Anno idrologico 2024-2025

Report meteo-climatico per l'ambiente glaciale e periglaciale alpino

Prosegue la tendenza all'aumento delle temperature, quest'anno giugno più caldo di agosto. Tanta pioggia in ottobre, poca neve in inverno.

Report n 4

Novembre 2025

Report n 4
Novembre 2025

www.naturacene.it

Anno idrologico 2024-2025: report meteo-climatico per l'ambiente glaciale e periglaciale alpino

Guido Nigrelli

RIASSUNTO: In questo lavoro viene descritto l'andamento meteo-climatico osservato durante l'anno idrologico 2024-2025 nell'ambiente glaciale e periglaciale delle Alpi italiane. Le temperature medie, minime e massime annuali sono state rispettivamente 3,3 °C, 0,4 °C e 6,5 °C, in lieve calo rispetto a quelle dell'anno idrologico precedente (rispettivamente 3,5 °C, 0,6 °C e 6,5 °C). La precipitazione totale annua è stata di 1393 mm, valore inferiore rispetto a quello dell'anno idrologico precedente (1602 mm). Lo spessore della neve al suolo è stato di 76 cm, dato anche qui inferiore rispetto a quello dell'anno idrologico precedente (118 cm). In riferimento al periodo climatologico normale 1991-2020, continua la tendenza ad un aumento delle temperature. Questo lavoro può costituire un utile riferimento per indagini più approfondite a diversa finalità.
PAROLE CHIAVE: Temperatura, Precipitazioni, Clima, Cambiamenti climatici, Alpi

ABSTRACT: This work describes the meteo-climatic trends observed during the hydrological year 2024-2025 in the glacial and periglacial environment of the Italian Alps.. The annual mean, minimum, and maximum temperatures were 3.3 °C, 0.4 °C, and 6.5 °C, respectively, a slight decrease compared to those of the previous hydrological year (3.5 °C, 0.6 °C, and 6.5 °C, respectively). Total annual precipitation was 1393 mm, lower than that of the previous hydrological year (1602 mm). Snow depth on the ground was 76 cm, also lower than that of the previous hydrological year (118 cm). Compared to the 1991-2020 climate normal the trend of increasing temperatures continues. This work can be a useful supporting document for carrying out more detailed and more ambitious investigations for different purposes.
KEYWORDS: Temperature, Precipitation, Climate, Climate change, European Alps

Indice

1. Introduzione 2
2. Dati e metodi 3
3. Temperatura 7
4. Precipitazioni 12
5. Innevamento 13
6. Tendenze della temperatura sull'arco alpino 14
7. Quota dello zero termico in libera atmosfera 15
8. Conclusioni 16
Ringraziamenti e bibliografia 17

1. Introduzione

Si è conclusa da poco la campagna glaciologica per l'anno 2025 ad opera della Fondazione Glaciologica Italiana ETS (già Comitato Glaciologico Italiano, CGI), a proseguimento di una attività lunga oramai più di centotrent'anni. I dati raccolti sono ora in corso di elaborazione e la loro pubblicazione è prevista nei prossimi mesi. L'osservazione dei ghiacciai alpini in Italia inizia formalmente nel lontano 1895, quando l'esecutivo del Club Alpino Italiano (CAI), riunitosi in Torino al Castello del Valentino in occasione del "XXVI Congresso degli Alpinisti Italiani", istituisce la "Commissione per lo studio dei ghiacciai". I compiti principali della Commissione sono: stabilire con precisione l'ubicazione dei ghiacciai; raccogliere dati storici sui ghiacciai; cercare di stabilire se i ghiacciai studiati sono stazionari, avanzano, oppure si ritirano; fare rilevamenti topografici e fotografici. Questi compiti vengono trasformati in istruzioni cartacee e distribuiti alle guide alpine, agli alpinisti e a tutti coloro che per qualche motivo si trovano in aree occupate da ghiacciai (https://glaciologia.it/). Grazie al CGI, l'Italia possiede una delle più lunghe serie di osservazioni delle variazioni frontali dei ghiacciai esistenti al mondo: un autentico patrimonio conoscitivo di estremo valore soprattutto alla luce degli attuali e sempre più rapidi cambiamenti climatici (WMO, 2024). Sull'arco alpino italiano, i dati della precedente campagna glaciologica, quella effettuata nel 2024, ci restituiscono una situazione in piena corrispondenza con quella presente a livello globale: i ghiacciai osservati sono stati 184, di questi ne sono stati misurati 95, tutti in netto ritiro tranne 4 ritenuti stabili. Il dato della quota media delle fronti glaciali misurate è di 2785 m (per la campagna glaciologica 2023 era di 2803 metri, per 114 ghiacciai misurati). I dati 2024 dicono che la fronte glaciale localizzata alla quota più bassa apparteneva al Ghiacciaio del Miage, 1790 metri, mentre quella localizzata alla quota più elevata apparteneva al Ghiacciaio della Croce Rossa, 3345 metri (Chiarle et al. 2024). Dati significativamente negativi si sono registrati anche per quanto riguarda i bilanci di massa (Carturan 2024).

Clima e ghiacciai sono dunque strettamente correlati tra loro: a variazioni di uno corrispondono variazioni dell'altro, con tempi e modalità variabili da ghiacciaio a ghiacciaio, da zona a zona. Agli effetti dei cambiamenti climatici sui ghiacciai, sulla criosfera, sul permafrost e sugli ambienti glaciali e periglaciali di tutto il mondo è dedicato il numero speciale di Nimbus, il 93, pubblicato dalla Società Meteorologica Italiana per celebrare l'Anno Internazionale della Conservazione dei ghiacciai, iniziativa partita proprio quest'anno, ai quali si rimanda per gli opportuni approfondimenti (Società Meteorologica Italiana 2025). Nell'ottica di documentare le variazioni annuali dei ghiacciai diventa quindi importante conoscere anche le condizioni meteo-climatiche dell'anno idrologico nel quale la campagna glaciologica è stata effettuata, facendo anche un confronto con i dati del recente passato.

Questa nota ha come principale obiettivo quello di fornire un contributo in questo senso, senza la pretesa di essere esaustiva ma semplicemente come un possibile spunto per indagini più approfondite.

2. Dati e metodi

Al fine di descrivere l'andamento meteo-climatico che ha interessato l'arco alpino italiano durante l'anno idrologico 2024-2025, sono state prese in considerazione 10 stazioni meteorologiche, facenti parte delle reti di monitoraggio regionali e provinciali, ritenute rappresentative per posizione geografica, contesto ambientale (glaciale o periglaciale), quota e qualità dei dati raccolti (Tabella 1 e Figura 1). Di queste 10 stazioni si sono acquisite le serie di dati orari e sub-orari di temperatura dell'aria, di precipitazione e di altezza di neve al suolo per il periodo che va dal 1° ottobre 2024 al 30 settembre 2025.

Tabella 1 – Stazioni meteorologiche considerate e loro principali caratteristiche. La latitudine e la longitudine sono espresse in gradi decimali, la quota in metri. Per l'individuazione del settore alpino si è fatto riferimento alla Partizione della Alpi del 1926 a cura del Comitato Geografico Nazionale. I parametri acquisiti sono la temperatura dell'aria (T), le precipitazioni (P) e la neve al suolo (S).

