

**Mauro Valt e Anselmo Cagnati**  
ARPAV - Centro Valanghe di Arabba  
Via Pradat, 5 - 32020 ARABBA (BI)  
mvalt@arpa.veneto.it

# STIMA DELLA DENSITA' DELLA NEVE CONOSCENDO LA FORMA DEI GRANI E LA DUREZZA

## INTRODUZIONE

In occasione di esami speditivi del manto nevoso o in presenza di strati di neve di esile spessore è spesso necessario stimare la densità della neve. La misura della densità della neve è importante per calcolare il carico della neve sugli strati deboli e per determinare il contenuto in acqua liquida di un manto nevoso.

Nell'International Workshop Snow Science di Big Sky del 2000, B. Jamieson e T. Geldsetzer hanno presentato il lavoro "Estimating dry snow density from grain form and hand hardness" realizzato sulla base di 5411 strati di neve osservati nel periodo 1993 - 2000 nel Canada Occidentale. Al fine di verificare le analogie fra le nevi d'oltre oceano e quelle del versante italiano nelle Alpi Orientali, sono stati analizzati i dati relativi

In occasione di esami speditivi del manto nevoso o in presenza di strati di neve di esile spessore è spesso necessario stimare la densità della neve. La misura della densità della neve è importante per calcolare il carico della neve sugli strati deboli e per determinare il contenuto in acqua liquida di un manto nevoso.

Nel presente lavoro vengono esposti i primi risultati ottenuti sulla stima della densità conoscendo la tipologia dei grani e la durezza dello strato di neve. Il lavoro è stato realizzato prendendo in considerazione 16702 strati di neve di 2404 prove stratigrafiche realizzate in 21 stazioni nivometeorologiche nelle Dolomiti e Prealpi venete, nel periodo 1980 - 2000.

a 16702 strati di neve di 2404 prove stratigrafiche realizzate in 21 stazioni nivometeorologiche ubicate nelle Dolomiti e Prealpi Venete nel periodo 1980 -2000. Nel presente lavoro vengono quindi esposti i primi risultati ottenuti dalla ricerca sulla stima della densità della neve, nonché alcune analisi comparate di tipo-

logia di grani e loro dimensione, tipologia di grani e densità, uniche nel suo genere per quanto riguarda il territorio italiano.

## METODO

La misura della densità della neve viene effettuata utilizzando generalmente un tubo carotatore 500 cm<sup>3</sup> e un dinamometro a





molla da 500 g. Il prelievo della neve con il tubo carotatore viene effettuato orizzontalmente, di norma ad un terzo dell'altezza dello strato stesso. L'operazione viene ripetuta per tutti gli strati che hanno almeno 5 cm di spessore in quanto questo è il diametro medio del tubo utilizzato in Italia (Cagnati, 2003).

Il peso della neve prelevata, moltiplicato per 2, dà il valore di densità in  $\text{kgm}^{-3}$  della neve campionata. Da alcuni anni viene anche usato un tubo dal diametro più piccolo che viene utilizzato assieme ad un bilancino a stadera: questo strumento permette il campionamento di strati con spessore maggiore di 3 cm e una lettura diretta della densità.

Le classi di durezza di ogni stra-

to sono determinate con il test della mano (Colbeck e al., 1990; Cagnati, 2003), premendo nello strato di neve un pugno (R=1), 4 dita coperte da un guanto (R=2), 1 dito coperto da un guanto (R=3) o provando ad inserire nella neve una matita (R=4) o un coltellino (R=5) con una forza costante. La forza specifica è di 10 - 15 N (Geldsetzer e Jamieson, 2000), ma nella realtà è assai raro riuscire a mantenere costante tale forza di compressione. Nella tabella di Fig. 1 sono riportati i valori approssimativi di durezza espressi in  $\text{kNm}^{-2}$  in funzione delle classi di durezza del test della mano e della relativa area specifica di compressione. La classe di durezza R=6 è relativa ad uno strato impenetrabile formato da ghiaccio.

Nell'esecuzione delle prove stratigrafiche del manto nevoso sono individuati con la lente di ingrandimento i tipi di cristalli per strato secondo la "Classificazione Internazionale della neve stagionale presente al suolo" (Colbeck e al., 1990) e viene determinata la loro massima dimensione.

