

NAO, neve e acqua nelle montagne italiane

Analisi esplorativa su stazioni alpine e appenniniche Quadro documentale aggiornato al 5 settembre 2026

Obiettivo richiesto: gli ultimi 30 inverni completi, 1996/97-2025/26. **Esito della verifica:** la serie NAO copre tutto il periodo; le serie nivometriche pubbliche effettivamente acquisite consentono solo un'analisi recente parziale e un confronto storico separato. Questo report non costituisce una correlazione osservativa completa del trentennio richiesto.

Risultati principali

Sono stati calcolati 15 coefficienti su cinque stazioni, con grafici basati su valori stagionali effettivi degli archivi. A Gioveretto, nel 1997-2019, NAO e manto medio invernale mostrano $r = -0,48$; nelle due stazioni valdostane la correlazione recente è prossima a zero. Nel 1972-2001 il segno è negativo per il manto valdostano, quasi nullo per la neve fresca a Montevergine e positivo a Capracotta.

Nessuna delle 15 correlazioni supera la correzione Benjamini-Hochberg al 5%. I risultati sono esplorativi; i valori p non corretti e gli intervalli individuali non giustificano una generalizzazione regionale.

Le differenze tra NAO negativa e positiva non mostrano un aumento uniforme della durata della neve. L'altezza del manto, la neve fresca cumulata e l'acqua contenuta nella neve sono grandezze distinte: senza densità e distribuzione spaziale non si può misurare il contributo della NAO alle risorse idriche regionali.

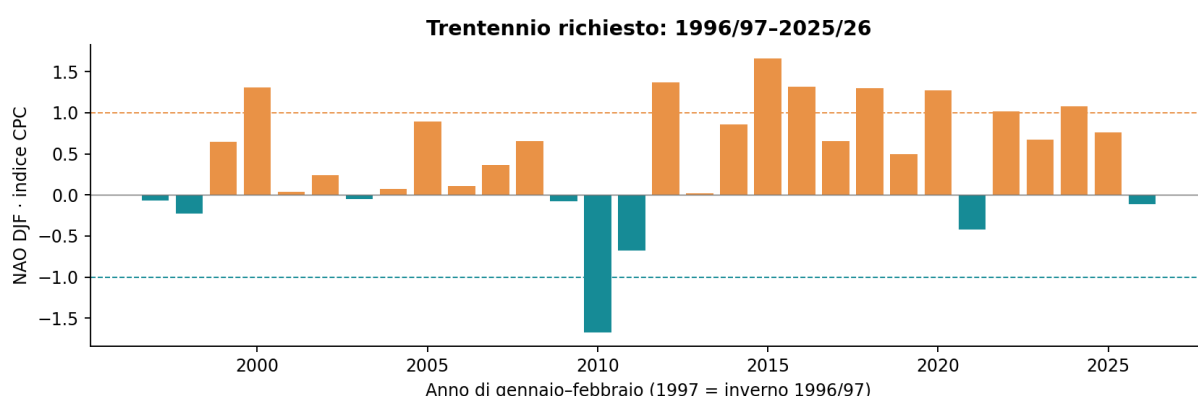


Figura 1. Elaborazione originale su indice mensile NOAA CPC [1]. Anno = gennaio-febbraio. Soglie tratteggiate ± 1 applicate alla media DJF, senza rinormalizzazione stagionale.

1. Copertura, stazioni e variabili

Le località costituiscono casi di studio per quote e settori diversi, non un campione probabilistico delle due catene. La selezione precede l'interpretazione dei coefficienti ed è basata su disponibilità e completezza. Per il Piemonte si riportano evidenze pubblicate: i file regionali non sono redistribuiti nel dataset alpino consultato [2, 7].

