

I cambiamenti climatici nel Piano di Tutela delle Acque della Provincia Autonoma di Trento[§]

Nicola Curzel*, Roberto Barbiero, Valentina Dallafior, Lavinia Laiti, Catia Monauni

Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente di Trento

* *Referente per la corrispondenza. Email: nicola.curzel@provincia.tn.it*

Riassunto

I cambiamenti climatici pongono sfide significative per la quantità e la qualità delle acque e la gestione delle risorse idriche in Trentino, un'area alpina vulnerabile ai cambiamenti climatici e ai loro impatti. Questo studio dà evidenza dei principali impatti climatici sulle risorse idriche e sugli ecosistemi delle acque interne della Provincia autonoma di Trento e riporta le misure di adattamento proposte nel Piano di Tutela delle Acque 2022-2027 con l'obiettivo di garantire sostenibilità e resilienza del territorio.

Le analisi climatiche e idrologiche si basano su osservazioni raccolte grazie alle reti provinciali di monitoraggio ambientale e su un'estesa attività di ricerca bibliografica che ha incluso pubblicazioni scientifiche e report tecnici redatti dalle strutture provinciali. I risultati forniscono una valutazione integrata delle tendenze climatiche osservate e future, delle risposte idrologiche, degli impatti e dei rischi che ne derivano per gli ecosistemi acquatici e i settori economici chiave, quali agricoltura, produzione idroelettrica, turismo e salute umana. Il Piano di Tutela delle Acque 2022-2027 propone un catalogo di possibili misure multi-settoriali di adattamento per rispondere ai rischi climatici individuati per le risorse idriche e gli ecosistemi, come ad esempio: tecnologie irrigue più efficienti, gestione integrata dell'acqua e azioni per aumentare la resilienza dei settori socio-economici che della risorsa idrica fanno uso. Le misure di adattamento proposte nel Piano saranno ulteriormente selezionate e affinate in vista della futura Strategia provinciale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, attesa per fine 2025. Al fine di contribuire a proteggere sia le risorse idriche che gli ecosistemi alpini e garantire una gestione sostenibile a lungo termine del territorio provinciale l'attività di formulazione delle politiche di tutela delle acque nell'ottica dell'adattamento ai cambiamenti climatici dovrà continuare a beneficiare della collaborazione tra amministrazione provinciale, mondo della ricerca e portatori di interesse locali.

PAROLE CHIAVE: Qualità delle acque / Ecosistemi acquatici / Ambiente alpino / Adattamento / Sostenibilità ambientale

Climate change in the Water Protection Plan of the Autonomous Province of Trento (Italy)

Climate change poses significant challenges to the quantity and quality of water, as well as to water resource management in Trentino, an Alpine region particularly vulnerable to its impacts. The present study highlights this, reporting the set of adaptation measures proposed in the 2022-2027 Water Protection Plan, with the objective of ensuring the sustainability and resilience of the territory.

Climatic and hydrological analyses are based on data collected thanks to the provincial environmental monitoring networks and an extensive review of scientific literature and technical reports produced by provincial institutions. The results provide an integrated assessment of observed and projected climatic trends, hydrological responses, and the associated impacts and risks for aquatic ecosystems and key economic sectors, including agriculture, hydropower production, tourism, and human health.

The 2022-2027 Water Protection Plan proposes a catalog of multi-sectoral adaptation measures to address the identified climate risks to water resources and ecosystems. Examples include more efficient irrigation technologies, integrated water management, and actions to enhance the resilience of socio-economic sectors reliant on water resources. These proposed measures will be further refined and prioritized as part of the forthcoming Provincial Climate Change Mitigation and Adaptation Strategy, scheduled for release by the end of 2025. To contribute to the protection of both water resources and Alpine ecosystems and to ensure long-term sustainable management of the provincial territory, water protection policy formulation in the context of climate change adaptation must continue to benefit from collaboration between the provincial administration, the research community and local stakeholders.

KEYWORDS: Water quality / Aquatic ecosystems; Alpine environment Adaptation / Environmental sustainability /

INTRODUZIONE

I cambiamenti climatici sono una evidenza ormai riconosciuta a livello globale, con impatti significativi sui sistemi naturali e antropici. In Trentino, le manifeste alterazioni del clima a scala locale, con l'innalzamento delle temperature (Fig. 1) e la rimodulazione dei regimi di precipitazione, richiedono azioni mirate per ridurre gli impatti ambientali e per promuovere la resilienza degli ecosistemi (APPA, 2022a). Al fine di fornire un quadro di riferimento organico e coordinato nell'azione di contrasto ai cambiamenti climatici, la Provincia autonoma di Trento ha predisposto un programma di lavoro, denominato "Trentino Clima 2021-2023", approvato con Del. G.P. n. 1306 del 7 agosto 2021, finalizzato ad adottare la Strategia Provinciale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PAT, 2021).

