

# STIMA dell' **EQUIVALENTE** in **ACQUA**

**Esperienza condotta in alcune stazioni  
della montagna veneta mediante l'uso  
del modello SNOWPACK**

**Mauro Valt,  
Anselmo Cagnati,  
Corso Tiziana**  
ARPAV- Centro  
Valanghe di Arabba,  
via Pradat - Arabba, 5  
32020 Livinallongo del  
Col di Lana (BL)  
mvalt@arpa.veneto.it

**Michael Lehning**  
Swiss Federal Institute  
for Snow and  
Avalanche Research,  
Fluelastrasse 11,  
Davos Dorf 7260,  
Switzerland  
Lehning@slf.ch

La risorsa idrica disponibile come neve fusa in primavera (SWE) risulta spesso limitata a causa di inverni poco nevosi.

La determinazione dell'equivalente in acqua della neve (SWE) avviene di norma mediante campagne di rilevamento che determinano, attraverso l'esecuzione di campionamenti verticali, lo SWE del manto nevoso. Le campagne, che si svolgono da gennaio a fine giugno, richiedono un notevole utilizzo di personale con adeguata strumentazione.

Un aiuto nella stima dello SWE può avvenire mediante l'utilizzo del modello SNOWPACK che, con i dati delle stazioni nivometeorologiche automatiche opportunamente configurati, determina il bilancio di massa del manto nevoso durante il susseguirsi della stagione invernale.

Nel bacino del Piave (Dolomiti e Prealpi Venete) sono 5 le stazioni nivometeorologiche gestite dal Centro Valanghe di Arabba (ARPA Veneto), per le quali l'Istituto SLF di Davos fornisce le elaborazioni di SNOWPACK.

Le stazioni di Monti Alti di Ornella (q.2200 m), Col dei Baldi (q.1900 m) e Monte Lisser (q.1428) ben si adattano alla stima dello SWE dell'area in cui sono ubicate. Per queste stazioni sono state verificate, con buoni risultati, le elaborazioni fornite dal modello del manto nevoso SNOWPACK con i valori di SWE derivanti dai campionamenti verticali classici e dati profili stratigrafici del manto nevoso effettuati per il locale Servizio Valanghe.

della

# NEVE



Fig. 1 - Modellizzazione del manto nevoso. Parametri considerati.

Fig. 2 - SNOWPACK. Output mass balance per la stazione di Monti Alti di Ornella. Stagione invernale 2005-2006.

## INTRODUZIONE

Negli ultimi 20 anni il versante meridionale delle Alpi è stato caratterizzato da inverni scarsamente nevosi (Valt e Cagnati, 2003) e anche quando, in alcuni anni recenti, l'innevamento è stato superiore ai valori medi, il bilancio pluviometrico su base

annuale è stato negativo (Valt, 2006; De Giorgio e Coccolo, 2006). In questo contesto climatico ha assunto una grande importanza la conoscenza della disponibilità temporale e spaziale della risorsa idrica derivante dallo scioglimento della neve soprattutto per la regimazione

dei livelli delle dighe in funzione dell'irrigazione e della produzione di energia elettrica.

A livello operativo, la determinazione della risorsa disponibile è attualmente effettuata per bacino mediante una serie di campagne di misura sul territorio che comportano, a scadenze prefissate (normalmente il 1 febbraio, 1 marzo, 1 aprile, 15 aprile, 1 maggio, 15 maggio e 1 giugno), l'effettuazione di misure manuali secondo il metodo convenzionale (carotaggio verticale) dell'equivalente in acqua della neve da parte di operatori specializzati in siti rappresentativi delle diverse fasce altimetriche (Berni e Giancanelli, 1966).

In un ambito più sperimentale, sono stati effettuati molti studi interdisciplinari con lo scopo di monitorare e stimare gli equivalenti in acqua della neve con l'ausilio di tecniche satellitari (Taschner et alii, 2004; Pampaloni et alii); anche queste tecniche richiedono, tuttavia, dei punti di controllo a terra per la verifica e taratura dei dati stimati. I dati utilizzati per le tarature sono di solito gli stessi delle campagne di monitoraggio con tecniche convenzionali, oppure quelli provenienti dai profili stratigrafici realizzati dai servizi valanghe locali. Gli equivalenti in acqua della neve possono essere inoltre stimati mediante l'utilizzo di modelli numerici di evoluzione del manto nevoso al suolo. A livello di arco alpino, uno dei modelli maggiormente utilizzati, specie per le necessità dei servizi valanghe, è SNOWPACK sviluppato dall'Istituto Federale Svizzero per lo studio della neve e delle valanghe (Lehning, 1999, 2001, 2002 [1], 2002 [2], Raderschnall et alii, 2004). Questo modello, fra i diversi output, fornisce anche il valore dell'equivalente in acqua della neve calcolato per singolo

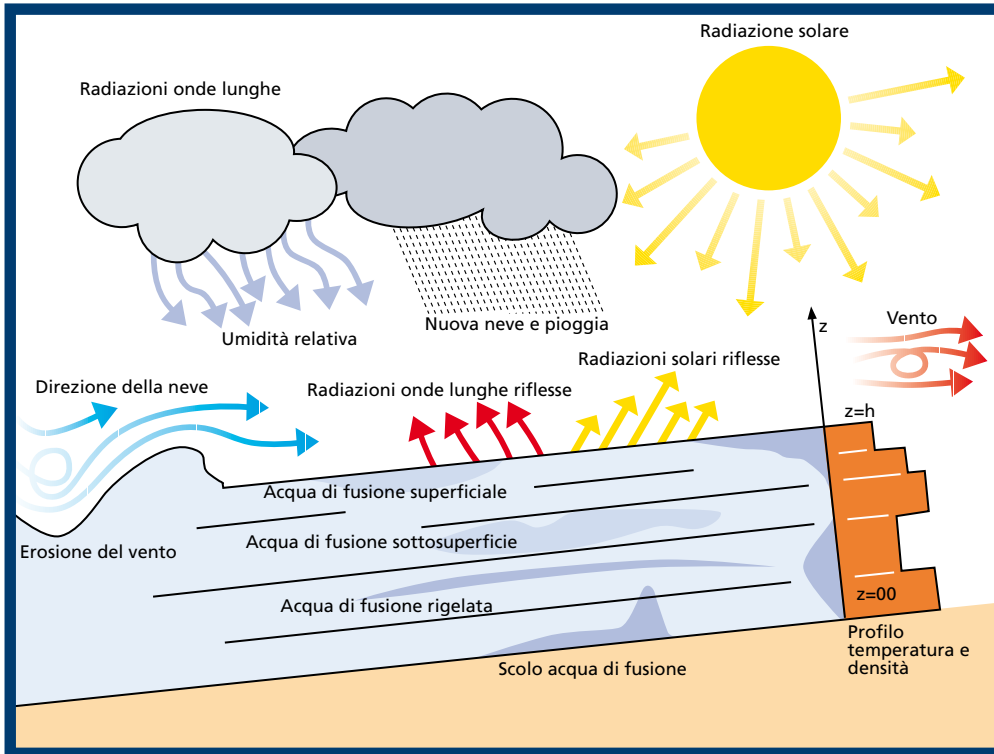


Fig. 1

Fig. 2





sito su cui viene effettuata la simulazione (Lenhing, 2002 [1]). In questo lavoro vengono presentati i risultati delle comparazioni fra le misure di equivalenti in acqua della neve effettuati con il metodo convenzionale e i risultati forniti da SNOWPACK per 3 siti della montagna veneta e nell'arco di 2 stagioni invernali.

