



PROVINCIA AUTONOMA  
DI TRENTO



AGENZIA PROVINCIALE PER  
LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE

# I CAMBIAMENTI CLIMATICI IN TRENTINO. OSSERVAZIONI, SCENARI FUTURI E IMPATTI

TRENTO | DICEMBRE 2022

[www.appa.provincia.tn.it](http://www.appa.provincia.tn.it)

[www.climatrentino.it](http://www.climatrentino.it)



In copertina:  
ghiacciaio del Careser  
- foto archivio APPA

### Coordinamento tecnico

Roberto Barbiero - Lavinia Laiti - Elisa Pieratti - APPA  
Tavolo provinciale di coordinamento e di azione sui  
cambiamenti climatici

### Contributo scientifico

Università degli Studi di Trento (Dipartimento di Ingegneria  
Civile, Ambientale e Meccanica, UNITN), Fondazione Bruno  
Kessler (FBK), Fondazione Edmund Mach (FEM), Museo delle  
Scienze (MUSE) e HIT - Hub Innovazione Trentino

### Impaginazione e grafica

Claudia Zambanini - APPA

### Per informazioni

#### Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente

Trento, Piazza Vittoria, 5

[www.appa.provincia.tn.it](http://www.appa.provincia.tn.it)

[www.climatrentino.it](http://www.climatrentino.it)

### Editore:

Provincia autonoma di Trento, APPA - dicembre 2022

Si autorizza la riproduzione delle informazioni e dei  
dati pubblicati purché sia indicata la fonte

In coerenza con gli obiettivi di conservazione delle risorse e tutela  
ambientale, il presente documento non è stato stampato, ma  
pubblicato esclusivamente sul sito web [www.appa.provincia.tn.it](http://www.appa.provincia.tn.it)

## TRENTINO CLIMA 2021-2023

Programma di lavoro sui  
cambiamenti climatici della  
**Provincia Autonoma di Trento**  
Agenzia Provinciale per la  
Protezione dell'Ambiente (APPA)  
**Dirigente generale**  
Enrico Menapace

Atto di indirizzo verso l'adozione  
della Strategia Provinciale di  
Mitigazione e Adattamento ai  
Cambiamenti Climatici.

Il documento fornisce una  
descrizione sintetica delle  
principali evidenze scientifiche  
che caratterizzano i cambiamenti  
climatici in Trentino, degli scenari  
attesi per il futuro e dei principali  
impatti sull'ambiente e sui settori  
socio-economici più rilevanti, allo  
stato delle conoscenze attuali.  
Si tratta di un documento  
preliminare in attesa  
dell'elaborazione di un rapporto  
aggiornato e approfondito sullo  
"Stato del Clima in Trentino",  
frutto della collaborazione con  
gli enti scientifici del territorio e  
le strutture provinciali. Il rapporto  
costituirà parte integrante della  
Strategia provinciale di mitigazione  
e adattamento ai cambiamenti  
climatici come previsto dal  
programma di lavoro "Trentino Clima  
2021-2023". Il presente documento  
ha valore di posizionamento per  
la futura Strategia, con la funzione  
di orientare le attività tecniche e  
di partecipazione dei portatori di  
interesse che contribuiranno alla  
redazione del documento finale.

## **Indice generale**

Introduzione.....	5
1. Il clima osservato: passato e presente.....	6
1.1 Temperature .....	7
1.2 Precipitazioni.....	7
1.3 Precipitazioni nevose.....	8
1.4 Portate dei corsi d'acqua.....	9
1.5 Ghiacciai .....	10
1.6 Permafrost.....	10
2. Emissioni di gas climalteranti in Trentino .....	12
3. Gli scenari climatici futuri.....	14
4. Gli impatti dei cambiamenti climatici in Trentino .....	16
4.1 Gli impatti sull'ambiente .....	17
4.1.1 Impatti sulla risorsa idrica .....	17
4.1.2 Impatti sugli ecosistemi delle acque interne.....	17
4.1.2.1 Torrenti e fiumi alpini .....	17
4.1.2.2 Laghi alpini profondi .....	18
4.1.2.3 Laghi di alta quota .....	18
4.1.2.4 Acque lentiche di piccole dimensioni .....	18
4.1.2.5 Acque sotterranee .....	18
4.1.3 Impatti su ecosistemi terrestri e biodiversità vegetale.....	18
4.1.4 Impatti sulla fauna .....	19

4.2 Gli impatti sui settori socio-economici.....	19
4.2.1 Impatti sulla gestione della risorsa idrica.....	19
4.2.2 Impatti sull'agricoltura .....	19
4.2.3 Impatti sull'allevamento.....	20
4.2.4 Impatti sulla selvicoltura.....	20
4.2.5 Impatti sui pericoli naturali .....	20
4.2.6 Impatti sulla salute umana .....	21
4.2.7 Impatti sul turismo .....	21
4.2.8 Impatti sul settore energetico .....	21
4.2.9 Impatti sulle infrastrutture .....	22
4.2.10 Impatti sul settore industriale .....	23
5. L'azione di contrasto ai cambiamenti climatici della Provincia autonoma di Trento.....	24
5.1 Il programma di lavoro "Trentino Clima 2021-2023" .....	25
5.2 La Strategia Provinciale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici.....	25
5.3 Il Piano Energetico Ambientale Provinciale 2021-2030 .....	25
5.4 La Strategia provinciale di Sviluppo Sostenibile (SproSS) .....	25

# INTRODUZIONE

Le attuali evidenze scientifiche sull'accelerazione del riscaldamento globale negli ultimi decenni, sull'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi e sull'entità degli impatti che ne conseguono sull'ambiente e sui sistemi socio-economici hanno portato a considerare la situazione a livello globale come una reale emergenza climatica.

La comunità scientifica internazionale ritiene inequivocabile la responsabilità delle attività antropiche nel determinare l'attuale emergenza climatica, in particolare a causa delle emissioni di gas climalteranti legate principalmente all'utilizzo di combustibili fossili a partire dall'era industriale, e ha evidenziato come, in assenza di politiche più ambiziose di riduzione di tali emissioni, vi sia il rischio che il riscaldamento in atto porti al superamento di soglie di aumento della temperatura tali da determinare cambiamenti irreversibili e catastrofici.

In tale contesto le Alpi e il Trentino evidenziano una significativa vulnerabilità, con impatti peculiari e caratteristici degli ambienti di montagna, come

la rapida riduzione dei ghiacciai, il degrado del permafrost, i cambiamenti negli ecosistemi, con conseguenze su importanti settori economici, quali turismo e agricoltura, e mettendo sempre più a rischio anche la salute e il benessere delle comunità locali.

Si rende necessario pertanto intervenire con urgenza anche a livello locale per contrastare i cambiamenti climatici e i loro impatti attraverso l'individuazione di adeguate azioni di mitigazione (per ridurre le emissioni provinciali di gas climalteranti) e di adattamento (per affrontare e limitare gli impatti ormai inevitabili), che costituiranno la futura Strategia provinciale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

Di seguito viene fornito un quadro di sintesi preliminare relativo al clima osservato in Trentino, allo stato delle emissioni dei gas climalteranti a livello provinciale, agli scenari climatici futuri, agli impatti dei cambiamenti climatici sull'ambiente e sui settori socio-economici, alla luce dello stato delle conoscenze attuali.