Frequentemente ogni strato di neve è formato da più forme di grani dovuti ai processi termodinamici di trasformazione della neve: nel presente lavoro, dove non specificato, sono stati analizzati strati formati da una sola forma comprese tutte le sottoclassi: particelle di precipitazione (F=1), particelle decomposte e frammentate (F=2), grani arrotondati (F=3), cristalli sfaccettati (F=4), brina di profondità (F=5), grani bagnati (F=6) e non da più classi come ad esempio: strato formato da particelle di precipitazione (F=1) e da particelle frammentate (F=2).

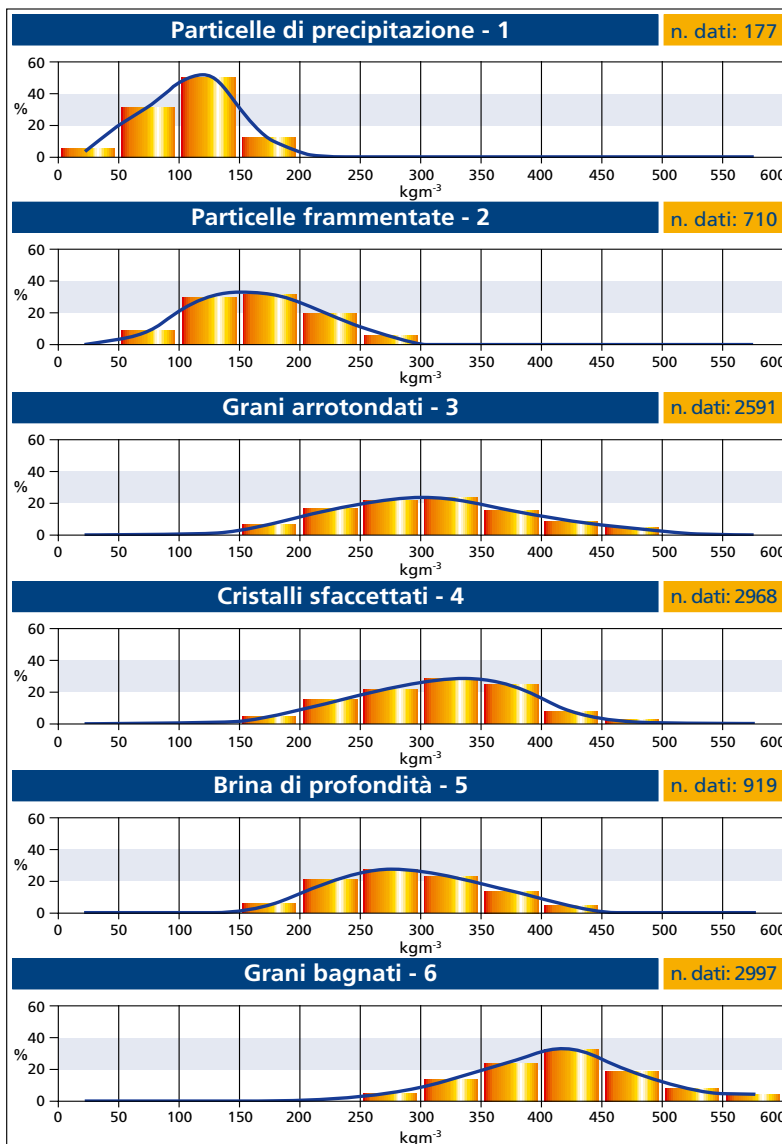
Per comodità espositiva tutti i vari tipi di cristallo (F=1, F=4) verranno di seguito chiamati

**Comparazione fra le classi del test della mano, area specifica e durezza**

| Test della mano | R | Area $\text{cm}^2$ | Durezza $\text{kNm}^{-2}$ |
|-----------------|---|--------------------|---------------------------|
| Pugno           | 1 | 82                 | 1,5                       |
| 4 dita          | 2 | 22,5               | 5,6                       |
| 1dito           | 3 | 5                  | 25                        |
| Matita          | 4 | 0,04               | 195                       |
| Coltello        | 5 | 0,15               | 833                       |
| Ghiaccio        | 6 | -                  | -                         |

Figura 1

Figura 2



genericamente grani. Sono stati analizzati i grani di neve classificati per sottoclassi solo per un campione limitato di rilievi nel periodo 1997- 2000 al fine di verificare le dimensioni dei grani in funzione della loro evoluzione.