Stazione / settore	Quota	Periodo analizzato	Variabili e n
Gabiet, Valle d'Aosta	2379 m	1972-2001; 1997-2019*	HS: 30; 22 SCD: 30; 16
Perrères, Valle d'Aosta	1820 m	1972-2001; 1997-2018*	HS: 30; 20 SCD: 30; 18
Diga di Gioveretto, Alto Adige	1851 m	1997-2019*	HN: 23; HS: 23 SCD: 22
Montevergine, Campania	1280 m	1972-2001	HN: 30; SCD: 30
Capracotta, Molise	1400 m	1972-2001	HN: 30; SCD: 30

* Finestra recente cercata: 1997-2019. I singoli indici hanno anni mancanti; SCD termina nel 2017 a Gabiet e nel 2018 a Perrères e Gioveretto. Il numero n conta stagioni valide, non l'ampiezza del calendario. 1972 = inverno 1971/72.

Fonti e qualità degli input

Alpi: archivio Matiu et al., versione 1.3, con dati del Centro funzionale della Regione Valle d'Aosta e dell'Ufficio idrografico della Provincia autonoma di Bolzano. Si usano le colonne mensili senza suffisso "gapfill"; i valori mensili sono prodotti dalla fonte quando sono disponibili oltre il 90% dei giorni [2].

Appennini: Capozzi et al., versione 2 del luglio 2026. I file selezionati mantengono HN dal 1971 al 2001 e SCD dal 1951 al 2001. Le serie sono controllate, omogeneizzate e completate con Climatol; il file non consente di separare, per ciascun valore usato, misura originaria e ricostruzione [3]. Le incertezze statistiche qui calcolate non includono questa componente.

Indicatore	Definizione operativa	Cosa non misura
HN_DJF, cm	Somma neve fresca dicembre-febbraio	Massa d'acqua; manto finale
HS_DJF, cm	Media manto dicembre-febbraio, pesata per giorni del mese	SWE di picco o al 1° aprile
SCD_NM, giorni	Somma giorni con HS ≥ 1 cm, novembre-maggio	Data di fusione; durata continua
SWE, mm	Acqua equivalente immagazzinata	Non disponibile negli input di stazione

2. Metodo statistico e limiti

Accoppiamento temporale

NAO positiva e negativa sono due fasi dello stesso indice. Si calcola $NAO_{DJF} = (NAO_{dicembre} + NAO_{gennaio} + NAO_{febbraio})/3$, usando NOAA CPC [1]. NAO– indica valori <0 , NAO+ valori >0 ; non vi sono medie esattamente nulle nei campioni. La definizione CPC non va scambiata con indici basati su singole coppie di stazioni o con medie DJFM.

Per HN e HS sono obbligatori tre mesi validi; per SCD sette. Una stagione incompleta è esclusa per quella variabile, senza trasformare le assenze in zeri. Per i calcoli si richiedono almeno 15 stagioni complete. La NAO invernale viene correlata anche con SCD novembre-maggio: questa associazione non è una previsione, poiché novembre precede DJF e primavera dipende da condizioni successive.

Correlazioni e confronti tra fasi

Si stimano r di Pearson, ρ di Spearman e r dopo rimozione del trend lineare rispetto all'anno, sia dalla NAO sia dalla neve. L'intervallo individuale di r al 95% usa la trasformazione di Fisher. I valori p sono bilaterali. La correzione Benjamini-Hochberg riguarda l'unica famiglia dei 15 test di Pearson conservati, inclusi i due periodi parzialmente sovrapposti.

Il contrasto tra fasi è $\Delta = \text{media}(Y | NAO < 0) - \text{media}(Y | NAO > 0)$. L'IC 95% è il percentile di 5000 bootstrap indipendenti nelle due classi, con seme 20260905. Gli intervalli dei contrasti sono individuali, senza correzione multipla. La percentuale usa la media NAO+ al denominatore; non è la percentuale di risorsa idrica attribuibile alla NAO.

Trend nelle stagioni negative

Si calcola una regressione lineare sul tempo usando soltanto gli inverni con $NAO < 0$, mantenendo gli anni reali e la loro distanza. La pendenza è espressa per decennio. Questo descrive come cambia la neve nel sottoinsieme negativo; non misura la durata degli episodi NAO– e non dimostra che la NAO produca il trend.

Cautele che incidono sul risultato

Il bootstrap e gli intervalli di Fisher assumono osservazioni stagionali indipendenti; non è stata modellata l'autocorrelazione. Campioni piccoli, ricostruzioni appenniniche, cambi di osservatore/sito e omissione di temperatura, precipitazioni, AO, EAWR ed EMP limitano l'inferenza. La rimozione del trend non equivale a un controllo causale del riscaldamento.