# **1. IL CLIMA OSSERVATO: PASSATO E PRESENTE**

1

Per quanto concerne lo stato dell'arte della conoscenza sui cambiamenti climatici in Trentino, sono disponibili numerose basi di dati a valenza climatica, in particolare le serie storiche di temperature e precipitazione, e le serie nivologiche e glaciologiche, che hanno reso possibile analizzare le statistiche medie e l'evoluzione temporale delle principali variabili meteo-climatologiche, oltre alla loro variabilità spaziale. Ciò ha permesso anche in passato di caratterizzare dettagliatamente il clima trentino e le sue variazioni, sia in termini di valori medi che di valori estremi, svolgendo, allo stesso tempo, alcuni esercizi di validazione delle catene di modellistica climatica indirizzati a specifiche applicazioni settoriali.

## 1.1 Temperature

Per quanto riguarda l'analisi delle osservazioni di temperatura, sono disponibili in letteratura diversi studi caratterizzati da diversi periodi e scale temporali di analisi.

Se si assume come periodo di riferimento l'era pre-industriale (1850-1899) l'aumento di temperatura stimato per la città di Trento è di circa 2°C (Zaniboni et al., 2016), coerentemente con quanto osservato in altre località alpine, a conferma del fatto che le Alpi hanno subito un incremento più marcato rispetto alla media globale e pari a quasi il doppio, circostanza che fa delle Alpi un *hot spot* (ossia un'area particolarmente colpita) del cambiamento climatico.

Le temperature in Trentino sono aumentate in particolare nell'ultimo secolo, con una tendenza che si è accentuata ulteriormente negli ultimi 30-40 anni circa (Di Piazza et al., 2012). Si può infatti stimare un incremento di circa 1°C tra il trentennio 1961-1990 e il più recente trentennio climatologico di riferimento 1991-2020, con un aumento che appare più marcato in estate (APPA, 2020). Negli ultimi 40 anni circa (1983-2019) la variazione delle temperature medie mensili appare caratterizzata da tendenze significative di incremento, con un valore medio compreso tra 0.03 e 0.05°C anno<sup>-1</sup> (Laiti et al., 2020). Secondo Lutz et al. (2016) tra il 1971 e il

2010 la porzione trentina del territorio dell'intero bacino dell'Adige mostra una tendenza di riscaldamento di circa 0.05°C anno<sup>-1</sup>, in buon accordo con i dati precedentemente citati. Si può quindi assumere come tendenza generale delle temperature in Trentino negli ultimi decenni, a partire dal 1961, un valore che oscilla tra 0.03 e 0.05°C anno<sup>-1</sup>.

Come evidenziato da diversi studi, la dipendenza delle variazioni di temperatura con la quota negli ambienti di montagna non presenta un comportamento univoco. In Trentino nel periodo 1975-2010 la temperatura sembra essere caratterizzata da un aumento che appare meno pronunciato alle quote più alte rispetto a quelle più basse (Tudoroiu et al., 2016).

L'aumento medio della temperatura sull'intero territorio provinciale si riflette anche nell'aumento del numero annuo di giorni caratterizzati da valori estremi di temperatura elevati (in particolare, numero di giorni estivi, ossia giorni nei quali la temperatura massima supera i 25°C, e di notti tropicali, ossia notti nelle quali la temperatura minima supera i 20°C) e nella diminuzione del numero di giorni caratterizzati da temperature massime e minime inferiori a 0°C (rispettivamente, giorni di ghiaccio e giorni di gelo) (Laiti et al., 2020). Anche il fenomeno dell'aumento della durata delle ondate di calore, i cui effetti sono ulteriormente esacerbati nei maggiori centri abitati dalla presenza dei fenomeni di isola di calore urbano (Giovannini et al., 2011) è evidente nella regione, così come è stata riscontrata una diminuzione della durata delle ondate di freddo su tutto il territorio (Di Piazza et al., 2012).

## 1.2 Precipitazioni

Nel caso della precipitazione, tra gli studi delle serie di osservazioni storiche prevalgono tendenze osservate non particolarmente significative, caratterizzate talvolta da segnali poco robusti e addirittura parzialmente discordanti, anche a causa dei diversi periodi temporali di riferimento per i diversi studi (Di Piazza et al., 2012, Lutz et al., 2016). È quindi molto complesso offrire un quadro unitario sintetico.

Un primo studio, che ha analizzato i dati di precipitazione relativi al periodo 1992-2009, ha riscontrato una tendenza alla diminuzione del totale annuale delle precipitazioni molto lieve, dell'ordine dell'1.0-1.5% per decennio, dove le stagioni che contribuiscono maggiormente a tale calo sono la primavera e, in misura minore, la stagione invernale (Brugnara et al. 2012).

Nell'ambito dell'aggiornamento del bilancio idrico provinciale per l'anno 2022, un'analisi delle precipitazioni (condotta per 19 stazioni meteorologiche provinciali) ha evidenziato che l'ultimo trentennio climatologico 1991-2020 è stato il più piovoso degli ultimi quattro (1961-1990, 1971-2000, 1981-2010 e, appunto, 1991-2020) per almeno 12 stazioni su 19, con un incremento della precipitazione media annuale compreso tra il 5% e il 24% in più rispetto al 1961-1990. Per 6 stazioni su 19 invece si è osservata una situazione di sostanziale invarianza, con scostamenti dell'ordine di più o meno l'1-2% dal 1961-1990 al 1991-2020.

Un terzo studio (Pavan et al., 2019), svolto analizzando dati di precipitazione giornaliera per il periodo tra il 1961 e il 2015, per un database rappresentativo dell'intera Italia settentrionale e centrale ha osservato per l'area corrispondente al Trentino una variazione poco significativa o quasi nulla della precipitazione cumulata su base annuale. Per quanto riguarda le variazioni dei totali stagionali di precipitazione: in inverno si è osservato un lieve aumento delle precipitazioni medie (diversamente dallo studio di Brugnara et al. 2012) e in primavera un lieve calo delle precipitazioni medie (in coerenza con quanto riportato da Brugnara et al. 2012). Inoltre in estate si è verificato un lieve aumento delle precipitazioni medie accompagnato da un calo dei giorni con pioggia e da un aumento dei giorni consecutivi senza pioggia, mentre in autunno si assiste a un aumento delle precipitazioni medie, un aumento dei valori estremi di pioggia e un calo dei giorni consecutivi senza pioggia.

In sintesi, è ragionevole assumere una sostanziale invarianza degli apporti medi annui di precipitazione sul territorio per alcune stazioni, accompagnata da una rimodulazione degli apporti stagionali. Allo stesso tempo, lo studio più recente ha evidenziato un aumento

significativo degli apporti medi annui per un numero considerevole di stazioni provinciali. Sono necessarie quindi analisi ulteriori per chiarire tale quadro e indagare ulteriormente in dettaglio le tendenze di lungo periodo, anche su base stagionale.