N	Stazione	Lat. °N	Long. °E	Quota	Settore alpino	Parametro
1	Colle Lombarda	44.207400	7.147687	2305	Alpi Occidentali	T, P, S
2	Colle Barant	44.774372	7.060617	2294	Alpi Occidentali	T, P, S
3	Rifugio Gastaldi	45.298053	7.142719	2659	Alpi Occidentali	T, P, S
4	La Thuile La Grande Tête	45.683370	6.915950	2430	Alpi Occidentali	T, P, S
5	Bocchetta delle Pisse	45.875659	7.900708	2410	Alpi Centrali	T, P, S
6	Formazza Pian dei Camosci	46.433399	8.358220	2453	Alpi Centrali	T, P, S
7	Madesimo Spluga	46.471776	9.348033	1915	Alpi Centrali	T, P
8	Pantano d'Avio	46.176910	10.472854	2108	Alpi Centrali	T, P, S
9	Passo Rolle	46.297961	11.786886	2012	Alpi Orientali	T, P
10	Predoi Malga Merbe	47.036132	12.122193	2006	Alpi Orientali	T, N

Per quanto riguarda la qualità e la disponibilità dei dati, la situazione non presenta particolari problematiche. Sulle serie così acquisite si è applicato un ulteriore controllo di qualità secondo metodiche standardizzate (WMO 2018) e, dalle successive serie validate, si sono ricavate le serie giornaliere di temperatura media (TM), minima (TN) e massima (TX), di precipitazioni totali (pioggia e neve fusa, P) e di massima altezza di neve al suolo (S). Dalle serie giornaliere sono stati successivamente calcolati i valori medi mensili di TM, TN, TX e S ed i totali di P. I mesi con meno dell'80 % di dati sono stati considerati mancanti. Unitamente a questi parametri sono stati anche calcolati i valori mensili degli estremi di temperatura minima (TNn) e massima (TXx); i gradi-giorno

(DD), calcolati mediante sommatoria degli scarti dei valori positivi giornalieri secondo la formula DD = Σ(TX-T), quando TX >0 °C e con T = 0 °C; il numero di giorni di gelo (ID), cioè quando TX ≤0 °C; il numero di giorni con gelo (FD), cioè quando TN ≤0 °C; il numero di giorni senza gelo (FF), cioè quando TN >0 °C; le precipitazioni totali (P) ed il numero di giorni piovosi (PD, quando P >1 mm); l'altezza di neve al suolo (S) ed il relativo equivalente in acqua (calcolato facendo riferimento alla relazione generale dove si afferma che 10 cm di neve fresca corrispondono a 10 mm di acqua); il numero di giorni con neve al suolo (SD, quando S >5 cm). Dalle serie mensili si sono infine ricavate le serie annuali per gli stessi parametri. In presenza di lacune di un solo giorno, il dato è stato inserito manualmente come media del giorno precedente e di quello successivo, previa verifica di fattibilità. In presenza di lacune di più di sei giorni consecutivi nello stesso mese, i calcoli e i confronti sulle aggregazioni temporali mensili ed annuali non sono stati effettuati.

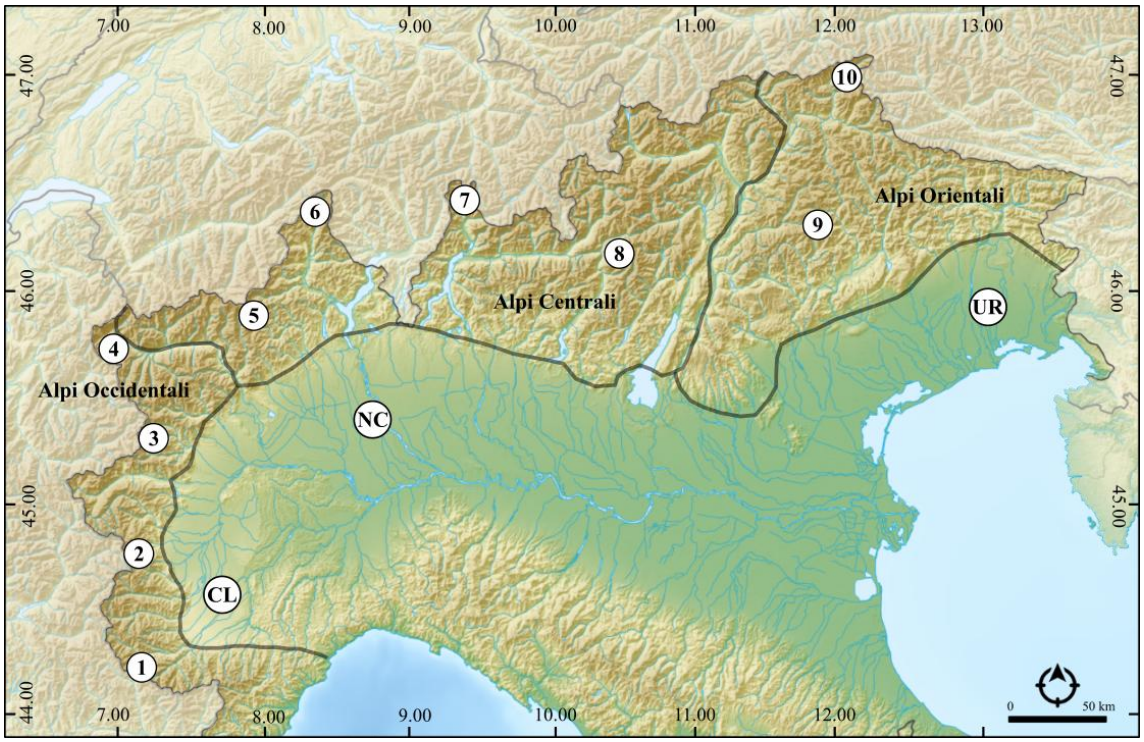

Figura 1 – Distribuzione geografica delle 10 stazioni meteorologiche considerate. 1, Colle Lombarda; 2, Colle Barant; 3, Rifugio Gastaldi; 4, La Thuile La Grande Tête; 5, Bocchetta delle Pisse; 6, Formazza Pian dei Camosci, 7, Madesimo Spluga; 8, Pantano d'Avio; 9, Passo Rolle; 10, Predoi Malga Merbe. Per l'individuazione del settore alpino si è fatto riferimento alla Partizione della Alpi del 1926 a cura del Comitato Geografico Nazionale. In figura sono presenti anche le 3 stazioni dei radiosondaggi di Cuneo Levaldigi (CL), Novara Cameri (NC) e Udine Rivolto (UR).

Le stazioni meteorologiche presenti sull'arco alpino, soprattutto quelle ubicate in ambiente glaciale e periglaciale come quelle qui utilizzate, spesso sono dotate di pluviometri non riscaldati: questa caratteristica non consente una immediata fusione della neve che si deposita al loro interno, causando

una perdita di informazione in termini di quantità di acqua equivalente correttamente misurata nel tempo (Figura 2). Per quanto riguarda la misura dell'altezza di neve al suolo, attualmente eseguita con metodi indiretti mediante nivometri ad ultrasuoni, è possibile riscontrare valori minori rispetto alle quantità reali perché la neve, una volta depositatasi al suolo, può venire sollevata ed essere portata via dal vento e questo capita sovente. Anomalie positive di altezze di neve al suolo possono verificarsi in estate-autunno, a causa della crescita della vegetazione erbacea sotto il sensore, ma questi casi sono rari. Al fine di limitare il più possibile l'influenza di queste anomalie sui risultati finali, l'innevamento è stato calcolato considerando il periodo novembre-giugno. Con i dati così ottenuti, si sono poi calcolate le differenze tra i valori dell'anno idrologico analizzato e gli stessi parametri dell'anno idrologico precedente.

Al fine di poter conoscere l'evoluzione nel tempo delle principali variabili climatiche e stimare possibili scenari futuri è necessario poter disporre di lunghe serie di dati di buona qualità, acquisite da stazioni meteorologiche geograficamente ben distribuite oppure fare riferimento a griglie regolari di dati ad alta risoluzione ricavate da dataset di stazioni a terra (Kotlarsky et al. 2023). Volendo dare la preferenza al primo approccio, cioè quello che si avvale di dati direttamente acquisiti da stazioni a terra, si può affermare che negli ambienti alpini di alta quota, glaciali e periglaciali, le stazioni meteorologiche che soddisfano tali criteri non sono molte: con il passare degli anni il numero di queste è andato aumentando, così come la qualità della loro distribuzione geografica, ma diverse aree ne risultano ancora prive.
Per la ricerca delle tendenze della temperatura nel tempo, uno dei metodi maggiormente utilizzati prende come riferimento i periodi climatologici normali (CLINO), cioè quei periodi di tempo lunghi 30 anni, aggregati per decade (WMO 2017). L'ultimo in ordine di tempo è il CLINO 1991-2020. I risultati di un recente lavoro in cui è stato applicato tale approccio e che ha considerato i dati provenienti da 23 stazioni meteorologiche distribuite su tutto l'arco alpino a quote superiori ai 1500 metri (Nigrelli et al. 2023), sono stati utilizzati per un confronto con i dati dell'anno idrologico 2024-2025.

