

# DENSITÀ della NEVE FRESCA sulle ALPI ITALIANE

**Mauro Valt**  
ARPAV-DRST Servizio Neve e  
Valanghe, Arabba BL  
mauro.valt@arpa.veneto.it

La densità della precipitazione e il rapporto R (neve:pioggia) sono caratteristici di ogni regione e variano in funzione della stagione, della quota e della temperatura dell'aria. Con una banca dati di oltre 12000 misure giornaliere di densità della neve fresca caduta nelle 24 ore, è stata determinata una densità media per le Alpi italiane di  $115 \text{ kg m}^{-3}$  pari ad un R (8,7:1). Inoltre è stata rilevata una differenziazione del rapporto neve/pioggia da R (9,9:1) per le zone continentali fino a R (7,7:1) per Alpi orientali. Differenziazioni significative di R sono state individuate anche per i diversi mesi della stagione invernale e per fascia altimetrica. Il valore standard di R (10:1) viene raggiunto con una temperatura minima dell'aria nelle 24 ore intorno ai  $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  /  $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  nelle Alpi continentali, la cui definizione verrà data più avanti, e intorno ai  $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  nelle Alpi orientali.



## INTRODUZIONE

La densità è una delle proprietà importanti del manto nevoso ed è definita come il rapporto fra il volume d'acqua di fusione che deriva da un campione di neve di volume noto (Cagnati, 2003).

La densità viene misurata durante le campagne di monitoraggio per la stima disponibilità della risorsa idrica (Cianfarra e Valt, 2014), nella realizzazione dei profili del manto nevoso a supporto dei servizi di previsione valanghe (Cagnati, 1984), nei campi di osservazione nivometeorologica ad ogni evento di precipitazione nevosa (Cagnati, 2003; Meteomont, 2012). I sistemi automatizzati di determinazione della densità della neve al suolo e della neve fresca, come lo *Snow Pack Analyzing System* ([www.sommer.at](http://www.sommer.at)) sono ancora poco diffusi.

I valori caratteristici della densità del manto nevoso sono stati indagati nel tempo da diversi autori. Sono stati definiti i valori caratteristici per area geografica come la valle di Davos (CH) (Monti et al., 2012), le Alpi italiane orientali (Valt et al., 2005, 2009, 2010) e di alcune aree delle zone polari (Cagnati, 1996; Cagnati et al., 2003; Valt et al., 2013; Valt e Salvatori, 2015), mettendo in evidenza le variazioni stagionali, altitudinali e climatiche.

Per quanto riguarda la stima della densità della neve di precipitazione, sono state realizzate molte ricerche in Nord America. McGurk et al. (1988) hanno studiato la neve di precipitazione e la relazione con la temperatura dell'aria nella Sierra Nevada centrale, Judson A. e Doesken N. (2000) in alcune stazioni nelle Rocky Mountains e del Wyoming, riscontrando un'ampia

variabilità fra le diverse aree e una buona correlazione (Pearson  $r=0,52$ ) fra i valori di temperatura dell'aria e la densità della neve fresca. Roebber et al. (2003) hanno esaminato, per gli Stati Uniti d'America, la relazione che lega la precipitazione espressa in mm di pioggia e la neve fresca (cm) in un articolato lavoro pubblicato su *Weather and Forecasting* dell'*American Meteorological Society*. Anche Dubé (2003) ha indagato la relazione che lega i mm di pioggia e i cm di neve fresca per il Quebec in Canada, così come Huntington T.G. (2005) per il New England nel periodo 1949-2001, mentre Simeral D.B. (2006), oltre ai valori di neve fresca, ha ricercato la relazione fra la densità della neve e la quota.

Colombo e Vergari (2006) in ambito italiano, hanno studiato le precipitazioni nevose in Italia, definendo una relazione fra i mm di pioggia e i cm di neve per le Alpi trentine. Valt et al. (2014) hanno proposto le prime elaborazioni sui dati di densità della neve fresca misurate nei campi neve.

Dall'analisi di questi lavori emerge che la densità della neve di precipitazione ha sempre un elevato grado di incertezza poiché dipende da diversi fattori ed è caratteristica di ogni area geografica. Lo scopo del presente lavoro, realizzato con i dati misurati giornalmente nelle stazioni nivometeorologiche delle Alpi italiane, è di fornire dei valori caratteristici di densità della neve di precipitazione per quota, stagione, settore alpino e di determinare la relazione fra la densità della neve fresca e la precipitazione in mm di pioggia in funzione della temperatura dell'aria nelle ore precedenti alla misurazione.

## CARATTERISTICHE DELLA DENSITÀ DELLA NEVE DI PRECIPITAZIONE

La densità della neve fresca dipende dalla temperatura e dall'umidità dell'aria e, durante la nevicata, dalla velocità del vento (Ware et al., 2006; Judson e Doesken, 2000).

In generale, la densità della neve fresca aumenta con l'aumentare della temperatura (LaChapelle, 1962; McGurk et al., 1988; Dubé, 2003; Judson e Doesken, 2000; Roebber et al., 2003) e con l'aumentare della velocità del vento (Dubé, 2003; Roebber et al., 2003), ma non è correlata la quantità di neve fresca caduta (Judson e Doesken, 2000).