## IL MODELLO SNOWPACK

SNOWPACK, nella configurazione utilizzata nel presente studio, è un modello numerico unidimensionale che simula l'evoluzione temporale della struttura del manto nevoso presso un sito dove è installata una stazione nivometeorologica automatica i cui i dati alimentano il modello stesso. Lo scopo del modello è di integrare le informazioni raccolte in tempo reale dalle stazioni con quei dati che i sistemi di monitoraggio automatici non possono rilevare, come il tasso di assestamento della neve, la brina di superficie, la struttura interna del manto nevoso (forme e dimensione dei grani, densità, equivalente in acqua, indici di durezza, etc.), gli indici di stabilità etc. Il principio di funzionamento di SNOWPACK si basa sulla risoluzione delle equazioni differenziali che governano gli scambi di massa e di energia all'interno del manto nevoso (Fig. 1). Il modello risolve delle equazioni stazionarie di trasferimento di calore e di creep usando uno schema Langrangiano agli elementi finiti (Lehning, 1999, 2001, 2002 [1], 2002[2]).

In SNOWPACK la struttura della neve è simulata da un sistema poroso caratterizzato dai contenuti volumetrici di ghiaccio, acqua e aria. A livello microstrutturale il sistema considera la sfericità dei grani e la loro dendriticità (ramificazioni), il



Fig. 3 - Stazione nivometeorologica automatica

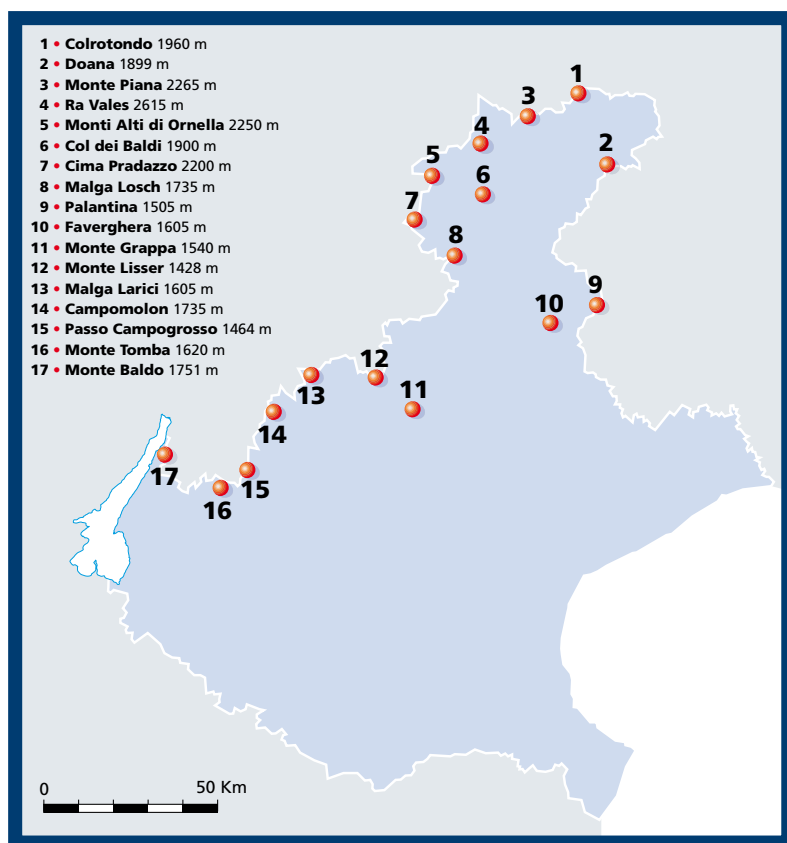


Fig. 4 - Distribuzione delle stazioni nivometeorologiche automatiche sulla montagna veneta.

raggio delle particelle, il raggio dei colli (punti di contatto fra i grani) e la classificazione della tipologia dei grani. Questi parametri sono considerati primari in quanto le variazioni di temperatura all'interno della neve ne determinano la variazione nel tempo (metamorfismi). Il bilancio di massa del manto nevoso (Fig. 2) viene calcolato elaborato sia tenendo conto del bilancio della

Fig. 5 - Determinazione della densità di uno strato di neve con un tubo carotatore dal piccolo diametro.



neve secca (precipitazioni nevose, neve trasportata dal vento) che del bilancio energetico della neve (fusione, sublimazione, pioggia).

I dati di input richiesti dal modello provengono dalle stazioni nivometeorologiche automatiche (Fig. 3) e sono :

- velocità del vento (m/s);
- direzione del vento (0-360°);
- temperatura dell'aria (°C);
- umidità relativa (%);
- altezza della neve (cm);
- temperatura superficiale della neve (°C);
- temperatura dell'interfaccia neve - terreno (°C);
- radiazione solare ad onde corte riflessa (W/m<sup>2</sup>);
- 3 valori di temperatura della neve (°C) misurati all'interno del manto nevoso (a 20, 60, 100 cm);

Presso il Centro Valanghe di Arabba, il modello SNOWPACK funziona nel seguente modo: la centrale di acquisizione dei dati delle stazioni nivometeorologiche prepara una stringa di dati orari che, opportunamente elaborati, vengono trasferiti via ftp al server dell'SLF di Davos dove è implementato SNOWPACK e dove vengono generate tutte le elaborazioni. Dopo circa 30' dall'invio, un server dedicato di Arabba attiva le procedure di scarico delle elaborazioni che, una volta acquisite, vengono rese disponibili sulla rete interna del Centro (Balzan, 2005)

[6], Cima Pradazzo [7], Monte Piana [3] e Monte Lisser [12]. Le stazioni utilizzate nel presente lavoro sono state Monti Alti di Ornella, Col dei Baldi e Monte Lisser in quanto Cima Pradazzo è caratterizzata da un trasporto eolico troppo accentuato, mentre per Monte Piana non erano disponibili sufficienti misure in campo di equivalenti in acqua della neve per poter effettuare le verifiche.