## ANALISI

### Forme dei grani e densità

In Fig. 2 sono rappresentati i grafici cumulativi delle varie classi di densità osservate per tipologia di grani. I risultati sono molto simili a quelli ottenuti sulle Alpi Francesi in una indagine analoga condotta sul finire degli anni '70 (Danielou e Pahaut, 1985). E' importante osservare come all'identificazione della forma dei grani corrisponda, a volte, un ampio range di densità, soprattutto nelle classi di neve più evolute (F= 3, grani arrotondati e F= 4, cristalli sfaccettati). Nelle classi di neve caratterizzate da evoluzione verso forme di equilibrio (F=2 e F=3), la densità aumenta ma con range ampi; nelle classi di neve caratterizzate da spiccata evoluzione verso forme di crescita cinetica (F=5) si osserva una diminuzione della densità rispetto al primo strato di evoluzione (F=4). Per quanto riguarda la classe dei grani bagnati (F=6) le nevi delle Alpi Orientali presentano una classe di densità prevalente di 400- 450 kgm<sup>-3</sup>.

### Forme dei grani e durezza

La correlazione fra forme dei grani e la loro durezza evidenzia un aumento della durezza con i processi di trasformazione verso forme di equilibrio (Fig. 3). L'analisi del campione a disposizione per quanto riguarda i grani arrotondati (F=3) e cristalli sfaccettati (F=4) non evidenzia delle marcate differenze di durezza fra le 2 tipologie di grani che tuttavia sono il risultato di differenti gradienti termici. La

classe di durezza prevalente nei grani arrotondati è "1 dito" (R=1) riscontrata nel 31% dei campioni, seguita da "4 dita" (R=2) con il 25% e "pugno" (R=3) con il 20%. Per quanto riguarda i grani F=4, le prime 3 classi di durezza (R=1, R=2, R=3) sono rappresentate rispettivamente nel 26, 27 e 28% dei campioni.

Ben altra distribuzione è quella relativa alla brina di profondità (F=5) nella quale il 39% degli strati ha una durezza pari ad R=1 e il 28% a R=2. Per quanto