Un altro importante parametro, presente da diversi anni nei bollettini di previsione meteorologica e che può a tutti gli effetti considerarsi un indicatore di un clima che cambia è la quota dello zero termico in libera atmosfera. Questo parametro viene derivato dai dati dei radiosondaggi che vengono effettuati una o più volte al giorno da migliaia di stazioni presenti in diverse parti del mondo (https://radiosondy.info/) e, per le finalità di questo report, assume una notevole importanza soprattutto durante il periodo estivo. Grazie a questi dati, uno studio condotto in Svizzera che ha preso

come riferimento il periodo 1960-2011, ha constatato che l'isoterma di 0 °C aumenta in media di circa 70 metri ogni decennio (Brocard et al. 2013). Al fine di fornire alcune indicazioni sull'andamento di questo parametro durante il periodo giugno-settembre 2025, si sono calcolate le quote dello zero termico in libera atmosfera utilizzando i dati provenienti dai radiosondaggi di Cuneo Levaldigi, Novara Cameri e Udine Rivolto, le tre stazioni più vicine all'arco alpino italiano da cui vengono lanciati i palloni sonda (Figura 1). Il calcolo si è reso necessario poiché nei dataset dei radiosondaggi il dato della quota dello zero termico non è presente, essendo presenti i dati dei rilevamenti acquisiti in continuo durante la fase di ascesa del pallone sonda. Questi dati possono essere utilizzati per ricavare la quota dell'isoterma di 0 °C. Nel caso specifico, la quota dell'isoterma di 0 °C è stata ricavata mediante una correlazione lineare tra la quota dell'ultimo valore di temperatura positivo e la quota del primo valore di temperatura negativo. Il metodo può contenere inesattezze dovute all'andamento non lineare del gradiente termico verticale lungo il profilo atmosferico durante la fase di ascesa del pallone sonda: uno studio di Scherrer et al. (2021), effettuato nelle Alpi svizzere, ha però messo in evidenza come questa non linearità acquisti maggiore importanza durante il semestre invernale, quando le frequenti inversioni termiche rendono non lineare il profilo termico. Alla luce dell'importanza che riveste questo parametro nel contesto dei cambiamenti climatici che stanno interessando l'arco alpino, si auspica una più dettagliata analisi della sua tendenza nel tempo, effettuata da esperti in meteorologia e in fisica dell'atmosfera.

Figura 2 – Una stazione meteorologica automatica di alta quota e utilizzata nel presente lavoro, la stazione Rifugio Gastaldi di ARPA Piemonte (2659 m s.l.m.).

3. Temperatura

Regime termico mensile ed annuale

Il quadro generale del regime termico mensile ed annuale per l'anno idrologico 2024-2025 è riportato in Tabella 2 e in Figura 5A.

Tabella 2 – Anno idrologico 2024-2025: valori medi mensili ed annuali delle temperature (°C) medie (TM), minime (TN) e massime (TX) e differenze (Δ) con i valori medi annuali dell'anno idrologico 2023-2024. In grassetto i minimi e i massimi mensili. Per la numerazione delle stazioni fare riferimento alla Tabella 1.

Staz.	T	O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	Anno	Δ
1	TM	5,4	2,3	-1,2	-2,7	-2,0	-2,5	1,9	5,1	13,4	11,8	13,0	8,8	4,4	-0,2
	TN	3,2	-0,9	-4,1	-5,0	-4,6	-5,1	-1,0	1,9	10,1	8,2	9,4	5,7	1,5	-0,3
	TX	7,6	5,4	1,7	-0,4	0,7	0,1	4,8	8,4	16,7	15,4	16,6	12,0	7,4	-0,1
2	TM	5,1	2,3	-1,5	-2,8	-2,1	-2,7	1,6	4,7	12,6	11,0	12,2	8,2	4,0	0,1
	TN	2,8	-1,0	-4,6	-5,4	-5,0	-5,2	-1,0	2,0	9,4	7,7	9,2	5,0	1,2	-0,1
	TX	7,3	5,5	1,5	-0,2	0,9	-0,1	4,3	7,4	15,7	14,2	15,2	11,3	6,9	0,3
3	TM	2,6	-0,1	-3,8	-4,9	-3,8	-4,0	-0,2	2,4	9,8	7,8	9,6	5,6	1,8	-0,6
	TN	0,5	-3,7	-7,1	-7,7	-7,0	-7,5	-3,5	-0,6	7,0	5,3	7,3	2,9	-1,2	-0,9
	TX	4,7	3,5	-0,6	-2,1	-0,6	-0,4	3,2	5,4	12,6	10,3	12,0	8,3	4,7	-0,3
4	TM	3,4	0,4	-3,3	-4,9	-3,8	-4,0	0,1	2,7	10,5	8,2	10,5	5,9	2,1	0,3
	TN	1,7	-2,3	-5,8	-7,3	-5,9	-6,2	-2,0	0,5	7,6	5,6	7,8	3,6	-0,2	0,1
	TX	5,1	3,1	-0,8	-2,5	-1,8	-1,8	2,2	4,9	13,4	10,8	13,2	8,3	4,5	0,5
5	TM	3,5	0,6	-2,1	-4,3	-2,9	-2,9	1,3	3,8	10,6	8,9	10,2	6,2	2,7	0,1
	TN	1,8	-2,2	-4,9	-6,9	-5,6	-5,6	-1,7	0,9	8,3	6,9	8,2	4,2	0,3	0,0
	TX	5,3	3,5	0,6	-1,8	-0,3	-0,1	4,3	6,7	12,9	10,9	12,3	8,2	5,2	0,2
6	TM	2,6	-1,2	-4,7	-6,2	-5,0	-4,7	-0,8	1,8	9,3	7,5	9,2	5,0	1,1	0,2
	TN	0,6	-4,9	-8,2	**-9,1**	-8,6	-8,3	-3,8	-1,1	5,6	4,8	6,2	2,2	-2,1	0,0
	TX	4,5	2,6	-1,3	-3,3	-1,4	-1,0	2,2	4,8	12,9	10,1	12,2	7,7	4,2	0,4
7	TM	5,8	1,9	-1,7	-3,5	-1,6	-0,8	3,3	6,0	13,5	11,4	13,0	8,7	4,7	-0,1
	TN	4,0	-1,0	-4,0	-5,9	-4,2	-3,3	0,4	3,0	10,2	8,5	9,9	6,2	2,0	-0,2
	TX	7,8	5,0	0,6	-1,0	1,7	2,8	7,0	9,6	16,7	14,5	16,0	11,5	7,7	0,4
8	TM	5,2	0,7	-2,3	-3,3	-2,2	-0,6	3,5	5,7	13,3	11,0	12,0	8,1	4,3	-1,0
	TN	3,1	-1,6	-4,5	-6,1	-5,3	-4,2	-0,8	2,2	9,2	7,5	8,7	5,4	1,1	-0,4
	TX	8,0	4,8	0,4	0,1	2,8	4,7	9,0	10,2	17,7	14,9	15,7	11,5	8,3	-0,7
9	TM	5,7	1,3	-1,6	-3,3	-2,6	-1,0	2,3	5,1	13,0	11,0	12,1	8,7	4,2	-0,2
	TN	3,7	-1,8	-4,5	-6,2	-5,2	-3,5	-0,6	2,0	9,1	7,7	9,0	5,5	1,3	0,9
	TX	8,4	5,3	1,4	-0,2	0,4	2,3	5,7	9,2	17,4	15,3	16,2	12,5	7,8	-1,8
10	TM	5,2	-0,1	-2,9	-4,5	-2,6	-1,2	2,8	4,9	12,9	10,1	11,7	8,4	3,7	-0,4
	TN	2,5	-3,4	-5,7	-7,5	-6,2	-4,8	-0,7	1,5	7,8	6,1	7,5	4,5	0,1	-0,8
	TX	8,6	4,1	0,1	-1,3	1,5	2,9	6,8	9,1	**18,6**	14,5	16,8	12,7	7,9	0,6
Medie	TM	4,5	0,8	-2,5	-4,0	-2,9	-2,4	1,6	4,2	11,9	9,9	11,4	7,4	3,3	-0,2
	TN	2,4	-2,3	-5,3	-6,7	-5,8	-5,4	-1,5	1,2	8,4	6,8	8,3	4,5	0,4	-0,2
	TX	6,7	4,3	0,4	-1,3	0,4	0,9	4,9	7,6	15,5	13,1	14,6	10,4	6,5	0,0

