

Gli effetti del cambiamento climatico sull'innnevamento naturale delle Alpi piemontesi a supporto della Valutazione di Impatto Ambientale delle opere

Testi ed elaborazioni a cura di:

Arpa Piemonte - Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali:

Struttura Semplice Meteorologia, Clima e Qualità dell'Aria

Aggiornamento dicembre 2021

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017 - www.arpa.piemonte.it

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino – Tel. 01119681350 – fax 01119681341 – e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it

Indice

Premessa.....	3
Indicatori considerati.....	5
Sintesi dei risultati.....	8
Bibliografia essenziale	17

Premessa

L'integrazione dell'elemento "cambiamento climatico" nella Valutazione di Impatto Ambientale dei progetti e delle opere rappresenta uno degli strumenti fondamentali per dare attuazione alle politiche comunitarie in materia di riduzione delle emissioni di gas climalteranti e a quelle di adattamento alle conseguenze di un clima che cambia, cogliendone le opportunità per la trasformazione della nostra società nella direzione degli obiettivi dello Sviluppo Sostenibile (SDGs), fissati dall'Agenda 2030 [<https://unric.org/it/agenda-2030/>].

Il documento ha lo scopo di fornire un quadro aggiornato sulle condizioni dell'innnevamento naturale in Piemonte e sugli scenari attesi nel contesto del cambiamento climatico, considerando anche le condizioni termiche connesse alla fusione della neve al suolo, nonché sulle condizioni favorevoli alla produzione della neve programmata. Il fine è quello di supportare le Valutazioni di Impatto Ambientale dei progetti di impianti o infrastrutture connessi al settore dello sci, in particolare rifacimento o costruzione di nuovi impianti di risalita, realizzazione di bacini artificiali ai fini dell'innnevamento programmato e sistemazioni, ampliamenti o adeguamenti delle piste di discesa, che dipendono in modo determinante dalle condizioni di innnevamento naturale o dalle condizioni termiche locali.

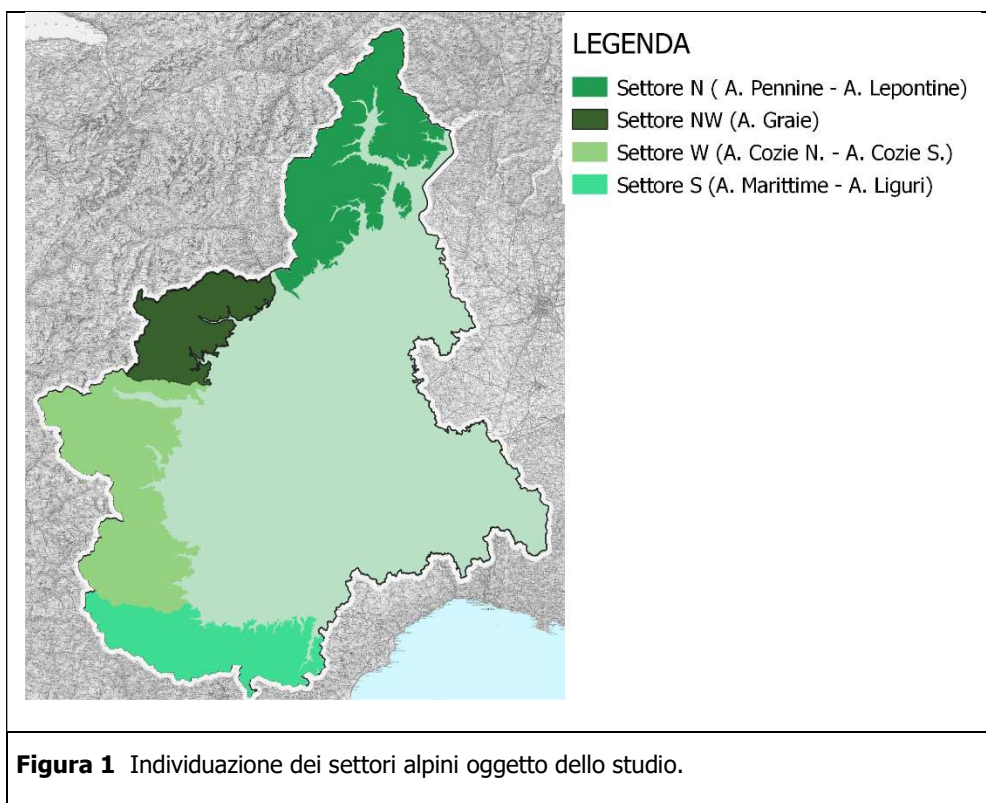
Lo studio climatico si basa sui dati misurati dalle stazioni nivometeorologiche di Arpa Piemonte, automatiche e manuali, sui dati di analisi per la stima delle variabili in quota, sugli scenari climatici futuri adattati al territorio regionale, al fine di inquadrare come l'evoluzione del clima stia influenzando e influenzerà ancora di più nel futuro l'industria dello sci alpino e nordico. Le elaborazioni sono effettuate allo scopo di individuare alcuni indicatori che possano risultare utili nella predisposizione e nella valutazione dei progetti.

L'analisi è stata svolta a livello complessivo regionale, facendo riferimento ai dati delle stazioni nivometeorologiche di riferimento di cui è disponibile una lunga serie storica, per avere una sintesi delle condizioni di innnevamento complessive, i cui risultati sono descritti nella prima parte del documento.

Le stazioni di monitoraggio sono distribuite nei quattro settori geografici alpini della regione rappresentati in

Figura 1.

In riferimento alle analisi presenti nel documento, si precisa che per le valutazioni effettuate su base stagionale, si fa riferimento alle stagioni meteorologiche. Con "tendenza" di un indicatore si intende il coefficiente angolare ottenuto dalla retta di regressione lineare della serie temporale dell'indicatore sul periodo indicato nella singola analisi.