Non si uniscono stazioni o periodi in un unico coefficiente nazionale. La neve di Gioveretto non viene trasferita al Piemonte; Montevergine e Capracotta non rappresentano tutto l'Appennino. Alle quote alte SCD può avvicinarsi al massimo stagionale, riducendo la capacità dell'indicatore di distinguere inverni diversi.

3. Grafici di correlazione originali

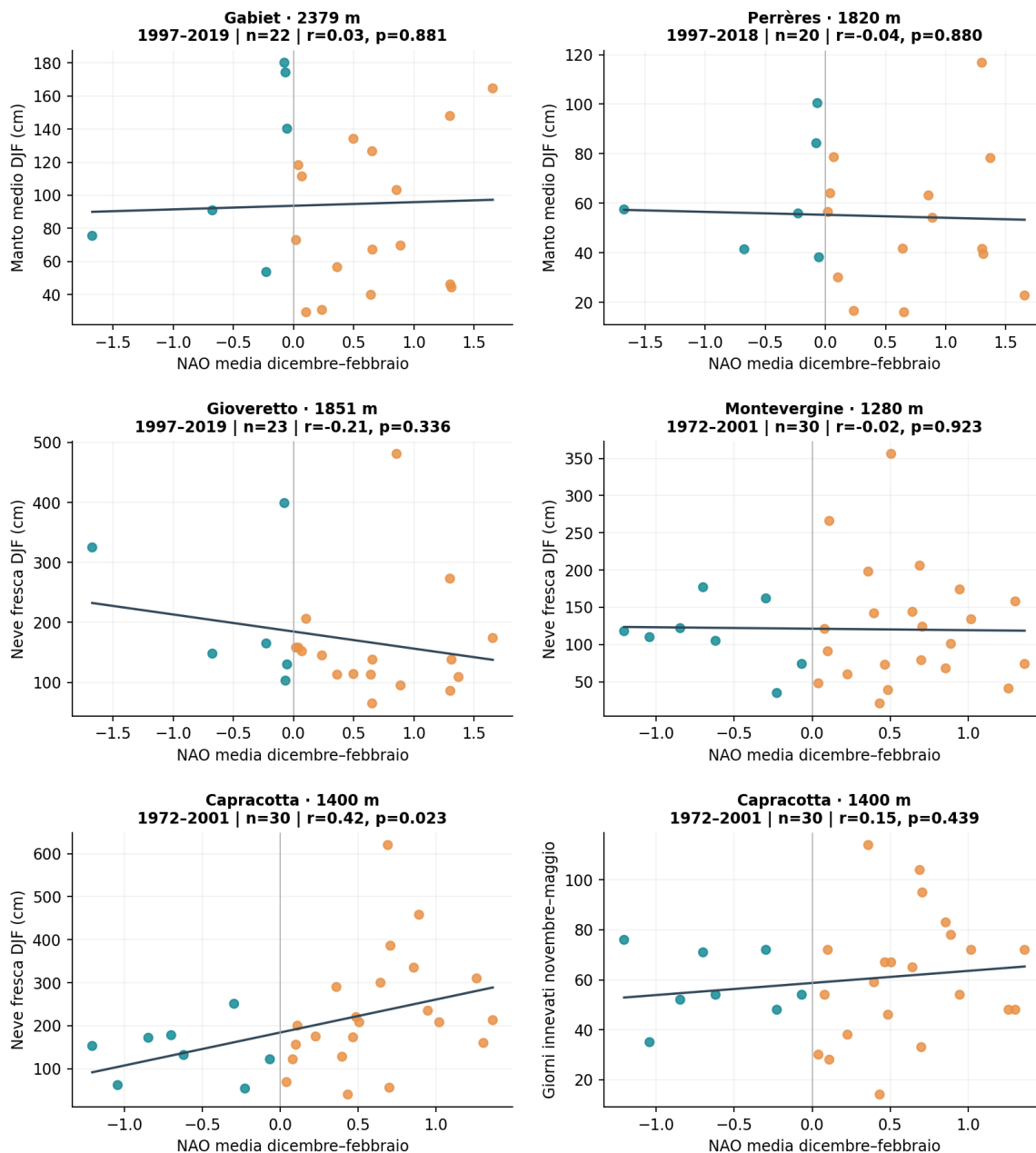


Figura 2. Ogni punto è una stagione valida; azzurro = NAO-, arancione = NAO+. Retta OLS descrittiva. Valori p nominali: tutti i test mostrati hanno $q_{BH} > 0.05$. I primi tre pannelli riguardano il periodo recente parziale; gli ultimi tre il 1972-2001. Non è un confronto su un trentennio comune recente. Fonti dati [1-3].

4. Coefficienti e differenze tra fasi

Stazione / variabile	Anni; n	r	r senza trend	q BH
Gabiet / HS_DJF	1972-2001; 30	-0.37	-0.30	0.166
Gabiet / HS_DJF	1997-2019; 22	+0.03	-0.04	0.959
Gabiet / SCD_NM	1972-2001; 30	+0.11	+0.14	0.820
Gabiet / SCD_NM	1997-2017; 16	+0.01	-0.11	0.959
Perrères / HS_DJF	1972-2001; 30	-0.47	-0.44	0.113
Perrères / HS_DJF	1997-2018; 20	-0.04	-0.04	0.959
Perrères / SCD_NM	1972-2001; 30	-0.33	-0.25	0.200
Perrères / SCD_NM	1997-2018; 18	-0.36	-0.35	0.299
Gioveretto / HS_DJF	1997-2019; 23	-0.48	-0.50	0.113
Gioveretto / HN_DJF	1997-2019; 23	-0.21	-0.31	0.630