A livello mensile, il mese più caldo è stato giugno, di poco superiore ad agosto, mentre il mese più freddo è stato gennaio. La temperatura media più elevata si è registrata alla stazione n 7 di Madesimo Spluga (4,7 °C), l'opposto invece appartiene alla stazione n 6 di Formazza Pian dei Camosci (1,1 °C).

Alla stazione n 10, Predoi Malga Merbe, si è osservata la media più elevata delle temperature massime (TX 18,6 °C, in giugno), mentre la stazione n 6, Formazza Pian dei Camosci, possiede la media più bassa delle temperature minime (TN -9,1 °C, in gennaio).

Le medie annuali delle temperature medie, minime e massime di tutte le stazioni considerate sono rispettivamente 3,3 °C, 0,4 °C e 6,5 °C, in lieve calo rispetto a quelle dell'anno idrologico precedente, che sono state rispettivamente di 3,5 °C, 0,6 °C e 6,5 °C. Questo lieve calo è ancor più evidente osservando i dati riportati nella colonna delle differenze di Tabella 2 fra i quali spicca la differenza di -1,8 °C riferita alla media annuale della temperatura massima registrata alla stazione n 9, Passo Rolle.

Gli estremi termici, cioè i valori giornalieri di temperatura massima e minima che sono stati osservati ogni mese nelle 10 stazioni considerate sono riportati in Tabella 3. A Formazza Pian dei Camosci, il 23 novembre 2024, alle ore 05:00 UTC si è registrata la temperatura minima assoluta di tutte le stazioni, (-17,9 °C), mentre a Predoi Malga Merbe, il 12 agosto 2025, alle ore 15:00 UTC si è registrata la temperatura massima assoluta (24,9 °C).

Tabella 3 – Anno idrologico 2024-2025: valori estremi delle temperature (°C) minime (TNn) e massime (TXx) mensili. In grassetto i minimi e i massimi valori mensili. Per la numerazione delle stazioni fare riferimento alla Tabella 1.

St		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	Anno
1	TNn	-1,3	-9,2	-9,8	-10,1	-10,3	-9,6	-6,3	-2,7	5,8	3,2	3,6	-1,4	-10,3
	TXx	14,0	13,1	10,2	5,0	4,7	7,8	10,5	15,9	21,1	20,0	23,3	19,1	23,3
2	TNn	-1,3	-11,2	-10,8	-10,4	-10,9	-10,8	-6,4	-2,8	3,5	3,2	3,1	-2,0	-11,2
	TXx	14,8	13,7	8,2	4,8	6,4	8,4	11,2	15,4	20,0	19,6	22,0	21,1	22,0
3	TNn	-3,8	-15,7	-11,7	-11,7	-12,2	-12,3	-10,3	-4,5	1,2	0,3	1,5	-3,8	-15,7
	TXx	10,4	11,9	6,8	2,7	7,1	7,4	10,2	13,4	17,6	14,5	18,4	17,3	18,4
4	TNn	-2,8	-14,3	-12,6	-10,9	-11,6	-10,4	-7,5	-3,5	1,8	-0,5	0,8	-2,4	-14,3
	TXx	10,8	12,3	5,2	4,0	5,7	1,3	7,6	13,4	19,4	16,6	19,9	16,8	19,9
5	TNn	-2,3	-13,4	-12,9	-9,3	-11,1	-9,7	-7,0	-2,8	2,5	2,7	2,8	-2,1	-13,4
	TXx	10,0	12,8	6,5	4,3	7,1	7,7	10,2	14,7	17,2	15,6	19,0	17,1	19,0
6	TNn	-4,4	**-17,9**	-13,9	-13,9	-16,0	-14,0	-7,3	-5,3	-0,3	-0,8	1,4	-4,2	-17,9
	TXx	9,3	12,8	4,2	3,1	5,1	4,4	6,6	12,6	17,9	17,5	19,5	17,7	19,5
7	TNn	0,0	-9,8	-9,1	-11,5	-11,3	-8,0	-5,5	0,2	4,9	3,6	2,8	1,0	-11,5
	TXx	12,4	14,8	7,8	7,7	9,6	9,3	12,9	18,2	21,7	21,1	23,3	20,1	23,3
8	TNn	-1,5	-11,3	-11,7	-11,0	-12,9	-8,6	-7,8	-1,4	5,8	2,3	3,6	0,0	-12,9
	TXx	11,9	15,1	6,1	5,6	9,3	9,8	14,8	18,7	22,1	20,3	24,6	20,4	24,9
9	TNn	-1,7	-11,7	-12,3	-13,4	-11,4	-9,4	-7,3	-3,0	0,0	1,0	4,2	-0,3	-13,4
	TXx	13,8	14,3	7,7	5,3	5,5	6,3	11,7	18,3	22,1	21,5	23,7	20,3	23,7
10	TNn	-3,3	-12,5	-11,7	-13,0	-14,7	-13,2	-6,5	-2,4	2,2	0,7	2,6	0,0	-14,7
	TXx	13,0	14,7	7,0	2,1	6,5	6,9	13,9	18,8	23,7	21,5	**24,9**	21,4	24,9

Gradi giorno

Il massimo valore mensile di gradi giorno si è registrato alla stazione di Predoi Malga Merbe, in giugno, 558 unità, mentre l'opposto è stato registrato a La Thuile, in marzo, 2 unità (Tabella 4). Il

valore medio annuale calcolato su tutte le stazioni è di 2552 unità, lievemente inferiore a quello dell'anno idrologico precedente (2600 unità), il massimo valore annuale appartiene alla stazione di Pantano d'Avio (3131 unità), il minimo alla stazione di Formazza (1875 unità). Il confronto delle differenze tra le sommatorie annuali del 2024-2025 con quelle del 2023-2024 di ogni stazione, restituisce una situazione non omogenea, che non presenta una correlazione significativa con la quota. Per questo confronto, spicca la differenza di Formazza Pian del Camosci (550 unità), in contrapposizione a quella di Passo Rolle (-590 unità). La media mensile dei DD relativa a tutte le stazioni ci restituisce il dato di 460 unità per giugno 2025 e di 452 unità per agosto 2025. Significativo è anche il confronto dei DD medi mensili con l'anno precedente (Figura 3): i mesi di aprile, maggio e giugno 2025 hanno fatto registrare valori medi di DD più elevati rispetto agli stessi mesi del 2024. Questa situazione ha determinato nel 2025 rapidi processi di fusione nivale già a inizio estate.

Tabella 4 – Anno idrologico 2024-2025: gradi-giorno (DD, °C) totali mensili ed annuali e differenze (Δ) con i valori annuali dell'anno idrologico 2023-2024. In grassetto i minimi e massimi valori mensili; nd, dato mancante; nc, dato non calcolato causa dato mancante. Per la numerazione delle stazioni fare riferimento alla Tabella 1.

