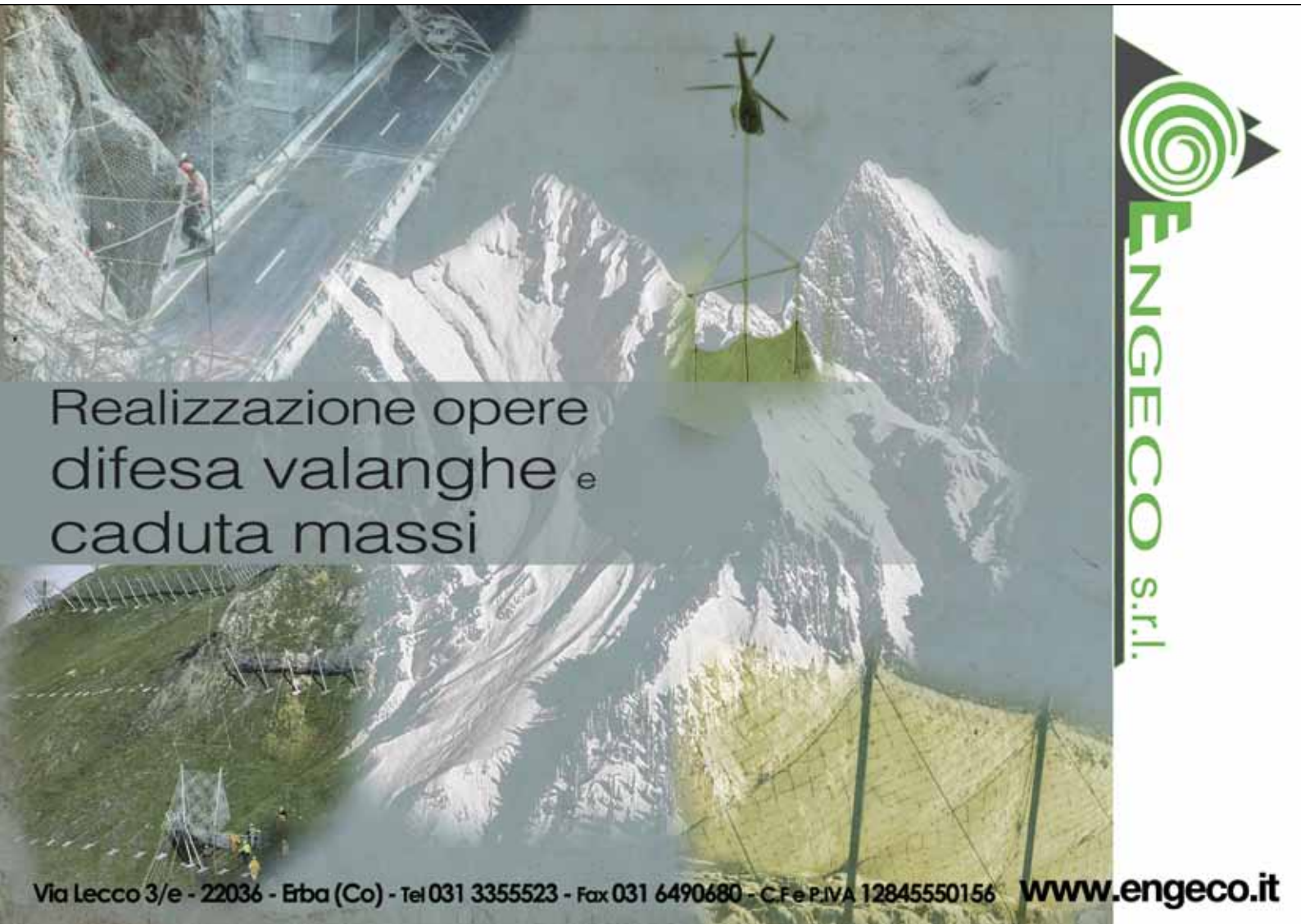
Nell'ambito delle azioni che AINEVA attua per promuovere la conoscenza dei fenomeni che caratterizzano l'ambiente montano invernale, l'Associazione propone al pubblico l'opera "Meteorologia alpina" per introdurre i lettori ai fondamenti e alle principali nozioni dei fenomeni meteo-nivologici, attraverso un taglio volutamente divulgativo, pur mantenendo il necessario rigore scientifico.

Da quando l'uomo frequenta le montagne, il tempo atmosferico ne ha condizionato la vita, le attività economiche ed i momenti di svago. Negli ultimi anni molti degli incidenti verificatisi in montagna sono riconducibili, direttamente o indirettamente, a situazioni di pericolo determinate dalle condizioni meteorologiche.