Inoltre, poiché, pur in un contesto di riscaldamento generale e di diminuzione della quantità di neve naturale sul lungo periodo, si osserva una variabilità che dipende dalla quota, dalla latitudine, dall'orientazione delle valli e dalla collocazione del punto di analisi all'interno della valle, si è cercato di caratterizzare anche i singoli settori alpini, per fasce altitudinali [1].

Indicatori considerati

Gli indicatori individuati, in grado di descrivere le problematiche dell'innevamento naturale in senso ampio, sono elencati nei paragrafi sottostanti.

1. Altezza della neve fresca

Questo indicatore fornisce l'andamento dell'altezza della neve fresca cumulata nella stagione invernale. Mediato su due differenti trentenni, consente l'individuazione di eventuali variazioni e tendenze nella quantità di neve, che dipendono sia dalle precipitazioni, e quindi dai regimi meteorologici, sia dalle temperature invernali.

2. Indice di Anomalia Standardizzata (SAI)

Si tratta di un indicatore che fornisce informazioni sulla quantità di neve fresca (HN) stagionale rispetto a un valore climatico: un valore di SAI positivo indica una quantità di neve superiore alla media climatologica, mentre un indice negativo è legato ad un deficit. L'indice SAI viene largamente utilizzato per esprimere l'entità delle anomalie di una variabile in termini di multipli di deviazione standard. In questo modo risulta confrontabile per stazioni differenti e quote differenti.

3. Altezza della neve al suolo giornaliera nel periodo novembre-maggio

Questo indicatore è basato su periodi temporali diversi e consente di valutare se c'è stata una variazione nella lunghezza della stagione in cui è presente l'innevamento naturale, con anticipi o ritardi della fase iniziale, connesso alla data delle prime nevicate, o a modifiche nella fase di fusione, dipendenti sia dalle nevicate sia dalle temperature primaverili e dalle condizioni di radiazione. Inoltre, l'indicatore fornisce una stima qualitativa della neve al suolo presente nel corso della stagione invernale, la cui stima quantitativa in termini di risorsa idrica dipende però dalla densità della neve.

4. Numero di giorni con altezza della neve al suolo superiore a 10 cm, 40 cm e 70 cm

Allo scopo di caratterizzare in modo sintetico ed efficace le condizioni d'innevamento connesse alla possibilità di praticare lo sci nordico e lo sci alpino, sono state effettuate elaborazioni relative all'altezza della neve al suolo per tre valori di soglia: 10 cm (valore rappresentativo della presenza di neve al suolo), 40 cm (valore minimo per la preparazione delle piste per lo sci nordico) e 70 cm (valore minimo per la preparazione delle piste per lo sci alpino). Si considera che 100 giorni, sulla base di informazioni tratte dalla bibliografia di settore, sia il numero minimo di giorni utile per garantire la funzionalità del comprensorio.

Dal punto di vista termometrico, gli indicatori considerati sono i seguenti:

5. Temperature massime e minime

Vengono rappresentati l'andamento delle temperature massime e minime annuali e i relativi trend, indicandone la significatività statistica. Le analisi sono fatte per diverse fasce altimetriche, in modo da distinguere le zone

pianeggianti e collinari (<700 m) da quelle di bassa (700-1500 m), media (1500-2000m) e alta montagna (>2000m)

6. Numero di giorni senza disgelo

Si tratta dei giorni con temperatura massima inferiore o uguale a 0°C, giorni in cui non si ha la fusione del manto nevoso al suolo.

7. Zero termico

Lo zero termico rappresenta la quota a cui si trova, in atmosfera libera, la temperatura di 0°C. Questa grandezza viene di fatto misurata attraverso i radiosondaggi dell'atmosfera e spazializzata facendo uso della modellistica numerica. Lo zero termico è strettamente connesso alla differenziazione della precipitazione tra neve e pioggia (mediamente si ha neve fino a una quota di circa 300 m al di sotto dello zero termico). Un incremento sistematico dello zero termico porta a un innalzamento della quota delle nevicate.

8. Indicatori di fusione della neve

Sono stati individuati due indicatori che risultano correlati con la fusione del manto nevoso al suolo.

Per quanto riguarda le **condizioni potenzialmente favorevoli alla fusione del manto nevoso** l'indicatore climatico utilizzato è la data di inizio di un periodo di almeno sei giorni consecutivi con temperatura media superiore a 1°C. Tale indicatore è stato implementato in quanto ragionevolmente considerato come l'inizio di una risalita delle temperature giornaliere tale da favorire la fusione del manto nevoso naturale.

Per quanto riguarda la potenzialità (**intensità e rapidità**) connessa alla fusione del manto nevoso, è stato calcolato l'indice MDD (melting degree-days) che rappresenta la sommatoria termica, da gennaio a maggio, della differenza della temperatura media giornaliera rispetto alla soglia di 0°C, quando positiva, cioè quando la temperatura media risulta superiore a 0°C.