La stazione di Monti Alti di Ornella, 2250 m di quota, è situata sul versante settentrionale del gruppo del Padon, catena di rocce vulcaniche immediatamente a Nord della Marmolada, che delimita la destra orografica dell'alto bacino del torrente Cordevole (affluente del Piave). La stazione è composta da un campo neve, dedicato alle misure convenzionali nel manto nevoso, e da una stazione nivometeorologica automatica secondo le definizioni riportate in Cagnati, 2003. Il soprasuolo del sito è di tipo silicatico ed è stato sottoposto, fino a circa 35/40 anni fa, a sfalcio e successivamente a pascolo. Esso può essere considerato "prateria alpina di alta quota", con totale assenza di specie arbustive. La temperatura media annua del sito è di +1,8°C, la precipitazione di circa 970 mm (dato riferito alla vicina stazione di Passo Pordoi, 2142 m), il cumulo stagionale di neve fresca è di circa a 600 cm (dato riferito alla vicina stazione di Lago di Cavia, 2100 m) e l'altezza media del manto nevoso al suolo, da novembre ad aprile, di 92 cm. Presso questa stazione i processi di formazione della brina di profondità sono significativi di gran parte dei versanti Nord delle Dolomiti. La stazione di Col dei Baldi, 1900 m di quota, è ubicata in una radura al limite superiore della vegetazione forestale su un colle

Tab. I

| Valori di densità della neve in funzione della forma dei grani e della durezza ricavati sulle Alpi Orientali (Dolomiti) |         |        |        |        |      |          |
|---|---------|--------|--------|--------|------|----------|
| ITALIA  | DUREZZA |        |        |        |      |          |
| GRANI   | Pugno   | 4 dita | 1 dito | Matita | Lama | Ghiaccio |
| grani 1   | 109     | 171    |        |        |      |          |
| grani 1- 2  | 139     | 165    | 207    |        |      |          |
| grani 2   | 156     | 202    | 246    |        |      |          |
| grani 2- 3  | 190     | 224    | 254    | 317    | 400  |          |
| grani 3   | 245     | 281    | 328    | 364    | 415  |          |
| grani 3- 4  | 242     | 299    | 340    | 387    | 437  |          |
| grani 4   | 264     | 320    | 347    | 381    | 387  |          |
| grani 4- 5  | 266     | 306    | 333    | 336    | 347  |          |
| grani 5   | 260     | 313    | 335    | 356    | 359  |          |
| grani 6   | 408     | 433    | 426    | 407    | 422  |          |

## STAZIONI UTILIZZATE

La rete gestita dal Centro Valanghe di Arabba è costituita da 17 stazioni nivometeorologiche automatiche (Fig. 4) ma, per ragioni connesse alla dotazione sensoristica, la possibilità di utilizzare SNOWPACK è attualmente limitata a 5 stazioni che sono, in riferimento alla Fig. 4, Monti Alti di Ornella [5], Col dei Baldi

erboso immediatamente a Nord del monte Civetta, in destra orografica del bacino del torrente Maè. Anche questa stazione è costituita da un campo neve e da una stazione nivometeorologica automatica. La stazione è ubicata in zona sommitale rispetto all'area circostante, in mezzo ad una piccola radura di larici al riparo dal vento e con un tipo di suolo afferente alla categoria "prateria alpina di alta quota". La temperatura media annua del sito è di +5,8°C, la precipitazione di circa 971 mm (dato riferito alla vicina stazione di Passo Valles, 2050 m), il cumulo stagionale di neve fresca di circa 605 cm (dato riferito alla vicina stazione di Lago di Cavia, 2100 m) e l'altezza media del manto nevoso al suolo, da novembre ad aprile, di 75 cm. La stazione, grazie alla sua ubicazione, è particolarmente rappresentativa dell'evoluzione del manto nevoso nella fascia altimetrica fra i 1800 e i 2100 m di quota delle Dolomiti. La stazione di Monte Lisser, 1428 m di quota, è ubicata lungo il margine nord orientale dell'Altopiano di Asiago, nel bacino del Brenta (Prealpi vicentine). Anche questa stazione è costituita da un campo neve e da una stazione nivometeorologica automatica.

La stazione si trova su un terreno aperto in rilevato rispetto alla morfologia circostante, con suolo a prato-pascolo.

La temperatura media annua del sito è di +5,8°C, la precipitazione di 1515 mm (dato riferito alla vicina stazione di Marcesina, 1310 m), mentre il cumulo stagionale di neve fresca non è disponibile. La stazione è particolarmente significativa riguardo alla precipitazione nevosa lungo la fascia prealpina e per la identificazione dei processi di ablazione primaverili.

### MISURE IN CAMPO E OMOGENEIZZAZIONE DI DATI

Nei campi neve, ubicati a pochi metri dalle stazioni nivometeorologiche automatiche, vengono eseguiti settimanalmente dei profili penetrometrici e stratigrafici del manto nevoso utilizzati per la previsione valanghe (Fig. 5). L'analisi stratigrafica del manto nevoso viene eseguita secondo il metodo convenzionale (Cagnati, 2003) e, per ogni strato del manto nevoso, viene stimata la durezza della neve, la forma e la dimensione dei grani oltre a tutti gli altri parametri che caratterizzano lo strato. Con un tubo carotatore del diametro di 30 mm o di 50 mm

viene anche misurata la densità dello strato per campionamento orizzontale. Per gli strati di spessore inferiore al diametro del carotatore (che può andare da 3

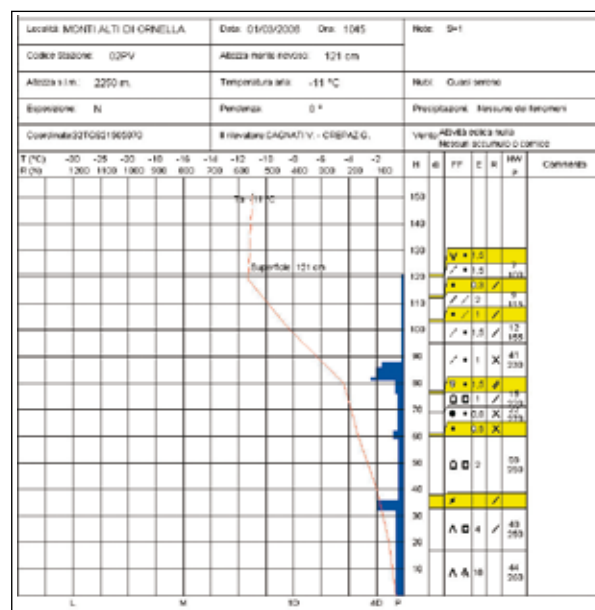


Fig. 6 (in alto) - Rappresentazione grafica di un'analisi penetrometrica e stratigrafica del manto nevoso. Con lo sfondo giallo gli strati di neve per i quali non è stato possibile determinare la densità.