Vista l'importanza della tematica ed i potenziali impatti che i cambiamenti climatici inducono sulla qualità e quantità delle risorse idriche, l'attività di individuazione di misure di adattamento per il settore delle risorse idriche è stata anticipata rispetto all'approvazione definitiva della futura Strategia, attesa entro la fine del 2025. È infatti stato dedicato un allegato specifico (Allegato M) al ruolo dei cambiamenti climatici sulla risorsa idrica nel vigente Piano di Tutela delle Acque 2022-2027 approvato con Del. G.P. n. 2320 del 16 dicembre 2022 (PAT, 2022). L'Allegato M evidenzia in sintesi quali sono gli impatti osservati e attesi dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche e propone un catalogo di potenziali misure di adattamento dedicate, misure che dovranno essere declinate in dettaglio e integrate negli anni a venire anche in piani e programmi di settore ulteriori rispetto al Piano di Tutela delle Acque.

MATERIALI E METODI

Per la valutazione dei cambiamenti climatici e dei loro impatti in Trentino, sono stati utilizzati dati giornalieri di temperatura e precipitazione provenienti dalle stazioni della rete provinciale di monitoraggio meteo-climatico, gestita da Meteotrentino, il servizio meteorologico provinciale. Allo scopo di identificare i cambiamenti in atto, APPA ha svolto un'analisi statistica climatologica sul periodo 1961-2020 confrontando le medie calcolate sui dati storici del trentennio più lontano (1961-1990) con quelli del trentennio più recente (1991-2020), determinando le tendenze lineari di variazione per l'intero periodo di analisi e calcolando alcuni indici di cambiamento climatico per gli eventi estremi (APPA, 2022b). Alcune analisi sono state estese anche agli anni più recenti successivi al 2020.

Si è inoltre svolta parallelamente un'analisi estensiva della letteratura tecnica e scientifica (dalle pubblicazioni scientifiche su riviste di tipo "peer review" ai report interni elaborati dai servizi provinciali) disponibile in merito per l'area di studio, con attenzione sia alle variazioni passate che agli scenari climatici futuri previsti (DICAM, 2023). Tale attività, realizzata grazie al supporto dell'Università di Trento (Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica) e alla collaborazione di tutti gli enti di ricerca attivi in Trentino e delle strutture provinciali, rientra tra quelle previste dal programma di lavoro "Trentino Clima 2021-2023" propedeutiche alla Strategia provinciale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici (PAT, 2021), ed è stata realizzata con l'obiettivo di rafforzare la conoscenza dei cambiamenti climatici e dei loro impatti sui settori ambientali e socio-economici in Trentino, tra i

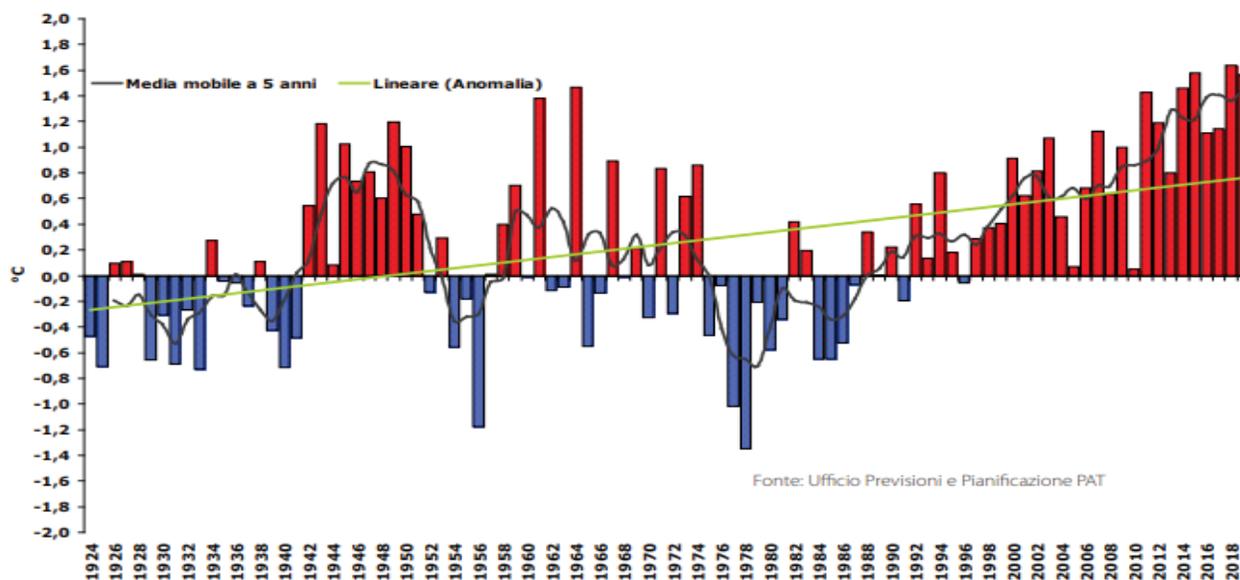


Fig. 1. Andamento dell'anomalia di temperatura di Trento (Laste) nel periodo 1924-2019 rispetto alla media del periodo di riferimento 1961-1990. Fonte: Ufficio Previsioni e Pianificazione PAT.

quali il settore della gestione della risorsa idrica e gli ecosistemi acquatici.