Gioveretto / SCD_NM	1997-2018; 22	-0.38	-0.35	0.200
Montevergine / HN_DJF	1972-2001; 30	-0.02	+0.08	0.959
Capracotta / HN_DJF	1972-2001; 30	+0.42	+0.46	0.113
Montevergine / SCD_NM	1972-2001; 30	+0.09	+0.07	0.847
Capracotta / SCD_NM	1972-2001; 30	+0.15	+0.20	0.731

Tabella 1. Elaborazioni originali; r non è una pendenza in cm per unità di NAO. Dettagli, rho, p e IC sono nel file statistics.csv. Nessun q è inferiore a 0,05.

Interpretazione delle differenze tra fasi

A Gioveretto (1997-2019) il manto medio passa da 46,4 cm nelle 17 stagioni NAO+ a 83,5 cm nelle 6 NAO-: $\Delta = +37,1$ cm, IC individuale [12,8; 60,9]. La neve fresca passa da 159,9 a 211,7 cm: +32,4%, ma IC del contrasto [-39,3; 149,5] cm, compatibile anche con zero.

A Gabiet e Perrères, nella finestra recente, il manto è mediamente maggiore con NAO- di 33,9 e 11,5 cm; entrambi gli IC includono zero. Una differenza tra due classi può convivere con r continuo quasi nullo: le due statistiche rispondono a domande diverse e pochi inverni possono dominare il confronto.

A Capracotta, nel solo 1972-2001, HN è inferiore nelle 8 stagioni NAO- rispetto alle 22 NAO+: 140,5 contro 230,1 cm. Questo risultato storico, non robusto al controllo multiplo per la correlazione, impedisce di imporre il segno alpino all'Appennino. Non è una stima per il 1997-2026.