St.	O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	Anno	Δ
1	237	165	100	32	49	36	148	259	501	477	514	360	2877	-10
2	227	169	89	34	52	33	134	229	471	442	472	340	2692	89
3	145	124	nd	13	38	39	108	171	377	319	373	250	nc	nc
4	160	108	52	10	18	**2**	77	153	362	323	395	242	1902	4
5	163	134	73	14	40	31	136	208	387	338	381	246	2152	52
6	142	112	39	7	22	18	73	150	388	314	377	233	1875	550
7	243	163	63	13	62	96	211	297	500	448	497	345	2937	144
8	247	160	56	31	89	142	269	315	530	461	486	346	3131	-220
9	260	166	86	27	35	77	172	285	523	474	501	375	2980	-590
10	266	146	53	15	53	96	205	282	**558**	451	521	380	3026	160

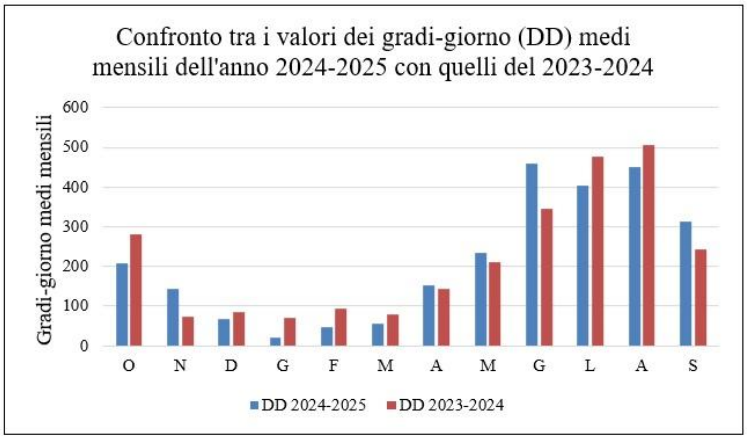

Figura 3 – Confronto tra i gradi-giorno (DD) medi mensili dell'anno idrologico 2024-2025 con quelli del 2023-2024.

Giorni di gelo, con gelo e senza gelo

Il valore massimo mensile dei giorni di gelo (ID) si osserva alla stazione di La Thuile La Grande Tête, in marzo (29 giorni), mentre l'analogo per i giorni con gelo (FD) si osserva alla stazione di Pantano d'Avio, sempre in marzo (anche qui 29 giorni). I giorni di gelo annuali (media sulle nove stazioni) risultano 72, come nel 2023-2024, mentre quelli con gelo 103, uno in meno del 2023-2024 e quelli senza gelo 187, anche qui uno in meno del 2023-2024 (Tabella 5).

Tabella 5 – Anno idrologico 2024-2025: numero di giorni di gelo (ID), con gelo (FD) e senza gelo (FF) mensili e annuali e differenze (Δ) con i valori annuali dell'anno idrologico 2023-2024. In grassetto i massimi valori mensili di ID e FD; nd, dato mancante; nc, dato non calcolato causa dato mancante. Per la numerazione delle stazioni fare riferimento alla Tab 1.

Staz.		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	Anno	Δ
1	ID	0	2	11	16	11	17	2	0	0	0	0	0	59	5
	FD	3	13	11	15	15	14	21	13	0	0	0	5	110	20
	FF	28	15	9	0	2	0	7	18	30	31	31	25	196	-25
2	ID	0	4	12	17	12	20	2	0	0	0	0	0	67	2
	FD	2	12	14	14	16	11	21	10	0	0	0	5	105	8
	FF	29	14	5	0	0	0	7	21	30	31	31	25	193	-10
3	ID	1	5	nd	23	16	18	8	1	0	0	0	2	nc	nc
	FD	9	18	nd	8	12	13	21	16	0	0	0	5	nc	nc
	FF	21	7	nd	0	0	0	1	14	30	31	31	23	nc	nc
4	ID	1	7	14	24	21	**29**	6	2	0	0	0	1	105	-5
	FD	6	13	10	6	6	2	19	13	0	2	0	5	82	-6
	FF	24	10	7	1	1	0	5	16	30	29	31	24	178	11
5	ID	0	7	15	24	15	20	8	0	0	0	0	2	91	-12
	FD	6	13	9	7	11	11	18	16	0	0	0	3	94	12
	FF	25	10	7	0	2	0	4	15	30	31	31	25	180	0
6	ID	1	8	18	27	18	23	10	2	0	0	0	2	109	-3
	FD	9	17	13	4	10	8	20	19	1	2	0	5	108	-9
	FF	21	5	0	0	0	0	0	10	29	29	31	23	148	12
7	ID	0	4	15	23	7	6	0	0	0	0	0	0	55	-10
	FD	2	11	10	8	18	25	10	0	0	0	0	0	84	1
	FF	29	15	6	0	3	0	20	31	30	31	31	30	226	9
8	ID	0	3	17	13	4	2	0	0	0	0	0	0	39	13
	FD	4	15	9	18	24	**29**	17	7	0	0	0	1	124	-1
	FF	27	12	5	0	0	0	13	24	30	31	31	29	202	-12
9	ID	0	3	15	18	16	7	1	0	0	0	0	0	60	28
	FD	3	16	10	13	12	24	15	10	1	0	0	2	106	-47
	FF	28	11	6	0	0	0	14	21	29	31	31	28	199	19
10	ID	0	7	16	20	10	4	0	0	0	0	0	0	57	-14
	FD	6	17	14	11	17	27	16	10	0	0	0	1	119	18
	FF	25	6	1	0	1	0	14	21	30	31	31	29	189	-4

In generale, relativamente a questi tre parametri, è possibile rilevare come l'anno idrologico 2024-2025 sia stato molto simile al precedente. Sempre in Tabella 5, analizzando i dati della colonna delle differenze annuali tra il 2024-2025 e il 2023-2024, si nota come Passo Rolle abbia fatto registrare

l'incremento maggiore per quanto riguarda i giorni di gelo (28), mentre a Predoi Malga Merbe sia avvenuto il contrario (-14); Colle Lombarda ha fatto registrare l'incremento maggiore per quanto riguarda i giorni con gelo (20), mentre a Passo Rolle si è registrato il dato opposto, significativamente molto basso (-47); Passo Rolle ha fatto registrare l'incremento maggiore anche per quanto riguarda i giorni senza gelo (19), mentre la stazione di Colle Lombarda ha registrato il contrario (-25). Al fine di ottenere informazioni più dettagliate sulle relazioni esistenti tra questi tre parametri, sarebbe necessario una analisi più approfondita che prenda in considerazione anche gli andamenti stagionali.

Durante il mese di giugno, l'arco alpino italiano è stato interessato da una ondata di caldo inconsueto, che ha interessato tutta l'Europa meridionale. Le temperature calcolate per l'intero arco alpino sono state 3÷6 °C maggiori rispetto al periodo climatologico normale 1991-2020, in particolare nel settore centro-occidentale (Figura 4). Come conseguenza di questa significativa ondata di calore, le temperature medie, minime e massime del mese di giugno sono risultate maggiori di quelle di luglio e di agosto (Figura 5A).

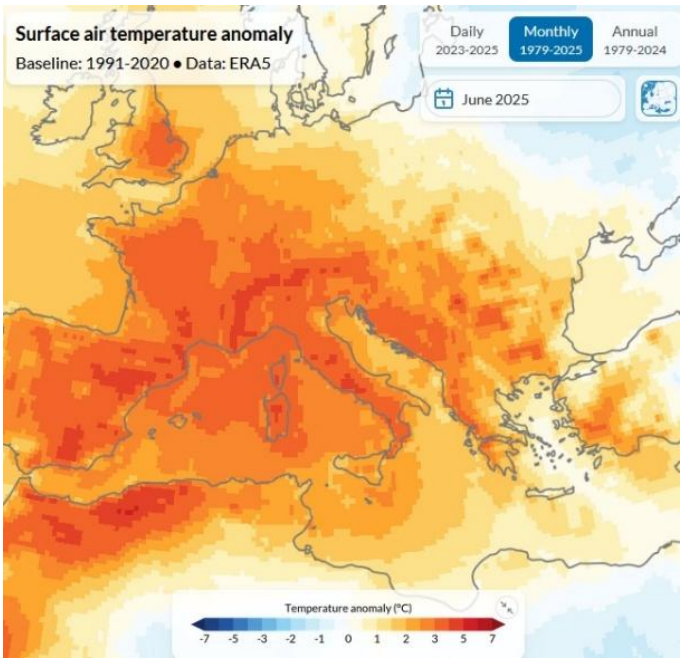

Figura 4 – Anomalie di temperatura del mese di giugno 2025 rispetto al periodo climatologico normale 1991-2020, sull'Europa meridionale (fonte https://pulse.climate.copernicus.eu/).