Gli effetti dei cambiamenti climatici in Trentino sui regimi di precipitazione liquida e nevosa, sui processi di fusione e ritiro dei ghiacciai e, quindi, sulla disponibilità in termini di quantità e qualità delle risorse idriche nei principali bacini idrografici sono stati analizzati sia grazie all'attività di ricerca bibliografica precedentemente citata (DICAM, 2023) che grazie alla raccolta di dati di monitoraggio sul territorio, in particolare misure nivologiche, glaciologiche e idrologiche, da parte di diversi attori provinciali (Meteotrentino, MUSE - Museo delle Scienze, Comitato Glaciologico della Società Alpina Tridantina, Ufficio Dighe - Servizio Prevenzione Rischi, APRIE - Agenzia provinciale per le risorse idriche e l'energia ed APPA). Inoltre, è stato esaminato l'impatto dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi delle acque interne, con particolare attenzione alla qualità delle acque e alla biodiversità, grazie ai monitoraggi ambientali svolti in maniera continuativa dall'U.O. per la tutela dell'acqua dell'APPA per valutare la qualità dell'acqua e lo stato ecologico dei corpi idrici.

RISULTATI

Variazioni climatiche passate e future in Trentino

Le Alpi rappresentano un hotspot per i cambiamenti climatici, ossia un'area nella quale essi avvengono con maggior rapidità rispetto a quanto succede a livello medio globale. In Trentino la temperatura media del periodo 1991-2020 mostra un aumento medio di circa 1,1°C sul territorio rispetto alla media del trentennio 1961-1990, mentre, per quanto riguarda la città di Trento, per la quale è stata ricostruita una serie storica più che biennale, l'anno 2023 ha mostrato un aumento di oltre 3°C rispetto alla media dell'era pre-industriale (1850-1900) ossia un riscaldamento complessivamente pari a circa il doppio di quanto osservato a livello medio globale. L'accelerazione delle tendenze di riscaldamento a partire dagli anni '80 ha portato a un ritmo di crescita delle temperature stimabile attualmente in circa 0,04-0,05 °C

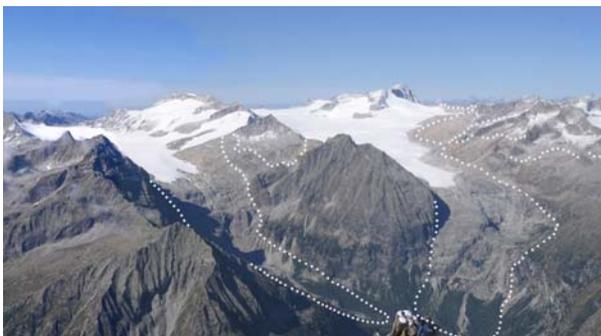


Fig. 2. Rappresentazione della riduzione dei ghiacciai del Gruppo dell'Adamello (Ghiacciaio della Lobbia e del Mandrone) dalla fine della Piccola Era Glaciale (linea tratteggiata) su fotografia del 2013. Fonte: Ufficio Previsioni e Pianificazione PAT.

all'anno. Anche le ondate di calore sono aumentate in frequenza, intensità e durata (APPA, 2022b).

Per quanto riguarda i valori di precipitazione si evidenzia una sostanziale invarianza delle precipitazioni totali annuali, con ampia variabilità interannuale e con tendenze sul periodo 1961-2020 anche di segno opposto per stazioni diverse. Si è osservata una rimodulazione degli apporti stagionali, in particolare una tendenza all'aumento delle precipitazioni autunnali a discapito di quelle invernali e primaverili. Per quanto concerne gli eventi di precipitazione intensa ed estrema, le serie storiche analizzate mostrano segnali di estremizzazione in termini di maggior frequenza e intensità degli eventi; non si evidenziano però tendenze significative dal punto di vista statistico su tutto il territorio (APPA, 2022b). Appaiono in aumento gli apporti legati agli eventi convettivi estivi di breve durata, ossia ai temporali.

Le precipitazioni nevose appaiono in generale in netta diminuzione alle quote inferiori ai 2000 m, sia per quantità (altezza di neve naturale caduta al suolo) che per durata della copertura nevosa. In particolare nei fondovalle più a bassa quota la nevosità naturale si è ridotta significativamente e la fusione appare sempre più anticipata a causa delle temperature più alte. Invece alle quote più elevate, sopra i 2000 m, gli apporti nevosi appaiono più stabili, presso alcune stazioni addirittura in leggero aumento a causa dell'aumento delle precipitazioni invernali complessive (APPA, 2022a; PAT, 2025).