5. Persistenza e trend durante NAO–

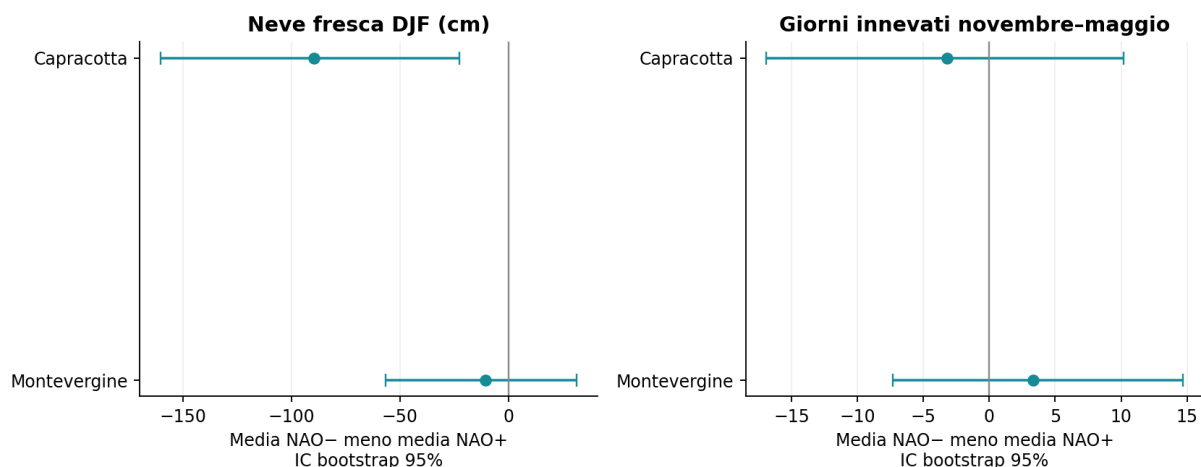


Figura 3. Appennini, 1972-2001. Contrasti NAO– meno NAO+ con IC bootstrap individuali al 95%. Gli IC dei giorni innevati comprendono zero in entrambe le stazioni.

Stazione / periodo	Δ giorni NAO– – NAO+	IC 95%	Trend solo NAO– giorni/decennio; p
Gabiet 1997-2017	-8.3	[-20.7; 3.0]	+15.0; 0.246
Perrères 1997-2018	+4.6	[-13.4; 23.1]	+13.1; 0.372
Gioveretto 1997-2018	+15.6	[-0.6; 32.5]	+13.4; 0.163
Montevergine 1972-2001	+3.3	[-7.3; 14.7]	-1.3; 0.815
Capracotta 1972-2001	-3.2	[-16.9; 10.2]	-1.3; 0.847

Tabella 2. Trend stimati su appena 5-8 inverni negativi: nessuno dei cinque sopra ha $p < 0.05$. Non emerge un aumento generalizzato né un allungamento quantificabile della stagione dovuto alla NAO–.

Nel benchmark 1972-2001, Perrères presenta invece un trend SCD di -16,7 giorni/decennio nel sottoinsieme NAO– ($n=8$, p nominale 0,020). È un segnale esplorativo non corretto per i test sui trend, incompatibile con la tesi che una fase negativa garantisca persistenza crescente nel tempo.

SCD conteggia anche periodi nevosi separati. Per misurare il ritardo della fusione servono dati giornalieri, una definizione di innevamento continuo e una data di scomparsa che escluda le nevicate effimere tardive. Non si può tradurre automaticamente Δ SCD in giorni di ritardo del deflusso.