Per quanto attiene le precipitazioni estreme, gli eventi più intensi di precipitazione giornaliera presentano variazioni modeste tra il 1971 e il 2000, raramente significative anche alla scala locale, con tendenze di crescita significativa osservate in particolare nel primo ventennio di analisi (1971-1990) (Brugnara et al., 2012). Dal 1991 al 2020 sono state inoltre registrate tendenze di aumento anche per i valori estremi di precipitazione a scala sub-giornaliera, in maniera prevalente per gli intervalli di aggregazione che vanno da 15 minuti a 1 ora. Tali tendenze appaiono probabilmente dovute alla combinazione dell'aumento del numero annuale di eventi convettivi e della loro intensità (Dallan et al., 2022), in particolare durante la stagione estiva. Allo stesso tempo, è stato mostrato come gli estremi di precipitazione e la loro variabilità spaziale nel Trentino dipendano fortemente dall'orografia: per eventi precipitativi di durata oraria e sub-oraria è stata riscontrata una riduzione del 10-20% ogni 1000 m di altitudine, mentre si riscontra un'intensificazione con la quota per le precipitazioni caratterizzate da durata maggiore di 8 ore (corrispondente a un aumento del 7.5-10% ogni 1000 m di altitudine) (Formetta et al. 2021). Queste caratteristiche contribuiscono a spiegare parzialmente il grado di complessità e incertezza legato all'analisi delle variazioni delle precipitazioni causate dai cambiamenti climatici in un territorio tanto complesso dal punto di vista orografico.

### 1.3 Precipitazioni nevose

Le variazioni di temperatura e precipitazione sopra descritte si riflettono in una significativa riduzione sia della durata della copertura nevosa che dell'altezza media della neve stagionale, con differenti risposte al cambiamento climatico per i siti a bassa e ad alta quota (Marcolini et al., 2017).

Dall'analisi delle serie trentennali delle misure manuali e automatiche della rete nivometeorologica provinciale si nota, specialmente negli ultimi decenni, una forte variabilità interannuale dell'apporto delle nevicate (APPA, 2020). Ad oggi le stagioni invernali 2008-2009, 2013-2014 e 2020-2021 sono quelle che hanno fatto registrare i maggiori accumuli di neve negli ultimi trent'anni, mentre le stagioni 1988-1989, 1989-1990 e 2016-2017 sono quelle caratterizzate dal contributo minore. Secondo un recente studio, che ha analizzato le misure di neve per l'intero territorio alpino dal 1971 al 2019 (Matiu et al., 2021), nel settore meridionale delle Alpi, al quale appartiene il Trentino, l'altezza di neve al suolo media mensile da novembre a maggio evidenzia un calo generale, in particolare tra 1000 e 2000 m di quota e in maniera più marcata nei mesi primaverili. Anche la durata della copertura nevosa si è generalmente ridotta al di sotto dei 2000 m, sia a causa della più rapida fusione in primavera che per il ritardo nell'accumulo al suolo all'inizio del periodo invernale.

Una tendenza molto marcata di calo degli apporti nevosi emerge, invece, chiaramente per le località di fondovalle. Ad esempio, la serie storica delle nevicate osservate a Trento (Trenti, 2018) pone in evidenza come vi sia stata una forte riduzione negli ultimi decenni: nel periodo 1991-2017 si stima un calo del 36-38% dei quantitativi invernali di neve fresca rispetto al periodo 1961-1990. La significativa riduzione della neve negli ultimi decenni a Trento (e in generale alle quote minori) non è tanto imputabile alla diminuzione delle precipitazioni invernali complessive, rimaste sostanzialmente inalterate, quanto piuttosto all'aumento delle temperature e al conseguente innalzamento del limite altitudinale delle nevicate.

## 1.4 Portate dei corsi d'acqua

Le variazioni del regime delle precipitazioni dovute al cambiamento climatico sono il fattore principale del cambiamento di apporto d'acqua nei bacini idrografici del territorio, cambiamento

che si manifesta in modi diversi a seconda della scala e di studio e con conseguenze differenti a livello stagionale, a seconda del regime idrologico caratterizzante (Eurac Research, 2018).

I bacini posti a quote più elevate, caratterizzati da un forte apporto dalla fusione nivo-glaciale, mostrano tendenze di variazione della portata positive sia in estate che in inverno, anche a causa delle piogge invernali che sostituiscono sempre più spesso le nevicate in tale stagione e delle maggiori precipitazioni autunnali. Gli apporti legati alla pronunciata fusione glaciale sono però destinati a ridursi significativamente sul medio e lungo periodo, perché frutto del progressivo ritiro dei ghiacciai (Penna et al., 2018).

Nei bacini posti a quote più basse o più ampi (ad es. i bacini dei fiumi di fondovalle) invece le variazioni di portata hanno tendenze generalmente negative, specialmente in estate. Se si considera rappresentativa la portata del fiume Adige a Bronzolo in Alto Adige, si osserva che dal 1957 al 2016 non ci sono state variazioni significative a livello medio annuo, mentre a livello medio stagionale la portata è aumentata del 21% nel periodo autunnale ed invernale ed è calata del 20% in estate (Eurac Research, 2018). Spostandosi più a valle, l'analisi delle portate del fiume Adige registrate a Trento (Mallucci et al., 2019) riporta una tendenza negativa su scala annuale e, in particolare, nella stagione estiva, pur con una pronunciata variabilità a partire dagli anni '70. Tale tendenza sembra attribuibile solo parzialmente ai cambiamenti climatici (prevalentemente per la riduzione delle precipitazioni nevose invernali), in quanto influenzata in maniera rilevante anche dall'aumento dei prelievi primaverili e estivi per l'uso irriguo. Un'analisi precedente (Zolezzi et al., 2009), ha indicato l'utilizzo idroelettrico in impianti ad accumulo ad alta quota come la forzante principale delle alterazioni del regime delle portate registrate a Trento, con una riduzione delle variazioni stagionali e un generale aumento dei fenomeni di magra; tali alterazioni sono esacerbate dalla riduzione delle precipitazioni nevose invernali.

Nell'ambito dell'aggiornamento 2022 del bilancio idrico provinciale, l'analisi delle portate per i fiumi Adige, Avisio, Brenta, Cismon, Chiese e Sarca

ha evidenziato invece un generale aumento dei deflussi annuali tra il periodo 2000-2008 ed il successivo 2011-2018, dovuto probabilmente alla maggiore piovosità che ha caratterizzato il secondo periodo di analisi.

Va tuttavia considerato che è spesso difficile distinguere in maniera univoca le variazioni naturali di portata in risposta ai cambiamenti climatici da quelle legate alle derivazioni antropiche, anche in virtù dell'incertezza che caratterizza i dati idrologici e che si riflette sull'accuratezza dei risultati.

## 1.5 Ghiacciai

L'estensione complessiva dei ghiacciai trentini<sup>1</sup> nel 2015 si è attestata attorno ai 32 km<sup>2</sup>, corrispondenti al 28% dei circa 123 km<sup>2</sup> del più recente momento di massima espansione, avvenuto nella Piccola Età Glaciale (PEG, metà 1800) (APPA, 2020). Il tasso di riduzione sta accelerando e ad oggi si stima che la superficie dei ghiacciai sia ridotta a circa un quarto dell'ultima massima espansione raggiunta. 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 3100 metri di quota per i ghiacciai esposti a sud-est. Questo intenso processo di ritiro ha comportato la frammentazione dei ghiacciai, che sono aumentati di numero divenendo sempre più piccoli e, quindi, più vulnerabili. Questi imponenti processi di ablazione<sup>2</sup> manifestatasi negli ultimi decenni sono confermati anche dalle misurazioni delle variazioni frontali dei ghiacciai e dai loro bilanci di massa. Ad

esempio la serie storica dei bilanci di massa eseguiti per il ghiacciaio del Careser dal 1967 ad oggi evidenzia la sua continua regressione nonostante alcuni parziali rallentamenti dovuti ad inverni con precipitazioni eccezionali (es. stagione 2013-2014 e 2020-2021).