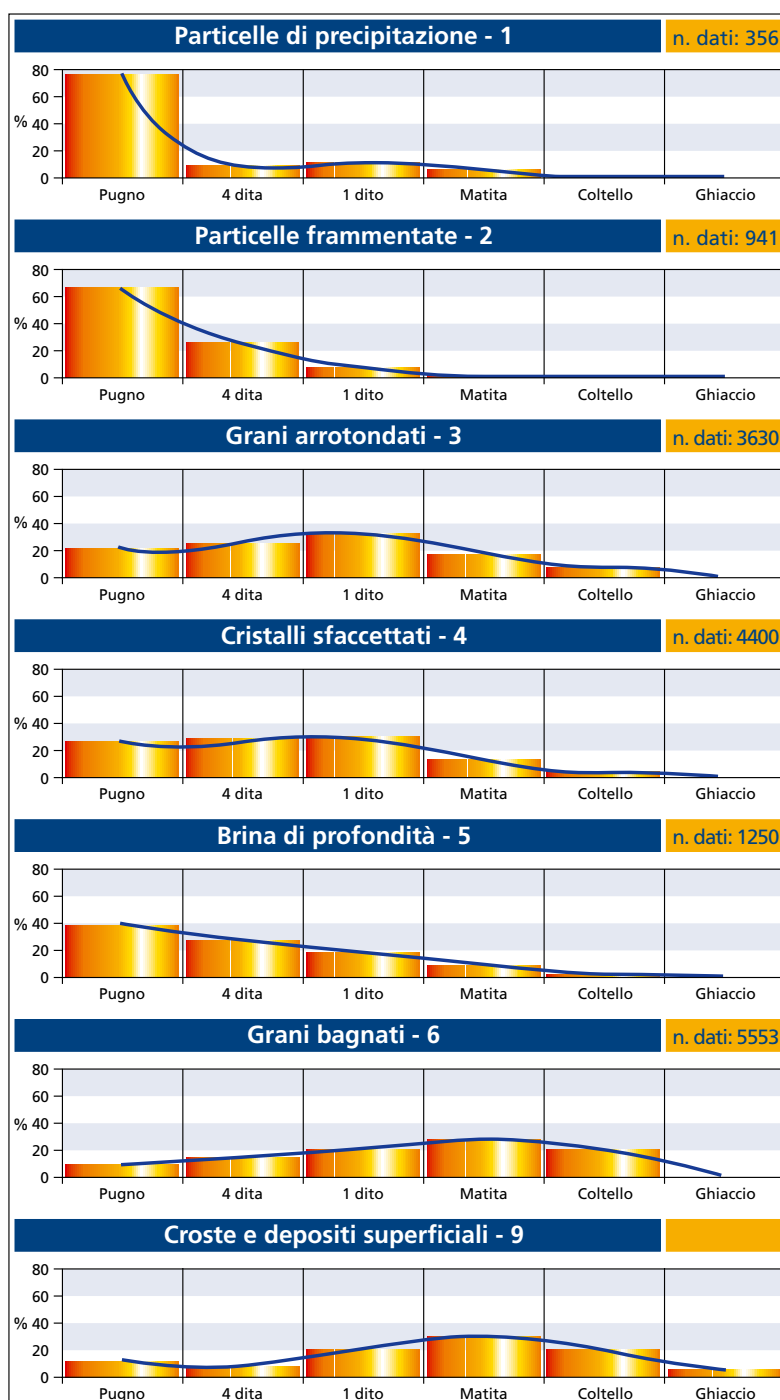


Figura 3

riguarda i grani bagnati (F=6) spicca il valore di durezza pari a R=4 e a R=5, logica conseguenza dei processi di fusione e rigelo.

Anche per quanto riguarda la classe delle croste (F=9) i valori

Figure 4

| Diametro medio dei grani osservati nelle nevi delle Alpi Orientali (Dolomiti) |                     |                   |
|---|---------------------|-------------------|
| Sottoclasse di cristalli e grani  | Numero osservazioni | Diametro medio mm |
| 1a  | 7                   | 1,8               |
| 1b  | 5                   | 2,2               |
| 1c  | 73                  | 2,0               |
| 1d  | 41                  | 2,4               |
| 1e  | 8                   | 1,1               |
| 1f  | 8                   | 2,4               |
| 2a  | 94                  | 1,7               |
| 2b  | 128                 | 1,0               |
| 3a  | 520                 | 0,7               |
| 3b  | 150                 | 1,0               |
| 3c  | 161                 | 0,9               |
| 4a  | 852                 | 2,0               |
| 4b  | 39                  | 0,6               |
| 4c  | 280                 | 1,6               |
| 5a  | 256                 | 4,4               |
| 5b  | 15                  | 6,2               |
| 5c  | 2                   | 9,0               |
| 6a  | 318                 | 2,1               |
| 6b  | 742                 | 2,3               |
| 6c  | 35                  | 2,1               |

di durezza R=4 e R=5 sono i più frequentemente osservati.

### Forme dei grani e dimensioni

Su un campione di dati relativo al periodo 1997-2000, è stata condotta una analisi delle dimensioni medie dei grani in funzione della loro forma individuata anche nelle sottoclassi (Colbeck, 1990). I risultati di questa indagine sono riportati nella tabella di Fig. 4.

### STIMA DELLA DENSITÀ DI UNO STRATO DI NEVE

In Fig. 5 sono rappresentati i valori di densità della neve in funzione della durezza e della tipologia di grano in evoluzione verso forme di equilibrio cinetico, da F=1 a F=3 con anche le classi intermedie cioè strati formati da grani di 2 classi (F=1 e 2, F= 2 e 3). In figura 5 sono riportati anche i valori dei grani bagnati (F=6).

Con l'aumento della durezza c'è

un aumento generale della densità in modo pressoché lineare per tutte le forme. Per la neve formata da particelle frammentate (F=2) e grani arrotondati (F=3) con i valori elevati di durezza (R=4 e R=5), la densità si avvicina ai valori della neve formata esclusivamente da grani arrotondati (F=3).

Per quanto riguarda i grani conseguenti ai processi di fusione e rigelo, non c'è una netta differenziazione fra la densità e le varie classi di durezza. Le classi con i valori relativamente più bassi di densità sono relative alle durezza R=1 e R=4. Probabilmente per una caratterizzazione di questa tipologia di grani è necessaria una analisi comparata con le dimensione dei grani.