6. Confronto con la letteratura e Piemonte

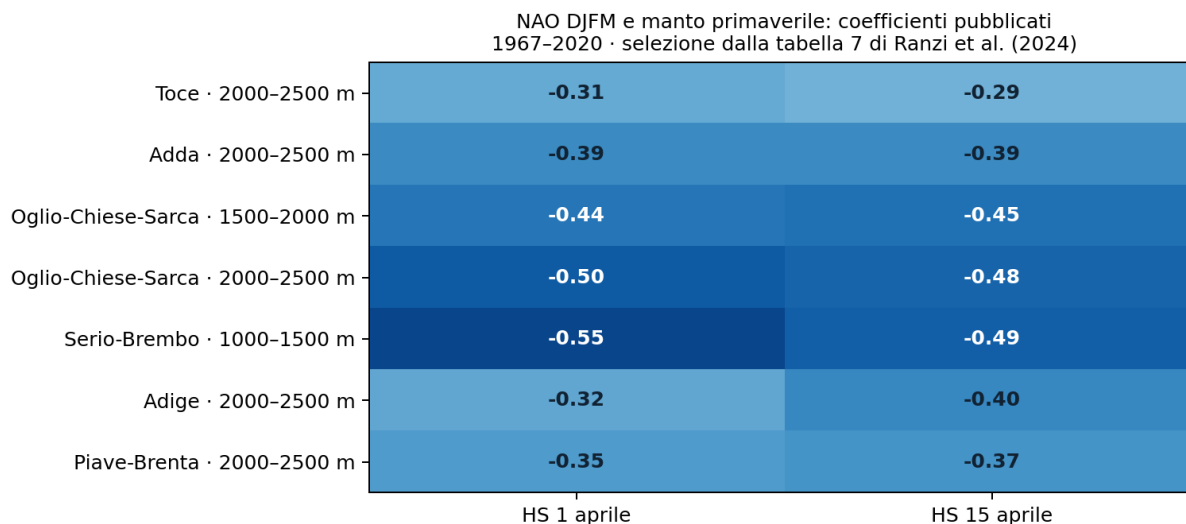


Figura 4. Coefficienti ripresi, non ricalcolati, dalla tabella 7 di Ranzi et al. [4]. Selezione di celle significative $p < 0,05$; non rappresenta l'intera matrice né una media regionale. NAO DJFM, HS di aprile, periodo 1967-2020: definizioni diverse dall'analisi originale DJF.

Nel Toce a 2000-2500 m $r = -0,31$ il 1° aprile e $-0,29$ il 15 aprile. I coefficienti alpini significativi arrivano a $-0,55$. In regressione semplice $r^2 = 0,09-0,30$ indica varianza associata, non acqua attribuibile causalmente alla NAO. I dati nivometrici di questo studio sono disponibili su richiesta [4].

Piemonte: coerenza storica, forte dipendenza dalla quota

Terzago [7] analizza 14 stazioni piemontesi, tra cui Lago Piastra (960 m), Ceresole Reale (1573 m), Rochemolles (1950 m) e Lago Vannino (2177 m), con serie fino al 2010. Riscontra un'associazione inversa tra NAO e manto e, per la neve fresca, soprattutto alle quote medio-basse. Il calo del manto risulta legato in larga parte al riscaldamento e alla maggiore fusione. Le quote si riferiscono alle stazioni storiche dello studio.

Per il 2024/25 ARPA Piemonte documenta la quarta stagione più carente di neve fresca dal 1961, con deficit particolarmente forti nei settori meridionali. La permanenza della neve varia però tra settori, e il caldo successivo accelera la fusione [8]. Il caso mostra perché un totale di neve fresca o il solo indice NAO non descrivano la disponibilità idrica a fine stagione; qui non se ne attribuisce il deficit alla NAO.

Appennini e contesto di lungo periodo

A Montevergine la correlazione pubblicata NAO-HN per il 1950-2015 è $r = -0,08$, non significativa; l'AO risulta più informativa [5]. La rete appenninica storica mostra, nei cluster sopra 1000 m, circa -3,2 giorni di neve al suolo per decennio in DJF nel 1951-2001 [6]. Sull'intero arco alpino, Matiu et al. riportano per il 1971-2019 una variazione media SCD novembre-maggio di $-5,6\%$ per decennio [9]. Sono contesti di periodi diversi, non effetti stimati della NAO e non tassi da estrapolare al trentennio recente.

7. Dalla neve alle risorse idriche

Quantificazione consentita: sensibilità dell'equivalente idrico a spessore e densità.

Quantificazione non identificata: incremento regionale di acqua, deflusso o ricarica attribuibile alla NAO. Nessuna delle serie acquisite misura insieme densità, SWE distribuito e portate.

Per un manto uniforme: **SWE (mm) = HS (cm) × densità neve (kg/m³) / 100**. Il volume è **V (hm³) = SWE medio areale (mm) × area (km²) / 1000**. Sono conversioni dimensionali, non un modello di attribuzione.