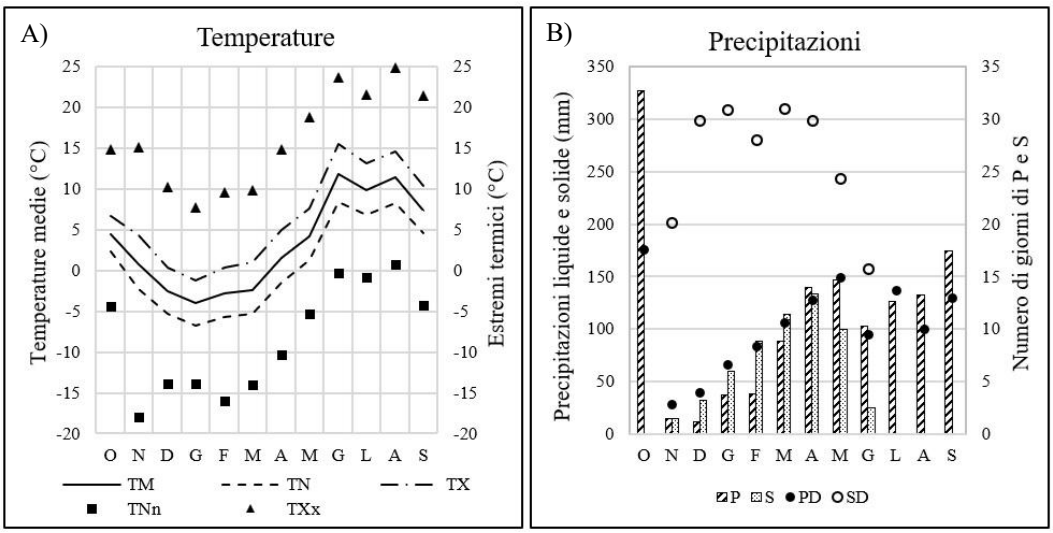

Figura 5 – Anno idrologico 2024-2025: A) media mensile dei valori delle temperature medie (TM), minime (TN) e massime (TX) ed estremi termici minimi (TNn) e massimi (TXx); B) precipitazioni totali mensili (di pioggia e neve fusa (P), altezze di neve al suolo medie mensili espresse in acqua equivalente (S), numero totale di giorni con precipitazioni (PD) e di giorni con neve al suolo (SD).

4. Precipitazioni

Il quadro generale del regime pluviometrico mensile ed annuale per l'anno idrologico 2024-2025 è riportato in Tabella 6 e in Figura 5B. Il valore mensile più elevato di precipitazioni si osserva alla stazione di Rifugio Gastaldi, in ottobre (439 mm), dove si registra anche il maggior numero di giorni con precipitazioni, sempre in ottobre (23 giorni). I totali annuali di precipitazione più elevati si osservano alla stazione di Madesimo Spluga (1633 mm), i minimi a Colle Lombarda (946 mm). La media annuale delle precipitazioni totali di tutte le stazioni, per l'anno idrologico 2024-2025 è di 1393 mm, valore inferiore di quello dell'anno idrologico precedente (1602 mm) ed il numero medio di giorni con precipitazioni è di 125, anche qui lievemente inferiore al dato del 2023-2024 (132 giorni). Da segnalare la significativa diminuzione delle precipitazioni totali annuali osservate per le stazioni di Pantano d'Avio (-686 mm), Passo Rolle (-630 mm) e Colle Lombarda (-355 mm) nell'anno 2024-2025 rispetto all'anno precedente. Per quanto riguarda invece la distribuzione mensile, spicca la netta differenza fra gli apporti meteorici caduti in ottobre con quelli degli altri mesi. Questa differenza non è tanto dovuta alla elevata quantità di precipitazioni cadute in ottobre, quanto alla minore quantità delle stesse caduta negli altri mesi. Infatti, se si confrontano i dati 2024-2025 con quelli dell'anno idrologico precedente si nota come le precipitazioni medie di ottobre 2024-2025 (327 mm) non si discostano di molto rispetto a quelle del 2023-2024 (269 mm); mentre la somma delle precipitazioni degli altri mesi ammonta a 1014 mm per l'anno 2024-2025 e 1303 mm per l'anno 2023-2024.

Tabella 6 – Anno idrologico 2024-2025: precipitazioni totali (pioggia e neve fusa, mm, P), numero di giorni con precipitazioni (PD) totali mensili e annuali e differenze (Δ) tra i totali annuali dell'anno idrologico 2024-2025 con quelli dell'anno idrologico precedente (2023-2024). In grassetto i massimi valori mensili; nd, dato mancante; nc, dato non calcolato causa dato mancante. Per la numerazione delle stazioni fare riferimento alla Tabella 1.

St.		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	Anno	Δ
1	P	372	10	1	32	19	76	105	103	26	37	44	121	946	-355
	PD	16	1	0	4	6	10	11	13	4	8	6	9	88	-18
2	P	417	7	13	29	27	80	238	146	56	44	68	105	1228	83
	PD	19	1	4	6	4	13	15	16	6	8	8	12	112	0
3	P	**439**	25	13	31	37	143	200	134	83	61	88	155	1407	-74
	PD	**23**	4	4	7	7	13	14	14	10	12	8	12	128	-6
4	P	221	8	nd	nd	nd	nd	41	122	94	69	70	122	nc	nc
	PD	16	2	nd	nd	nd	nd	8	15	10	11	7	13	nc	nc
5	P	312	30	22	17	47	89	168	148	108	113	157	225	1435	60
	PD	17	5	10	6	9	8	13	16	13	15	14	13	139	6
6	P	301	30	10	24	63	81	119	120	103	136	152	265	1404	-23
	PD	20	7	1	7	13	12	13	14	10	21	10	16	144	-3
7	P	279	11	2	33	35	49	129	145	248	208	228	265	1633	-43
	PD	16	2	1	9	7	7	11	13	12	17	11	17	123	-4
8	P	309	10	7	68	60	93	127	180	126	259	195	157	1591	-686
	PD	16	2	3	7	17	10	16	15	10	17	12	13	138	-17
9	P	293	7	25	64	22	98	132	228	83	207	192	151	1503	-630
	PD	15	2	5	7	4	12	14	18	11	14	14	12	128	-13
10	P	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nc	nc
	PD	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nc	nc

5. Innevamento

Il quadro generale dello spessore medio mensile ed annuale del manto nevoso per l'anno idrologico 2024-2025 è riportato in Tabella 7 e in Figura 5B. Il valore mensile più elevato si osserva alla stazione di Formazza, in aprile (182 cm), nettamente inferiore al massimo dell'anno precedente, sempre a Formazza e sempre in aprile (348 cm). Il valore mensile minore si osserva alla stazione di Colle Lombarda, in giugno (2 cm). La media annuale dello spessore della neve al suolo durante l'anno idrologico 2024-2025 è di 76 cm, dato anche qui inferiore rispetto a quello del 2023-2024 (118 cm), come anche quello relativo al valore medio del totale annuale di giorni con neve al suolo, 212 cm (225 cm nell'anno precedente).