9. Condizioni per l'innevamento programmato

Le condizioni meteorologiche (temperatura, umidità e vento) influenzano in modo determinante la produzione della neve tecnica, sia in termini qualitativi sia quantitativi, nonché le condizioni affinché la neve prodotta si accumuli al suolo. Per la valutazione delle condizioni ambientali ottimali per l'innevamento programmato si utilizza la temperatura di bulbo umido (T_w), una combinazione di temperatura, umidità e valore della pressione a livello di stazione. Tale indicatore viene calcolato, ove presente una stazione di misura con i parametri necessari, per intervalli temporali orari, vista l'ampia variabilità del valore nei diversi istanti della giornata. Si valuta poi la percentuale di ore in cui la temperatura di bulbo umido si trova al di sotto di alcune soglie. In particolare, valori al di sotto dei -6°C sono considerate condizioni ottimali per la produzione della neve, valori compresi tra -6°C e -4°C, condizioni idonee anche se con resa minore, tra -4°C e -2°C condizioni in cui la produzione è possibile ma molto costosa; valori superiori a -2°C, condizioni in cui non è possibile produrre

neve tecnica. Nel rapporto non viene considerato l'effetto del vento che, anche in caso di intensità debole (pochi metri al secondo), compromette l'accumulo della neve sulla superficie delle piste disperdendo le particelle di neve prodotta nelle aree circostanti con uno spreco delle risorse impiegate. L'introduzione del vento porterebbe quindi a una riduzione del numero di ore ottimali per la produzione di neve rispetto a quanto analizzato. Un ruolo fondamentale nella produzione di neve è anche quello svolto dalla temperatura dell'acqua che, idealmente, dovrebbe essere di poco superiore al punto di congelamento. Anche questo aspetto non è stato preso in considerazione nell'analisi.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017 - www.arpa.piemonte.it

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino – Tel. 01119681350 – fax 01119681341 – e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it

Sintesi dei risultati

Negli ultimi 60 anni circa il territorio piemontese è stato caratterizzato da un generale aumento delle **temperature** (incremento di circa 1.5°C per le minime e 2.3°C per le massime) [2]. Un contributo rilevante si riscontra nelle stagioni invernali, sempre meno fredde. Le temperature massime subiscono un aumento progressivo man mano che ci si sposta alle quote più elevate. Invece, per quanto riguarda le temperature minime l'incremento risulta più marcato nella fascia compresa tra 700 e 1500 m. Complessivamente tali variazioni hanno determinato una modificazione delle condizioni della montagna in inverno e in primavera (**Tabella 1**).

Tendenze ogni 10 anni - periodo 1958-2018 (°C/10 anni)								
ANNO	tutte le quote		sotto 700 m		700-1500 m		oltre 1500 m	
	max	min	max	min	max	min	max	min
DGF	0.38	0.24	0.33	0.18	0.41	0.47	0.54	0.17
MAM	0.48	0.27	0.43	0.21	0.56	0.51	0.61	0.21
GLA	0.36	0.25	0.3	0.18	0.39	0.47	0.55	0.25
SON	0.36	0.25	0.31	0.18	0.36	0.49	0.56	0.19
SON	0.32	0.2	0.3	0.17	0.32	0.41	0.42	0.04

Tabella 1 Tendenze (in 10 anni) delle temperature massime e minime sul territorio regionale per diverse fasce di quota, a livello annuale e stagionale (mesi DGF=inverno, MAM=primavera, GLA=estate, SON=autunno), calcolate sul periodo 1958-2018.

Anche gli estremi positivi della temperatura massima tendono a verificarsi con maggiore frequenza nella stagione invernale (dal 5% al 14%) e in quella primaverile (dal 5% all'8%). Questo riscaldamento ha portato a una forte diminuzione dei **giorni senza disgelo** (rispetto agli anni 60-70, di circa 50 giorni al di sopra dei 2000 m, pari a -45%, e 37 giorni nella fascia 1500 m – 2000 m, pari al 74%, percentuali tra -60% e -70% a quote più basse - **Figura 2**).

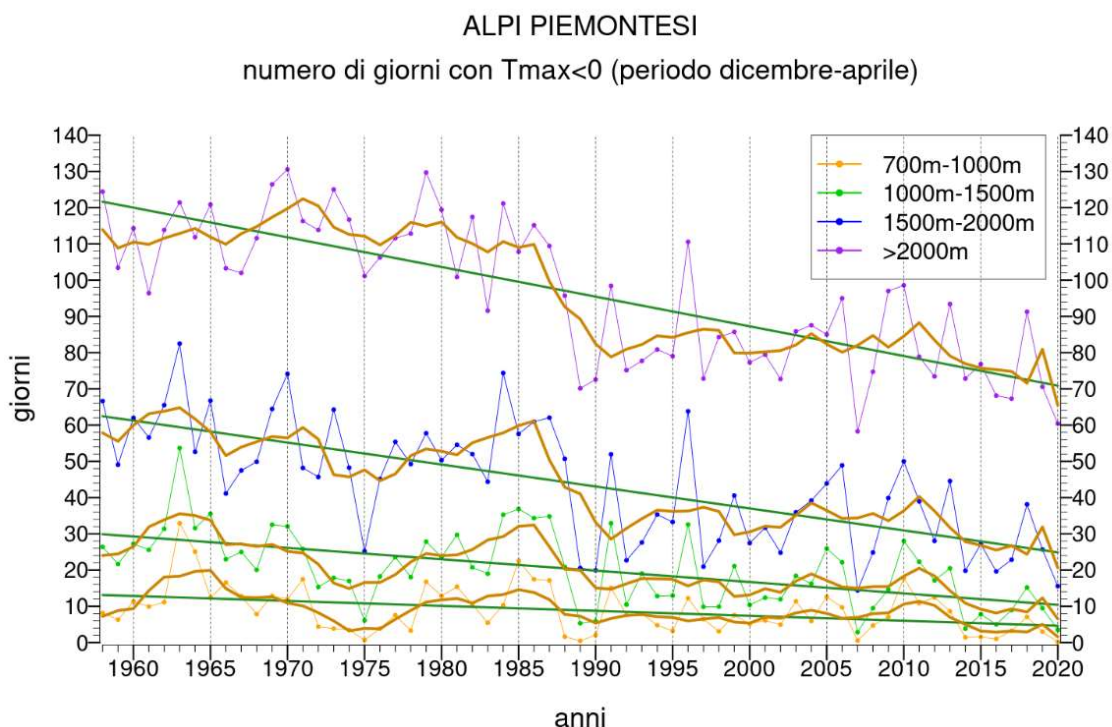


Figura 2 Andamento del numero dei giorni senza disgelo nel periodo dicembre-aprile per le quattro fasce altimetriche: tra 700 m e 1000 m (in arancione), tra 1000 m e 1500 m (in verde), tra 1500 m e 2000 m (in blu) e sopra i 2000 m (in viola) per il periodo 1958-2020. Nel grafico sono evidenziate anche le tendenze lineari per ciascuna fascia (linea verde) e la media mobile di 5 elementi (linea arancione).