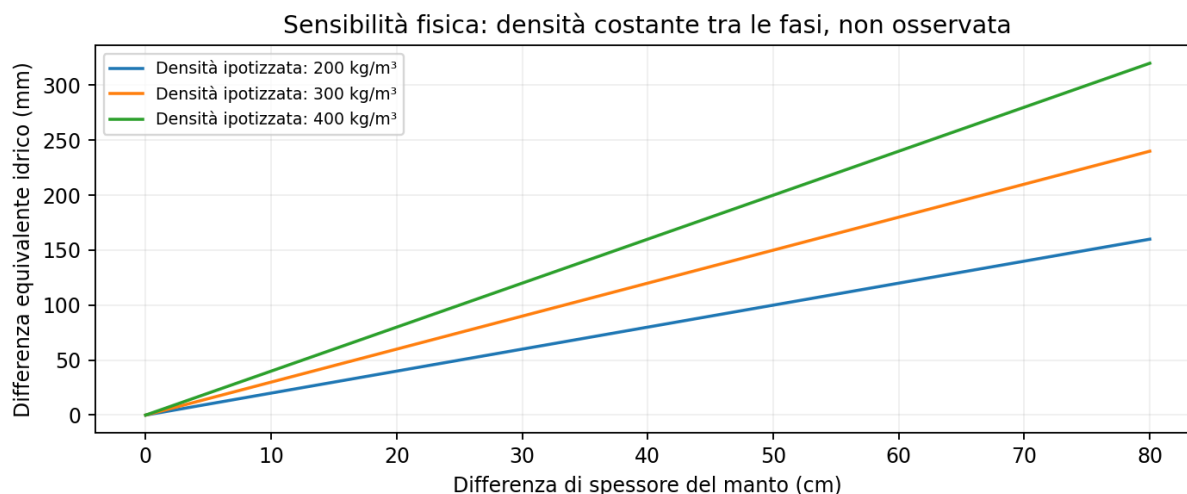


Figura 5. Scenari di densità scelti per illustrare la sensibilità. Per un confronto reale occorre calcolare separatamente HS e densità delle due fasi: $\Delta SWE = (HS_- \times densità_- - HS_+ \times densità_+) / 100$.

Esempio ancorato al contrasto osservato, con ipotesi esplicite

A Gioveretto il contrasto HS_DJF è +37,1 cm. Assumendo la stessa densità in entrambe le classi, 200-400 kg/m³, equivale a circa **74-148 mm** di differenza di stock medio invernale puntuale. Con densità fissa 300 kg/m³: **111 mm**; il solo IC bootstrap sullo spessore si traduce in circa **39-183 mm**, senza includere l'errore sulla densità. Il confronto tra fasi resta esplorativo e non misura il picco SWE.

Solo nell'ipotesi aggiuntiva, non verificata, che 111 mm siano uniformi su 100 km², il volume sarebbe 11,1 hm³. Non è una stima per un bacino italiano. Se 100 mm extra fossero ancora presenti a inizio fusione e il tasso netto fosse costante a 5, 10 o 15 mm/giorno, la loro fusione richiederebbe rispettivamente 20, 10 o 6,7 giorni: è uno scenario fisico, non un ritardo osservato.

Il deflusso dipende anche da pioggia, infiltrazione, evapotraspirazione, sublimazione, immagazzinamento nel suolo e gestione degli invasi. La neve può spostare acqua dall'inverno alla primavera senza aumentare l'apporto annuo. La somma della neve fresca non deve essere moltiplicata per la densità del manto assestato.

8. Fasi estreme e idrologia regionale

Nel 1997-2026, l'indice CPC DJF conta 8 inverni negativi e 22 positivi. Con soglie convenzionali ≤ -1 e $\geq +1$: un solo estremo negativo (2010, -1,673) e otto positivi (2000, 2012, 2015, 2016, 2018, 2020, 2022, 2024). Un criterio percentile o mensile produrrebbe gruppi diversi; non si cambia la soglia dopo aver visto il risultato.

Il 2009/10 è un caso, non un campione di estremi negativi. Nelle finestre alpine recenti il gruppo estremo negativo contiene una sola stagione. I contrasti numerici di tale gruppo, presenti nel CSV per trasparenza, non stimano un effetto climatico medio. Nel benchmark storico gli estremi negativi sono solo due.