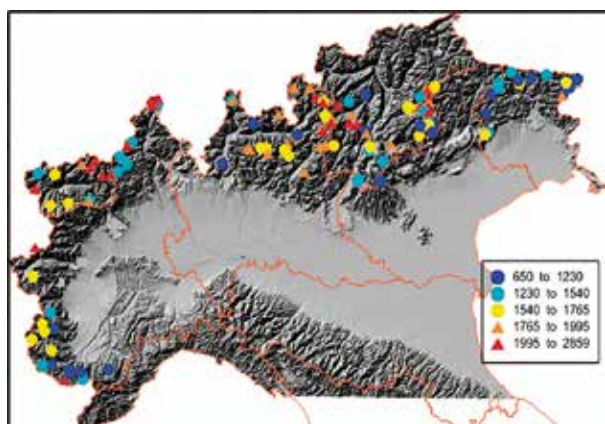
Dubé (2003) ha dimostrato che la densità della neve di precipitazione diminuisce dall'autunno all'inizio dell'inverno, per poi aumentare dal periodo centrale dell'inverno fino all'inizio della primavera. Questo andamento stagionale è anche coerente con una relazione positiva tra temperatura dell'aria nei mesi invernali e la densità. Allo stesso modo, le stazioni più settentrionali di una regione hanno evidenziato densità più basse rispetto alle stazioni meridionali; anche con l'aumentare della quota, la densità diminuisce (Roebber et al., 2003; Ware et al., 2006).

Nel campo della previsione meteorologica, la densità della neve fresca è frequentemente definita con la relazione R (10:1) che deriva dalla proporzione fra la densità dell'acqua ( $1000 \text{ kg m}^{-3}$ ) e la densità della neve ( $100 \text{ kg m}^{-3}$ ).

Il rapporto R (neve/acqua) (mm/mm), o fattore di conversione neve/pioggia (R), è inversamente proporzionale alla densità della neve. Più aumenta la densità della neve (massa per unità di volume), più il rapporto neve/acqua diminuisce. Allo stesso modo più diminuisce la densità della neve, più il rapporto neve/acqua aumenta: a parità di precipitazione in mm di acqua, più la neve è leggera (bassa densità) e maggiore è lo spessore di neve che ci si aspetta.

Ad esempio se la neve fresca ha una densità di  $100 \text{ kg m}^{-3}$ , il rapporto R (10:1) determina che 10 mm di neve pioggia sono pari a 1 mm di pioggia; se la neve ha una densità di  $50 \text{ kg m}^{-3}$ , il rapporto R è (20:1), e quindi per 1 mm di pioggia si hanno a 20 mm di neve con una densità di  $50 \text{ kg m}^{-3}$ . Come osservato da Judson e Doesken (2000), la regola R (10:1) sembra provenire anticamente da uno studio canadese dell'Ottocento: Potter (1965) cita: "Una

Fig. 1 - Stazioni utilizzate nel data base. La diversa grafia esprime la dislocazione altitudinale. L'elenco delle stazioni può essere richiesto all'autore.



lunga serie di esperimenti condotti dal generale Sir H. Lefroy, precedentemente Direttore dell'Osservatorio di Toronto, ha portato alla conclusione che questa relazione R (10:1) è vera nella media".

Misure più complete di densità della neve (ad esempio Currie 1947; LaChapelle 1962, riprodotto in Doesken e Judson 1997, pag. 15; Power et al. 1964; Super e Holroyd 1997; Judson e Doesken 2000) hanno stabilito che questa regola è inadeguata perché la densità della neve fresca è molto variabile. Infatti, può variare da  $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , R (100:1), a circa  $350 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , R (2,5:1).

Tuttavia, nella maggior parte dei casi in meteorologia, viene ancora applicato in maniera semplicistica il rapporto R (10:1) per determinare la quantità di neve fresca prevista.

## DATI ED ELABORAZIONI EFFETTUATE

Per studiare la densità della neve di precipitazione, sono stati utilizzati i dati di 132 stazioni (Fig. 1) nivometeorologiche dei servizi valanghe afferenti all'AINEVA nel periodo 2006-2015 (10 stagioni invernali).

Le stazioni, di tipo tradizionale con osservazioni giornaliere, sono ubicate fra i 650 m di altitudine, stazione di Claut in Friuli Venezia Giulia, e i 2858 m di Cime Bianche in Valle d'Aosta. La quota media è di 1624 m.

Il data base è costituito da misure giornaliere di densità e di altezza della precipitazione nevosa avvenuta, nelle 24 ore, da ottobre a maggio. Gli spessori di neve fresca misurati più frequentemente sono stati (45% del data base) fra i 7 e i 15 cm, seguiti dai 16 e i 24 cm (22%), fra i 25 e i 35 cm (14%) e maggiori di 35 cm (11%) (Fig. 2).

Le misure della densità della neve fresca sono state effettuate fra le ore 7:00 e le ore 9:00 di ogni giorno pesando una porzione di neve nota prelevata con un tubo carotatore della dimensione di  $0,5 \text{ dm}^{-3}$  e del diametro di 6 cm (Cagnati, 2003). L'altezza della neve fresca (HN) è stata

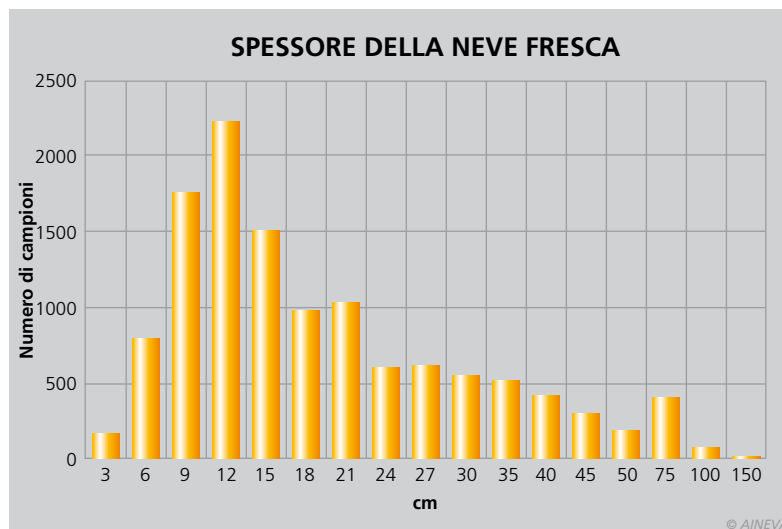


Fig. 2 - Misure di altezza neve fresca disponibili nel data base classificate per classi di spessore di precipitazione.