Fig. 7 - Misura dell'equivalente in acqua del manto nevoso mediante carotaggio verticale della neve.

| Stagione invernale 2004-2005   |                   |              |                              |                       |                   |              |                              |                      |                   |              |                              |
|--|-------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------|------------------------------|----------------------|-------------------|--------------|------------------------------|
| Valori di SWE (kgm <sup>-2</sup> ) determinati da SNOWPACK ed elaborati da profili stratigrafici |                   |              |                              |                       |                   |              |                              |                      |                   |              |                              |
| Monti Alti di Ornella, 2250m   |                   |              |                              | Col dei Baldi, 1900 m |                   |              |                              | Monte Lisser, 1428 m |                   |              |                              |
| Data   | Altezza Neve (cm) | SWE SNOWPACK | SWE da profili stratigrafici | Data                  | Altezza Neve (cm) | SWE SNOWPACK | SWE da profili stratigrafici | Data                 | Altezza Neve (cm) | SWE SNOWPACK | SWE da profili stratigrafici |
| 09/12/2004   | 51                | 118          | 117                          | 08/12/2004            | 60                | 136          | 164                          | 09/12/2004           | 44                | 108          | 165                          |
| 15/12/2004   | 49                | 117          | 138                          | 13/12/2004            | 55                | 135          | 144                          | 16/12/2004           | 43                | 108          | 164                          |
| 22/12/2004   | 48                | 118          | 122                          | 20/12/2004            | 53                | 135          | 137                          | 23/12/2004           | 43                | 112          | 156                          |
| 29/12/2004   | 93                | 206          | 198                          | 03/01/2005            | 101               | 252          | 239                          | 30/12/2004           | 103               | 245          | 212                          |
| 05/01/2005   | 78                | 204          | 196                          | 17/01/2005            | 82                | 242          | 240                          | 06/01/2005           | 90                | 245          | 256                          |
| 14/01/2005   | 72                | 201          | 176                          | 24/01/2005            | 90                | 255          | 234                          | 20/01/2005           | 91                | 260          | 263                          |
| 19/01/2005   | 78                | 206          | 205                          | 31/01/2005            | 88                | 254          | 250                          | 27/01/2005           | 89                | 256          | 290                          |
| 26/01/2005   | 88                | 230          | 210                          | 07/02/2005            | 86                | 254          | 232                          | 03/02/2005           | 82                | 255          | 238                          |
| 03/02/2005   | 91                | 236          | 244                          | 14/02/2005            | 87                | 255          | 232                          | 10/02/2005           | 81                | 255          | 251                          |
| 09/02/2005   | 88                | 236          | 215                          | 21/02/2005            | 94                | 258          | 238                          | 17/02/2005           | 79                | 251          | 239                          |
| 16/02/2005   | 91                | 241          | 252                          | 04/03/2005            | 112               | <b>285</b>   | 252                          | 24/02/2005           | 102               | 281          | 304                          |
| 23/02/2005   | 112               | 268          | 281                          | 08/03/2005            | 105               | 283          | <b>274</b>                   | 03/03/2005           | 120               | 312          | 305                          |
| 02/03/2005   | 106               | 267          | 270                          | 14/03/2005            | 100               | 280          | 268                          | 10/03/2005           | 124               | <b>330</b>   | <b>381</b>                   |
| 09/03/2005   | 111               | <b>280</b>   | 288                          | 21/03/2005            | 65                | 221          | 225                          | 18/03/2005           | 89                | 290          | 314                          |
| 16/03/2005   | 101               | 270          | 295                          | 28/03/2005            | 51                | 169          | 210                          | 24/03/2005           | 64                | 245          | 264                          |
| 22/03/2005   | 90                | 255          | <b>307</b>                   | 04/04/2005            | 51                | 157          | 195                          | 31/03/2005           | 30                | 113          | 130                          |
| 30/03/2005   | 97                | 260          | 289                          | 18/04/2005            | 81                | 197          | 251                          |                      |                   |              |                              |
| 06/04/2005   | 85                | 245          | 252                          | 26/04/2005            | 61                | 176          | 249                          |                      |                   |              |                              |
| 13/04/2005   | 102               | 278          | 341                          |                       |                   |              |                              |                      |                   |              |                              |

Tab. II



Tab. III

Fig. 8 a, 8b, 8c -  
Andamento  
stagionale dello  
SWE determinato  
da SNOWPACK ed  
elaborato dai profili  
stratigrafici.