A causa della scarsità di precipitazioni invernali e primaverili e delle temperature superiori alla medie che hanno contraddistinto la primavera e l'estate, riveste carattere di eccezionalità la regressione dei ghiacciai a fine estate 2022. Lo scarso innevamento invernale e il prolungato caldo anomalo hanno determinato una forte fusione di tutti i ghiacciai trentini con un anticipo di almeno un mese rispetto a condizioni normali.

## 1.6 Permafrost

Fenomeni di degradazione del permafrost<sup>3</sup> a causa del riscaldamento climatico sono evidenti anche in Trentino (APPA, 2020). La Provincia ha avviato nel 2001 un monitoraggio della cinematica (ovvero della velocità di scivolamento verso valle)<sup>4</sup> di alcuni dei principali rock glaciers (ghiacciai rocciosi), le più diffuse formazioni geomorfologiche legate alla presenza di permafrost montano. I risultati evidenziano ad oggi uno spostamento cumulato di questi corpi detritici superiore a 6 m<sup>5</sup>, con un'accelerazione registrata a partire dal 2008, in linea con quanto sta accadendo nel resto delle Alpi. L'accelerazione dello spostamento, combinato con il progressivo aumento delle temperature, può contribuire ad innescare con maggiore frequenza e maggiore intensità processi di instabilità quali crolli di

<sup>1</sup> Le attività glaciologiche in provincia di Trento sono svolte sulla base di una convenzione che vede collaborare nelle attività di rilevazione e monitoraggio in campo glaciologico la Provincia autonoma di Trento, la Società degli Alpinisti Tridentini e il MUSE.

<sup>2</sup> Ablazione: perdita di ghiaccio.

<sup>3</sup> Il permafrost è definito come qualsiasi terreno che rimane al di sotto della temperatura di 0°C per almeno due anni consecutivi ed è il risultato di una complessa interazione tra le condizioni climatiche e le caratteristiche del substrato.

<sup>4</sup> Il monitoraggio è curato dal Servizio Geologico della PAT.

<sup>5</sup> Il monitoraggio è curato dal Servizio Geologico della PAT.

roccia e colate di fango e di detrito, che possono interessare anche aree situate molto più a valle, con conseguenze a catena sul trasporto dei detriti solidi dei torrenti.

Il catasto dei rock glaciers e la mappatura dell'estensione dei ghiacciai e dei depositi glaciali relativi alla PEG su tutto il territorio della

Provincia di Trento hanno messo in evidenza una notevole riduzione areale e volumetrica dei ghiacciai, con la conseguente esposizione agli eventi morfogenetici<sup>6</sup> dei depositi morenici e l'abbondante disponibilità di detriti sciolti, che possono essere mobilizzati durante eventi di precipitazione particolarmente intensi.

---

<sup>6</sup> *Processi che modellano il rilievo terrestre attraverso una interazione tra fattori geologici (litologia e tettonica), agenti di modellamento che erodono, trasportano e depositano (acqua, ghiaccio, vento, onde) e condizioni climatiche.*



## **2. EMISSIONI DI GAS CLIMALTERANTI IN TRENTINO**



2

Lo stato delle emissioni di gas climalteranti nella Provincia di Trento fa riferimento alle stime dell'Inventario provinciale delle emissioni elaborato per l'anno 2019 (APPA, 2022). Di seguito sono riportati i risultati essenziali, mentre il rapporto tecnico completo descrive in dettaglio le metodologie di analisi e stima dei dati.

La distribuzione delle emissioni di gas serra nell'anno 2019 in Provincia di Trento, espressa come il contributo delle singole sostanze climalteranti in termini di  $CO_{2eq}$ <sup>7</sup> (anidride carbonica equivalente), pone in evidenza come il principale gas climalterante sia la  $CO_2$  (anidride carbonica), che pesa per l'86% sul totale provinciale. Restano consistenti i contributi di  $CH_4$  (metano, 10%) e  $N_2O$  (protossido di azoto, 4%). Le altre sostanze climalteranti non sono computate nell'inventario provinciale.

Le emissioni  $CO_{2eq}$  suddivise per macrosettore<sup>8</sup> evidenziano come i contributi derivino prevalentemente dalla combustione non industriale (20%), dalla combustione nell'industria (28%) e, per poco più del 30%, dal trasporto su strada. Analizzando i contributi dei singoli gas serra, si osserva che le emissioni di anidride carbonica ( $CO_2$ ) sono imputabili per il 35% al trasporto su strada, per il 22% alla combustione non industriale e per il 33% alla combustione industriale. Le emissioni di metano ( $CH_4$ ) sono legate al trattamento e smaltimento dei rifiuti (43% del totale), all'agricoltura/allevamento (27%), alle attività di estrazione e distribuzione di combustibili (16%). Le emissioni di protossido di azoto ( $N_2O$ ) sono imputabili per il 54% delle emissioni totali al settore dell'agricoltura/allevamento e per il 20% alla combustione non industriale.