Vi è una forte riduzione dell'estensione areale dei ghiacciai, che già nel 2015 avevano subito una riduzione della superficie complessiva pari a circa il 75% rispetto al più recente (metà 1800) momento di massima espansione, alla fine della Piccola Età Glaciale (Fig. 2). La quota della fronte dei ghiacciai, mediamente localizzata nel massimo della PEG attorno ai 2.550 m di quota, si è innalzata fino a circa 2.800 m, superando i 3.100 metri di quota per i ghiacciai esposti a sud-est. Il processo di intensa fusione, e quindi di ritiro e frammentazione dei ghiacciai trentini, sta accelerando ulteriormente, come dimostrano le osservazioni per gli anni più recenti: i bilanci di massa glaciale relativi all'anno idrologico 2021-2022 hanno dimostrato infatti come questo sia stato un *annus horribilis* per i ghiacciai e come anche i due anni successivi abbiano evidenziato bilanci fortemente negativi nonostante maggiori apporti nevosi (APPA, 2022a; PAT, 2025).

In accordo con la letteratura scientifica analizzata gli scenari climatici aggiornati di riferimento per il Trentino, realizzati nell'ambito della collaborazione con l'Università di Trento (DICAM, 2024), indicano che le tendenze evidenziate dalle osservazioni per il passato caratterizzeranno anche gli anni futuri: in particolare, in tutti gli scenari emissivi a livello globale le temperature medie ed estreme continueranno a crescere almeno fino al 2050 circa, mentre per le precipitazioni

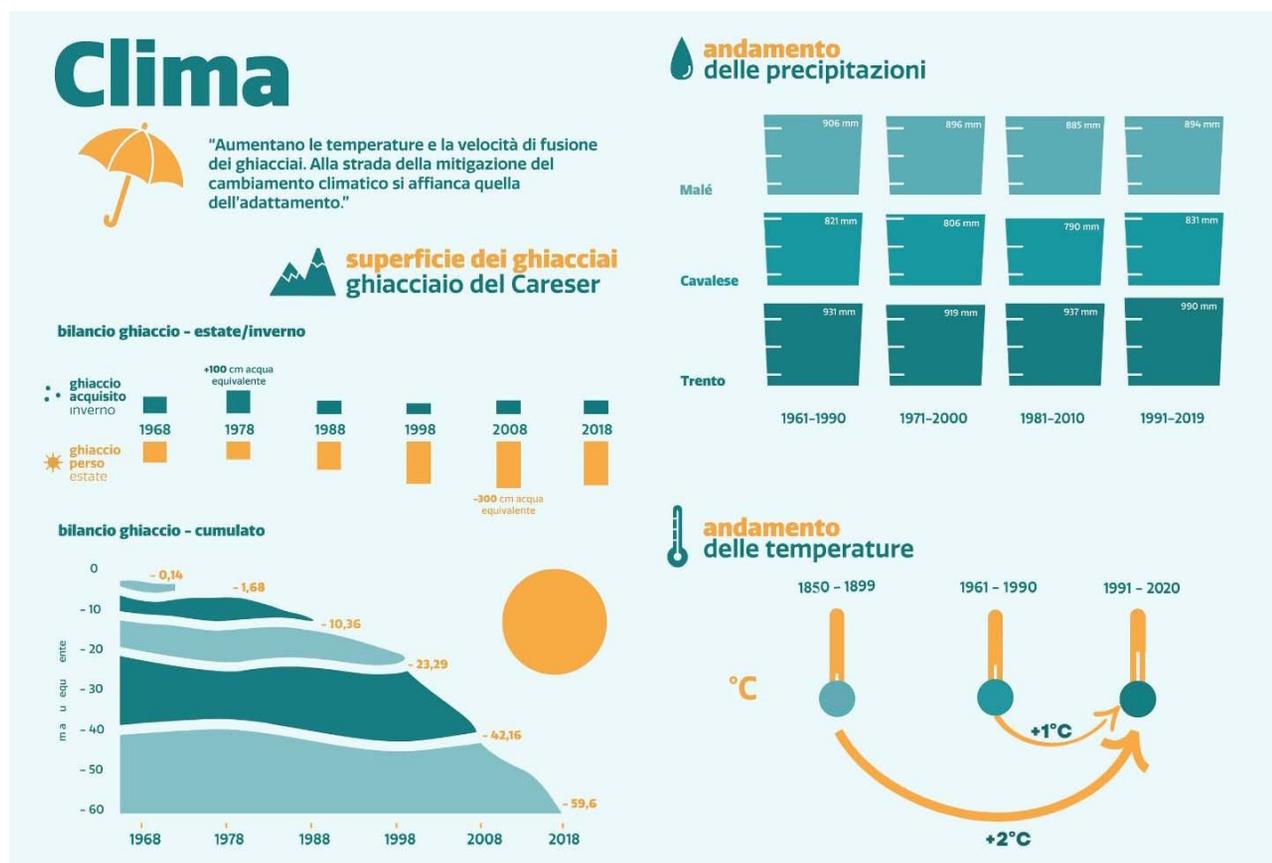


Fig. 3. Infografica da elaborazione dati Ufficio Previsioni e Pianificazione PAT.

le proiezioni sono meno univoche in termini di apporti totali, pur evidenziando una tendenza futura all'estremizzazione degli eventi piovosi. È lecito attendersi quindi in futuro un'ulteriore diminuzione progressiva delle precipitazioni nevose alle quote medio basse, l'intensificarsi dei processi di fusione e degrado dei ghiacciai, una maggior alternanza di periodi caratterizzati da scarsità di precipitazioni (siccità) e di eventi piovosi più intensi che in passato, e maggiori perdite d'acqua per evapotraspirazione (PAT, 2025).

