

# RISORSA La NIVALE sulle SWE ALPI ORIENTALI

**Mauro Valt**  
ARPAV DST Centro  
Valanghe di Arabba

## Variazioni climatiche e ultimi inverni nelle Dolomiti e Prealpi Venete

*Snow is an important resource for the mountain environment for various aspects such as hydrology, vegetation, socioeconomic sector, winter sports and power generation. The study of the snow water resource and its variation in recent times has become a crucial aspect of meltwater management. In the Eastern Alps, the availability of the March nival water resource shows a negative trend at all elevations with varying degrees of significance. Analyzing the differences between the climatic period 1961-1990 and 1991-2020, the decrease is more than 60 percent below 2000 m in March to almost 100 percent in April below 1000 m elevation. Analyzing the seasonal trend, it is observed that there is a progressive decrease in snow on the ground throughout winter, especially from February onward.*

*In the Piave - Cordevole basin in the Eastern Alps (2110 km<sup>2</sup> above 800 m elevation), the loss of Million cubic meters of water equivalent in March is 48% compared to the 1961-1990 period equal to 240 Mm<sup>3</sup>. The values found are of a SWE loss of -2.0 mm<sup>y</sup><sup>-1</sup> above 2000 m, -2.3 mm<sup>y</sup><sup>-1</sup> between 1500 and 2000 m, -1.4 mm<sup>y</sup><sup>-1</sup> between 1000 and 1500 m, -0.2 mm<sup>y</sup><sup>-1</sup> at low altitudes.*

La neve è una risorsa importante per l'ambiente montano per diversi aspetti quali l'idrologia, la vegetazione, il settore socioeconomico, gli sport invernali e la produzione di energia elettrica. Lo studio della risorsa idrica nivale e la sua variazione nei tempi recenti è diventato un aspetto cruciale per la gestione della acqua di fusione. Nelle Alpi orientali la disponibilità della risorsa idrica nivale del mese di marzo evidenzia un trend negativo a tutte le quote con diversi gradi di significatività. Analizzando le differenze fra il periodo climatico 1961-1990 e 1991-2020 la diminuzione della risorsa nivale è di oltre il 60% al di sotto dei 2000 m nel mese di marzo, per arrivare ad essere quasi al 100% nel mese di aprile ad di sotto dei 1000 m di quota. Analizzando l'andamento stagionale si osserva che viene a mancare progressivamente nel corso dell'inverno il carico di neve, specie da febbraio in poi.

Nel bacino del Piave - Cordevole, nelle Alpi orientali (2110 km<sup>2</sup> oltre gli 800 m di quota), la perdita di Milioni di metri cubi di acqua equivalente nel mese di marzo è del 48% rispetto al periodo 1961-1990 pari 240 Mm<sup>3</sup>. I valori di riscontrati sono di una perdita di SWE di -2.0 mm<sup>y</sup><sup>-1</sup> oltre i 2000 m, -2.3 mm<sup>y</sup><sup>-1</sup> fra i 1500 e i 2000 m, -1.4 mm<sup>y</sup><sup>-1</sup> fra i 1000 e i 1500 m, -0.2 mm<sup>y</sup><sup>-1</sup> alle basse quote.



## 40 ANNI DI AINEVA INTRODUZIONE

Le Alpi italiane sono caratterizzate da un manto nevoso definito di tipo “alpino” nella classificazione internazionale (Sturm et al. 2005), nella transizione fra clima continentale e marittimo. Il “manto nevoso alpino” è generalmente caratterizzato da uno spessore variabile fra i 75 e 250 cm, da una durata di 7 mesi, formato da una alternanza di strati spessi e sottili, influenzato dall’azione di erosione e deposizione del vento e in parte da nevicate con basse densità della neve fresca.

La neve è quindi una risorsa importante per l’ambiente montano per diversi aspetti quali l’idrologia, la vegetazione, il settore socioeconomico, gli sport invernali e la produzione di energia elettrica. La fusione primaverile della neve stagionale ed estiva dei ghiacciai nelle Alpi, come nella maggior parte delle regioni montane, fornisce acqua ad aree fortemente coltivate e popolate anche durante i caldi mesi estivi (Schmucki et al. 2015).

Nonostante l’elevata variabilità inter-annuale, diversi studi hanno già dimostrato una significativa diminuzione dei giorni nevosi nel recente passato, soprattutto alle basse quote e anche come il limite della neve affidabile sia aumentato di quota.

La neve è infatti molto sensibile ai cambiamenti climatici poiché, sui suoli alpini, è molto vicina alle condizioni di fusione (Haeberli e Beniston 1998) e quindi i cicli di accumulo e fusione sono molto delicati. Lo studio della risorsa idrica nivale e la sua variazione nei tempi recenti è diventato un aspetto cruciale negli ultimi anni. La risorsa idrica nivale è data dallo Snow Water Equivalent (SWE) di un bacino montuoso in un dato momento della stagione invernale espressa come Milioni di metri cubi o di mm di acqua equivalente. Lo SWE puntuale è calcolato con altezza del manto nevoso (HS) moltiplicata per la sua densità ( $\delta$ ) e rappresenta la quantità di acqua immagazzinata nel manto nevoso (Fiertz et al 2009).