Il riscaldamento invernale e primaverile della montagna e, indirettamente, la capacità di conservazione del manto nevoso naturale al suolo, coinvolgono quindi tutte le fasce altimetriche e penalizzano maggiormente la media e l'alta montagna.

Il riscaldamento si è registrato anche in atmosfera, determinando un **innalzamento della quota potenziale delle nevicate**, mediamente di circa 100 m ogni 10 anni sulla montagna piemontese nel suo complesso, con valori che arrivano fino a 130 m lungo la fascia di confine.

La data di **inizio di condizioni potenzialmente favorevoli alla fusione del manto nevoso** è anticipata, in particolare al di sotto dei 2000 m di quota. Al di sotto dei 1500 m, già dalla metà di gennaio il manto nevoso subisce processi di fusione, con un anticipo di circa un mese. Alle quote più alte il processo di fusione, che avveniva mediamente a partire da maggio è anticipato ad aprile, con un incremento della variabilità inter-annuale nella data di inizio.

Per quanto riguarda la **potenzialità** (intensità e rapidità) **della fusione del manto nevoso (MDD)** si evince una tendenza all'aumento a tutte le quote, statisticamente significativa, che porta a un aumento significativo delle potenzialità di fusione nel periodo considerato.

Si osserva come tale indicatore sia aumentato soprattutto nel periodo gennaio – marzo, in particolare alle quote più alte, quasi il doppio per quote superiori a 2000 m rispetto alle quote tra i 700 m e i 1000 m.

L'incremento percentuale nell'intero periodo gennaio-maggio è più contenuto, anche se rimangono le differenze tra le diverse fasce di quota. Questo indicatore dimostra come la fusione della neve al suolo abbia acquistato una grande probabilità di verificarsi e di essere efficace già nel periodo tardo invernale, con valori più che raddoppiati alle quote più alte.

La **neve fresca** è complessivamente in diminuzione dagli anni '90 ad oggi [1], con una frequenza elevata di stagioni che presentano un deficit di neve, in modo più evidente al di sotto dei 1000-1500 m di altitudine. La diminuzione è ancora più rilevante se consideriamo serie temporali più lunghe, a partire dagli anni '60, con valori percentuali più alti nelle Alpi Occidentali, mentre nelle Alpi Settentrionali il calo è più modesto. Alle quote più elevate la diminuzione è evidente a partire da fine febbraio – inizio marzo mentre alle quote più basse, attorno a 1500 m, la diminuzione si ha a partire dall'inizio della stagione.

In un contesto complessivo di diminuzione della quantità di neve, non mancano anni in cui le nevicate risultano superiori alla media, a dimostrazione della maggiore **variabilità dei processi climatici a grande scala**, che accompagna le variazioni graduali medie di lungo periodo con un'accentuazione delle situazioni anomale. L'aumentata variabilità inter-annuale negli apporti nevosi è infatti uno dei fattori di cui tenere conto nelle valutazioni.

Ancora più decisa appare la riduzione dello **spessore medio della neve al suolo**, che risulta quasi ovunque ridotta del 25-30% negli ultimi decenni. In questo caso, infatti, agli effetti della diminuzione della neve fresca, si sommano quelli della fusione più accelerata del manto nevoso, dovuta alle temperature invernali e principalmente primaverili elevate. In quasi tutte le stazioni considerate vi è concordanza nell'anticipo della riduzione del manto nevoso a fine stagione, mentre sembrerebbe meno influenzato l'inizio della stagione invernale.

Di conseguenza anche il numero di giorni con **presenza di neve al suolo** è diminuito, seppur percentualmente in modo meno rilevante rispetto allo spessore. Inoltre, tale numero si è ridotto maggiormente al di sotto dei 1800 m e in misura minore al di sopra di tale quota. Tale riduzione è attribuibile soprattutto all'anticipo del periodo di fusione. Per la **soglia di neve al suolo pari a 10 cm**, conta di più la quota della localizzazione geografica, poche sono le variazioni registrate al di sopra dei 2000 m.

Per le **soglie di spessore di neve al suolo pari a 40 cm e 70 cm**, le variazioni intervenute nell'ultimo trentennio rispetto al periodo 1961-1990 sono ovunque negative, ma in modo nettamente più marcato alle quote medio-basse. Le tendenze risultano meno evidenti oltre i 1800-2000 m e in alta Val Formazza, mentre a bassa quota, specialmente per quanto riguarda la soglia dei 70 cm, le riduzioni sono molto marcate. Per la soglia dei 40 cm la riduzione risulta percentualmente maggiore, arrivando addirittura a raddoppiare in alcune stazioni, e i settori occidentali risultano i più penalizzati, seguiti dal settore sud. L'inizio della stagione invernale (con neve naturale al suolo sufficiente a praticare almeno lo sci nordico, pari a 40 cm) è sempre più variabile e sempre più raramente si verifica nel mese di dicembre (**Tabella 2**).