Scenario fisico condizionato	Conseguenza idrologica plausibile
NAO- con perturbazioni favorevoli e temperature sufficientemente basse	Più accumulo solido e possibile riserva per la primavera; la persistenza dipende dal tempo successivo.
NAO- con richiamo mite e pioggia su neve	Una fase umida può aumentare deflusso invernale e accelerare il rilascio dello stock, anziché conservarlo.
NAO+ con condizioni asciutte e miti sul versante meridionale alpino	Possibile deficit di accumulo e minore contributo nivale primaverile; non implica un deficit uniforme in tutte le stazioni.
Appennini: irruzioni e minimi con traiettorie diverse	Contrasti tra esposizioni e bacini; il segno NAO da solo non determina neve, ricarica o piena.

La tabella è un'interpretazione fisica coerente con gli studi di circolazione e neve [5, 7, 9], non una quantificazione empirica dei quattro scenari. AO, EMP, EAWR, temperatura e traiettoria dei minimi possono modificare la risposta locale.

Per completare il trentennio e stimare l'acqua

Occorrono serie giornaliere validate 1996-2026 di HN, HS, temperatura e precipitazione per un gruppo fisso di stazioni; metadati sui cambi strumentali; densità o SWE osservato; aree dei bacini per fascia di quota; portate e regolazione degli invasi. Per il Piemonte: includere almeno una stazione meridionale, una occidentale e una del Toce; per gli Appennini, entrambi i versanti e quote comparabili.

Una rianalisi nivale può integrare le lacune soltanto dichiarandola come dato modellato e validandola sulle stazioni. Con tali input si possono stimare modelli con NAO, temperatura e precipitazione, compositi con campioni sufficienti e bilanci di bacino. Fino ad allora non è difendibile una percentuale regionale di risorsa idrica "causata dalla NAO".

9. Fonti, dati e riproducibilità

[1] NOAA Climate Prediction Center

Indice NAO mensile, file ASCII acquisito il 5 settembre 2026; aggregazione DJF originale.

<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii>

[2] Matiu et al., dataset v1.3 (2021)

Snow cover in the European Alps. Dati IT_VDA_CF (CC BY 4.0) e IT_BZ (CC0 1.0), metadati e termini originali.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5109574>

[3] Capozzi et al., dataset v2 (2026)

Historical snowfall precipitation data in the Apennine Mountains, Italy - V02. Si usano ST006 e ST149; versione verificata dopo il recupero iniziale della v1.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21373986>

[4] Ranzi, Colosio e Galeati (2024)

Climatology of snow depth and water equivalent measurements in the Italian Alps (1967-2020). HESS 28; tabella 7.

<https://doi.org/10.5194/hess-28-2555-2024>

[5] Capozzi, De Vivo e Budillon (2022)

Synoptic control over winter snowfall variability observed in a remote site of Apennine Mountains (Italy), 1884-2015. Tabella 5.

<https://doi.org/10.5194/tc-16-1741-2022>

[6] Capozzi et al. (2025)

Historical snow measurements in the central and southern Apennine Mountains: climatology, variability, and trend.

<https://doi.org/10.5194/tc-19-565-2025>

[7] Terzago (2012)

Climatic change in western Italian Alps: analysis of snow precipitation in the period 1925-2010. Plinius 38.

https://www.socminpet.it/files/download/vol-38/dott_Terzago_Plinius38.pdf

[8] ARPA / Regione Piemonte, relazione 2026

Stagione invernale 2024-2025. Contesto recente, non inserito nelle correlazioni di stazione.

<https://relazione.ambiente.piemonte.it/2026/stagione-invernale-2024-2025>

[9] Matiu et al. (2021)

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>

Pacchetto allegato

Dati_NAO_neve_riproducibili.zip contiene i valori stagionali usati nei grafici, tutte le statistiche, l'indice NAO, gli input selezionati e il codice Python. Il README documenta avvio, unità, provenienza, finestre e limiti. I file originali sono conservati; le elaborazioni sono derivate e non implicano approvazione da parte dei fornitori.

Versione del report: 1.0. Analisi osservativa esplorativa con benchmark storico; nessun dato nivometrico sintetico e nessuna estrapolazione al 2026. Fonte dell'indice: NOAA CPC; fonti neve: enti regionali tramite Matiu et al. e Capozzi et al.