Tuttavia, per lo SWE sono disponibili molte meno misure dirette rispetto al valore di HS (Sturm et al., 2010, Schöber et al., 2016) perché le misurazioni richiedono procedure complesse, costose e spesso distruttive del manto nevoso. Le determinazioni attraverso il telerilevamento presentano delle problematiche di risoluzione spaziale, accuratezza e sensibilità nonché di disponibilità di serie storiche sul lungo periodo (Dozier et al., 2016; Schattan et al., 2017; Steiner et al., 2018; Smyth et al., 2019).

Pertanto sono poche le serie storiche di SWE e la maggior quantità di studi sulla variazione della risorsa idrica sono concentrati nel nord America dove la disponibilità di dati è maggiore.

Pochi sono i lavori di analisi sulle Alpi, alcuni relativi alla Svizzera (Rohrer et al. 1994, Jonas et al. 2009, Marty et al., 2017), altri alle Alpi italiane (Bocchiola e Dolaiuti, 2010, Avanzi et al. 2022) e un primo studio sul trend dello SWE a lunga scala temporale (periodo 1930-2020) di Colombo et al. (2022).

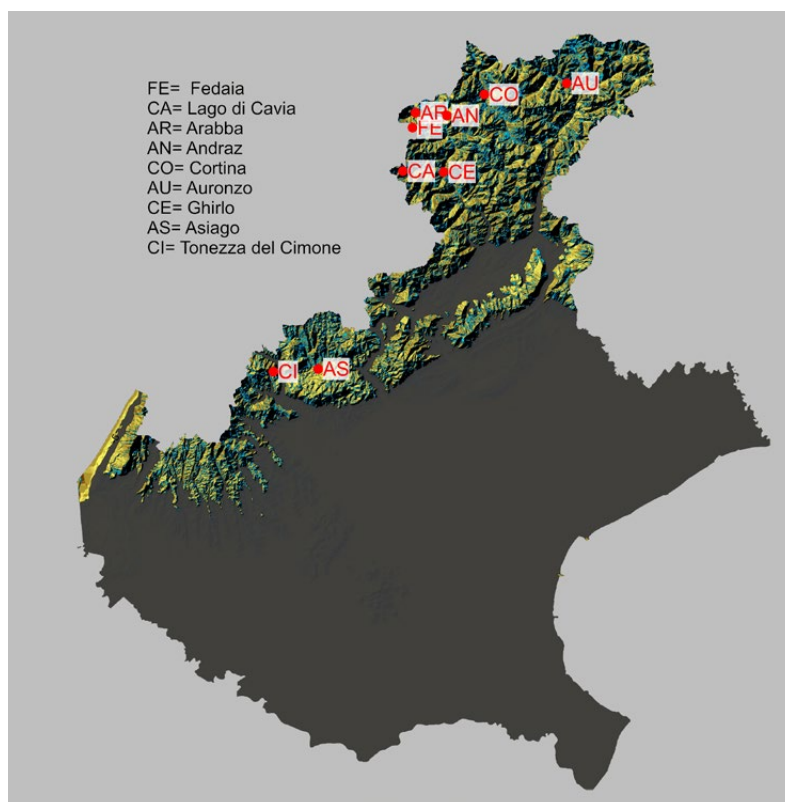
## DATI DISPONIBILI PER LE ALPI ORIENTALI

L’analisi della risorsa nivale della montagna veneta, ma più in generale delle Alpi orientali, mancando altre serie storiche, sul medio periodo (1961-2023), è possibile per la disponibilità dei dati di HS giornaliera di 7 stazioni nivometeorologiche tradizionali, 5 delle Dolomiti e 2 delle Prealpi Venete. Le stazioni prese in considerazione sono riportate in Fig.1 sono ubicate prevalentemente nelle Dolomiti, nel bacino del Piave e del Cordevole. I dati presi in considerazione sono dal 1961 al 2022. Le stazioni rappresentano un po’ tutte le quote delle dolomiti, con 2 stazioni oltre i 2000 m (23% della superficie dei bacini di Piave-Cordevole), 2 nella fascia altimetrica 1500-2000 m (32%), una di fondovalle a 1200 m di quota (fascia 1000-1500, 37% della superficie e altre 2 di fondovalle a quote inferiori gli 800 m (8%). Per le Prealpi sono disponibili le sole stazioni a 1000 m circa di quota di Asiago e Tonezza del Cimone. La stazione di Andraz a 1520 m è stata utilizzata sia per la fascia 1500- 2000 m che per 1000-1500 m.