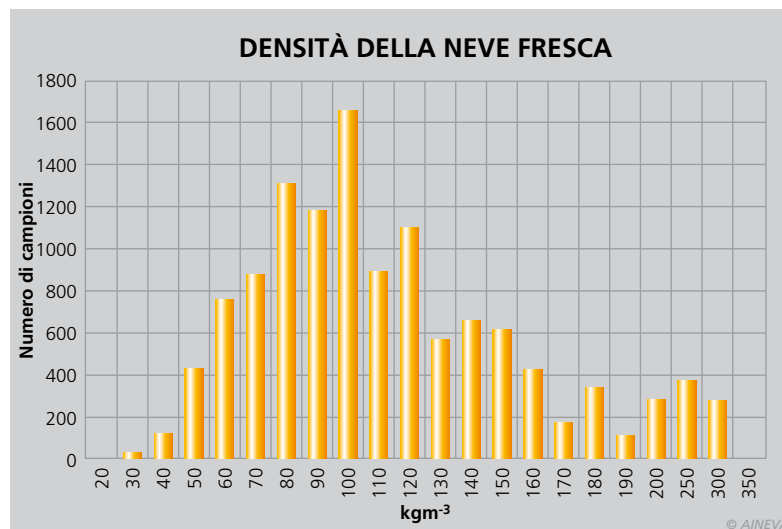


Fig. 3 - Misure di densità di neve fresca disponibili nel data base classificate per classi di densità di precipitazione.

determinata misurando lo spessore di neve caduta in 24 ore su un pannello di riferimento pulito ad ogni rilevamento mattutino (*ibidem*).

Gli effetti della temperatura sulla precipitazione nevosa sono stati indagati utilizzando i valori di temperatura minima ( $T_{\text{min}}$ ) e massima ( $T_{\text{max}}$ ) registrati nelle 24 ore precedenti alla misura della neve fresca.

Inoltre sono state effettuate analisi sulla variabilità della densità della neve di precipitazione, discriminando la tipologia delle condizioni atmosferiche sulla stazione utilizzando i codice di osservazione del campo definito "condizioni del tempo (WW)" del modello di rilevamento MOD1 (*ibidem*) e la "tipologia della superficie della neve (CS)" (*ibidem*).

Sono stati utilizzati tutti i dati di densità del manto nevoso completi del valore di altezza della neve fresca (HN) e della tem-

peratura dell'aria. Non sono stati utilizzati dati parziali.

È stato calcolato il rapporto R (neve:poggia) per tutti i valori di densità disponibili.

In relazione alla temperatura minima ( $T_{\text{min}}$ ), massima ( $T_{\text{max}}$ ) e media ( $T_{\text{media}}$ ) e valore medio fra la temperatura minima e massima), sono state elaborate le rispettive curve di R in relazione alla temperatura dell'aria per la neve di precipitazione di neve asciutta e umida.

Per alcune elaborazioni, sono stati calcolati i valori di riferimento per gruppi montuosi.

## RISULTATI

Sono stati elaborati 12112 misurazioni di densità della precipitazione nevosa. I valori variano da un minimo di  $25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ad un valore massimo di  $330 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (Fig. 3). Il valore medio ricavato è di  $115 \pm 49$  (me-

diana =  $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) che corrisponde ad un rapporto neve/pioggia R (8,7:1); i valori di densità compresi fra il 1° e il 3° quartile sono rispettivamente di  $80 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e  $140 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (Fig. 4).

I dati sono stati aggregati per gruppo montuoso secondo la suddivisione utilizzata dai servizi valanghe regionali, in modo da evidenziare le variazioni locali. La densità media più elevata è stata determinata nella fascia delle Prealpi trentino-venete con  $130 \pm 54 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (Fig. 5) e in tutto il settore più orientale delle Alpi, caratterizzato anche da montagne più basse rispetto al settore occidentale. Nelle Prealpi e Alpi Carniche, i valori di densità media ricavati sono stati fra i  $138 \pm 66 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e i  $142 \pm 50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e nelle Alpi Giulie di  $133 \pm 55 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Fig. 4 - Caratteristiche statistiche del data base delle misure di densità della neve fresca disponibili.

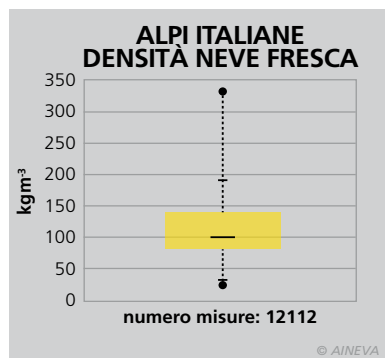


Fig. 5 - Boxplot delle misure di densità suddivise per gruppo montuoso.