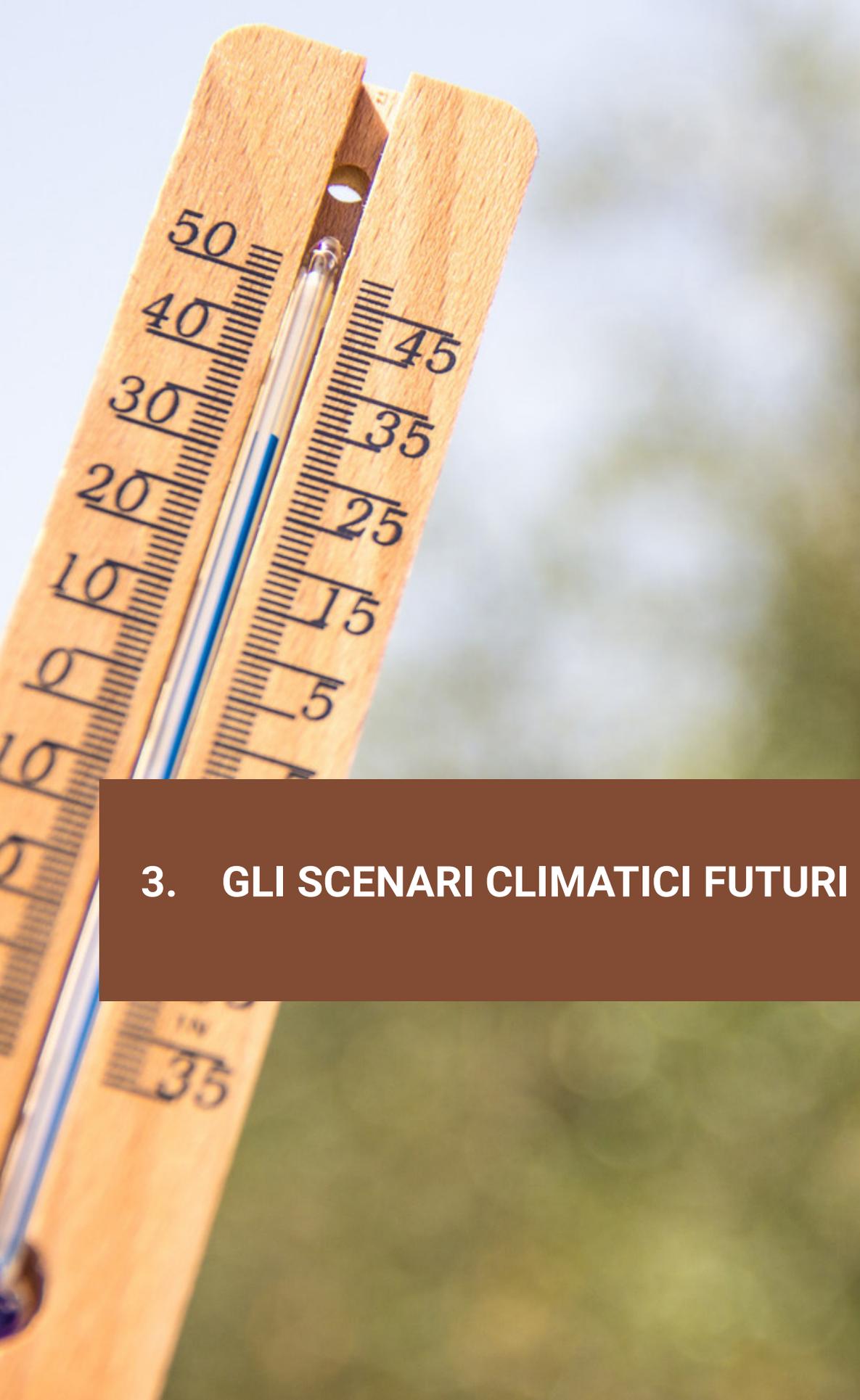
Per quanto riguarda le emissioni suddivise per combustibile, si può osservare come la  $CO_{2eq}$  derivi prevalentemente dalla  $CO_2$  prodotta da attività di combustione, in particolare dal metano utilizzato sia in campo residenziale che industriale (35%) e dal gasolio utilizzato nel settore dei trasporti (26%). Le attività che non prevedono l'uso di combustibile (ad esempio agricoltura e trattamento dei rifiuti) sono responsabili del 21% delle emissioni di  $CO_2$  e della quasi totalità delle emissioni di  $N_2O$  e  $CH_4$ . In generale, rispetto al precedente inventario (relativo all'anno 2015), si osservano un aumento delle emissioni di  $CO_2$  (+14%)<sup>9</sup> e un leggero aumento di  $CH_4$  e  $N_2O$  (+1%). Complessivamente, la  $CO_2$  equivalente emessa presenta un incremento, al netto degli assorbimenti, del 12%. Nell'interpretare questo dato di variazione è necessario considerare che tra le due versioni dell'inventario sono avvenute modifiche nelle modalità di stima, in particolare, ma non solo, per quanto riguarda il contributo delle emissioni puntuali. Nel dettaglio, l'incremento delle emissioni di  $CO_2$  è da imputarsi in parte alle discariche, ma soprattutto alle variazioni del contributo delle sorgenti puntuali associate al macrosettore "combustione nell'industria"<sup>9</sup>. L'incremento del  $CH_4$  è dovuto prevalentemente alle attività collegate alle discariche, attive e non, e l'incremento è controbilanciato dalla riduzione del metano disperso dalle reti di distribuzione, riduzione dovuta all'aggiornamento del fattore di emissione usato nella stima.

Per quanto concerne gli altri settori non si osservano variazioni particolarmente rilevanti, escluso un moderato aumento del contributo di assorbimento della  $CO_2$ , dato principalmente dal costante accrescimento del patrimonio forestale e boschivo provinciale.

<sup>7</sup> Il potenziale effetto serra dei singoli gas viene stimato utilizzando un indice denominato Global Warming Potential. Le emissioni dei diversi gas serra vengono aggregate tramite questo parametro e sono indicate come  $CO_{2eq}$  ( $CO_2$  equivalente) che rappresenta pertanto una somma dei gas serra pesati secondo il loro potenziale climalterante.

<sup>8</sup> Per la definizione dei settori e il calcolo delle emissioni è stato adottato il sistema INEMAR (INventario EMISSIONI ARia) condiviso tra diverse regioni italiane.

<sup>9</sup> L'aumento delle emissioni di  $CO_2$  è imputabile essenzialmente a variazioni delle sorgenti puntuali associate al macrosettore "combustione nell'industria". Per l'anno 2019 è stato effettuato l'aggiornamento dei dati relativi alle sorgenti puntuali, prima fermi all'anno 2010. Le informazioni contenute nell'inventario 2015 sono quindi ancora riferite all'anno 2010.



### 3. GLI SCENARI CLIMATICI FUTURI

3

Per gli scenari climatici futuri sono disponibili diverse proiezioni fornite da diversi modelli climatici e sono in corso continui aggiornamenti per elaborare proiezioni sempre più accurate e a più alta risoluzione, sia per gli indici di cambiamento climatico che per gli indici di impatto. Occorre ricordare che le procedure di downscaling dinamico (ossia di aumento della risoluzione spazio-temporale dei risultati modellistici) utilizzate dai modelli climatici a scala regionale comportano sempre un ulteriore grado di incertezza, oltre a quello proprio delle proiezioni a scala globale stesse, incertezza che si propaga nelle successive analisi effettuate nell'ambito degli studi di impatto nei diversi settori, a causa dell'oggettiva difficoltà di simulare la variabilità spazio-temporale dei fenomeni meteo-climatici a scala locale e, in particolar modo, della probabilità del verificarsi di eventi estremi, come siccità e piogge intense. Una valutazione aggiornata degli scenari climatici attesi sarà fornita dal rapporto "Stato del clima in Trentino". Ad oggi le conoscenze scientifiche e le proiezioni attese per il Trentino possono così essere riassunte:

- La tendenza al riscaldamento dell'ultimo secolo continuerà anche in Trentino (Majone et al., 2016; Provincia Autonoma di Trento, 2014), caratterizzata da maggiore intensità in estate (Laiti et al., 2020; Gampe et al., 2016) con un aumento delle temperature medio fino al 2070 stimabile in un valore compreso tra circa 0.03 e 0.04°C anno<sup>-1</sup> (Laiti et al., 2020).
- La variazione del regime di precipitazioni evidenzia ancora molte fonti di incertezza sulla scala regionale, soprattutto in funzione dell'altitudine (Majone et al., 2016), del periodo di riferimento (medio o lungo termine) e dello scenario emissivo adottato; tuttavia le proiezioni indicano generalmente una tendenza al calo delle precipitazioni annuali di circa il 30% nel periodo 2035–2065 rispetto a quello di riferimento 1981–2010, calo che sembrerebbe poter essere più significativo nella stagione estiva (Gampe et al., 2016).
- Il riscaldamento previsto favorirà ulteriormente la fusione dei ghiacciai e porterà ad una riduzione della stagione nevosa e dell'altezza della neve fresca, con una transizione dal regime glacio-nivale a quello nivale per il bacino idrografico del Noce (Majone et al., 2016) (considerazione che può essere estesa a corsi d'acqua caratterizzati da regimi idrologici analoghi). Inoltre, anche a causa delle variazioni negative di precipitazione previste soprattutto in estate, il bacino dell'Adige (specie la porzione più meridionale) potrebbe essere oggetto in futuro di significative riduzioni dei deflussi naturali durante i mesi estivi (Gampe et al., 2016).
- Per quanto concerne i fenomeni estremi, è atteso, in generale un aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore estive, degli eventi di scarsità di precipitazione e degli eventi di precipitazione intensa a scala interannuale (Provincia Autonoma di Trento, 2014).



## **4. GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI IN TRENTINO**



4

Si riportano di seguito le più significative valutazioni degli impatti dei cambiamenti climatici osservati e attesi sull'ambiente e sui settori socio-economici di principale interesse in Trentino.