In Fig. 6 sono invece rappresentati i valori di densità della neve e della durezza per le forme di grani in evoluzione verso forme di crescita cinetica (F=4 e F=5) con le rispettive classi intermedie (F=3 e 4, F=4 e 5). Per quanto riguarda i bassi valori di durezza (R=1, 2 e 3) i rispettivi valori di densità non si discostano di molto fra le varie forme di grani eccetto per gli strati formati da cristalli angolari (F=4) e brina di profondità (F=5) che evidenziano valori di densità più bassi. Una netta differenziazione di densità è riscontrabile alle durezza superiori (R=4 e R=5) dove gli strati di neve contenenti brina di profondità (F=5) risultano più leggeri rispetto agli strati con cristalli sfaccettati (F=4). E' interessante rilevare che gli strati formati anche da grani arrotondati (F=3) alle elevate durezza arrivano a valori di densità (437 kgm<sup>-3</sup>) prossimi ai valori trovati per gli strati formati unicamente da grani arrotondati (415 kgm<sup>-3</sup>).

I dati finali sono riassunti nella tabella di Fig. 7.

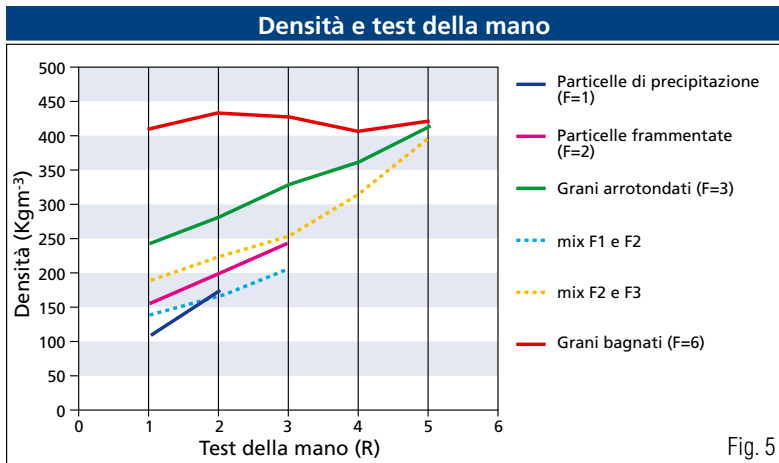


Fig. 5

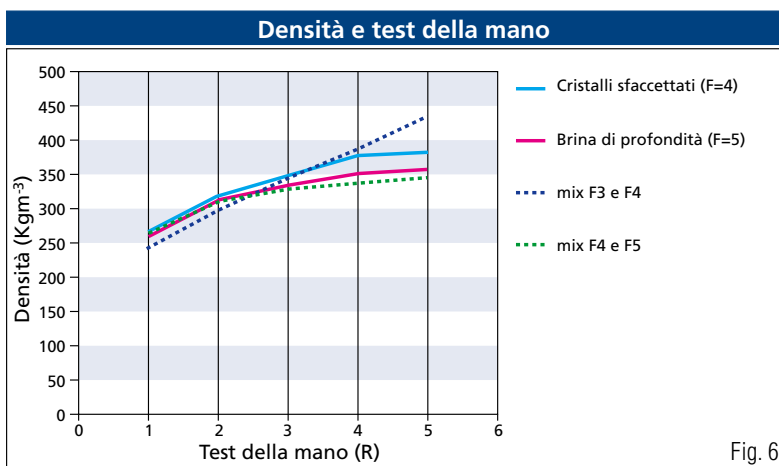


Fig. 6

## CONFRONTO CON LE NEVI CANADESI

Nella tabella di Fig. 8 sono riportati i valori misurati sulle nevi del Canada Occidentale (Jamieson e T. Geldsetzer, 2000) dove i rilievi della durezza della neve vengono eseguiti con una scala più fitta e cioè valutando la più o meno facilità di penetrazione della neve da parte dei singoli elementi della scala del test della mano come ad esempio, matita meno (R=4-), matita (R=4), matita più (R=4+). Questo ha comportato la realizzazione di un campionamento più fitto che comunque nei valori medi della scala delle durezza tradizionali a 5 gradi non comporta delle variazioni di densità superiori al 5%. Pertanto la Fig. 8 propone i valori ricavati per il valore centrale della scala della durezza (R=1, R=2,...)