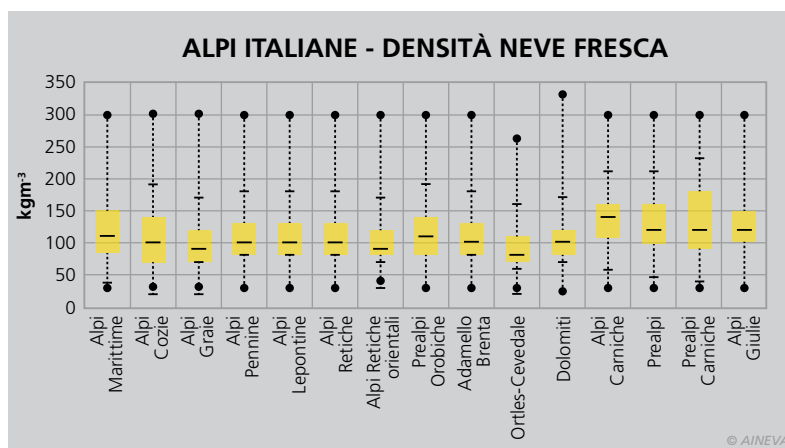
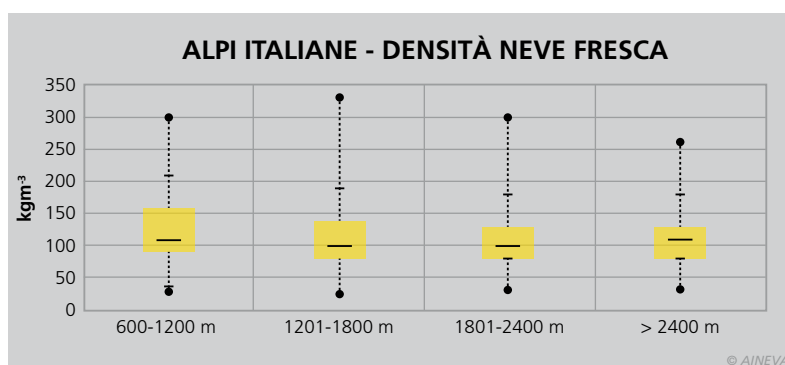


Fig. 6 - Boxplot delle misure di densità suddivise per fascia altimetrica.



Nelle Alpi Marittime come nelle Prealpi Orobiche, la densità della neve fresca è superiore al valore medio con  $122 \pm 50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Le nevi a minor densità sono state rilevate nei settori più in quota e lontani dalla fascia prealpina che è più vicina al mare. Nelle Alpi Graie (alto Piemonte e Valle d'Aosta occidentale) la densità media calcolata è stata di  $100 \pm 43 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , nelle Alpi Retiche settentrionali (alta Lombardia) di  $99 \pm 34 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , nel gruppo Ortles - Cevedale di  $97 \pm 41 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e nelle Dolomiti (Veneto e Trentino orientale) è stata di  $103 \pm 38 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Sulla base di questi risultati è stato possibile distinguere 4 grandi aree climatiche con le stesse caratteristiche:

- 1) Zona A, definita di sollevamento orografico per la sua vicinanza con il mare (Alpi Marittime) o per la posizione geografica rispetto ai flussi perturbati sud occidentali (Prealpi Orobiche); quota media delle stazioni =  $1397 \text{ m}$ , densità media  $121 \pm 52 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- 2) Zona B, definita di transizione fra la zona A di sollevamento orografico e le aree più settentrionali delle Alpi e for-

mata da Alpi Cozie, Pennine, Lepontine, Retiche, Adamello, quota media delle stazioni =  $1751 \text{ m}$ , densità media  $111 \pm 45 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;

- 3) Zona C, definita continentale, per la maggior lontananza dal mare e per essere dislocata principalmente lungo o nelle vicinanze della cresta settentrionale delle Alpi, formata da Alpi Graie, Retiche orientali, Gruppo Brenta-Cevedale e Dolomiti); (quota media delle stazioni =  $1877 \text{ m}$ ), densità media  $102 \pm 46 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;

- 4) Zona D, definita delle Alpi orientali, che riunisce molte caratteristiche della zona A (Prealpi Trentine), della zona B (Alpi e Prealpi Carniche) e C (Alpi Giulie) ma con valori elevati di densità omogenei; quota media delle stazioni =  $1271 \text{ m}$ , densità media  $134 \pm 57 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Le 4 aree sono caratterizzate da una diversità della quota media delle stazioni disponibili che rispecchiano anche la quota media dell'area geografica che rappresentano. Le Alpi orientali hanno una quota media inferiore alle Alpi della cresta di confine (es. Alpi Graie). Inoltre nelle 4 zone sono diversi i flussi perturbati che determinano i maggiori apporti nevosi: sud occidentale nella zona A, sud orientale nella zona D, per lo più settentrionali nella zona C, mentre per la zona B gli apporti sono pressoché omogenei (Latini, 1986).

Questa caratterizzazione meteorologica evidenzia che i flussi meridionali rispecchiano nevi "più pesanti" e quindi più calde, mentre i flussi settentrionali, generalmente più freddi, apportano nevi "più leggere".

A conferma di questa caratterizzazione geografica legata anche alla morfologia del territorio, i valori calcolati per fascia altimetrica evidenziano una diminuzione della densità con la quota, come già dimostrato da Roebber et al., (2003) e da Ware et al. (2005). Nella fascia altimetrica più bassa,  $600 - 1200 \text{ m}$  di quota, la densità media è di  $131 \pm 62 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , fra i  $1200$  e i  $1800 \text{ m}$   $114 \pm 51 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , fra i  $1800$  e i  $2400 \text{ m}$  di  $111 \pm 44 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e di  $109 \pm 36 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  alle quote più elevate ( $2400 - 3000$

m) (Fig. 6).