In questo volume, sottolineando l'influenza diretta del tempo atmosferico sulla neve e sull'evoluzione del manto nevoso al suolo, nonché su tutte le attività svolte sul territorio a titolo lavorativo o turistico-ricreativo, AINEVA ha cercato di tradurre il motto "sicurezza nella conoscenza", con l'auspicio di riuscire a trasmettere a tutti i lettori non solo strumenti di valutazione per la sicurezza, ma soprattutto il profondo amore per la montagna che guida il proprio lavoro. Un sentito ringraziamento va quindi al dott. Stefano Micheletti coordinatore del progetto e coautore del volume assieme ai meteorologi dott. Gianni Marigo e dott.ssa Renata Pelosini, per l'ottimo lavoro svolto, perché con la loro professionalità e sensibilità hanno saputo tradurre in un documento accessibile alla diversificata utenza, a prescindere dalle conoscenze tecnico-scientifiche, informazioni essenziali per saper interpretare correttamente le informazioni contenute nei bollettini meteorologici sia sintetici che analitici che, in forma diversa, vengono quotidianamente divulgate.

L'opuscolo è distribuito gratuitamente dall'AINEVA e può essere richiesto inviando euro 2,00 in francobolli, per le sole spese postali, al seguente indirizzo: AINEVA Vicolo dell'Adige 18 38122 TRENTO

dott. Francesco Sommavilla
Coordinatore del Comitato Tecnico Direttivo



ABSTRACT

Avalanche danger scale validation: analysis of data from MeteoTrentino

C. Franzolina, E. Rettorea, G. Tognoni, P. Tosi

In the last ten years, the average annual number of avalanche casualties has been constantly diminishing, thanks mainly to the improvement of rescue methods and self-rescue. However, an increase in the number of accidents was observed (Valt 2009), and that despite the greater amount of information available to mountain hikers and generally improved knowledge of avalanche phenomena. Therefore the problem arises to understand why, despite all the instruments currently available, accidents keep rising, and how the various bodies in charge can intervene to solve the problem. An interesting aspect to be verified is that of the reliability of the avalanche danger scale diffused by snow and weather stations in determining the likelihood of skitourists triggering an avalanche. In the second place, it is no less important to be able to gather information about the behaviour of hikers according to the hazard degree issued. The danger scale local snow and weather stations issue several times a week is an essential element - though not exclusive -available to mountaineers for planning their trips. The danger scale sums up in a five-degree scale the great amount of information stations gather about mountain conditions and weather, and their recent evolution, implicitly assigning a weight to each of the factors considered.

N.A.T.L.E.F.S. An effective collaboration between the avalanche warning service of the autonomous province of Bolzano and the Alpine guide association of Alto Adige

F. Gheser

N.A.T.L.E.F.S. is a project resulting from collaboration between the avalanche warning service of the autonomous province of Bolzano and the Alpine guide association of Alto Adige. This was made possible thanks to active collaboration from Alpine guides, creating a sort of itinerant monitoring and observation network. The particular thing is that Alpine guides offer their contribution while making their work, that is, whenever they accompany clients in winter trips. There are seven remarks, like the letters that make up the acronym NATLEFS. These are in fact the initials of seven words in German language that indicate parameters that are as easily measurable when hiking as they are important for the avalanche prevention service. Such information complete the framework of data available to the avalanche warning service for the assessment of snowcover stability and the issue of avalanche bulletins. Remarks are then transmitted via SMS to a dedicated server whose task is to manage messages according to the various procedures that follow reception. Though being still in its embryonic stage and used for the first time in a whole winter season, the project has however proved to have excellent basic features and good management flexibility, allowing for it to be further modified in future based on experiences.

Avalanche accidents: slopes and typical snow layers, times for finding buried people

M. Valt

In Italy figures on avalanche accidents are gathered by several rescue and prevention organisations. The most exhaustive databank is that provided by AINEVA, which gathers all data from avalanche accidents considered from 1984 to 2011. The study of characteristics and dynamics of avalanche accidents and their evolution in the last decades allows experts to get important information for the sake of prevention and safety.

In the last 10 years, an increase in the number of accidents has been observed in early winter and mainly at the altitude range between 2,400 and 2,700 m asl,

especially in eastern Alps. The presence of hidden surface hoar layers often triggers avalanches both in northward and eastern and south-eastern slopes. As for south-eastern facing slopes, where a fairly high number of accidents are observed, the depth of avalanches triggered is lower than that of avalanches occurring on the other slopes.