Appare subito chiara una notevole differenza dei valori osservati di densità, maggiori sia per la neve secca della Alpi da 40 ai quasi 100 kgm<sup>-3</sup> (F=1,2,3,4,5) che per le nevi bagnate con più di 170 Kg m<sup>-3</sup> (tabella di Fig. 9).

Queste differenze sono senz'altro riconducibili alla meteorologia locale e ai diversi regimi climatici delle 2 aree.

## CONCLUSIONI

Per una stima della densità della neve non è sufficiente conoscere la sola forma dei grani in quanto è stato verificato che al variare della durezza varia anche la massa di ghiaccio presente nella neve. E' pertanto possibile effettuare una buona stima della densità della neve associando i parametri forma dei grani (F) e durezza (R). Il confronto con i dati rilevati in Canada ha evidenziato una maggiore densità delle nevi delle Alpi Orientali. Di questa specificità i ricercatori che sviluppano modelli di simulazione del manto nevoso probabilmente

| 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  |          |

Fig. 7

| Valori di densità della neve in funzione della forma dei grani e della durezza ricavati nel Canada Occidentale (Jamieson e T. Geldsetzer, 2000) |         |        |        |        |      |          |
|---|---------|--------|--------|--------|------|----------|
| CANADA  | Durezza |        |        |        |      |          |
| Grani   | Pugno   | 4 dita | 1 dito | Matita | Lama | Ghiaccio |
| grani 1   | 83      | 113    | 154    | 178    |      |          |
| grani 2   | 103     | 135    | 169    | 210    |      |          |
| grani 3   | 167     | 169    | 204    | 272    | 377  |          |
| grani 4   | 143     | 215    | 255    | 289    | 314  |          |
| grani 5   | 202     | 241    | 256    | 297    | 270  |          |
| grani 6   | 216     | 231    | 266    | 278    |      |          |

Fig. 8

| Differenza fra i valori misurati in Italia e in Canada |         |        |        |        |      |          |                          |
|--|---------|--------|--------|--------|------|----------|--------------------------|
| ITALIA CANADA  | Durezza |        |        |        |      |          | Differenza               |
| Grani  | Pugno   | 4 dita | 1 dito | Matita | Lama | Ghiaccio | Media Kg m <sup>-3</sup> |
| grani 1  | 26      | 58     |        |        |      |          | 42                       |
| grani 2  | 53      | 67     | 77     |        |      |          | 66                       |
| grani 3  | 78      | 112    | 124    | 92     | 38   |          | 89                       |
| grani 4  | 121     | 105    | 92     | 92     | 73   |          | 97                       |
| grani 5  | 58      | 72     | 79     | 59     | 89   |          | 71                       |
| grani 6  | 192     | 202    | 160    | 129    |      |          | 171                      |

Fig. 9

dovranno tener conto. Gli sviluppi futuri della ricerca saranno concentrati ad ampliare la banca dati con i rilievi dal 2000 in poi, alla verifica se esistono delle differenze fra le diverse quote e aree geografiche (es. Prealpi e Dolomiti per le Alpi Orientali).



## RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato reso possibile grazie al costante lavoro dei rilevatori neve del Centro Valanghe di Arabba, a Renato Zasso responsabile della banca dati neve del CVA di Arabba e alla dott.ssa Giorgia Zane che ha realizzato gran parte del data base.

## BIBLIOGRAFIA

- Colbeck S., E. Akitaya, R. Armstrong, H. Gubler, J. Lafeuille, K. Lied, D. McClung and E. Morris. 1990. International Classification for Seasonal Snow on the Ground. International Commission for Snow and Ice (IAHS), World Data Center A for Glaciology, U. of Colorado, Boulder, CO, USA, 23 pp.
- Cagnati A. 2003. Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.
- Geldsetzer T. and B. Jamieson. 2000. Estimating dry snow density from grain form and hand hardness. Proceedings ISSW 2000. Big Sky, Montana, USA, 121-127
- Danielou Y. and Pahaut E., 1985. Les mesures de la masse volumique de la neige. Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports, Direction de la Météorologie Nationale, Note de Travail de l'Établissement d'Études et de Recherches Météorologiques n. 138, 25 pp.