## 4.1 Gli impatti sull'ambiente

### 4.1.1 Impatti sulla risorsa idrica

Gli effetti dei cambiamenti climatici previsti per il regime termo-pluviometrico modificheranno la disponibilità della risorsa idrica, alterando in particolare l'entità e la stagionalità dei deflussi nei corsi d'acqua superficiali. Si renderà pertanto necessaria una diversa e attenta pianificazione della gestione della risorsa idrica, il cui deficit potrebbe essere maggiore in particolare in estate, in concomitanza con la maggiore competizione tra i diversi usi: l'uso potabile legato alla popolazione in aumento a causa dei flussi turistici, l'accumulo d'acqua negli invasi destinati alla produzione di energia idroelettrica, il maggior fabbisogno irriguo per l'agricoltura.

Lo studio effettuato sui bacini del fiume Noce e del fiume Brenta nell'ambito del progetto OrientGate (Provincia Autonoma di Trento, 2014) per valutare l'effetto combinato dei futuri cambiamenti climatici e dello sfruttamento idroelettrico sulla disponibilità idrica ha posto in evidenza alcune importanti tendenze. Negli scenari futuri presi in considerazione, per il periodo 2021-2050 è attesa in entrambi i bacini una lieve diminuzione media annua dei volumi derivabili, con marcate differenze a livello stagionale e comportamenti differenti tra i torrenti di alta quota ed i corsi d'acqua delle zone terminali dei bacini presi in esame. Nel medio periodo, la stagione più problematica appare essere con tutta probabilità l'estate, specialmente per i bacini situati a quote minori, con riduzioni anche significative, mentre in inverno si prevedono probabili aumenti dei volumi derivabili.

Le variazioni su base stagionale e per tipologia

di regime idrologico potranno essere osservate anche sui regimi minimi delle portate. In inverno la probabile maggior disponibilità idrica comporterà l'incremento del numero di giorni in cui si registreranno portate superiori al deflusso minimo vitale<sup>10</sup> (DMV), così come previsto anche in primavera per i bacini alle quote più elevate in Val di Sole. Invece in estate e in primavera, nei bacini posti alle quote inferiori e per quelli del Fiume Brenta, si prospetta una diminuzione del numero di giorni in cui il deflusso in alveo è superiore al DMV, con il conseguente prolungamento dei periodi di magra e la minore sostenibilità idrologica dell'attuale DMV.

### 4.1.2 Impatti sugli ecosistemi delle acque interne

Gli ecosistemi di acque interne sono importanti riserve di biodiversità, il cui stato ecologico è soggetto a notevoli pressioni antropiche che causano la perdita di componenti biologiche e habitat e un generale scadimento delle condizioni naturali. I cambiamenti climatici agiscono pertanto su ecosistemi che sono già in parte compromessi e caratterizzati da una vulnerabilità elevata e possono amplificare effetti quali la perdita di specie e servizi ecosistemici, le invasioni biologiche e il deterioramento della qualità delle acque associato anche al rilascio di inquinanti del passato con la fusione dei ghiacciai.

#### 4.1.2.1 Torrenti e fiumi alpini

L'aumento delle temperature, la riduzione della copertura nevosa e l'alta variabilità stagionale delle precipitazioni alterano il ciclo idrologico dei corsi d'acqua, minacciandone anche la biodiversità e lo stato ecologico. I torrenti e fiumi alpini vedranno diminuire l'apporto dai ghiacciai, mentre i corsi d'acqua più a valle soffriranno una maggiore frequenza e durata dei periodi di magra e di secca. Ciò comporterà un'alternanza, nei fiumi più a valle, delle piene invernali e dell'eutrofizzazione estiva, mentre, più in generale, si assisterà ad un peggioramento

<sup>10</sup> Il Deflusso Minimo Vitale (DMV) è stato introdotto per garantire una portata istantanea minima, rilasciata a valle delle opere di derivazione (e/o captazione), in modo da salvaguardare le caratteristiche dei corpi idrici.

della qualità delle acque con conseguente perdita di biodiversità (ad esempio, ai danni dell'ittiofauna).

#### **4.1.2.2 Laghi alpini profondi**

L'aumento delle temperature indurrà nei laghi profondi l'aumento e l'anticipo delle fioriture microalgali primaverili, con conseguenze su tutta la rete trofica; l'aumento dei tassi di degradazione della materia organica, con il conseguente rilascio di nutrienti e quindi l'aumento del rischio di fioriture estive di cianobatteri con danni alla vegetazione macrofita e alle comunità di invertebrati e ittiofauna delle fasce litorali. Negli ecosistemi lacustri sono inoltre attese modifiche nel rilascio di nutrienti e nella stagionalità dei carichi inquinanti a livello di bacino imbrifero; la diminuzione della frequenza degli episodi di mescolamento verticale nei mesi invernali nei laghi profondi; gli effetti dell'aumento di temperatura delle acque sulle popolazioni di piante e animali acquatiche.

#### **4.1.2.3 Laghi di alta quota**

Minori precipitazioni e maggior riscaldamento potrebbero causare il progressivo restringimento, fino alla completa scomparsa, dei laghi d'alta quota che dipendono quasi esclusivamente dalla deposizione umida, nonché l'alterazione della temperatura delle loro acque e la riduzione del periodo di copertura della loro superficie da ghiaccio (Flaim et al., 2020) e neve. Le possibili conseguenze sono: variazioni nel periodo di mescolamento (Flaim et al., 2020), variazioni nella composizione delle comunità vegetali e animali, perdita di specie, colonizzazione da parte di specie che vivono abitualmente a quote più basse, perdita di habitat pregiati, endemici e costituenti del paesaggio montano. La riduzione del volume complessivo dei laghi d'alta quota, potrebbe essere compensata, almeno temporaneamente, dalla formazione, nel corso degli ultimi decenni, di numerosi nuovi laghi proglaciali al margine dei ghiacciai in progressiva fase di fusione e ritiro.

#### **4.1.2.4 Acque lentiche di piccole dimensioni**

Stagni, pozze, paludi d'acqua dolce, torbiere e acquitrini sono ecosistemi isolati e di piccole dimensioni molto vulnerabili e minacciati dalle

pressioni antropiche ma che rappresentano importanti servizi ecologici (come per esempio il filtraggio dell'acqua) e serbatoi di biodiversità specialmente anfibi, rettili, insetti e piante acquatiche. Sono particolarmente sensibili ai cambiamenti climatici per la bassa profondità e le piccole dimensioni (perché particolarmente vulnerabili all'aumento del tasso di evaporazione dovuto alle temperature in crescita). La loro scomparsa implicherebbe una perdita di specie endemiche e popolazioni relitte e di una grande varietà di specie, vegetali e animali, che spesso sono elementi naturali residui del paesaggio locale.

#### **4.1.2.5 Acque sotterranee**

Le acque sotterranee e i corpi idrici superficiali che ne dipendono (sorgenti, fontanili, numerosi corsi d'acqua, laghi carsici e zone umide), ricchi di specie endemiche, risentiranno sia dell'alternanza di fenomeni di siccità e piene improvvise e violente sia del probabile aumento dei prelievi di acqua di falda, che alterano la connettività verticale tra corpo idrico superficiale e falda, con conseguente interruzione della continuità nella ricarica degli acquiferi sotterranei e perdita di biodiversità.