Riassumendo: meno neve e meno giorni di neve al suolo, a confermare una tendenza al riscaldamento generale che interessa l'alta montagna. Inoltre, uno spostamento verso le stagioni primaverili dei maggiori quantitativi di neve al suolo, subito interessati da una rapida fusione ad inizio estate, se da un lato può favorire una abbondante riserva di acqua da utilizzarsi nei mesi successivi, dall'altro non consente alla neve di compattarsi ed iniziare quei processi di trasformazione che la porterebbero a diventare ghiaccio.

Tabella 7 – Anno idrologico 2024-2025: media mensile e annuale dello spessore della neve al suolo (S, cm) e totale mensile e annuale di giorni di neve al suolo (SD), calcolati per il periodo novembre-giugno. In grassetto il valore massimo mensile; nd, dato mancante; nc, dato non calcolato causa dato mancante. Per la numerazione delle stazioni fare riferimento alla Tabella 1.

St.		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	Anno	Δ
1	S		4	16	28	58	94	105	51	2				45	-33
	SD		12	31	31	28	31	30	25	2				24	-2
2	S		9	19	30	65	105	133	93					65	-15
	SD		27	31	31	28	31	30	31	3				27	-4
3	S		13	12	25	42	88	169	166	41				70	-36
	SD		29	22	31	28	31	30	31	30				29	-1
4	S			20	61	97	101	113	70					77	-65
	SD		13	31	30	28	31	29	28					24	2
5	S		24	36	73	99	133	174	156	31				91	-34
	SD		19	31	31	28	31	30	31	15				27	-2
6	S		30	69	107	136	158	**182**	158	33				109	-102
	SD		30	31	31	28	31	30	31	30				30	0
7	S		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd				nc	nc
	SD		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd				nc	nc
8	S			53	90	121	138	116						104	-15
	SD			31	31	28	31	30	16					28	2
9	S		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd				nc	nc
	SD		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd				nc	nc
10	S		6	35	69	87	99	73	3	17				49	-39
	SD		11	31	31	28	31	30	2	30				24	-4

6. Tendenze della temperatura sull'arco alpino

La temperatura media giornaliera dell'anno idrologico 2024-2025, ed il suo confronto con i dati del CLINO 1991-2020 sono riportati in Figura 6. Questo confronto assume un valore indicativo ma di riferimento, sia perché 5 delle 10 stazioni qui considerate fanno parte anche del gruppo di 23 stazioni utilizzate nell'analisi del periodo 1991-2020 e sia perché la quota media delle 10 stazioni qui utilizzate (2259 m) è molto vicina alla quota media delle 23 stazioni utilizzate nell'analisi del periodo 1991-2020 (2372 m). Osservando il grafico di Figura 6, si nota subito come le anomalie positive, cioè quelle che identificano un aumento della temperatura rispetto al CLINO 1991-2020 siano in maggioranza rispetto a quelle negative e siano ben distribuite lungo tutto il periodo considerato. Significativo è anche il fatto che molte di queste anomalie positive superano non di poco la soglia limite della deviazione standard del CLINO di riferimento. Si conferma quindi la tendenza ad un aumento generalizzato della temperatura che, a seconda degli anni, può presentarsi in modo diverso. Il 2024-2025 può considerarsi un periodo a metà decade 2020-2030, un periodo che comincia ad allontanarsi dal CLINO di riferimento e che mette bene in evidenza il rapido riscaldamento che gli ambienti alpini di alta quota stanno subendo.

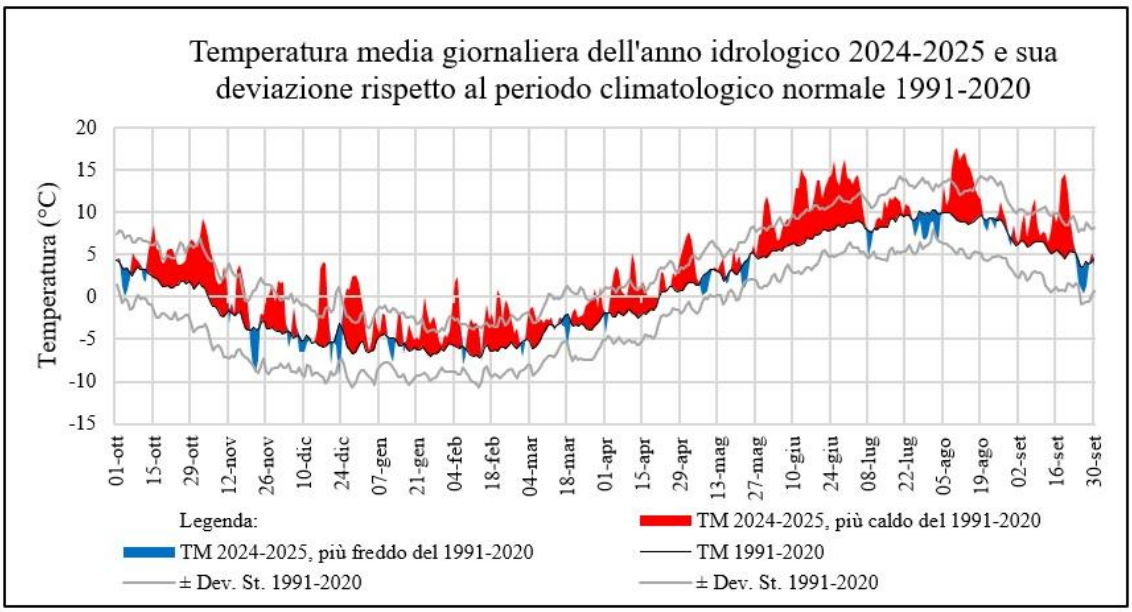

Figura 6 – Temperatura media (TM) giornaliera dell'anno idrologico 2024-2025 e sua deviazione rispetto allo stesso parametro riferito al periodo climatologico normale 1991-2020.

7. Quota dello zero termico in libera atmosfera

L'andamento della quota dello zero termico in libera atmosfera per il periodo giugno-settembre 2025, ricavata dai radiosondaggi lanciati dalle stazioni di Cuneo Levaldigi, Novara Cameri e Udine Rivolto, è riportata in Figura 7. Osservando i tre andamenti riportati in questa figura, appare subito evidente come durante il mese di giugno l'isoterma di 0 °C si sia trovata ad una quota media più elevata rispetto ai mesi di luglio ed agosto e questo per tutte e tre le stazioni considerate, a conferma di come questo mese sia stato più caldo dei due mesi successivi. Nei numeri, questo si traduce con i dati riportati in Tabella 8. Un altro dato interessante e dai molti risvolti applicativi è il numero di giorni durante i quali la quota dello zero termico si è trovata sopra i 4000 metri. Anche questo dato conferma come giugno sia stato il mese termodinamicamente più caldo.

Tabella 8 – Quota media mensile dello zero termico in libera atmosfera (m s.l.m.) estrapolata dai dati dei radiosondaggi lanciati da Cuneo Levaldigi (CL), Novara Cameri (NC) e Udine Rivolto (UR) ogni giorno alle ore 12:00 UTC. Tra parentesi il numero totale di giorni con 0 °C >4000 m. Fonte dati http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html.