| Stagione invernale 2005- 2006   |                   |              |                              |                       |                   |              |                              |                      |                   |              |                              |
|---|-------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------|------------------------------|----------------------|-------------------|--------------|------------------------------|
| Valori di SWE (kgm <sup>2</sup> ) determinati da SNOWPACK ed elaborati da profili stratigrafici |                   |              |                              |                       |                   |              |                              |                      |                   |              |                              |
| Monti Alti di Ornella, 2250m  |                   |              |                              | Col dei Baldi, 1900 m |                   |              |                              | Monte Lisser, 1428 m |                   |              |                              |
| Data  | Altezza Neve (cm) | SWE SNOWPACK | SWE da profili stratigrafici | Data                  | Altezza Neve (cm) | SWE SNOWPACK | SWE da profili stratigrafici | Data                 | Altezza Neve (cm) | SWE SNOWPACK | SWE da profili stratigrafici |
| 07/12/2005  | 52                | 90           | 105                          | 28/11/2005            | 31                | 37           | 41                           | 01/12/2005           | 38                | 68           | 61                           |
| 14/12/2005  | 48                | 91           | 110                          | 05/12/2005            | 64                | 101          | 111                          | 08/12/2006           | 61                | 131          | 125                          |
| 21/12/2005  | 32                | 70           | 81                           | 12/12/2005            | 55                | 107          | 132                          | 15/12/2006           | 60                | 139          | 122                          |
| 04/01/2006  | 81                | 164          | 197                          | 19/12/2005            | 54                | 115          | 131                          | 22/12/2006           | 54                | 136          | 161                          |
| 11/01/2006  | 76                | 168          | 192                          | 27/12/2005            | 73                | 123          | 146                          | 29/12/2006           | 96                | 190          | 217                          |
| 25/01/2006  | 70                | 168          | 187                          | 02/01/2006            | 92                | 174          | 185                          | 05/01/2006           | 82                | 203          | 186                          |
| 01/02/2006  | 86                | 202          | 227                          | 23/01/2006            | 72                | 173          | 179                          | 12/01/2006           | 72                | 204          | 205                          |
| 08/02/2006  | 84                | 203          | 195                          | 30/01/2006            | 104               | 223          | 229                          | 19/01/2006           | 70                | 197          | 219                          |
| 15/02/2006  | 81                | 202          | 210                          | 06/02/2006            | 92                | 223          | 248                          | 26/01/2006           | 68                | 196          | 213                          |
| 23/02/2006  | 117               | 269          | 320                          | 13/02/2006            | 86                | 220          | 222                          | 09/02/2006           | 121               | 365          | 393                          |
| 01/03/2006  | 128               | 300          | 298                          | 20/02/2006            | 138               | 281          | 296                          | 02/03/2006           | 146               | <b>439</b>   | <b>422</b>                   |
| 08/03/2006  | 131               | 317          | 354                          | 27/02/2006            | 137               | 334          | 345                          | 09/03/2006           | 131               | 420          | 399                          |
| 15/03/2006  | 122               | 314          | 351                          | 06/03/2006            | 151               | 362          | 370                          | 17/03/2006           | 126               | 417          | 409                          |
| 22/03/2006  | 114               | 310          | 341                          | 13/03/2006            | 140               | 362          | 403                          | 23/03/2006           | 115               | 378          | 382                          |
| 29/03/2006  | 117               | 320          | 357                          | 20/03/2006            | 129               | 351          | 384                          | 30/03/2006           | 88                | 331          | 298                          |
| 05/04/2006  | 120               | 324          | 375                          | 27/03/2006            | 102               | 306          | 339                          | 06/04/2006           | 74                | 284          | 272                          |
| 12/04/2006  | 140               | <b>377</b>   | <b>446</b>                   | 03/04/2006            | 103               | 319          | 368                          |                      |                   |              |                              |
| 19/04/2006  | 120               | 365          | 432                          | 10/04/2006            | 106               | 321          | <b>399</b>                   |                      |                   |              |                              |
| 26/04/2006  | 98                | 338          | 373                          | 17/04/2006            | 106               | <b>342</b>   | <b>399</b>                   |                      |                   |              |                              |
| 11/05/2006  | 93                | 335          | 377                          | 24/04/2006            | 86                | 291          | 335                          |                      |                   |              |                              |
| 17/05/2006  | 74                | 270          | 303                          |                       |                   |              |                              |                      |                   |              |                              |

a 8 cm a seconda dello strumento utilizzato), la densità non viene misurata (Fig. 6). Per ovviare a questo inconveniente, si è provveduto, in fase di elaborazione dei dati, ad assegnare un valore di densità ad ogni strato non misurato in funzione della forma dei grani e della durezza secondo le corrispondenze riportate in Tab. I relative alle Dolomiti e Prealpi venete (Valt e Cagnati, 2005). In questo modo è stato possibile ricostruire il valore di equivalen-

te in acqua della neve per tutti i rilievi disponibili.

Dalla stagione invernale 2004-2005 sono state inoltre eseguite, presso alcuni campi neve, misure dirette dell'equivalente in acqua mediante un carotaggio totale verticale in diversi periodi della stagione invernale (normalmente il 1 febbraio, 1 marzo, 1 aprile, 15 aprile, 1 maggio, 15 maggio e 1 giugno). Queste misure sono state eseguite con un apposito carotiere verticale della lunghezza di 1 m, facendo la media di 3 misurazioni effettuate all'interno di una superficie di 1 m<sup>2</sup> all'interno del campo neve (Fig. 7).

Ai fini del presente lavoro, per le 3 stazioni descritte precedentemente, sono stati utilizzati i dati

di equivalente in acqua ricavati dalle analisi stratigrafiche effettuate durante le stagioni invernali 2004-2005 e 2005 - 2006 e, per le sole stazioni di Monti Alti di Ornella a Col dei Baldi, anche i dati di equivalente in acqua misurati con carotaggio verticale. Essendoci, per i due diversi metodi di rilevamento, delle piccole differenze di altezza del manto nevoso (5-10 cm massimo) dovute alla morfologia del terreno e all'azione del vento sulla neve, i valori di equivalente in acqua misurati sono stati rapportati ai valori di altezza della neve al suolo utilizzati da SNOWPACK nelle simulazioni.

## ANALISI DEI DATI

Nelle Tab. II e III sono riportati, per le due stagioni invernali considerate, i valori di altezza di neve al suolo (HS) in cm e i valori di equivalente in acqua della neve (SWE) in kgm<sup>-2</sup> calcolati da SNOWPACK e derivanti dalle prove stratigrafiche. Appare subito evidente che il modello SNOWPACK, in linea generale, sottostima il valore di SWE. L'errore percentuale medio per singola stazione e per stagione

Tab. IV

Tab. V

### Errori percentuali fra la determinazione dello SWE di SNOWPACK e le misure in campo

| STAZIONE              | STAGIONE INVERNALE 2005-2006 (range) | STAGIONE INVERNALE 2006-2007 (range) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Monti Alti di Ornella | -2,4% (-20/+12%)                     | -12,6% (-21/+4 %)                    |
| Col dei Baldi         | -4,9% (-41/+12%)                     | -10,1% (-24/-1%)                     |
| Monte Lisser          | -11,8% (-52/+14%)                    | -0,1% (-19%/+12%)                    |

| Stagione invernale 2005- 2006   |                   |              |                          |                       |                   |              |                          |
|---|-------------------|--------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|--------------|--------------------------|
| Valori di SWE (kgm <sup>2</sup> ) determinati da SNOWPACK e misurati con carotaggio verticale |                   |              |                          |                       |                   |              |                          |
| Monti Alti di Ornella, 2250m  |                   |              |                          | Col dei Baldi, 1900 m |                   |              |                          |
| Data  | Altezza Neve (cm) | SWE SNOWPACK | SWE carotaggio verticale | Data                  | Altezza Neve (cm) | SWE SNOWPACK | SWE carotaggio verticale |
| 01/02/2006  | 87                | 202          | 165                      | 01/02/2006            | 97                | 223          | 221                      |
| 01/03/2006  | 128               | 300          | 267                      | 01/03/2006            | 135               | 335          | 335                      |
| 01/04/2006  | 114               | 305          | 305                      | 01/04/2006            | 113               | 331          | 337                      |
| 15/04/2006  | 137               | <b>362</b>   | 346                      | 15/04/2006            | 139               | <b>386</b>   | <b>392</b>               |
| 01/05/2006  | 102               | 355          | <b>386</b>               | 01/05/2006            | 76                | 251          | 287                      |
| 15/05/2006  | 81                | 300          | 256                      | 15/05/2006            | 21                | 76           | 112                      |
| 01/06/2006  | 2                 | 6            | 72                       | 01/06/2006            | 0                 | 0            | 0                        |

invernale è riassunto in Tab. IV. Gli scostamenti sono particolarmente significativi in autunno e in primavera, periodi nei quali le precipitazioni sulle 3 stazioni non sempre sono a carattere nevoso. Infatti, nella stagione 2005- 2006, caratterizzata da un inverno molto freddo e con poche precipitazioni liquide ad inizio e fine inverno, il range degli errori è minore. Tuttavia, gli andamenti stagionali del bilancio di massa del manto nevoso misurati in campo ed elaborati da SNOWPACK sono molto simili. (Fig. 8).