La biodiversità delle numerose sorgenti e corsi d'acqua alpini alimentati dalla fusione dei rock glaciers potrà essere influenzata dall'elevato contenuto di soluti, compresi numerosi elementi in traccia, che spesso caratterizzano le acque di scioglimento del permafrost su substrato roccioso siliceo (Brighenti et al., 2019; Tolotti et al., 2020)

### **4.1.3 Impatti su ecosistemi terrestri e biodiversità vegetale**

Le zone alpine sono tra le aree ad alto rischio di perdita di biodiversità e ad oggi hanno subito impatti molto evidenti. I cambiamenti climatici impattano infatti sulla fisiologia, sul ciclo vitale sulla resistenza alle malattie e sulla distribuzione geografica delle specie, sulla composizione delle comunità ecologiche terrestri e sulle interazioni interspecifiche.

Anche in Trentino è ipotizzabile nei prossimi decenni l'accelerazione di alcuni effetti quali: l'innalzamento del limite degli alberi e i cambiamenti nella composizione delle foreste;

le variazioni nella struttura, nella distribuzione e nella produttività di diversi habitat, con conseguenze sulla fauna sia vertebrata che invertebrata, del suolo e del sopra suolo, sulla struttura delle comunità, sulla distribuzione delle popolazioni, sulla diversità genetica, sul comportamento, sulla riproduzione e sulla flora intestinale; la modificazione dei cicli fenologici, con l'anticipazione delle fioriture di molte piante e il prematuro riavvio del periodo vegetativo; la risalita di quota di specie vegetali che essendo più adatte ai climi freddi, tendono a trovarsi in habitat non più ottimali, andando incontro a una flessione della popolazione o anche all'estinzione; la maggior diffusione di fitopatie a causa dello stato di stress idrico o termico in cui vengono a trovarsi le piante forestali a seguito di eventi meteo estremi; la diffusione di specie alloctone ed invasive.

#### 4.1.4 Impatti sulla fauna

Numerosi sono gli effetti osservati sulla fauna alpina. Sono cambiati i periodi di attività e di riproduzione (nonché il successo riproduttivo) di molte specie di uccelli, anfibi e artropodi. Ad esempio è ormai comune l'anticipazione degli arrivi di molte specie di uccelli migratori, della riproduzione di molti anfibi e dello sviluppo dello stadio adulto di molti insetti, con particolare riferimento agli impollinatori. Sono mutati gli areali di distribuzione o la densità locale (di mammiferi, uccelli e artropodi). Diverse specie animali montane si sono spostate a quote più alte con conseguente riduzione e frammentazione del loro areale preferito, e cambiamenti nella distribuzione delle popolazioni e della diversità genetica (con impatti sulla loro capacità adattiva e di combattere patogeni). Sono state dimostrate estinzioni locali di alcuni insetti e riduzione drastica di popolazioni. Si osservano anche cambiamenti morfologici: nel peso corporeo, nella fecondità, etc. Si osserva un incremento di nuove specie aliene invasive, incluso parassiti e patogeni, che contribuiscono ad un aumento del

rischio di estinzione di popolazioni e delle specie autoctone. Cambia inoltre la struttura degli habitat, così come si modificano la disponibilità e la reperibilità del cibo, influenzando le dinamiche delle popolazioni.

## 4.2 Gli impatti sui settori socio-economici

### 4.2.1 Impatti sulla gestione della risorsa idrica

L'impatto dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali, come la modifica della stagionalità e dell'entità dei deflussi nei corsi d'acqua superficiali, si rifletterà su diversi ambiti socio-economici correlati all'utilizzo dell'acqua. In particolare, è prevedibile un aumento delle situazioni di conflitto tra i diversi usi concorrenti della risorsa idrica, specialmente nella stagione primaverile-estiva, circostanza che renderà prioritaria la necessità di una gestione coordinata e integrata della risorsa idrica, in maniera trasversale a diversi settori come agricoltura e produzione idroelettrica (Spano et al., 2020), con particolare riferimento al concetto di "nesso acqua-energia-cibo-ecosistemi" (*Water Energy Food Ecosystem nexus*)<sup>11</sup>.

Anche l'aumento dei fenomeni estremi (sia dei fenomeni di piena che delle situazioni di siccità o magra) richiederà un adattamento delle politiche di gestione della risorsa idrica, con particolare riferimento alla gestione degli invasi e dei rilasci per la laminazione delle piene e la modulazione del deflusso in alveo in condizioni di scarsità idrica.

### 4.2.2 Impatti sull'agricoltura

L'aumento della temperatura, specialmente in primavera/estate, e la variazione della disponibilità idrica dovuta alla modifica del ciclo delle precipitazioni, sempre più caratterizzato da eventi prolungati di siccità e da precipitazioni

<sup>11</sup> WEF nexus: Water – Energy – Food – Ecosystems nexus. Secondo la Food And Agriculture Organisation (FAO) delle Nazioni Unite, l'esistenza di un nesso WEF significa che la sicurezza e la sostenibilità di acqua, energia, cibo e ecosistemi sono profondamente interconnesse, e che ogni azione in uno di questi ambiti singoli spesso può avere ripercussioni rilevanti in uno o più degli altri ambiti.

intense su brevi periodi, stanno determinando e determineranno una serie di impatti importanti in agricoltura.

Tra gli effetti più evidenti: l'estensione del periodo di crescita di alcune colture; l'anticipo delle epoche di semina e di raccolta e delle fasi di sviluppo fenologico; il prematuro riavvio del periodo vegetativo; maggiori rischi di gelate primaverili legati all'anticipo della ripresa vegetativa, con una crescente richiesta d'acqua per il funzionamento di impianti di protezione antigelo; la diminuzione della produttività e della qualità di alcune produzioni; lo spostamento verso nord e più in quota degli areali adatti a certe colture o varietà, con possibili cambi d'uso del suolo ed effetti sul paesaggio soprattutto nelle aree montane; una più frequente carenza d'acqua per l'uso irriguo nel corso della stagione estiva; l'aumento dell'erosione del suolo; la variazione nella diffusione di fitopatie ed infestanti.

#### **4.2.3 Impatti sull'allevamento**

Le temperature in aumento e la competizione per le risorse idriche e foraggere richiederanno una maggiore attenzione verso la tematica del benessere e della salute animale, nonché della sicurezza dei prodotti alimentari di origine animale specialmente nel periodo estivo, alle quote meno elevate e negli allevamenti a maggiore densità. Il rialzo delle temperature e le variazioni del regime pluviometrico avranno effetti anche sui pascoli e sulle colture foraggere, con un aumento delle situazioni critiche per l'effetto di fasi siccitose e delle conseguenti minori produzioni.

#### **4.2.4 Impatti sulla selvicoltura**

L'aumento delle temperature può condurre ad una risalita delle fasce di vegetazione, creando condizioni di destabilizzazione delle formazioni forestali attuali, un aumento nella crescita di alcune specie forestali, ma anche un aumento della fragilità ed esposizione ad organismi patogeni per altre. La maggiore frequenza di eventi estremi come perturbazioni da vento o neve, o siccità prolungate, avrà effetti sulla programmazione degli interventi selvicolturali, con la probabile riduzione dei volumi in piedi e

degli incrementi legnosi complessivi, e quindi dell'approvvigionamento locale della filiera foresta-legno. Con la riduzione della copertura forestale verrà ridotta l'efficienza del bosco nella produzione di altri servizi ecosistemici, quali la regimazione idrogeologica, la protezione diretta da rotolamento di massi o scivolamenti nevosi, il paesaggio forestale. Sotto il profilo ambientale, i settori di bosco degradati per effetto delle perturbazioni potranno avere, in base alle localizzazioni, sia dinamiche favorevoli a una maggiore naturalità, che lasciare spazio all'ingresso di specie non autoctone.