Per quanto riguarda la variazione stagionale dei valori di densità della precipitazione nevosa, i valori si abbassano da novembre a febbraio (da  $128 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a  $105 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) per poi aumentare in primavera ( $127 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  nel mese di aprile) come osservato anche da Dubé (2003) (Fig. 7). Il coefficiente di correlazione con la temperatura media mensile delle Alpi italiane (Valt e Cianfarra, 2003) è da dicembre ad aprile di  $r^2=94$ . Nel mese di novembre non si riscontra un'elevata correlazione.

## NEVE FRESCA AL SUOLO ASCIUTTA E UMIDA

Utilizzando le osservazioni effettuate nei campi neve (MOD1 AINEVA, Cagnati 2003), è stato possibile distinguere fra le misure di densità della neve di precipitazione asciutta da quelle di neve umida. Per effettuare questa selezione sono state separate le osservazioni di "pioggia sulla neve fresca" (prima cifra 8 nella misura della neve fresca) e le misure con le condizioni meteorologiche di pioggia al momento dell'osservazione (campo WW, codici dal 60 al 69 che esprimono varie intensità della pioggia).

Nel primo caso, sono state individuate 461 giornate e nel secondo caso 149 per un totale di 612 misure, pari al 5% del totale delle osservazioni disponibili. Per questo campione di dati di "neve fresca con pioggia" il valore medio è risultato di  $178 \pm 68 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . I casi sono 200 nella zona D delle Alpi orientali, 191 nella zona A, 139 nella zona B e solo 81 nella zona C più continentale e settentrionale.

Utilizzando sempre le osservazioni nei campi neve, sono state raggruppate le misure di neve fresca definite di neve umida ma non caratterizzate da episodi di pioggia ma dovute presumibilmente per l'aumento della temperatura dell'aria dopo la precipitazione nevosa (codice 2 dell'osservazione CS - caratteristiche superficiali della neve). Si tratta di oltre 1500 misure (298 nella zona A, 592 nella zona B, 285 nella zona C, e 398 nella zona D), pari al 13% del campione le misure, in

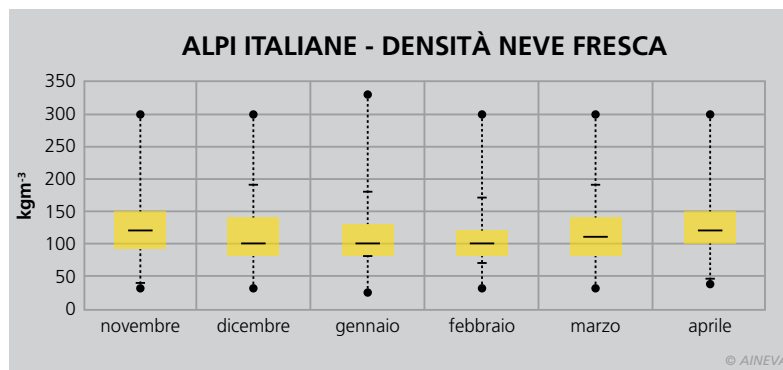


Fig. 7 - Boxplot delle misure di densità suddivise per mese.

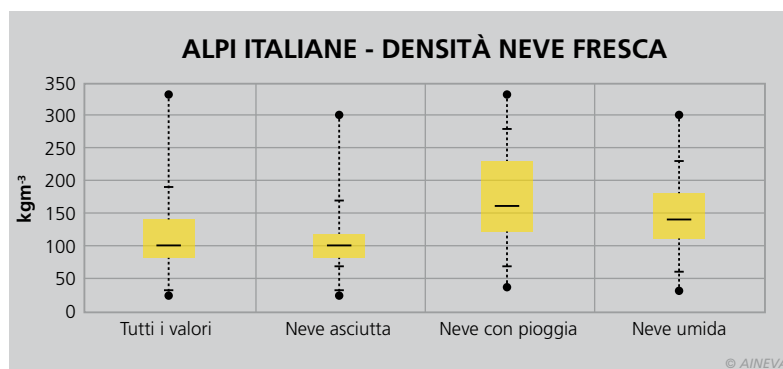


Fig. 8 - Boxplot delle misure di densità suddivise per tipologia di neve.

cui valore medio, è stato individuato di  $153 \pm 58 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Il campione di misure rimanente costituisce sono le misure di densità in neve asciutta ed è formato da 9893 misure (82%). Il valore di densità medio risultante è stato di  $104 \pm 40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , con poca differenziazione altimetrica ( $103\text{-}106 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) (Fig. 8).

Nelle diverse aree, anche per la neve asciutta, viene rispecchiata una differenziazione.

- 1) Zona A di primo sollevamento orografico =  $109 \pm 40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- 2) Zone B delle Alpi di transizione =  $103 \pm 40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- 3) Zone C delle Alpi più continentali =  $95 \pm 32 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- 4) Zone D delle Alpi orientali =  $117 \pm 44 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Questa diversità areale dei valori, conferma la differenziazione geografica e un andamento locale della precipitazione nevosa, frequentemente più umida nelle aree orientali e più secca e leggera lungo la cresta di confine che è più distante dal mare, ha una quota media più elevata, ha le vette delle Alpi più elevate ed è maggiormente interessata da flussi perturbati settentrionali.