Nella Tab. V, per le stazioni di Monti Altì di Ornella e Col dei Baldi e per la sola stagione invernale 2005-2006, i valori di SWE calcolati da SNOWPACK sono confrontati con i dati di SWE misurati in campo mediante carotaggio verticale. In questo caso, mediamente, i valori calcolati dal modello sono leggermente superiori a quelli misurati in campo con carotaggio verticale. Gli andamenti stagionali sono comunque simile per tutte e due le stazioni (Fig. 9)

Limitatamente a 4 campagne di misura (1 febbraio, 1 marzo, 1 aprile e 15 aprile), è stato possibile confrontare i valori di SWE calcolati da SNOWPAK con i dati misurati in campo con le due diverse metodologie (profili della neve e carotaggio verticale) (Tab.VI). I dati relativi alla stazione di Col dei Baldi appaiono più stabili con limitate differenze di valori fra le 3 metodologie, mentre quelli relativi alla stazione di Monti Altì di Ornella presentano delle significative differenze soprattutto in primavera. Queste differenze sono da ricercare soprattutto nella diversa rugosità del suolo nelle vicinanze della stazione automatica dove vengono effettuate le misure in campo.

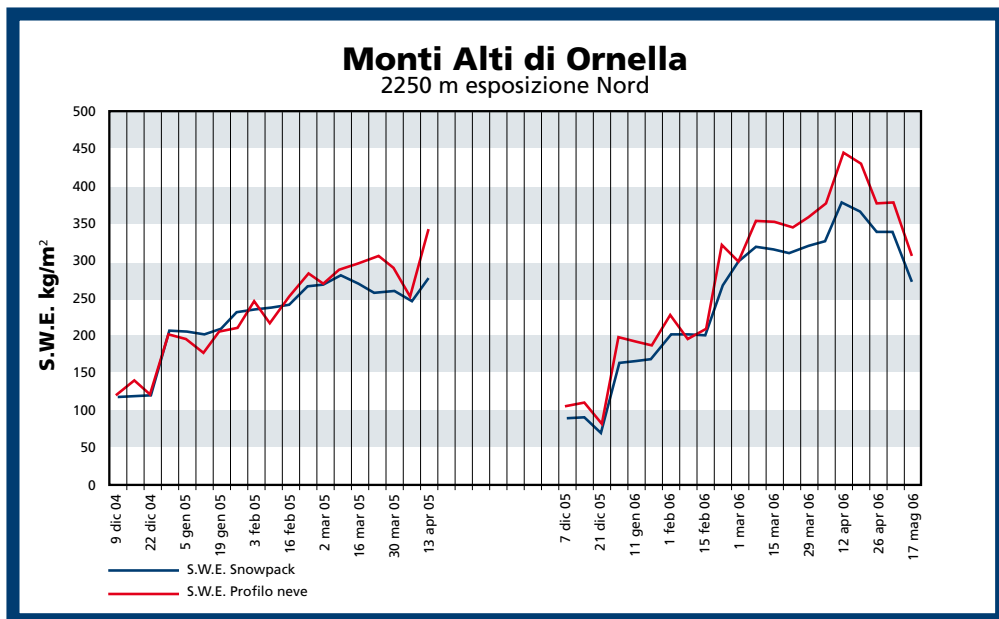


Fig. 8a

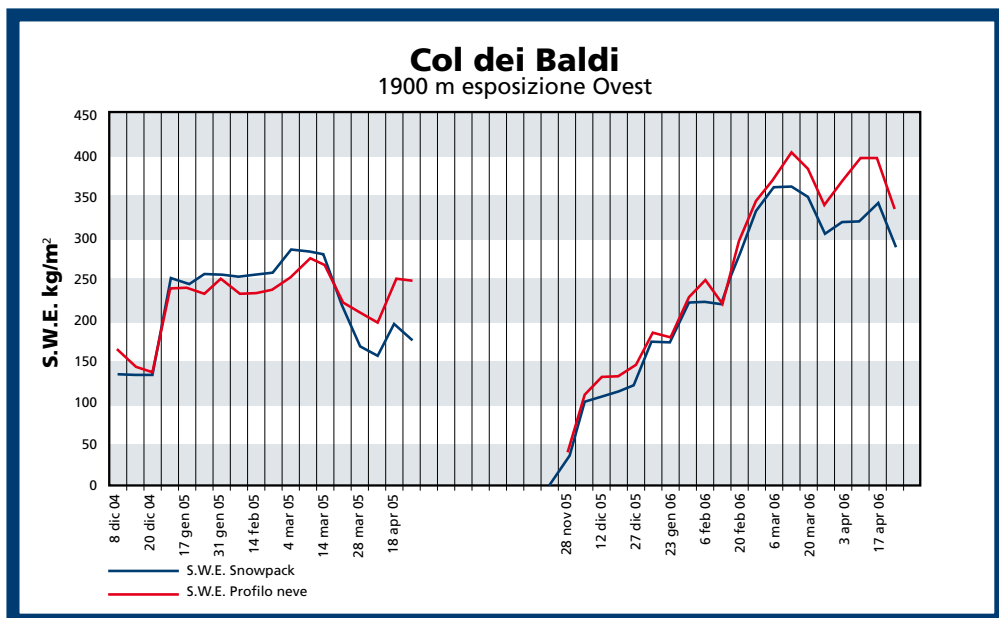


Fig. 8b

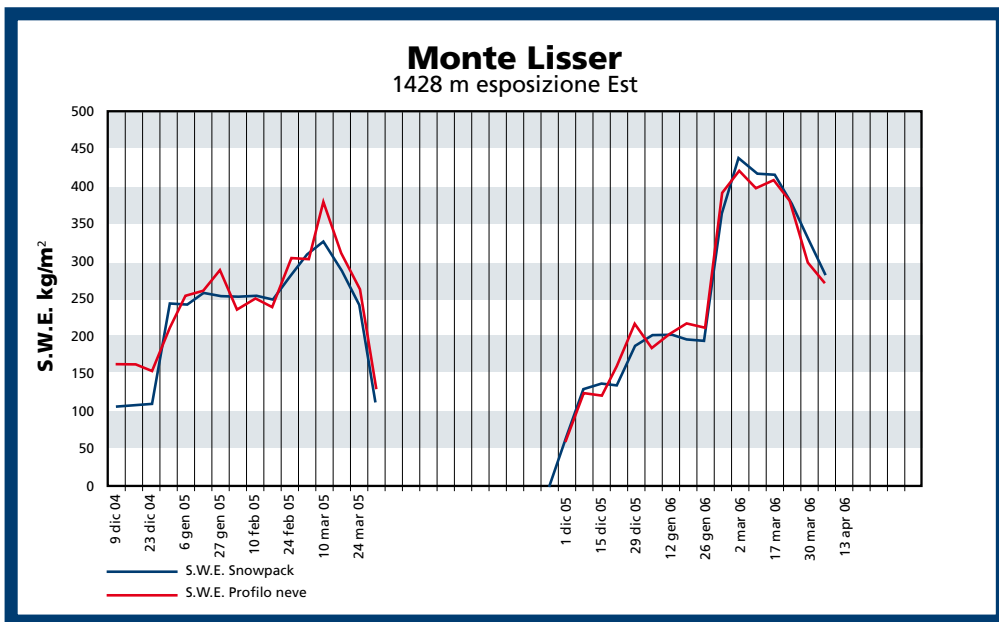


Fig. 8c



Tab. VI

### Confronto fra i valori di SWE ( $\text{kgm}^{-2}$ ) calcolati da SNOWPACK, misurati con carotaggio verticale ed elaborati dai profili stratigrafici

Fig. 9 a, 9b -  
Andamento stagionale dello SWE determinato da SNOWPACK e misurato con carotaggio verticale (manuale).

| Monti Alti di Ornella, 2250m |                   |              |                      |                  | Col dei Baldi, 1900 m |                   |              |                      |                  |
|------------------------------|-------------------|--------------|----------------------|------------------|-----------------------|-------------------|--------------|----------------------|------------------|
| Data                         | Altezza Neve (cm) | SWE SNOWPACK | SWE Vertical profile | SWE Snow profile | Data                  | Altezza Neve (cm) | SWE SNOWPACK | SWE Vertical profile | SWE Snow profile |
| 01/02/2006                   | 87                | 202          | 165                  | 224              | 01/02/2006            | 97                | 223          | 221                  | 229              |