Alterazione dei regimi idrologici in Trentino per effetto dei cambiamenti climatici

Le alterazioni climatiche future descritte sopra causeranno notevoli variazioni dei regimi idrologici nel territorio provinciale, agendo su tutte le fasi del ciclo idrologico. In particolare, allo stato delle conoscenze attuali (legato ai risultati del progetto europeo OrientGate, che dovranno essere aggiornati alla luce degli scenari climatici più recenti), le portate annuali dei corpi idrici potranno subire una diminuzione a lungo termine, ma l'effetto più evidente si manifesterà con un cambiamento della stagionalità dei deflussi naturali: ad esempio per il medio termine (2021-2050) sono previsti, rispetto al trentennio 1981-2010, notevoli spostamenti di volumi di

deflusso dall'estate al periodo invernale e primaverile.

Nei bacini di minor estensione situati a quote maggiori, caratterizzati da maggiori apporti da fusione nivo-glaciale, si prevedono forti incrementi di portata primaverile a causa dell'anticipo dei processi di fusione, mentre per i bacini più ampi a quote inferiori il minor accumulo invernale di neve al suolo porterà alla probabile diminuzione dei deflussi primaverili e ad un aumento di quelli invernali per le maggiori precipitazioni liquide a discapito di quelle nevose. Gli effetti dei cambiamenti climatici si manifesteranno anche sui regimi minimi delle portate: in inverno si avrà un incremento del numero di giorni in cui si registreranno in alveo portate superiori al deflusso minimo vitale, mentre in estate e primavera si prospetta una diminuzione di tale numero in particolare nei bacini più grandi a quote inferiori. Nella stagione estiva è probabile che la combinazione della diminuzione della disponibilità naturale di risorsa idrica in alveo rispetto al passato con i maggiori fabbisogni antropici dettati dalle temperature più alte possa esacerbare i conflitti per l'uso della risorsa idrica nel territorio provinciale, innescando condizioni di scarsità idrica o siccità. Il riscaldamento generale porterà anche ad un aumento progressivo della temperatura delle acque e ad effetti particolarmente gravi ai danni dei torrenti

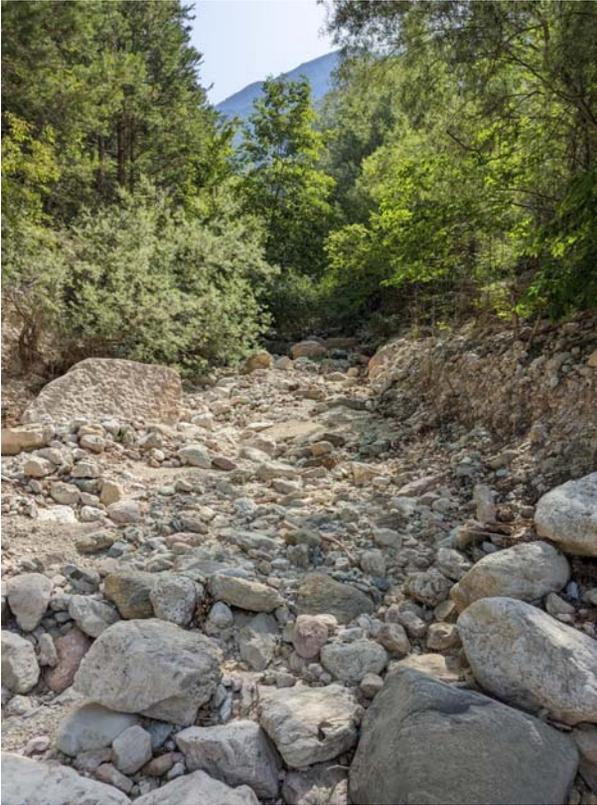


Fig. 4. Alveo completamente asciutto del torrente Rinascico - comune di Predaia (TN). Foto archivio Appa.

glaciali e degli ecosistemi ad essi associati (APPA, 2022a; PAT, 2025).

Impatti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi di acque interne

I cambiamenti climatici hanno generato impatti diretti su torrenti, fiumi e laghi trentini, con significative alterazioni nei cicli idrologici e nelle caratteristiche ecologiche degli ecosistemi acquatici (APPA, 2022a; PAT, 2025).