Settore alpino	Stazioni	Quota (m)	10 cm			40 cm			70 cm		
			1961-1990	1991-2020	variazione %	1961-1990	1991-2020	variazione %	1961-1990	1991-2020	variazione %
A. Lepontine	Formazza – Lago Vannino	2177	204	198	-3%	190	180	-5%	172	159	-8%
A. Pennine	Antrona – Alpe Cavalli	1500	147	109	-26%	99	57	-42%	57	33	-42%
A. Pennine	Antrona – Lago Camposecco	2325	195	194	-1%	175	174	-1%	150	136	-9%
A. Graie	Locana – Lago Valsoera	2412	198	194	-2%	168	161	-4%	147	127	-14%
A. Graie	Ceresole Reale – Lago Serrù	2283	196	193	-2%	170	156	-8%	149	116	-22%
A. Graie	Ceresole Reale – Capoluogo	1573	129	104	-19%	87	47	-46%	43	19	-56%
A. Graie	Usseglio – Lago Malciaussia	1815	127	98	-23%	78	56	-28%	48	31	-35%
A. Cozie Nord	Bardonecchia – Lago Rochemolles	1950	172	146	-15%	136	93	-32%	98	52	-47%
A. Cozie Sud	Pontechianale – Lago Castello	1589	113	95	-16%	58	46	-21%	21	21	0%
A. Marittime	Vinadio – Lago Riofreddo	1200	104	81	-22%	61	44	-28%	29	22	-24%
A. Marittime	Entracque – Lago Chiotas	2010	150	157	5%	113	125	11%	81	94	16%

Tabella 2 Riepilogo statistico del numero di giorni con altezza della neve al suolo superiore a 10 cm, 40 cm e 70 cm nelle stazioni manuali considerate nei periodi 1961-1990 e 1990-2020. Per le stazioni di Vinadio Riofreddo e Entracque Lago Chiotas gli indicatori sul periodo passato sono valutati su un periodo temporale più breve, rispettivamente (1) 1971-1990 e (2) 1981-1990.

Il **settore Nord** è quello che presenta le caratteristiche climatiche migliori per la pratica dello sci alpino e nordico sulla base dell'innevamento naturale. La neve fresca risulta in diminuzione negli ultimi trent'anni ma con percentuali abbastanza basse (il 16% a quote al di sotto dei 1500 m e l'8-9% al di sopra dei 2000 m).

Per le soglie legate alla pratica dello sci alpino e nordico, al di sopra dei 2000 m l'innevamento naturale è, in media, sufficiente a garantire il funzionamento per più di 100 giorni, mentre già a quote tra i 1500 m e 2000 m, è necessario integrare per il 20% con neve tecnica per lo sci alpino, e al di sotto dei 1500 m l'innevamento dovrebbe essere perlopiù di origine programmata (circa 50% per lo sci nordico e 80% per lo sci alpino).

La variabilità inter-annuale è comunque abbastanza elevata e l'innevamento programmato è necessario per assicurare la continuità dell'operatività del comprensorio anche in anni scarsi di nevicata.

L'andamento del numero di giorni senza disgelo è in diminuzione in modo decisamente rilevante al di sotto dei 2000 m, contemporaneamente la data di inizio del periodo di fusione anticipa a tutte le quote al di sotto dei 2000 m (arrivando fino a un mese e mezzo tra i 1500 m e i 2000 m, corrispondente al mese di febbraio).

Anche il potenziale di fusione è in deciso aumento dagli anni '60 ad oggi (del 50% a quote basse fino a quasi il 100% alle quote più alte). L'anticipo delle condizioni di fusione del manto nevoso e l'aumento della sua potenzialità, strettamente legati all'incremento di temperatura, riducono la durata della stagione in cui è possibile praticare lo sci alpino e nordico al di sotto dei 2000 m di quota con il solo innevamento naturale. Tale situazione termica peggiora inoltre la qualità della neve aumentandone il contenuto di umidità, a partire già dal mese di febbraio al di sotto dei 2000 m.

Il settore **Nord Ovest** presenta caratteristiche climatiche ancora abbastanza favorevoli alla pratica dello sci alpino e nordico sulla base dell'innevamento naturale, anche se con una evidente differenza fra quanto avviene al di sopra dei 2000 m di quota e le fasce altimetriche più basse (la quantità di neve fresca annuale si dimezza passando da quote superiori ai 2000 m alla fascia altimetrica 1500 m – 2000 m e si riduce di 1/3 a quote più basse). La neve fresca risulta comunque in diminuzione negli ultimi trent'anni, con percentuali dal 10% al 20%

anche a quote al di sopra dei 2000 m. Per queste quote l'innnevamento naturale è, in media, sufficiente a garantire il funzionamento del comprensorio per più di 100 giorni, mentre già a quote tra i 1500 m e 2000 m è necessario integrare per il 60% con neve tecnica per lo sci alpino, e al di sotto dei 1500 m l'innnevamento dovrebbe essere quasi completamente programmato. La variabilità inter-annuale è comunque abbastanza elevata e l'innnevamento programmato potrebbe contribuire ad assicurare la continuità dell'operatività del comprensorio anche in anni scarsi di nevicate, anche a quote elevate.

Anche le condizioni termiche del settore registrano un riscaldamento, più accentuato al di sotto dei 2000 m, con una diminuzione del numero di giorni senza disgelo (che scende a una percentuale del 5% circa dei giorni al di sotto dei 1500 m, rappresentando condizioni termiche sempre favorevoli alla fusione e all'umidificazione del manto nevoso). Nella fascia 1500-2000 m si ha soltanto il 20% dei giorni senza disgelo, mentre al di sopra dei 2000 m il dato degli ultimi anni mostra ancora una situazione che favorisce la conservazione del manto nevoso.