| 01/03/2006                   | 128               | 300          | 267                  | 298              | 01/03/2006            | 135               | 335          | 335                  | 345              |
| 01/04/2006                   | 114               | 305          | 305                  | 357              | 01/04/2006            | 113               | 331          | 337                  | 339              |
| 15/04/2006                   | 137               | <b>362</b>   | 346                  | 432              | 15/04/2006            | 139               | <b>386</b>   | <b>392</b>           | 399              |
| 01/05/2006                   | 102               | 355          | <b>386</b>           | no data          | 01/05/2006            | 76                | 251          | 287                  | no data          |
| 15/05/2006                   | 81                | 300          | 256                  | no data          | 15/05/2006            | 21                | 76           | 112                  | no data          |
| 01/06/2006                   | 2                 | 6            | 72                   | no data          | 01/06/2006            | 0                 | 0            | 0                    | no data          |

## CONCLUSIONE

Una prima serie di confronti fra valori misurati in campo e valori calcolati di SWE su alcune stazioni del bacino del Cordevole (Provincia di Belluno) dimostrano che il modello di evoluzione del manto nevoso SNOWPACK può essere utilizzato per una stima puntuale, sufficientemente accurata, dell'equivalente in acqua della neve. L'utilizzo del modello, possibile nei siti dove esistono stazioni nivometeorologiche automatiche, eventualmente integrate con opportuni sensori, offre un notevole vantaggio perché consente un monitoraggio continuo durante la stagione invernale del bilancio di massa del manto nevoso.

Ciò si traduce anche con un generale risparmio di risorse umane utilizzate sul territorio per le campagne di misura, che invece possono essere utilizzate per attività di verifica. Inoltre, il modello può essere impiegato su siti che dispongono di una stazione automatica ma difficilmente raggiungibili durante l'inverno. Dalle prime analisi dei dati appare rilevante l'importanza della corretta scelta delle stazioni da utilizzare per avere delle corrette stime di SWE con SNOWPACK. Le 3 stazioni scelte per questo lavoro sono rappresentative dell'evoluzione del manto nevoso su piano orizzontale e sono caratterizzate da un trasporto