## RAPPORTO R (NEVE:PIOGGIA) E TEMPERATURA DELL'ARIA

Per l'analisi del rapporto R (neve:pioggia) sono stati utilizzati i valori di temperatura massima ( $T_{\text{max}}$ ), media ( $T_{\text{media}}$ ) come media fra la minima e la massima e la temperatura minima ( $T_{\text{min}}$ ).

Per ogni misura di densità della neve fresca effettuata al mattino sono disponibili i valori di temperatura dell'aria minima ( $T_{\text{min}}$ ) e massima ( $T_{\text{max}}$ ) nelle 24 ore precedenti. Le misure di temperatura sono indipendenti rispetto alla durata della nevicata. Le misure non sono quindi relative al tempo esclusivo della nevicata ma rappresentano gli estremi nelle 24 ore e quindi possono rappresentare dei valori misurati durante delle interruzioni delle precipitazioni, prima del suo inizio o anche alla fine. Non sono disponibili, per questo data base, misure di temperatura dell'aria con un dettaglio maggiore.

Il rapporto R (neve:pioggia) con la temperatura massima dell'aria ( $T_{\text{max}}$ ), misurata nelle 24 ore, ha un coefficiente di correlazione  $r^2=0,92$  (Fig.9). Il range di temperatura varia fra i  $-17 \text{ }^\circ\text{C}$  e i  $+11 \text{ }^\circ\text{C}$ . Il 47% delle misure sono con una temperatura compresa fra gli  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  e i  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ , il 41% fra

Fig. 9 - Grafico temperatura massima dell'aria e misure di densità.

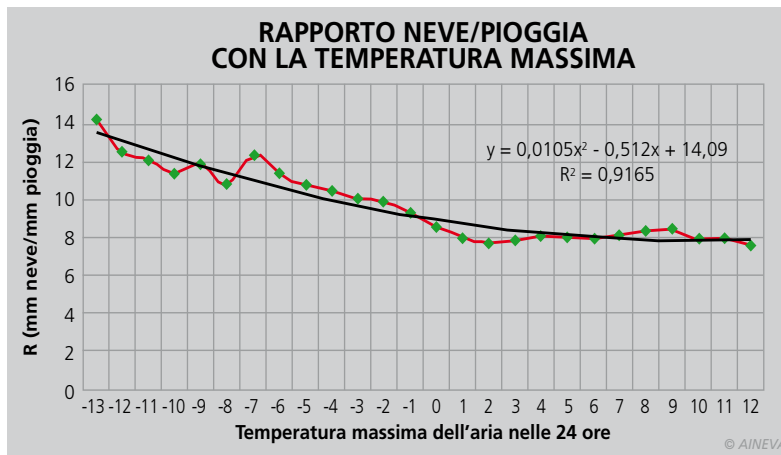


Fig. 10 - Grafico temperatura massima e media dell'aria e misure di densità.

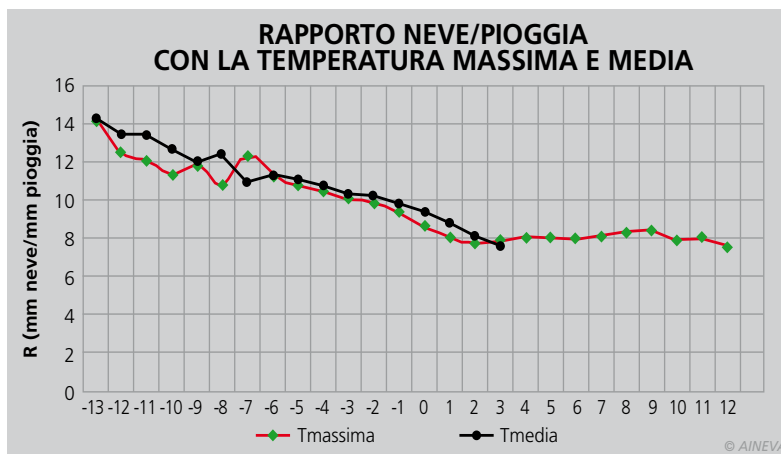


Fig. 11 - Grafico temperatura minima dell'aria e misure di densità.

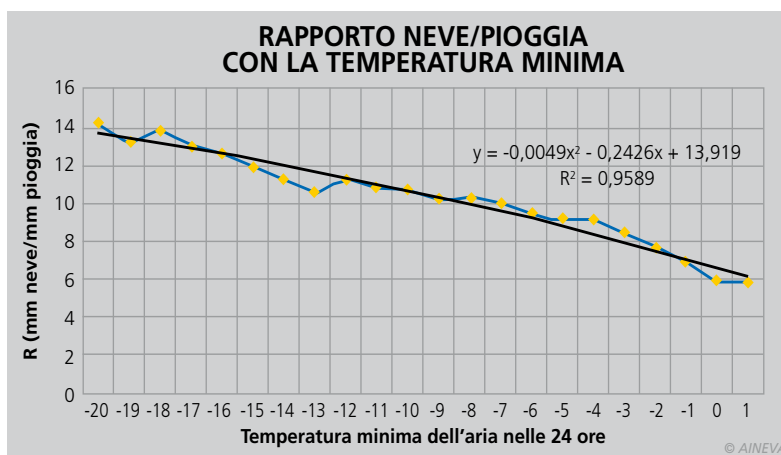
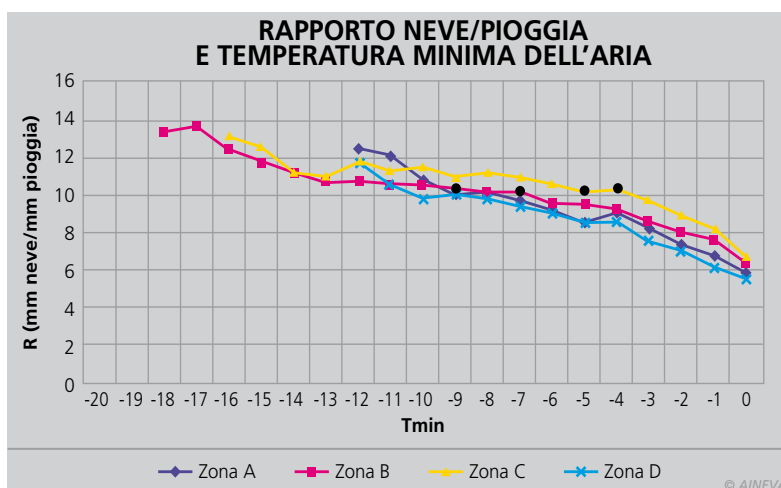