La data di inizio del periodo più precoce di fusione anticipa in modo drammatico a tutte le quote al di sotto dei 2000 m (a gennaio al di sotto dei 1500 m, mentre a quote tra i 1500 e 2000 m, all'inizio di marzo ma con una grande variabilità inter-annuale). Il potenziale di fusione è in aumento di circa il 60% dagli anni '60 ad oggi, in modo abbastanza omogeneo tra le diverse quote. L'anticipo delle condizioni di fusione del manto nevoso e l'aumento della potenzialità di fusione, strettamente legati all'incremento di temperatura, riducono la durata della stagione in cui è possibile praticare lo sci alpino e nordico al di sotto dei 2000 m di quota con innnevamento esclusivamente naturale. Tale situazione peggiora inoltre la qualità della neve aumentandone il contenuto di umidità a partire già dal mese di febbraio al di sotto dei 2000 m.

Il **settore Ovest** ha risentito parecchio del riscaldamento degli ultimi 30 anni e le condizioni climatiche per la pratica dello sci alpino e nordico sulla base dell'innnevamento naturale si sono molto differenziate tra le zone a quote superiori ai 2000 m e quelle a quote più basse. La quantità annua di neve fresca è importante a quote superiori ai 2000 m, dove mediamente raggiunge i 4.5 metri. Nella fascia 1500-2000 m tale valore si è ridotto del 30% circa e del 60% alle quote più basse. In questo settore, le variazioni temporali della quantità di neve fresca indicano variazioni negative significative solo se si considerano le serie più lunghe: in questo caso si osserva una diminuzione della neve totale nel periodo 1991-2020 rispetto al trentennio precedente pari al 25%. Considerando solo gli ultimi 20-30 anni si osserva una lieve tendenza all'aumento, con una variabilità inter-annuale elevata (attorno al 30-40% della media). Per le soglie legate alla pratica dello sci alpino, al di sopra dei 2000 m l'innnevamento naturale è in media appena sufficiente a garantire il funzionamento del comprensorio per 100 giorni, mentre già a quote tra i 1500 m e 2000 m è necessario integrare per il 60% con neve tecnica per lo sci alpino, e con il 28% per lo sci nordico. Al di sotto dei 1500 m l'innnevamento dovrebbe essere quasi completamente programmato. La variabilità inter-annuale è comunque abbastanza elevata e l'innnevamento programmato potrebbe contribuire ad assicurare la continuità dell'operatività del comprensorio anche in anni scarsi di nevicate, anche a quote elevate.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017 - www.arpa.piemonte.it

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino – Tel. 01119681350 – fax 01119681341 – e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it

L'andamento del numero di giorni senza disgelo è in diminuzione a tutte le quote, in modo più rilevante al di sotto dei 2000 m. Nella fascia 1500-2000 m si ha ormai si ha soltanto il 13% dei giorni senza disgelo, mentre al di sopra dei 2000 m il dato degli ultimi anni risulta dimezzato rispetto agli anni '60. Al di sotto dei 1500 m soltanto nel 7% circa dei giorni si registra una temperatura massima al di sotto degli 0°C, rappresentando condizioni termiche quasi sempre favorevoli alla fusione e all'umidificazione del manto nevoso. La data di inizio del periodo di fusione anticipa in modo marcato a tutte le quote: al di sotto dei 1500 m si verifica pressoché sempre a gennaio, mentre a quote tra i 1500 e 2000 m, all'inizio di febbraio ma con una grande variabilità inter-annuale. Al di sopra dei 2000 m si ha un anticipo di quasi un mese, che sposta l'inizio del periodo di fusione dall'inizio di maggio all'inizio di aprile.

Il potenziale di fusione è in aumento a tutte le quote, con un valore di circa il 60% nella fascia 1500-2000 m e dell'80% a quote superiori ai 2000 m. L'anticipo delle condizioni di fusione del manto nevoso e l'aumento della potenzialità di fusione, strettamente legati all'incremento di temperatura, riducono la durata della stagione in cui è possibile praticare lo sci alpino e nordico al di sotto dei 2000 m di quota con il solo innevamento naturale. Tale situazione peggiora inoltre la qualità della neve aumentandone il contenuto di umidità a partire già dal mese di febbraio al di sotto dei 2000 m.

Anche il **settore Sud** ha risentito parecchio del riscaldamento degli ultimi 30 anni, soprattutto dal punto di vista termico, e le condizioni climatiche per la pratica dello sci alpino e nordico sulla base dell'innnevamento naturale si sono molto differenziate tra le zone a quote superiori ai 2000 m e quelle a quote più basse.

La quantità di neve fresca è notevole a quote superiori ai 2000 m, dove mediamente raggiunge i 6 metri all'anno. Nella fascia 1500 m – 2000 m il valore cumulato annuo è ridotto del 27% circa e del 50% alle quote più basse. Le variazioni temporali della quantità di neve segnano una diminuzione, ma statisticamente non significativa. Per la serie più lunga, al di sopra dei 2000 m, si osserva una diminuzione della neve totale nel periodo 1991-2020, rispetto al trentennio precedente, del 22%. Anche in questo settore si registra una grande variabilità inter-annuale, con un valore della deviazione standard intorno al 40% del valore della media. Al di sopra dei 2000 m l'innnevamento naturale è, in media, sufficiente a garantire il funzionamento del comprensorio per più di 100 giorni, mentre già a quote immediatamente inferiori è necessario integrare per il 23% con neve tecnica per lo sci alpino, e al di sotto dei 1500 m l'innnevamento programmato deve contribuire per circa il 64%. L'elevata variabilità inter-annuale fa sì che l'innnevamento programmato possa contribuire ad assicurare la continuità dell'operatività del comprensorio in anni scarsi di nevicate, anche a quote elevate. L'andamento del numero di giorni senza disgelo è in diminuzione a tutte le quote, in particolare al di sotto dei 1500 m, dove le condizioni termiche sono sempre favorevoli alla fusione e all'umidificazione del manto nevoso. Nella fascia 1500-2000 m si ha ormai si ha soltanto il 19% dei giorni invernali senza disgelo. Al di sopra dei 2000 m il dato degli ultimi anni risulta fortemente diminuito, con soltanto il 40% dei giorni senza disgelo.