Last but not least, as far as survival of buried people is concerned, the average time for recovering people alive by fellow hikers amounts to around 10 minutes, while average times for organized rescue teams to intervene amount to 62 minutes. In general, looking at the figures referring to the 2005- 2011 period, it is possible to see that survival times of buried people were better in Italian Alps compared with Switzerland and Canada.

Climate variability and avalanche risk in the Ossola Valley

N. Canevarolo, D. Testa, S. Fratianni, F. Acquaotta, S. Terzago
with collaboration of M. Cordola, M. C. Prola

The aim of this work was to analyze the main climate elements - temperature, liquid and solid precipitation - recorded by three weather stations of the Ossola valley (Alpe Cavalli, Alpe Devero and Formazza Vannino), in order to study their climate variability and verify the presence of variations of related indexes with time, through the detection of significant trends.

Climate figures are taken from paper annals, drawn up for the former Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (SIMI) (Italian hydrographic and marigraphic service) and stored at the Arpa Lombardia archives in Milan. The series of data were retrieved and digitalised in electronic sheet and daily temperature and precipitation figures then underwent quality control by using software RClimDex (Zhang e Yang, 2004). Once having found all dishomogeneities, temperature figures were homogenized using the SPLIDHOM method (Mestre et al., 2009). Then figures were aggregated on a monthly, seasonal and annual basis. Mean values were calculated for both the whole observation period and the last 30-year period (1971-2000) as defined by WMO (2007), and the main parameters and climate values were calculated also making use of software AnClim (Stepanek, 2005). The non-parametric Mann–Kendall test (Sneyers 1990; 1992) was used to verify the statistical significance of trends. The study of trends confirms what had already emerged from other works that underline how climate changes have led to a significant temperature rise in the last thirty years (IPCC 2001; 2007). The lack of significant trends for precipitation data is in line with the results attained in other studies on the Alpine range (Beniston, 2000; 2005; Ronchi et al., 2008). Snowcover depth shows a significant decrease, obviously correlated with temperature rises.

The study then focused on the avalanche events taking place in 1985/86 and 2008/09 winter seasons, the two seasons with the heaviest snowfalls of the last 30 years. In the light of this analysis, experts drew up the Map of Probable Avalanche Paths (CLPV) of upper Antrona valley (Antrona Schieranco).

Assessment of future snow precipitation trends in the Italian Alps using general circulation models

A. Soncini, D. Bocchiola

General Circulation Models GCMs are widely adopted tools to achieve future climate projections. However, one needs to assess their accuracy, which is only possible by comparison of GCMs' control runs against past observed data. Here, we investigated the accuracy of two GCMs models delivering snowfall that are included within the IPCC panel's inventory (*HadCM3*, *CCSM3*), by comparison against a comprehensive ground data base (some 400 daily snow gauging stations) located in the Italian Alps, during 1990-2009. GCMs simulations are objectively compared to snowfall volume by means of regionally evaluated statistical indicators. The *CCSM3* model provides slightly better results than the *HadCM3*, possibly in view of its finer computational grid. However, the performance of both models seems rather poor. We evaluated the *Bias*, or systemic error, between models and observations, that can be used as a bulk correction for the GCMs' snowfall simulations, and also for the purpose of future snowfall projection. We then carried out a stationarity analysis via linear regression and Mann Kendall tests upon the observed and simulated snowfall volumes for the control run period. We then used the properly Bias adjusted GCMs output for future snowfall projections from the IPCC-A2 *storyline*. Even when bias adjusted, the two analyzed models provide contrasting results about projected snowfall during the 21st century (until 2099). Our approach provides a first order assessment of the accuracy of GCM models in depicting past and possibly future snowfalls upon the (Italian) Alps, as well as a simple method to correct models' outputs for large scale studies focusing upon future snow conditions.

SNOW- PILLOW
A small pillow for the measurement of snow density

P. Valgoi

Throughout summer 2008, in the frame of several technical-scientific studies about the amount and spatial distribution of precipitation, A2A finished installation works of some innovative automatic weather stations at its dam sites in Valtellina, and specifically in Eita, Malghera, Val Cancano.

The aim of these installations is to gather some additional information about snowcover density and temperature distribution inside it, in addition to the traditional temperature, rain and snow depth measures.

This paper wants to specifically illustrate the characteristics and operation of the pillow for snow density measurement (SNOW PILLOW).

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

CAE
monitoring your world.

SISTEMI E SOLUZIONI PER IL MONITORAGGIO IDROMETEOROLOGICO

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