### Elaborazioni effettuate

Mancando le serie storiche di misure dirette di SWE per la montagna veneta, è stato determinato il valore giornaliero di SWE (in mm o  $\text{kgm}^{-2}$ ) utilizzando il modello semi empirico  $\Delta\text{SNOW}$  (Winkler et al, 2021) come già avvenuto, per le stesse stazioni nel lavoro, «Long-term trend of snow water equivalent in the Italian Alps” (Colombo et al., 2022).

Fig. 1 - Mappa con le stazioni utilizzate nel presente lavoro.



Per comprendere l'andamento generale dello SWE alle diverse quote, è stato determinato il valore mediano giornaliero dello SWE del mese di marzo, che di norma ha i valori di più elevati della stagione invernale e successivamente per i diversi mesi. Quindi è stata effettuata la ricerca dei singoli trend utilizzando il test non parametrici di Mann-Kendall utilizzando il software Mekenses 2.0 (Salmi et al., 2022) e il valore di trend (Q) con il metodo delle mediane Theil-Sen (Theil, 1950; Sen, 1968).

Sono stati determinati i valori caratteristici dei 2 trentenni climatici, 1961-1990 e 1991-2020, per valutare le eventuali tendenze alle diverse quote. Per queste elaborazioni le stazioni sono state suddivise in 2 grandi raggruppamenti, oltre i 1500 m di quota (alta quota) e al di sotto dei 1500 m (bassa quota) con la stazione a 1520 appartenente ad ambedue i raggruppamenti. Questa suddivisione di quota è utilizzata da diversi autori nelle diverse regioni delle Alpi, in quando al di sotto dei 1500 m gli scenari futuri di aumento della temperatura dovrebbero avere un impatto importante determinato condizioni di cambiamento del regime della precipitazione da nevosa a piovosa, mentre al di sopra, l'innalzamento delle temperature non dovrebbe essere tale da modificare un deciso cambiamento di regime (sarà più caldo ma sempre nel range della precipitazione nevosa, forse più abbondantemente).

Infine sono state studiate le stagioni invernali 2021-22 e 2022-23, scarsamente nevose, rispetto al contesto climatico recente.

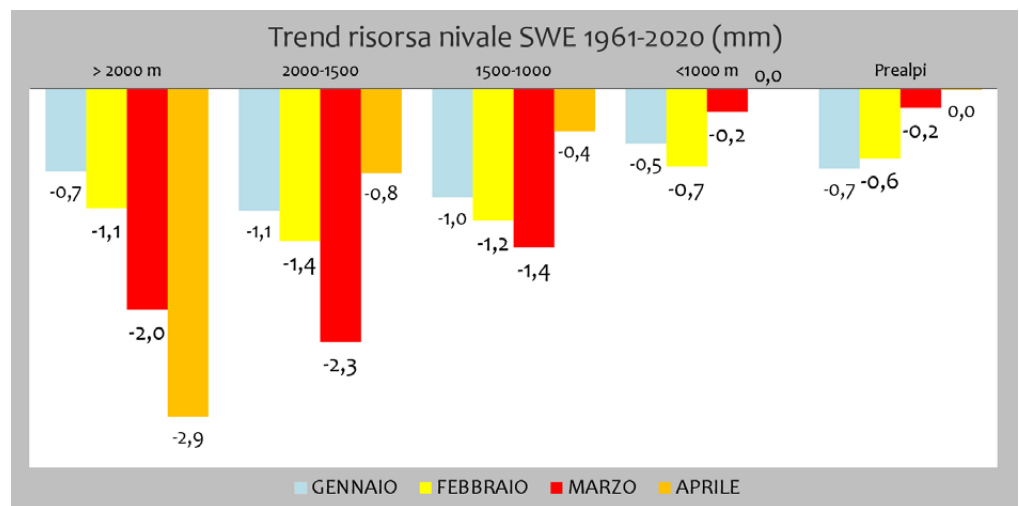
**Andamento dello SWE**

La disponibilità della risorsa idrica nivale del mese di marzo, per le diverse stazioni, evidenzia un trend negativo a tutte le quote con diversi gradi di significatività, più elevato per la stazione di Auronzo, ma importante che per le altre stazioni in quota (Tab. I).