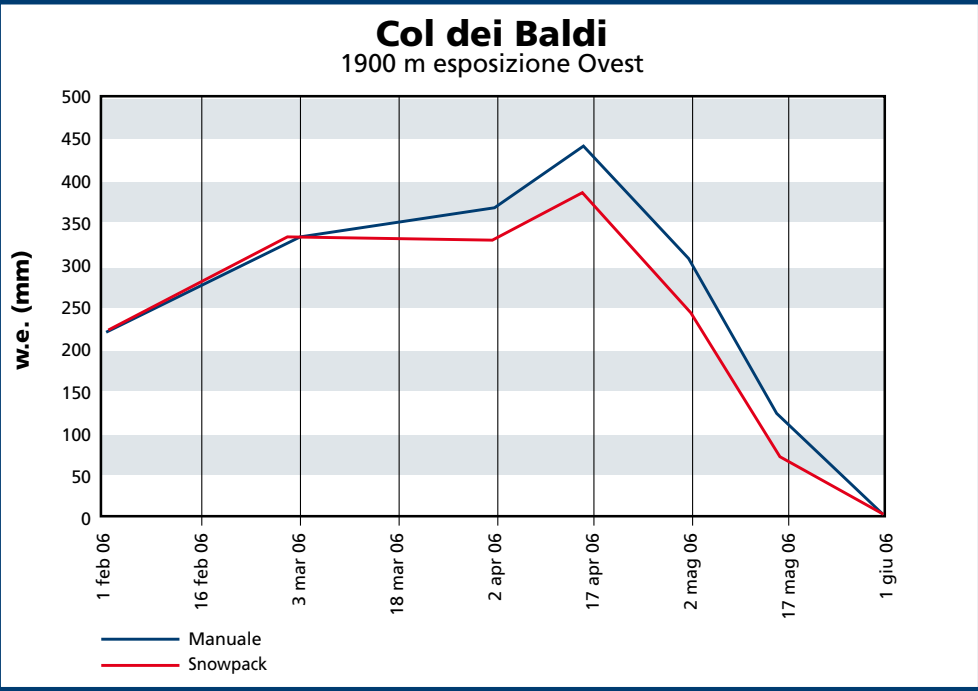
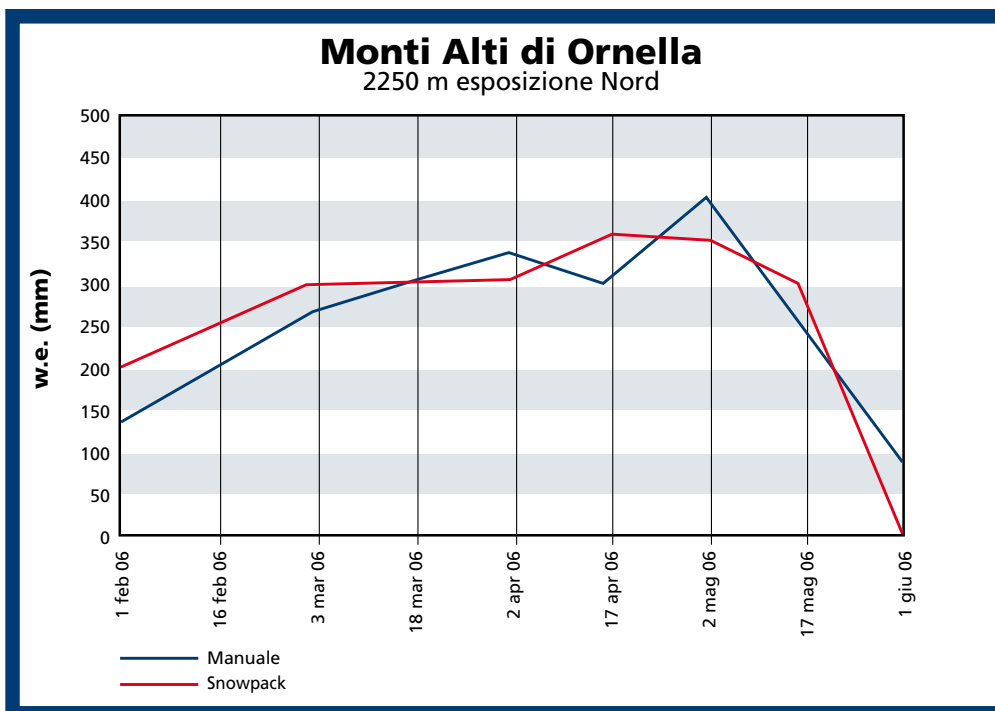


Fig. 9a

Fig. 9b



eolico limitato. Queste caratteristiche consentono di contenere le differenze fra i valori calcolati da SNOWPACK e i valori misurati in campo. E' stato appurato che altre stazioni che presentano caratteristiche diverse, come ad esempio Cima Pradazzo (Fig. 3) che risente molto dell'azione del vento, sono significative per altre elaborazioni di SNOWPACK, come la quantificazione del trasporto eolico (Lehning et alii, 2006), ma non per una valutazione dello SWE nell'area dove è installata.

Le differenze emerse fra valori calcolati e valori misurati in campo con diversi metodi evidenzia-

no tuttavia le difficoltà intrinseche che si possono incontrare in montagna su terreni a morfologia complessa per la corretta determinazione dell'equivalente in acqua della neve, parametro che può variare in modo significativo anche localmente in relazione all'ubicazione generale e alla tipologia dei suoli che caratterizzano i campi di misura. Infatti, nell'esperienza considerata, la stazione di Col dei Baldi che è quella che presenta un suolo più regolare e un'ubicazione meno influenzata dal vento è quella che ha dato i migliori risultati con differenze contenute fra i diversi metodi di stima.

## Bibliografia

- BALZAN F. (2005). Il manto nevoso sulle Dolomiti e Prealpi Venete. Applicazione del modello SNOWPACK alla previsione del pericolo valanghe. Tesi di Laurea. In stampa
- BERNIA., GIANCANELLIE. (1966). La campagna di rilievi nivometrici effettuata dall'ENEL nel periodo febbraio - giugno 1966. *L'energia elettrica*, 9, 542-553
- CAGNATI A. 2003. Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.
- DE GIORGIO S. E COCCOLO V. (2006). Rapporto sulla "Situazione" Idrica Piemontese. Regione Piemonte - ARPA Piemonte. Torino 2006, 46 pp
- LEHNING M., BARTELT P., BROWN B., RUSSI T., STUCKLI U., ZIMMERLI M. (1999). - Manto nevoso e stazioni automatiche: nuovo modello di calcolo dei dati. *Neve e Valanghe*, 37, 18 - 27.
- LEHNING M., FIERZ C. LUNDY C. (2001). An objective snow profile comparison method and its application to SNOWPACK. *Cold region science and technology* 853. 1 - 9.
- LEHNING M., BARTELT P., BROWN B., FIERZ C., SATYAWALI P. (2002)[1]. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part II: Snow microstructure. *Cold region science and technology* 35. 147 - 167.
- LEHNING M., BARTELT P., BROWN B., FIERZ C. (2002)[2]. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation. *Cold region science and technology* 35. 169 - 184.
- LEHNING M., GRUNEWALD T., FIERZ C. (2006). Assessment of Mountain snow transport based on measured wind and simulated snow cover. *Proceedings ISSW Telluride Colorado*, 1-6 October 2006, 815 - 819
- LEHNING M., FIERZ C. LUNDY C. (2001). An objective snow profile comparison method and its application to SNOWPACK. *Cold region science and technology* 853. 1-9.
- PAMPALONI P., MACELLONI G., PALOSCIA S., POGGI P., ZECCHETTO S., RANZI R., CREPAZ A. (2004). "Microwave remote sensing and hydrological modelling of snow melting cycle". *Proceedings IGARSS 04*, Anchorage, USA, September 2004.
- RADENRSCHALL N., OBERSHMIED C., GHESER F., LEHNING M. (2005). Snowpack modello numerico del manto nevoso. Esperienze compiute in Alto Adige nell'inverno 2004-2005. *Neve e Valanghe*, 56, 6-15
- TASCHNER S., RANZI R., BACCHI B., GALEATI G. (2004). Monitorino the snow water equivalent in the Piave headwater applying a remotely sensed based approach. *2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, September 20-24, 2004, Anchorage, Alaska, Vol. VI, 3692-3695
- VALT M., CAGNATI A., CREPAZ A. (2003). Ma oggi nevicata meno di un tempo? *Neve e Valanghe*, 50, 52 - 61
- VALT M. (2006). Neve sulle Alpi Italiane. Inverno 2005 - 2006. *Neve e Valanghe*, 58, 6 - 13.
- VALT M., CAGNATI A., (2005). Stima della densità della neve conoscendo la forma dei grani e la durezza. *Neve e Valanghe*, 55, 40 - 45.