La data di inizio del periodo più precoce di fusione anticipa in modo considerevole a tutte le quote: per quelle più basse, dove già la fusione avveniva a fine gennaio, l'anticipo rivela che già a inizio gennaio, quasi tutti gli anni, si ha il manto nevoso già in condizioni di fusione. Anche tra i 1000 m e i 1500 m la fusione inizia ormai

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017 - www.arpa.piemonte.it

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino – Tel. 01119681350 – fax 01119681341 – e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it

quasi sempre a gennaio, con un anticipo di quasi un mese. Tra i 1500 m e i 2000 m l'inizio del periodo di fusione è anticipato di più di un mese circa, da inizio marzo a fine gennaio e a quote superiori passa dall'inizio di aprile alla prima metà di marzo. Per queste quote, la variabilità inter-annuale è diventata molto ampia, a conferma della necessità di un sistema di gestione delle attività sportive su neve molto flessibile.

Il potenziale di fusione è in aumento a tutte le quote, anche se più contenuto rispetto ad altri settori (variazione del 25-30% al di sotto dei 1500 m, del 45% per quote intermedie e fino al 75% al di sopra dei 2000 m). L'anticipo delle condizioni di fusione del manto nevoso e l'aumento della potenzialità di fusione, strettamente legati all'incremento di temperatura, riducono la durata della stagione in cui è possibile praticare lo sci alpino e nordico al di sotto dei 2000 m di quota con il solo innevamento naturale.

Tale situazione peggiora inoltre la qualità della neve aumentandone il contenuto di umidità a partire già dal mese di gennaio al di sotto dei 2000 m.

La percentuale di ore in cui le condizioni meteorologiche consentono la **produzione di neve tecnica** nel periodo dicembre-marzo sono circa il 50%, con valori che scendono al 35% alle quote al di sotto dei 2000 m. La possibilità di avere le migliori condizioni ($T_w < -4$ °C) diminuisce dal 30% fino al 20% circa, mentre le condizioni ottimali si hanno in misura percentuale molto ridotta (fino all'8%). I settori dove le condizioni risultano migliori sono il settore Nord e quello Ovest, ma soltanto a quote elevate. I settori Sud e Nord Ovest sono quelli dove, negli ultimi vent'anni, si registra la maggiore diminuzione delle condizioni favorevoli.

La possibilità di produrre neve in condizioni ottimali è in generale molto bassa e dovrà pertanto essere assicurata una gestione attenta e un'organizzazione adeguata con l'utilizzo di dati di monitoraggio locali e previsioni meteorologiche locali per sfruttare al meglio le opportunità [3].

Per le analisi climatiche relative ai prossimi decenni sono state utilizzate le simulazioni realizzate nell'ambito del consorzio CORDEX (www.cordex.org/) unitamente alle simulazioni del modello COSMO-CLM, adottate anche nel Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico (<https://www.mite.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici>) e messe a disposizione dal Centro Euromediterraneo sui Cambiamenti Climatici (www.cmcc.it/models/cosmo-clm-climate-limited-area-modelling-community).

Si tratta di simulazioni ottenute attraverso l'applicazione di tecniche di *downscaling* di tipo dinamico, ossia utilizzando modelli regionali ad alta risoluzione, su un dominio limitato all'Europa, innestati su modelli climatici globali, considerando due tra gli scenari emissivi utilizzati nel Quinto Report IPCC [4], lo scenario di mitigazione RCP 4.5 e lo scenario tendenziale RCP 8.5.

Tutte le simulazioni sono state ulteriormente adattate alla realtà regionale piemontese con opportune tecniche statistiche di rimozione degli errori sistematici, attraverso un confronto con un dataset su grigliato ottenuto interpolando in modo uniforme e omogeneo, su scala spaziale e temporale, i dati della rete osservativa piemontese nel recente passato [5,6], al fine di ottenere dati modellistici in grado di riprodurre il clima recente del territorio piemontese. L'analisi è stata effettuata considerando le variazioni dei periodi trentennali 2011-

2040, 2041-2070, 2071-2100 rispetto al periodo detto di controllo 1976-2005, durante il quale i modelli climatici regionali sono stati guidati dalle analisi.

Gli **scenari futuri** mostrano, per il territorio piemontese, una generale tendenza all'aumento della temperatura media, più elevata nello scenario emissivo tendenziale rispetto a quello con mitigazione, che portano un aumento in montagna di circa 1°C dal 2020 al 2070 per tutte le fasce altimetriche, di cui circa 0.5°C al 2040, nello scenario RCP4.5, e tra 1.7 e 2°C nello scenario RCP8.5, con un incremento notevole al 2040 (0.6-0.7°C) e più o meno equidistribuito nei decenni successivi fino al 2070. Questa evoluzione porta a un aumento della **quota media delle nevicate**, che si può stimare, in media, di circa 130-140 m al 2040 e di 350-400 m al 2070, con la conseguenza di diminuire gli apporti complessivi di neve fresca (dai 40 cm al 2040 ai 120 cm al 2070).