Raggruppando le stazioni per fasce altimetriche, il trend è di -2,0 mm y<sup>-1</sup> oltre i 2000 m, -2,3 mm y<sup>-1</sup> fra i 1500 e i 2000 m, -1,4 mm y<sup>-1</sup> fra i 1000 e i 1500 m, -0,2 mm y<sup>-1</sup> alle basse quote, mentre i raggruppamenti "alta quota" e "bassa quota" sono di

Time series	First year	Last Year	N	Kendall trend		Sen slope estimate
				Test S	Test Z	
Fedaia, 2050 m	1966	2020	54		-0,33	-0,384
Cavia, 2100 m	1968	2020	56		-2,08	*
Arabba, 1630 m	1961	2020	60		-2,79	**
Andraz, 1520 m	1961	2020	60		-2,58	**
Cortina, 1150 m	1961	2020	59		-1,99	*
Auronzo, 850 m	1968	2020	53		-3,40	***
Ghirlo, 750 m	1966	2020	55		-1,26	
Asiago, 990 m	1961	2020	60		-1,72	+
Tonezza, 1000 m	1961	2020	60		-0,98	

Tab. I Risultati Test Kendall-Mann relativo al mese di marzo



	> 2000 m	2000-1500	1500-1000	< 1000 m	Prealpi
<b>Gennaio</b>					
1961-1990	201	112	89	42	46
1991-2020	189	92	63	18	22
Scarto %	-6%	-18%	-30%	-56%	-53%
<b>Febbraio</b>					
1961-1990	291	165	140	71	72
1991-2020	244	120	91	27	25
Scarto %	-16%	-27%	-35%	-61%	-66%
<b>Marzo</b>					
1961-1990	407	212	158	25	29
1991-2020	284	84	65	5	9
Scarto %	-30%	-60%	-59%	-81%	-68%
<b>Aprile</b>					
1961-1990	447	71	38	0	4
1991-2020	273	11	7	0	0
Scarto %	-39%	-85%	-82%	-100%	-92%

Tabella 1 - Risultati Test Kendall-Mann.

Fig. 2 - Trend dello SWE medio mensile per fascia altimetrica.

Tabella 2 - Valori caratteristici per fascia altimetrica per i 2 periodi climatici e scarto percentuale.

-1,04 e -0,96 mm y<sup>-1</sup>. Per le Prealpi il trend è di 0,2 mm y<sup>-1</sup>. Analizzando i trend per singoli mesi da gennaio ad aprile, si può osservare che i valori aumentano con il passare dei mesi e che il valore massimo è nel mese di marzo e nel mese di aprile in quota. Questo indica chiaramente che viene a mancare progres-

sivamente nel corso dell'inverno il carico di neve, specie da febbraio in poi (Fig.2). La minor disponibilità di SWE a marzo indica una minor disponibilità di risorsa per l'ablazione primaverile. Nella Tab. II sono riportati i valori medi in mm dei mesi di gennaio, febbraio, marzo e aprile per le 4 fasce altimetriche.

Fig. 3 - Andamento risorsa nivale dal 1961 al 2020. Media mobile di ordine 11 per il raggruppamento di stazioni di "bassa quota".

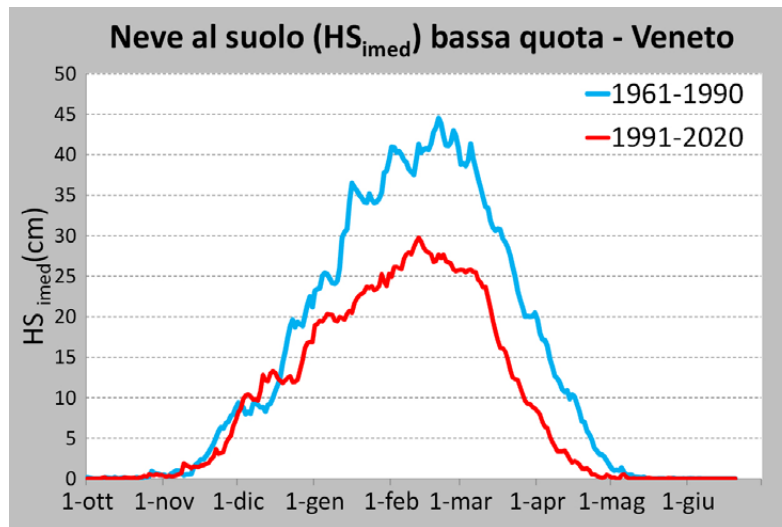
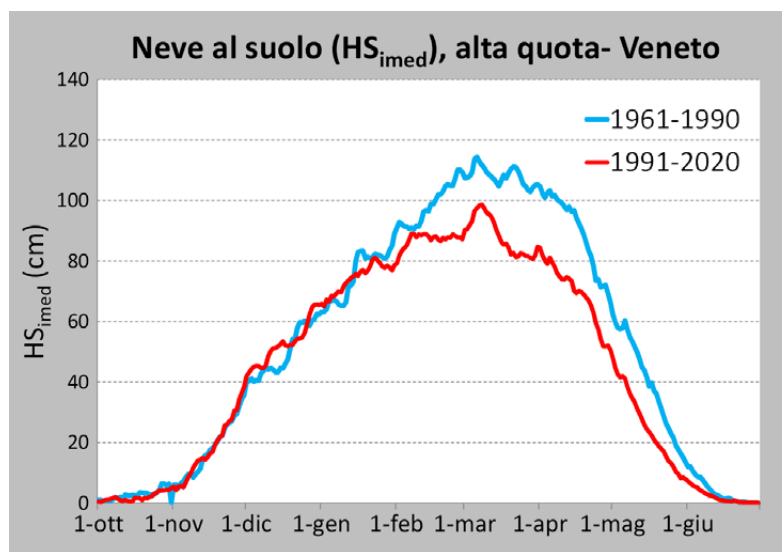


Fig. 4 - Andamento risorsa nivale dal 1961 al 2020. Media mobile di ordine 11 per il raggruppamento di stazioni di "alta quota".