- **Torrenti e fiumi:** l'aumento delle temperature e la riduzione delle precipitazioni nevose hanno determinato periodi di magra più lunghi e frequenti, con piene invernali ed eutrofizzazione estiva. Questo ha portato ad un degrado della qualità delle acque ed alla perdita di biodiversità.
- **Laghi profondi:** le temperature più elevate hanno favorito l'aumento e l'anticipo delle fioriture algali; il maggiore tasso di degradazione della materia organica ha determinato l'aumento delle fioriture estive dei cianobatteri, con effetti dannosi su macrofite e fauna acquatica (Invest in Trentino, 2023). Inoltre, sono emersi problemi legati alla

diminuzione degli episodi di mescolamento verticale delle acque. Recenti ricerche (Flaim *et al.*, 2020) hanno dimostrato che, contrariamente alla maggior parte dei laghi temperati, i cambiamenti climatici hanno fatto aumentare la profondità di rimescolamento nel lago di Tovel, trasformandolo da meromittico a dimittico. Un buon rimescolamento è cruciale perché permette il necessario scambio di ossigeno e nutrienti tra i vari strati del lago¹.

- **Laghi d'alta quota e zone umide:** il riscaldamento ha messo in pericolo molte delle zone umide e dei laghi di alta quota, che affrontano il rischio di estinzione a causa della perdita di habitat e della riduzione della disponibilità di acqua.
- **Acque sotterranee:** la variabilità delle precipitazioni e la diminuzione della ricarica acquifera, combinata con l'aumento dei prelievi, stanno causando problemi legati alla continuità della ricarica delle falde e alla perdita di biodiversità.

La crescente competizione per l'uso delle risorse idriche tra i vari settori (agricoltura, turismo, idroelettrico), specie in estate, ha accentuato la necessità di gestire l'acqua in modo sostenibile e di risolvere le problematiche legate ai prelievi oltre il consentito e all'inefficiente gestione delle risorse. A tal proposito, si rende necessario aumentare il controllo dell'osservanza dei rilasci per il Deflusso Minimo Vitale per contrastare i fenomeni di illegalità, anche applicando, ove possibile (in presenza di dati pregressi) quanto previsto all'art. 300 del D.lgs. 152/06 sul danno ambientale (Fig. 5).

DISCUSSIONE

I cambiamenti climatici in Trentino non solo stanno alterando i regimi meteorologici e idrologici, ma stanno anche minacciando la stabilità ecologica e la qualità delle risorse idriche. Gli effetti sulle risorse idriche, in

¹ Normalmente, infatti, l'ossigeno tende a rimanere principalmente nella parte superiore, mentre sul fondo si accumulano sostanze organiche, nutrienti derivanti dalla morte e decomposizione di piante acquatiche, alghe e microrganismi. Quando il lago si rimescola, la parte profonda con poco ossigeno e molti nutrienti viene portata in superficie e riequilibra gli ecosistemi. A causa del riscaldamento globale, può succedere che in inverno l'acqua in superficie non raggiunga una temperatura inferiore a quella profonda e che quindi il lago non riesca a completare il proprio ciclo di rimescolamento. Se ciò non accade per molti anni, nella parte profonda viene consumato tutto l'ossigeno e si accumula una quantità di nutrienti troppo elevata. Quando poi il lago riesce finalmente a rimescolarsi di nuovo, quella stessa acqua "viziata" dall'eccessivo periodo di tempo passato sul fondo salirà verso l'alto, mettendo in crisi l'intero ecosistema (provocando per esempio la morte della fauna ittica per assenza di ossigeno o fioriture insolite di alghe).

particolare sui ghiacciai e sugli ecosistemi acquatici, necessitano di un'attenzione costante e di strategie di adattamento basate su dati scientifici. Il monitoraggio a lungo termine, l'uso di modelli predittivi e l'integrazione dei dati climatici nelle politiche pubbliche sono essenziali per comprendere le dinamiche di questi cambiamenti e adottare misure efficaci.

Di seguito si riportano le misure individuate nell'allegato M del Piano di Tutela delle Acque 2022-2027 per le diverse esigenze d'uso dell'acqua: uso potabile, produzione di energia (Fig. 6), agricoltura, conservazione degli ecosistemi, protezione contro i rischi naturali, turismo, produzione industriale. Tutti questi settori concorrono a condizionare la qualità delle acque e sono disciplinati da diversi piani di settore, che, come anticipato, dovranno recepire e dettagliare in futuro le misure di adattamento definitivamente identificate dalla Strategia provinciale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

a. Misure per la sicurezza del territorio

- Possibile potenziamento del monitoraggio del territorio per la produzione di basi di dati aggiornate: variabili meteorologiche, idrometriche, nivologiche, umidità del suolo, permafrost e instabilità di versante alle alte quote.
- Aggiornare la gestione delle emergenze da parte delle amministrazioni a tutti i livelli anche alla luce degli scenari climatici futuri e promuovere una maggiore partecipazione e consapevolezza della popolazione.

b. Misure per l'agricoltura

- Ulteriore potenziamento del grande sforzo fatto in questi anni per la diffusione capillare di sistemi di irrigazione ad alta efficienza (irrigazione a goccia), adottando sistemi innovativi per la raccolta dei dati e delle informazioni (previsioni meteo, situazione dei

suoli, livelli di umidità del suolo), basati su *Internet of Things*, funzionali ad assicurare un efficace supporto alle decisioni (consiglio irriguo) secondo i modelli dell'irrigazione di precisione o smart.