Il **rapporto neve/precipitazione totale** tende a ridursi in modo marcato da metà del secolo, dove rimarrà superiore a 0.5 soltanto in alcune zone molto limitate e a quote elevate (alta Val Formazza, Monte Rosa, e zona del Monviso), mentre sulla maggior parte del territorio le nevicate saranno perlopiù occasionali. Anche se gli scenari futuri mostrano una tendenza all'aumento delle precipitazioni dei mesi prettamente invernali, queste saranno in prevalenza a carattere liquido piuttosto che solido, in particolare alle quote al di sotto dei 2000 m di quota e per le località più esposte verso le pianure. Si alterneranno inoltre con maggiore frequenza eventi piovosi e nevosi, a discapito della qualità della neve e a favore di una riduzione dello spessore al suolo. Le condizioni meteorologiche favorevoli alla produzione della neve tecnica diminuiranno dal 30% al 20% circa al di sopra dei 2000 m, quelle ottimali dimezzeranno, mentre quelle in cui non sarà possibile produrre neve passeranno dal 50% al 65%, con un incremento di temperatura di 2°C.

Dalle proiezioni sembra aumentare anche il **potenziale di fusione** della neve, con un anticipo della **data di inizio del periodo più precoce di fusione**: in entrambi gli scenari emissivi, per quote al di sotto dei 1500 m la fusione della neve avverrà già all'inizio dell'anno a partire dal 2030, e per gli anni successivi le precipitazioni nevose saranno praticamente assenti in condizioni fredde. Per località tra i 1500 m e i 2000 m l'anticipo sarà limitato fino a metà secolo per lo scenario di mitigazione, mentre per lo scenario tendenziale si verificherà a gennaio. Al di sopra dei 2000 m, la diminuzione sembra rimanere più contenuta per lo scenario di mitigazione, con l'anticipo della data di inizio della fusione di circa un mese (mediamente inizio marzo), e più pronunciata per lo scenario tendenziale, con inizio prevalente nel mese di gennaio a fine secolo. Le condizioni meteorologiche per la produzione di neve tecnica saranno sempre più limitate e, alle quote inferiori ai 1800-2000 m, praticamente assenti dalla metà del XXI secolo.

Considerando un trend lineare di temperatura stimato per gli scenari futuri si ipotizza per la montagna piemontese, rispettivamente nei prossimi 10, 20 e 30 anni, un innalzamento con la quota delle condizioni climatiche attuali dai 100 ai 300 m circa, una diminuzione della quantità di neve naturale dai 25 ai 75 cm e del numero di giorni con spessore della neve al suolo utile per la pratica dello sci alpino dai 10 ai 25 (**Tabella 3**).

	incremento di temperatura (°C)	spostamento con la quota delle attuali condizioni climatiche (m)	diminuzione della quantità di neve fresca (cm)	diminuzione del numero di giorni con altezza della neve superiore a		
				10 cm	40 cm	70 cm
10 anni	0,57	88	25	7	8	8
20 anni	1,14	175	49	15	16	15
30 anni	1,71	263	74	22	25	23

Tabella 3 Stima della variazione dei principali indicatori climatici analizzati nel rapporto nei prossimi 10, 20 e 30 anni a livello complessivo sul territorio regionale.

Le condizioni di innevamento naturale non sono quindi destinate a migliorare nel corso del secolo, sia a livello globale [7] sia a livello alpino [8].

Lo spostamento, verso quote via via più elevate, delle condizioni sufficienti a garantire la pratica degli sport invernali su neve, suggerisce che con l'innnevamento programmato sarà possibile sopperire alla mancanza di neve naturale nei prossimi 15-20 anni per comprensori che si estendono al di sopra dei 1500 m – 1800 m. Per orizzonti temporali più lunghi, dalle proiezioni della temperatura media si evince una diminuzione delle condizioni favorevoli sia alla produzione della neve tecnica sia al suo mantenimento, se non a quote superiori ai 2000 m. Per comprensori al di sotto dei 1500 m, la produzione di neve tecnica sembra diventare la risorsa prevalente per garantire la pratica dello sci alpino nei prossimi decenni, anche se le condizioni favorevoli alla produzione saranno sempre più rare.

Tra le considerazioni finali del documento si sottolinea come, nelle future valutazioni, l'estensione in altitudine del comprensorio in esame dovrà essere tenuta in considerazione in modo determinante, valutando con estrema attenzione eventuali interventi su comprensori che non si estendano a quote superiori ai 2000 m.

Bibliografia essenziale

1. AAVV, La neve sulle Alpi Piemontesi - Quadro conoscitivo aggiornato al cinquantennio 1951-2010, Arpa Piemonte, ISBN 978-88-7479-123-, www.arpa.piemonte.it/pubblicazioni-2/pubblicazioni-anno-2013/la-neve-sulle-alpi-piemontesi.pdf
2. Analisi del clima regionale del periodo 1981-2010 e tendenze negli ultimi 60 anni, Arpa Piemonte, https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-02/analisi_clima_regionale_1981-2010.pdf
3. Robert Steiger, Daniel Scott, Bruno Abegg, Marc Pons & Carlo Aall C, A critical review of climate change risk for ski tourism Curr Issue Tour 22 (11):1343–1379. <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1410110>, (2019).
4. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
5. AAVV, Cinquant'anni di dati meteo-climatici in Piemonte, 2010, Arpa Piemonte, ISBN 978-88-7479-125-5
6. C. Ronchi, C. De Luigi, N. Ciccarelli, N. Loglisci, Development of a daily gridded climatological air temperature dataset based on a optimal interpolation of ERA-40 reanalysis downscaling and a local high resolution thermometers network, 2008, European Conf. on Applied Climatology (ECAC), Amsterdam
7. IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer]
8. Bender, E.; Lehning, M.; Fiddes, J., 2020: Changes in climatology, snow cover, and ground temperatures at high alpine locations. *Frontiers in Earth Science*, 8: 100 (17 pp.). doi: 10.3389/feart.2020.00100

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017 - www.arpa.piemonte.it

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino – Tel. 01119681350 – fax 01119681341 – e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it