Le differenze fra i due periodi climatici sono importate ed evidenziano una netta diminuzione della disponibilità della risorsa nivale pari ad oltre il 60% al di sotto dei 2000 m nel mese di marzo, per arrivare ad essere quasi nulla ad aprile ad di sotto dei 1000 m di quota.

Nel mese di gennaio, il deficit oltre i 1500 m di quota è contenuto (-6% e -18%) e del 30% fra i 1000 e 1500 m di quota, per poi aumentare sempre più e interessare le quote superiori.

In sintesi, da gennaio in poi, si assiste ad una progressiva diminuzione della disponibilità della risorsa idrica che interessa progressivamente le varie quote per cause che devono essere indagate quali la per mancanza di apporti nevosi, per processi accelerati di ablazione a parità di precipitazioni o per un regime pioggia/neve che, rispetto al trentennio 1961-1990 si innalza di quota.

Colombo et al. (2022) hanno riscontrato che la NAO (North Atlantic Oscillation), la AMO (Atlantic Multi-decadal Oscillation) e la AO (Arctic Oscillation) e le precipitazioni sono interconnesse con le oscillazioni dello SWE sul lunga scala temporale (1950-2020) sull'arco Alpino italiano anche se questa interconnessione sia degradata



proprio nel trentennio recente (1991-2020) in corrispondenza di anomalie altamente positive della temperatura dell'aria. Inoltre, sempre in Colombo et al. (2022) è stato riscontrato che l'aumento della temperatura è il principale responsabile della perdita di massa nevosa e delle persistenti condizioni di siccità.

Dal punto di vista della disponibilità della risorsa idrica nivale nel bacino del Piave-Cordevole (area di riferimento di 2110 km<sup>2</sup> oltre gli 800 m di quota), la perdita di Milioni di metri cubi di acqua equivalente nel mese di marzo è del 48% rispetto al periodo 1961-1990 pari 240 Mm<sup>3</sup>.

### Altezza manto nevoso al suolo

Per comprendere meglio l'andamento della risorsa nivale) e sono stati indagati gli andamenti dello spessore della neve a suolo (HS) aggregati per fasce altimetriche (HS<sub>imed</sub>).

Quindi per caratterizzare la neve regionale ed individuare i trend in atto sono stati analizzati i dati delle stazioni di misura e osservazione del manto nevoso tradizionali e automatiche a partire dal 1961 fino alla stagione in corso. Le basi di dati sono due ben differenti: quella di più lungo corso, costituita da una decina di stazioni ubicate fra i 750 m di quota e i 2100 m, di tipo tradizionale, con misura alle 8:00 del mattino del valore di neve fresca (HN) e di neve al suolo (HS); per il trentennio recente (dal 1991) le stazioni di tipo tradizionale sono integrate dalle stazioni automatiche. I dati, come nello studio dello SWE, sono stati raggruppati in due fasce altimetriche definite come "alta quota" per le stazioni oltre i 1500 m di altitudine e di "bassa quota" per quelle inferiori secondo i parametri dei recenti lavori sull'evoluzione del manto nevoso.

È stato determinato il valore dello spessore medio della neve al suolo (HS<sub>imed</sub>) per due trentenni climatici consecutivi 1961-1990 e 1991-2020 sia per il raggruppamento "alta quota" che "bassa quota" (Fig. 3, Fig.4).

Osservando l'andamento dei 2 trentenni, appare evidente che nei tempi recenti la montagna veneta è caratterizzata da uno spessore di neve al suolo (HS) più basso

rispetto al precedente periodo.

Questi andamenti sono stati osservati sia per le Alpi orientali che per le intere Alpi meridionali (Valt et al. 2022).

In alta quota, dal mese di febbraio, il deficit del periodo recente si attesta sul 15-20% (25-35 cm di neve al suolo) e questo si ripercuote anche sulla permanenza della neve al suolo: il 15 aprile, a parità di spessore, la differenza è di oltre 30 giorni. Infatti, lo spessore medio di circa 100 cm del 15 aprile del trentennio 1961-1990 si riscontra il 12 marzo nel trentennio recente.

Per quando riguarda la bassa quota lo scarto fra i 2 periodi inizia già nell'ultima decade di dicembre, per poi protrarsi per tutta la stagione invernale con ripercussioni negative sulla fase di ablazione, che porta alla scomparsa più veloce del manto nevoso al suolo.