Fig. 12 - Grafico temperatura minima dell'aria e misure di densità differenziate per le 4 zone omogenee.



+5 °C e +1 °C, il 6% con temperature superiori a +5 °C e l'8% delle misure con una temperatura massima inferiore ai -6 °C. Il rapporto R (10:1) è intorno ai -3 °C di temperatura massima ( $T_{max}$ ) giornaliera. Fra i +2 °C e i -7 °C, (R) aumenta in modo lineare per poi proseguire similmente fra i -7 °C e temperature più fredde. In questo *range* di basse temperature (-7 °C / -20 °C), il valore più basso di (R) è causato da frequenti nevicate ad alta densità delle aree delle Alpi orientali, Alpi Marittime e Prealpi Orobriche. Dalla temperatura di +2 °C, (R) si assesta su valori oscillanti di R (8,3-7,8:1) ad indicare che oltre una certa soglia, la temperatura massima non è più significativa per una variazione di R.

La curva di R ricavata con le temperature massime ( $T_{max}$ ), ha lo stesso andamento di quella relativa alla temperatura media dell'aria ( $T_{media}$ ) con un coefficiente di correlazione  $r^2=0,93$ . Le elaborazioni evidenziano simili soprattutto nel *range* di temperatura -6 °C / +4 °C ( $r^2=0,97$ ).

Invece la curva di R realizzata con le temperature minime ( $T_{min}$ ), si discosta dalle precedenti. La maggior parte delle misure di precipitazione (47%) sono state effettuate con una temperatura minima ( $T_{min}$ ) dell'aria fra 0 °C / -4 °C, il 39% fra -5 °C / -9 °C, il 12% fra -10 °C / -14 °C, il 2% a temperature minime inferiori ai -14 °C e il rimanente 2% con una temperatura minima leggermente positiva (Fig.10). Le poche osservazioni a temperature minime inferiori ai -20 °C non sono state utilizzate.

Il rapporto standard di R (10:1) in relazione alla temperatura minima dell'aria ( $T_{min}$ ) è intorno ai -7 °C. La correzione in questo caso è di  $r^2=0,96$ . Anche questa curva presenta una discontinuità nel suo andamento. Fra le temperature di -12 °C e i -13 °C c'è una netta variazione di (R) dovuto, alle nevi ad elevata densità di alcune aree, come per la curva realizzata con le  $T_{max}$ .

Il rapporto R (10:1) varia con una temperatura minima ( $T_{min}$ ) diversa per area geografica: nelle aree più continentali (zona C) viene raggiunto e superato ad

una minima di  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  /  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , nelle aree di primo innalzamento orografico (zona A) e di transizione (Zona B) ad una temperatura minima di  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  /  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  e nelle Alpi orientali (zona D) a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  /  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Fig. 11). Questo comporta, a parità di precipitazioni nevose espresse in mm di acqua equivalente, apporti di spessore di neve maggiore nelle aree più continentali e minori nelle Alpi orientali.

## CONCLUSIONI

Con l'analisi dei dati disponibili, relativi a 10 anni di misure di densità della neve fresca presso le stazioni nivometeorologiche, è stato possibile definire alcune caratteristiche della precipitazione nevosa per le Alpi meridionali. La densità media calcolata, delle oltre 12000 misure disponibili, è stata di  $115\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , pari ad un rapporto neve/pioggia di R (8,7:1) che può essere assunto come valore di riferimento generale per le Alpi italiane. L'analisi dei dati ha evidenziato differenze altitudinali, con nevi densità maggiori alle basse quote,  $132\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (600-1200 m), e minori alle quote maggiori,  $109\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (oltre i 2400 m). Viene confermato che la densità della neve fresca varia in funzione della stagione con una precipitazione nevosa più leggera nel mese di febbraio ( $105\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) rispetto ai mesi di inizio e fine inverno ( $128\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Inoltre, è stata individuata una differenziazione geografica per 4 grandi zone delle Alpi meridionali: le Alpi orientali, le zone più settentrionali-cresta di confine, le Alpi Marittime e le Prealpi Orobiche e le zone di transizione. La densità varia dai  $95\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  delle zone settentrionali ai  $117\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  delle Alpi orientali. Il rapporto neve/pioggia varia in relazione alla temperatura e in maniera più evidente dei valori di minima ( $T_{\text{min}}$ ) nelle 24 ore rispetto ai valori di temperatura massima ( $T_{\text{max}}$ ) e media ( $T_{\text{media}}$ ) che hanno andamenti molto simili. Questa diversificazione è anche riscontrabile nelle 4 zone individuate dove R (10:1) viene raggiunto a temperature di  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  /  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  nelle zone settentrionali e  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  nelle Alpi orientali.