- Potenziamento delle sinergie tra i soggetti che si occupano di irrigazione, promuovendo governance di ambito e l'integrazione funzionale tra le reti irrigue esistenti.
- Incremento dell'efficienza e della resilienza dei sistemi di distribuzione delle acque irrigue mediante sviluppo e potenziamento delle interconnessioni delle reti irrigue, con il supporto di strumenti di monitoraggio e modellistici.
- Introduzione della gestione integrata del rischio legato al degrado del suolo e alla siccità in tutti i piani e le politiche connesse.
- Miglioramento della formazione e dell'assistenza tecnica per la gestione della risorsa idrica nel settore agricolo.

c. Misure per l'acquacoltura

- Aumento delle conoscenze sugli impatti dei cambiamenti climatici in acquacoltura e sulla vulnerabilità di specie ed ecosistemi, anche attraverso approcci modellistici, mediante:
 - Sviluppo di metodi/strumenti di analisi del rischio e della vulnerabilità dei sistemi e delle tecnologie produttive.
 - Interventi per la mitigazione degli impatti dell'acquacoltura e per l'uso più efficiente delle risorse.

d. Misure per il turismo

- Adeguamento delle pratiche di innevamento artificiale in termini di tecnologie di produzione e bacini di accumulo in funzione degli scenari climatici.
- Promozione delle pratiche di innevamento sostenibili, come ad es. le tecniche di *snow farming* per la



Fig. 5. Ostruzione dell'opera di rilascio DMV. Foto archivio Appa.



Fig. 6. Opera di sbarramento della centrale idroelettrica sul fiume Brenta - comune di Ospedaletto (TN). Foto archivio Appa.

conservazione della neve naturale accumulata durante le stagioni piovizie.

e. Misure per l'energia

- Incrementare la resilienza dei sistemi di produzione di energia idroelettrica mediante:
 - Rafforzamento del controllo/monitoraggio della variabilità dell'apporto d'acqua.
 - Utilizzo di strumenti modellistici.
 - Ottimizzazione dei volumi e dell'utilizzo dei serbatoi di stoccaggio nella gestione ordinaria.
- Incrementare la resilienza del sistema idroelettrico implementando per i grandi serbatoi funzioni ulteriori e diverse dalla mera produzione idroelettrica, rivolte principalmente alla riqualificazione dell'energia mediante accumulo per pompaggio e per assicurare servizi per il bilanciamento della rete di trasporto dell'energia.
- Aumentare la capacità di derivazione massima dai corsi d'acqua, al fine dell'accumulo idrico specialmente in occasione di eventi di piena, per consentire di utilizzare più compiutamente l'acqua per la produzione di energia in tempi differiti.
- Prestare particolare attenzione nella gestione dei grandi serbatoi ad uso idroelettrico alla determinazione dei volumi invasati e del periodo di accumulo, non solo ai fini della laminazione delle piene. Dovrà essere consolidata la politica di gestione dei grandi serbatoi idroelettrici volta a consentire l'interazione, come già avvenuto positivamente nell'ultimo decennio, anche con altri utilizzi idrici di interesse generale, quali l'innevamento e l'irrigazione di aree di interesse nel territorio provinciale.

f. Misure per la salute

- Migliorare la base conoscitiva rispetto ai rischi di malattie clima-sensibili nella gestione dell'acqua potabile e della balneazione, agli inquinanti e alle malattie idro-trasmesse da contaminanti biologici.
- Promuovere formazione ed educazione sui rischi climatici per la salute mediante la formazione degli operatori sanitari e l'aggiornamento dei protocolli di prevenzione e di intervento (PAT, 2022).

Le azioni di adattamento, che appaiono ampiamente diversificate per settore di competenza e per tipologia di azione prevista, puntano a una gestione sostenibile delle risorse naturali, in particolare della risorsa idrica, attraverso un approccio multi-settoriale. La collaborazione tra istituzioni, ricerca e cittadini è fondamentale per identificare soluzioni condivise e capaci di ridurre gli impatti del riscaldamento globale sui sistemi acquatici, preservando al tempo stesso la quantità e la qualità delle risorse idriche per i diversi usi che su di esse insistono.

Queste misure saranno approfondite e declinate in

maggior dettaglio nella futura Strategia provinciale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, anche sulla base dei risultati di una recente attività partecipativa di analisi dei rischi climatici e di selezione di possibili misure di adattamento dedicata alla gestione delle risorse idriche, che ha coinvolto le strutture provinciali competenti in materia di gestione della risorsa, di gestione del rischio alluvionale, di tutela della qualità delle acque, di agricoltura e di protezione degli ecosistemi. Ulteriori contributi alla definitiva formulazione delle misure di adattamento arriveranno da analoghi percorsi partecipativi che sono stati rivolti ai settori dell'agricoltura, dell'allevamento e della piscicoltura, della produzione idroelettrica, della gestione dei rischi da pericoli naturali, degli ecosistemi acquatici, della salute umana e del turismo tra gli altri, in un'ottica di trasversalità e integrazione sinergica.