La differenza tra gli spessori può essere dovuta a diversi fattori quali: una carenza di precipitazioni nevose, da metà febbraio in poi in alta quota e da gennaio a bassa quota; processi di fusione in mezzo all'inverno, come ad esempio negli ultimi anni a febbraio a bassa quota; o un cambiamento di regime delle precipitazioni, più piovose che nevose alle quote inferiori.

Alcuni autori indicano, nelle loro prime elaborazioni, un aumento di circa +1.1 °C fra i 2 periodi climatici a cui corrisponderebbe un aumento di quota della LAN di circa 240 m per le Alpi italiane, pari a circa 218 m per ogni 1 °C di aumento della temperatura.

### Le stagioni invernali 2021-22 e 2022-23

Le ultime 2 stagioni invernali sono state scarsamente nevose e con poca risorsa nivale disponibile in primavera. Questa situazione ha generato delle importanti ricadute negative sulle portate dei principali fiumi della pianura Padana con risvolti sulla disponibilità della risorsa idrica per l'agricoltura, per l'industria, per la produzione di energia elettrica, per contrastare la risalita del cuneo salino alle foci e sull'idropotabile.

La stagione invernale 2021-2022 è stata scarsa di nevicate e con temperature miti che hanno favorito la fusione della neve lungo molti versanti anche nel periodo dicembre-febbraio contribuendo a ridurre anticipatamente la disponibilità della risorsa nevosa. La scarsità di neve è stata soprattutto nel settore occidentale delle Alpi italiane mentre in quelle orientali, le nevicate di metà febbraio, dei primi di aprile e a cavallo del mese di maggio, contribuendo a mantenere lo spessore medio del manto nevoso (HS<sub>imed</sub>) su valori superiori (Fig. 5) dando la sensazione di una maggior nevosità specie in quota. La stagione invernale 2022-2023 (dicembre-aprile) è stata mite come la stagione scorsa (+2,2°C rispetto alla media in quota). Il manto nevoso stagionale (Fig. 6) si è formato con le nevicate della III decade del mese di novembre, incrementato successivamente da una serie di episodi fra il 2 e il 16 dicembre che hanno determinato

Fig. 5 - Andamento dello HS<sub>imed</sub> per le Dolomiti Venete (1991-2020) e della stagione invernale 2021-22.

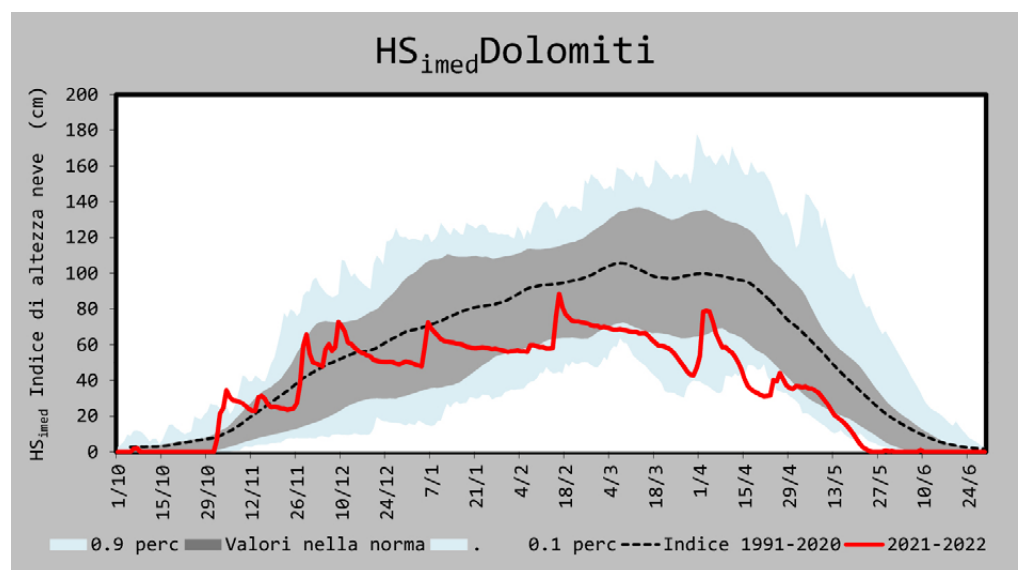
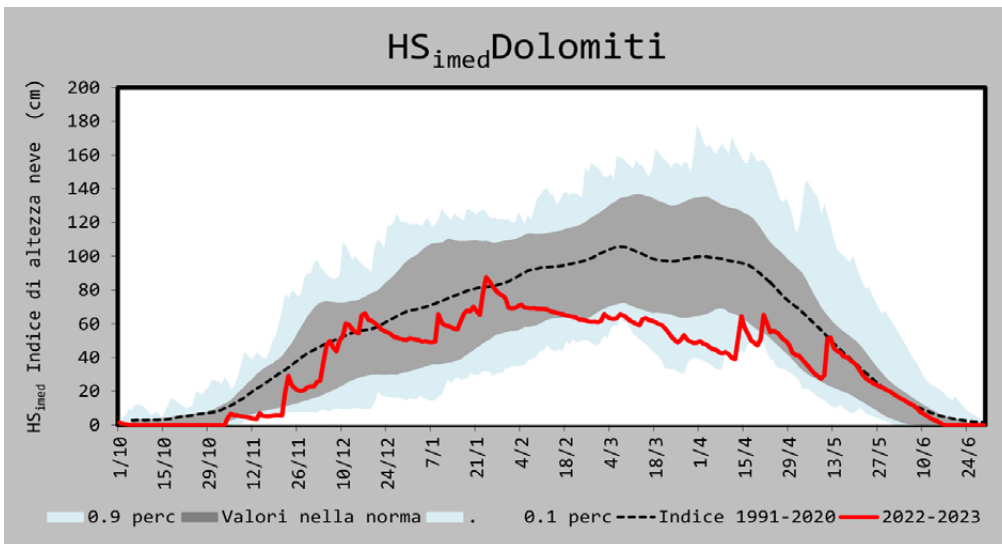