## Bibliografia

- Cagnati A., (2003). Sistemi di misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.
- Cagnati A., M. Valt, R. Casacchia e R. Salvatori, (2003). Snow Cover in Antarctica: Physical and Morphological Features of Surface Layers. Terra Antarctica Reports n.8, 5- 10
- Cianfarra P. e M. Valt, (2014). Monitoraggio dell'equivalente in acqua della neve da dati MODIS. Il caso dell'Alto Piave. Neve e valanghe, n.83, 28-34
- Colombo T. e S. Vergari (2006). Le precipitazioni nevose in Italia. Rivista di Meteorologia Aeronautica, n. 2006-2, 11-21
- Currie B. W., (1947). Water content of snow in cold climates. Bull. Amer. Meteor. Soc., 28, 150-151
- Doesken N. J. e A. Judson, (1997). The Snow Booklet: A Guide to the Science, Climatology, and Measurement of Snow in the United States. Colorado State University, Department of Atmospheric Science, 86 pp.
- Dubé, I., (2003), From mm to cm... Study of snow/liquid water ratios in Quebec region MSC – Quebec, pp.127, [http://www.meted.ucar.edu/norlat/snowdensity/from\\_mm\\_to\\_cm.pdf](http://www.meted.ucar.edu/norlat/snowdensity/from_mm_to_cm.pdf)
- Huntington, T.G., (2005). The Density of Falling Snow in New England, 1949–2001, Proceedings of 62nd Eastern Snow Conference Waterloo, ON, Canada 2005, 287-297
- Judson A. e N. Doesken, (2000). Density of freshly fallen snow in the Central Rocky Mountains. Bull. Amer. Meteor. Soc., 81, 1577-1587
- LaChapelle E. R., (1962). The density distribution of new snow. USDA Forest Service, Wasatch National Forest, Alta Avalanche Study Center, Project F, Progress Report No. 2, Salt Lake City, Utah, 13 pp.
- Latini A., (1986). Distribuzione delle nevicate sulle Alpi e tipi di tempo. Neve e valanghe, n.3, 8-19
- McGurk B., Azuma D., Kattelmann R., (1988). Density of new snow in the Central Sierra Nevada. Presented in the Western Snow Conference, April 19.21, 1988, Kalispell. MT.
- Meteomont, (2009). Codice Meteorivometrico. Corpo Forestale dello Stato, Roma, 14 pp.
- Monti F., M. Valt, P. Cianfarra e D. Moro, (2012). Physical properties of snow cover in Alps: insight from the Davos area (Switzerland) and Veneto-Friuli Venezia Giulia regions (Italy). Geophysical Research Abstracts Vol. 14, EGU2012-12471, 2012
- Potter J. G., (1965). Water content of freshly fallen snow. CIR-4232, TEC-569, Meteorol. Branch, Dept. of Transport, Toronto, ON, Canada, 12 pp.
- Power, B.A., P.W. Summers e J. d'Avignon (1964). Snow crystal form and riming effects ad related snowfall density and generale storm conditions. J.Atmos.Sci, 21, 300-305
- Roebber P. J., S. L. Bruening, D. M. Schultz e J. V. Cortinas Jr., (2003). Improving snowfall forecasting by diagnosing snow density. Wea. Forecasting, 18, 264-287
- Simeral, D. B., (2006) .New Snow Density Across An Elevational Gradient in the Park Range of Northwestern Colorado. Master's thesis, Northern Arizona University, Flagstaff, AZ, pp 100.
- Super A. B. e E. W. Holroyd III, (1997). Snow accumulation algorithm for the WSR-88D radar: Second annual report. U.S. Dept. of Interior, Bureau Reclamation Tech. Rep. R-97-05, Denver, CO, 77 pp. [Available from National Technical Information Service, Operations Division, 5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22161.]
- Valt M. e A. Cagnati, (2005). Stima della densità della neve. Neve e Valanghe n. 55.
- Valt M. e D. Moro, (2009). Average snowcover density in eastern Alps Mountain. Geophysical Research Abstract- Vol. 11, EGU 2009-5289-2009
- Valt M., P. Cianfarra, A. Cagnati, I. Chiambretti e D. Moro, (2010). Estimate of snow density knowing grain shape and hardness . Geophysical Research Abstract. Vol. 12, EGU 2010-12217-2010
- Valt M., Cianfarra P. (2013). Variazioni climatiche e manto nevoso sulle Alpi italiane. Neve e valanghe n. 80, 12-19
- Valt M, R. Salvatori, J. Gabrieli, (2013). Snowpack Characteristics of Brøggerhalvøya, 11th Ny-Ålesund Science Managers Committee Seminar, National Research Council of Italy, Rome, 9 -11, October 2013, Abstracts, ISSN 2239-5172, pp. 113
- Valt M., I. Chiambretti, P. Dellavedova, (2014). Fresh snow density on the Italian Alps. Geophysical Research Abstracts Vol. 16, EGU2014-9715, 2014 Convegno: EGU General Assembly 2014, 27 aprile – 2 maggio 2014 (ISSN 1607-7962)
- Ware E., D. Schultz e H. Brooks, (2006). Improving Snowfall Forecasting by Accounting for the Climatological Variability of Snow density. Weather and Forecasting, 21(1), 94-103