	CL	NC	UR	3 staz
Giugno	4212 (24)	4154 (20)	4106 (17)	4157
Luglio	3978 (15)	3768 (12)	3632 (8)	3793
Agosto	4177 (19)	4063 (17)	3941 (13)	4060
Settembre	3662 (10)	3571 (7)	3547 (8)	3593
Intero periodo	4006 (68)	3889 (56)	3806 (46)	3900

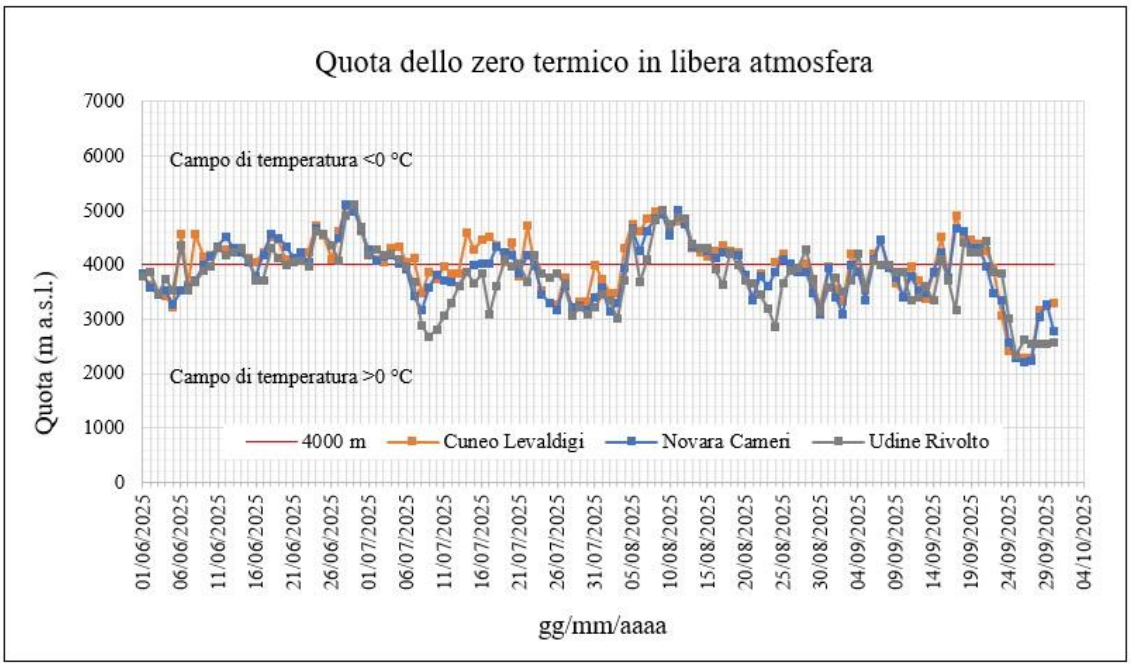

Figura 7 – Quota dello zero termico in libera atmosfera, estrapolata dai dati dei radiosondaggi che ogni giorno alle ore 12:00 UTC vengono lanciati da Cuneo Levaldigi, Novara Cameri e Udine Rivolto (fonte dati http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html).

8. Conclusioni

Gli ambienti glaciali stanno rispondendo rapidamente ai cambiamenti climatici: Durante il periodo 2016-2024, sull'arco alpino europeo, il tasso di perdita di massa glaciale è stato doppio rispetto a quello registrato negli Anni Novanta e triplo rispetto a quello degli Anni Ottanta (Cat Berro, 2025). La degradazione del permafrost montano sulle Alpi procede anch'essa in modo veloce: lo spessore dello strato attivo, interessato dai cicli stagionali di gelo-disgelo, sta aumentando di circa 25-30 cm ogni dieci anni (Paro 2025). Le temperature aumentano, allo stesso tempo le precipitazioni cambiano il loro regime, aumenta la frequenza e la magnitudo degli eventi pluviometrici, di neve ne cade ma a fine stagione. Le quote dello zero termico in estate tendono ad alzarsi e a mantenersi elevate per diversi giorni. Durante i mesi estivi, la fusione del ghiaccio e la degradazione del permafrost procedono anche di notte, alcuni processi di instabilità naturale come i crolli di ghiaccio, i crolli di roccia, le colate di detrito e le piene torrentizie sembrano essere in aumento (Nigrelli et al. 2024). Un fenomeno diffuso ma poco conosciuto, che con l'aumento delle temperature in quota sembra interessare sempre di più gli ambienti di recente deglaciazione è quello relativo alle sovraincisioni degli apparati morenici (Mortara et al. 2025). Nei prossimi cento anni il clima e i diversi ambienti alpini subiranno notevoli trasformazioni (ICCI 2024; Kotlarski et al. 2023). L'intera regione alpina avrà un clima più caldo, soprattutto in estate e soprattutto nella sua parte meridionale, cioè quella italiana. Alla fine di questo secolo, o forse anche prima, gran parte dei ghiacciai al di sotto dei 3000

metri di quota saranno estinti, le aree glaciali si trasformeranno velocemente in aree periglaciali, fenomeno peraltro già ampiamente in corso.

Il forte interesse dell'uomo per questi ambienti deve quindi prendere in considerazione gli scenari evolutivi dei prossimi decenni, al fine di conoscere preventivamente i pericoli, ridurre i rischi e applicare concrete azioni di mitigazione e di adattamento al clima che cambia. Indagini come quella qui presentata, se ripetute nel tempo e magari ampliate, prendendo in considerazione più stazioni e più indici climatici, possono costituire un utile strumento di conoscenza e di supporto alle decisioni.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Piemonte, il Centro Funzionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta, l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Lombardia, la Provincia Autonoma di Trento e la Provincia Autonoma di Bolzano per la messa a disposizione gratuita dei dati meteorologici attraverso i loro portali dedicati e aperti al pubblico. Si ringrazia anche la Società Meteorologica Italiana per la documentazione fornita.

Bibliografia

1. Brocard E., Jeannet P., Begert M., Levrat G., Philipona R., Romanens G., Scherrer S. C. (2013) - Upper air temperature trends above Switzerland 1959–2011. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 118, 10, 4303-4317. https://doi.org/10.1002/jgrd.50438
2. Cat Berro D. (2025) – Evoluzione dei ghiacciai italiani nel periodo 2016-2024: deglaciazione accelerata. Nimbus, 93, 16-53, Società Meteorologica Italiana
3. Chiarle M., Bondesan A., Carturan L., Scotti R. (2024) – Campagna glaciologica annuale dei ghiacciai italiani (2024). Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 47(2), 3-98. https://doi.org/10.4454/f634nxj7
4. Carturan L. (2024) – Bilanci di massa dei ghiacciai italiani nell'anno 2024. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 47(2), 99-110. https://doi.org/10.4454/f634nxj7
5. ICCI, 2024. State of the Cryosphere 2024 – Lost Ice, Global Damage. International Cryosphere Climate Initiative (ICCI), Stockholm, Sweden. 72 pp. Published: 12 November 2024
6. Kotlarski S., Gobiet A., Morin S., Olefs M., Rajczak J., Samacoits R. (2023) - 21st Century alpine climate change. Climate Dynamics, 60: 65-86. https://doi.org/10.1007/s00382-022-06303-3
7. Mortara G., Chiarle M., Cat Berro D. (2025) – Le sovraincisioni degli apparati morenici: esempi storici e recenti di fenomeni diffusi ma poco conosciuti. Nimbus, 93, 160-169, Società Meteorologica Italiana

8. Nigrelli G., Chiarle M. (2023) – 1991–2020 climate normal in the European Alps: focus on high-elevation environments. Journal of Mountain Science, 20(8), 2149-2163. https://doi.org/10.1007/s11629-023-7951-7
9. Nigrelli G., Paranunzio R., Turconi L., Luino F., Mortara G., Guerini M., Giardino M., Chiarle M. (2024) – First national inventory of high-elevation mass movements in the Italian Alps. Computers and Geosciences, 184, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2024.105520
10. Paro L. (2025) – Il permafrost montano in Europa: stato dell'arte e tendenze future. Nimbus, 93, 134-139, Società Meteorologica Italiana
11. Scherrer S. C., Gubler S., Wehrli K., Fischer A. M., Kotlarski S. (2021) - The Swiss Alpine zero degree line: Methods, past evolution and sensitivities. International Journal of Climatology, 41, 15, 6785-6804. https://doi.org/10.1002/joc.7228
12. Società Meteorologica Italiana (2025) Nimbus, Anno XXXIII, numero 1, gennaio-giugno 2025, 93, 1-176
13. World Meteorological Organization, WMO (2017) – Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO No. 1203, Geneva, Switzerland
14. World Meteorological Organization, WMO (2018) – Guide to Climatological Practices. WMO-No. 100. Geneva, Switzerland
15. World Meteorological Organization, WMO (2024) – State of the Climate. Update for COP29. Geneva, Switzerland

Torino, 2 novembre 2025

www.naturacene.it

BY NC SA