Fig. 6 - Andamento dello  $HS_{imed}$  per le Dolomiti Venete (1991-2020) e della stagione invernale 2022-23.



un manto nevoso nella norma su tutta la montagna veneta, sia in quota che a fondovalle.

E' seguito poi un periodo, la III decade di dicembre e la I di gennaio, estremamente caldo (valori medi dei 2 periodi oltre il 90 percentile) che ha determinato la prima fusione del manto nevoso. Dal 7 al 24 di gennaio nuove nevicate hanno incrementato il manto nevoso che ha raggiunto anche i suoi valori massimi di spessore nelle Alpi orientali. Il periodo II decade di gennaio – I di febbraio è stato anche il più freddo della stagione invernale. Da questo punto della stagione invernale e fino alla metà di aprile sulle Alpi orientali, gli apporti di neve fresca sono stati scarsi e in singoli episodi. Questo lungo periodo è stato caratterizzato dalle calde temperature della II decade di febbraio (+8°C rispetto alla media) che hanno generato una grande fusione del manto nevoso con scomparsa della neve alle basse quote e lungo i pendii soleggati. Anche le decadi seguenti sono state calde e solo la I di aprile è stata fredda (evento raro inferiore al 10 percentile). Dal 10 al 14 aprile e poi dal 19 al 21 ulteriori apporti nevosi hanno incrementato il manto nevoso interrompendo la fase di ablazione in atto da gennaio. Sulle Alpi occidentali,



dal 24 febbraio al 2 marzo apporti nevosi hanno contribuito ad incrementare il manto nevoso ma sono poi gli episodi dall'8 al 14 marzo ad incrementare di nuovo gli spessori, pur rimanendo al di sotto della norma e nel confine statistico fra il 10<sup>o</sup> percentile e il 1<sup>o</sup> quartile

### Conclusione

I valori elaborati dello SWE del mese di marzo per le stazioni delle Alpi orientali e precisamente delle Dolomiti e Prealpi venete per il periodo 1961-2023, evidenziano che il 2022 è stato fra il 0.2-0.4 quantile per le stazioni oltre i 2000 m di quota (il 2023 non è ancora disponibile) rispetto al periodo 1991-2020 mentre per tutte quelle alle quote inferiori è stato inferiore allo 0.02 quantile nel 2022 e intorno ai 0.10 quantile nel 2023, rappresentando valori di siccità e di ripetibilità rara. I valori delle stazioni in quota, indicano una frequenza di inverni con un innevamento simile nel trentennio recente mentre, il valore del 2022 rispetto al trentennio 1961-1990, è su valori inferiori allo 0.10 percentile ad indicare un evento raro. Questo conferma la minor disponibilità della risorsa nevosa disponibile attualmente, come confermato in altri lavori (Valt M., 2022, Bertoldi et al., 2023).

### Collaborazioni

Il presente lavoro è stato elaborato con la collaborazione di *Nicola Colombo (Water Research Institute, National Research Council of Italy, Montelibretti, RM, Italy)*, *Paola Cianfarra (Department of Earth, Environmental and Life Sciences, University of Genoa, Genoa, Italy)*, *Nicolas Guyennon (Water Research Institute, National Research Council of Italy, Montelibretti, RM, Italy)*.