CONCLUSIONI

Il riscaldamento globale in Trentino ha già avuto impatti significativi sulle risorse idriche, in particolare su quelle superficiali, e sugli ecosistemi naturali acquatici e terrestri (PAT, 2025). La Provincia autonoma di Trento ha adottato nel 2021 un programma di lavoro per l'identificazione di misure strategiche di mitigazione ma soprattutto di adattamento ai cambiamenti climatici per i diversi sistemi ambientali e settori socio-economici (PAT, 2021). Le misure di adattamento indicate dalla Strategia provinciale di mitigazione e adattamento, la cui approvazione è attesa ad oggi nel 2026, dovranno essere poi integrate nei piani e nei programmi di settore per arrivare alla fase di implementazione. Il lavoro di definizione delle misure di adattamento è stato impostato in maniera partecipativa, prevedendo la collaborazione di tutte le strutture provinciali in funzione delle diverse competenze e l'integrazione dei diversi contributi al fine di elaborare un quadro trasversale, integrato e sinergico. Oltre all'integrazione delle politiche di adattamento identificate per i vari settori socio-economici, sarà inoltre necessario proseguire le attività di monitoraggio costante sulle componenti ambientali, anche attraverso l'adozione di tecnologie innovative. Nello specifico per la protezione degli ecosistemi acquatici è fondamentale definire ed attuare misure strategiche di mitigazione ma soprattutto di adattamento ai cambiamenti climatici attraverso un approccio multi-settoriale e integrato, che concili gli usi antropici dell'acqua con le esigenze delle comunità animali e vegetali e la conservazione della biodiversità secondo lo schema concettuale del cosiddetto *Water-Energy-Food-Ecosystems Nexus*. L'adozione di tale quadro di riferimento strategico per la considerazione delle interazioni tra le componenti antropiche e naturali in un contesto di cambiamento climatico può essere

di supporto allo sviluppo di soluzioni maggiormente sostenibili e alla prevenzione di possibili effetti negativi a cascata che potrebbero derivare da un approccio più strettamente mono-settoriale alle politiche di adattamento.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti coloro che hanno contribuito alla raccolta e all'analisi dei dati, nonché alla revisione del presente lavoro. Un ringraziamento particolare va ai ricercatori e tecnici che hanno fornito supporto nel monitoraggio ambientale e nella valutazione degli impatti climatici.

BIBLIOGRAFIA

- APPA, 2022a. I cambiamenti climatici in Trentino. Osservazioni, scenari futuri e impatti, 27 pp. <https://www.appa.provincia.tn.it/Documenti-e-dati/Pubblicazioni/I-cambiamenti-climatici-in-Trentino>
- APPA, 2022b. Le variazioni climatiche di temperatura e precipitazione in Trentino nel periodo 1961-2020. Report tecnico, in pubblicazione.
- DICAM (Dip. di Ing. Civile, Ambientale e Meccanica Univ. Trento), 2023. Sintesi degli studi sui cambiamenti climatici e i loro impatti ed elaborazione di scenari climatici di riferimento per il Trentino. Parte A: Ricerca bibliografica, armonizzazione e sintesi degli studi tecnico-scientifici ad oggi disponibili in merito ai cambiamenti climatici osservati e attesi in Trentino e ai loro impatti sui diversi sistemi naturali e sui settori socio-economici provinciali. Report tecnico, in pubblicazione.
- DICAM (Dip. di Ing. Civile, Ambientale e Meccanica Univ. Trento), 2024. Sintesi degli studi sui cambiamenti climatici e i loro impatti ed elaborazione di scenari climatici di riferimento per il Trentino. Parte B: Analisi delle proiezioni climatiche disponibili in letteratura ed elaborazione di scenari climatici di riferimento aggiornati per il territorio trentino. Report tecnico, in pubblicazione.
- Flaim G., Andreis D., Piccolroaz S., Obertegger U., 2020. Ice cover and extreme events determine dissolved oxygen in a placid mountain lake. *Water Resources Research*, 56, e2020WR027321. <https://doi.org/10.1029/2020WR027321>
- Invest in Trentino, 2023. Riscaldamento globale: l'effetto sui laghi spiegato dai ricercatori di UniTrento. https://www.investintrentino.it/it/news-detail/riscaldamento-globale-l-effetto-sui-laghi-spiegato-dai-ricercatori-di-unitrento_15072
- PAT, 2021. Trentino Clima 2021-2023. Programma di lavoro sui cambiamenti climatici della Provincia Autonoma di Trento Atto di indirizzo verso l'adozione della Strategia Provinciale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici. Delibera di Giunta Provinciale n.1306 del 7 agosto 2021.
- PAT, 2022. Piano di Tutela delle Acque della Provincia Autonoma di Trento 2022-27 Allegato M. Il ruolo dei cambiamenti climatici. 50 pp. <https://www.appa.provincia.tn.it/Documenti-e-dati/Documenti-tecnici-di-supporto/Piano-di-Tutela-delle-acque-2022-2027>
- PAT, 2025. Lo stato del clima in Trentino. Gli impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi ambientali e sui settori socio-economici, 224 pp. In pubblicazione.