## Bibliografia

- Avanzi, F., Gabellani, S., Delogu, F., Silvestro, F., Pignone, F., Bruno, G., Pulvirenti, L., Squicciarino, G., Fiori, E., Rossi, L., Puca, S., Toniazzo, A., Giordano, P., Falzacappa, M., Ratto, S., Stevenin, H., Cardillo, A., Fioletti, M., Cazzuli, O., Cremonese, E., Morra di Cella, U., and Ferraris, L.: IT-SNOW: a snow reanalysis for Italy blending modeling, in situ data, and satellite observations (2010–2021), *Earth Syst. Sci. Data*, 15, 639–660, <https://doi.org/10.5194/essd-15-639-2023>, 2023.
- Bertoldi, G., Bozzoli, M., Crespi, A., Matiu, M., Giovannini, L., Zardi, D., Majone, B., 2023. Diverging snowfall trends across months and elevation in the northeastern Italian Alps. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.8002>
- Bocchiola, D., Diolaiuti, G., 2010. Evidence of climate change within the Adamello Glacier of Italy. *Theor. Appl. Climatol.* 100, 351–369. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0186-x>.
- Colombo, N., Valt, M., Romano, E., Salerno, F., Godone, G., Cianfarra, P., Freppaz, M., Maugeri, M., Guyennon, N., 2022. Long-term trend of snow water equivalent in the Italian Alps. *Journal of Hydrology*. Volume 614, Part A, November 2022, 128532 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128532>
- Fierz, C.R., Armstrong, R.L., Durand, Y., et al., 2009. The international classification for seasonal snow on the ground. *International Hydrological Programme of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO-IHP), Paris, IHP Technical Documents in Hydrology No. 83, IACS Contribution No. 1*. <https://cryosphericsscience.org/publications/snow-classification/>.
- Jonas, T., Marty, C., Magnusson, J., 2009. Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Swiss Alps. *J. Hydrol.* 378 (1–2), 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.09.021>.
- Marty, C., Tilg, A.-M., Jonas, T., 2017. Recent evidence of large scale receding snow water equivalents in the European Alps. *J. Hydrometeorol.* 18, 1021–1031. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0188.1>.
- Matiu, M., Crespi, A., Bertoldi, G., Carmagnola, C. M., Marty, C., Morin, S., Schöner, W., Cat Berro, D., Chiogna, G., De Gregorio, L., Kotlarski, S., Majone, B., Resch, G., Terzago, S., Valt, M., Beozzo, W., Cianfarra, P., Gouttevin, I., Marcolini, G., Notarnicola, C., Petitta, M., Scherrer, S. C., Strasser, U., Winkler, M., Zebisch, M., Cicogna, A., Cremonini, R., Debernardi, A., Faletto, M., Gaddo, M., Giovannini, L., Mercalli, L., Soubeyrou, J.-M., Sušnik, A., Trenti, A., Urbani, S., and Weilguni, V.: Observed snow depth trends in the European Alps: 1971 to 2019, *The Cryosphere*, 15, 1343–1382. <https://doi.org/10.5194/tc-15-1343-2021>
- Rohrer, M.B., Braun, L.N., Lang, H., 1994. Long-term records of the snow cover water equivalent in the Swiss Alps: 1. Analysis. *Nord. Hydrol.* 25 (1–2), 53–64. [https://doi.org/10.2166/nh.2015.132](https://doi.org/10.2166/nh.1994.0019Schöber, J., Achleitner, S., Bellinger, J., 2016. Analysis and modelling of snow bulk density in the Tyrolean Alps. <i>Hydrol. Res.</i> 47 (2), 419–441. <a href=).
- Sturm, M., Holmgren, J., Liston, G.E., 1995. A Seasonal Snow Cover Classification System for Local to Global Applications. *Journal of climate*, Volume 8, Issue 5, 1261–1283, [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1995\)008<1261:ASSCCS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1995)008<1261:ASSCCS>2.0.CO;2)
- Winkler, M., Schellander, H., Gruber, S., 2021. Snow water equivalents exclusively from snow depths and their temporal changes: the ΔSNOW model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 25, 1165–1187. <https://doi.org/10.5194/hess-25-1165-2021>.
- Salmi T., Määttä A., Pia Anttila, Tuija Ruoho-Airola, 2002. Detecting Trends of Annual values of atmospheric Pollutant the Mann-Kendall Test and Sen'Slope estimates the excel template application Make-sens. *Publications on air quality No. 31 Finnish Meteorological Institute, Helsinki 2002*. Pag. 35. [https://www.researchgate.net/publication/259357030\\_MAKESENS\\_10xls](https://www.researchgate.net/publication/259357030_MAKESENS_10xls)
- Sen, P. K., 1968. "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau." *JASA*, 1379-1389.
- Theil, H., 1950. "A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis." Reprinted in 1992 in *Henri Theil's contributions to economics and econometrics*, Springer, 345-381.
- Valt, M., Cianfarra P., 2010. Recent snow cover variability in the Italian Alps. *Cold Regions Science and Technology*, 64, 146-157
- Valt, M., 2022. Neve e clima sulle Alpi italiane. *Neve e Valanghe* n. 97, 2-14