#### **4.2.5 Impatti sui pericoli naturali**

Il rischio idrogeologico è soggetto a variazioni dovute ai cambiamenti attesi del regime idrologico. L'aumento probabile di fenomeni di precipitazione intensa potrebbe dare origine ad una maggiore frequenza di eventi quali alluvioni lampo (*flash floods*) e colate detritiche (*debris flow*). In particolare, nella stagione autunnale gli effetti degli eventi alluvionali potrebbero essere ulteriormente amplificati dall'innalzamento delle temperature e, di conseguenza, dalla riduzione delle precipitazioni allo stato solido a favore di quelle allo stato liquido e dalla fusione anticipata della copertura nevosa.

La riduzione dei ghiacciai e il degrado del permafrost potrebbero aggravare fenomeni di instabilità, come frane e fenomeni di trasporto di detriti. Nelle zone nelle quali il ritiro dei ghiacciai scopre aree rocciose potrebbe verificarsi un aumento dei deflussi superficiali, a causa della ridotta permeabilità del suolo.

Le valanghe potrebbero diminuire alle quote medio-basse per il probabile calo delle nevicate. Alle quote superiori l'aumento delle temperature potrebbe aumentare il numero di eventi valanghivi caratterizzati da neve bagnata e più pesante.

Il probabile aumento dei fenomeni di siccità e l'aumento delle temperature potrebbero contribuire ad un maggiore rischio di incendi boschivi.

Il ripetersi di eventi meteo intensi, come la tempesta Vaia verificatasi dell'ottobre 2018, potrebbe determinare danni ingenti al patrimonio forestale, causando anche situazioni di

maggiore vulnerabilità del territorio, ad esempio incrementando il pericolo di fenomeni come frane e valanghe nelle zone colpite.

In generale, le variazioni attese per il rischio da pericoli naturali e il probabile aumento di frequenza e intensità di eventi estremi potranno interessare in futuro aree prima non considerate particolarmente pericolose.

#### **4.2.6 Impatti sulla salute umana**

Gli effetti diretti e indiretti dei cambiamenti climatici sono ormai evidenti anche sulla salute umana. Tra gli effetti diretti va considerato soprattutto l'aumento di mortalità e morbilità da ondate di calore oltre che eventi estremi (alluvioni, incendi) a cui risultano particolarmente suscettibili le categorie più vulnerabili come malati cronici, anziani e bambini. Gli effetti indiretti sono quelli invece conseguenti ai cambiamenti nella funzionalità degli ecosistemi e alla perdita di biodiversità, che possono comportare numerose conseguenze anche sulla salute umana. Tra essi si annoverano la maggior diffusione di alcune malattie infettive e parassitarie, sia a trasmissione diretta che a mezzo di artropodi vettori tra i quali si annovera anche un numero crescente di specie aliene (es. zanzara tigre, coreana, giapponese). Si segnala in particolare l'aumento di malattie zoonotiche (ovvero trasmissibili dagli animali all'uomo), ed in particolare di quelle trasmesse da vettori (es. zanzare, zecche) anche a scala nazionale, come nel caso della febbre del Nilo occidentale, della chikungunya, della borreliosi di Lyme e dell'encefalite virale (TBE). Va inoltre menzionato l'aumento delle malattie allergiche dovute alla maggiore concentrazione e durata nel tempo di pollini e allergeni, nonché delle malattie non infettive legate all'aumento della concentrazione di fattori inquinanti, come ad esempio l'ozono nel periodo estivo.

#### **4.2.7 Impatti sul turismo**

Gli impatti delle variazioni climatiche sul paesaggio e sull'ambiente montano possono essere molteplici e determinare effetti differenti, sia per l'offerta che per la domanda turistica.

Il turismo invernale, in particolare il settore degli sport legati alla neve, risentirà in maniera

significativa della riduzione della nevosità e della durata della stagione con neve al suolo. La maggiore carenza di neve naturale imporrà richieste crescenti di acqua da parte dei comprensori sciistici per l'accumulo in bacini di innevamento in quota allo scopo di produrre neve artificiale, e potranno crearsi di conseguenza situazioni conflittuali in periodi di magra o siccità invernale.

L'aumento delle temperature estive potrebbe invece avere un effetto positivo, favorendo l'afflusso di turisti verso località di montagna caratterizzate da temperature più fresche. In estate il probabile aumento della presenza di turisti richiederà tuttavia un maggior uso di acqua potabile, che potrà entrare in conflitto con le maggiori richieste per l'irrigazione agricola e la necessità di mantenere in esercizio gli invasi di produzione idroelettrica, in un periodo nel quale contemporaneamente si attende un aumento della domanda energetica per raffrescamento.

Anche la modificazione della fruibilità di ambienti rilevanti dal punto di vista paesaggistico e naturalistico, quali ghiacciai e foreste, potrebbe influire sull'offerta turistica e sulle modalità stesse di fruizione. Occorre infine evidenziare come gli eventi meteorologici estremi possono provocare danni a infrastrutture e paesaggio; si pensi ad esempio ai danni apportati dalla tempesta Vaia alle rete sentieristica delle aree colpite.

#### **4.2.8 Impatti sul settore energetico**

L'aumento delle temperature, atteso in tutte le stagioni e in modo più marcato in estate, provocherà uno spostamento della domanda di energia nel settore residenziale e dei servizi, dato che il fabbisogno per il riscaldamento invernale delle abitazioni e degli spazi commerciali e pubblici tenderà a diminuire, mentre quello per il raffrescamento estivo tenderà a crescere. Negli ultimi decenni in Provincia è stata infatti riscontrata una riduzione media dei cosiddetti "gradi giorno di riscaldamento" (HDD, unità di misura che quantifica di quanti gradi e quanto a lungo la temperatura ambiente esterna rimane inferiore alla temperatura mantenuta internamente alle abitazioni grazie al riscaldamento) di circa -10 HDD anno-1

e un aumento dei cosiddetti “gradi giorno di raffrescamento” (CDD, unità di misura che quantifica di quanti gradi e quanto a lungo la temperatura ambiente esterna rimane superiore alla temperatura mantenuta internamente alle abitazioni grazie al condizionamento) stimabile in al massimo 5 CDD anno<sup>-1</sup> (Laiti et al., 2020).

Le variazioni di questi parametri climatici corrispondono ad una importante rimodulazione stagionale dei consumi energetici degli edifici civili del territorio, che però si bilancerà almeno parzialmente su base annuale. Si stima che gli HDD diminuiranno di una percentuale compresa tra -4% e -11% dal 2016 al 2030, e tra -10% e -21% dal 2016 al 2050, mentre contemporaneamente i CDD aumenteranno meno in valore assoluto, ma maggiormente in valore percentuale (tra +12% e +36% dal 2016 al 2030, tra +36% e +87% dal 2016 al 2050), con conseguente variazione dei fabbisogni energetici associati alla stagione invernale (per il riscaldamento) ed estiva (per il raffrescamento) rispettivamente (Laiti et al., 2020).

La variazione della disponibilità idrica connessa ai fenomeni di deglaciazione e all’alterazione dei regimi delle precipitazioni e dei deflussi potrebbe avere importanti conseguenze sul sistema di produzione di energia idroelettrica in Trentino (Provincia Autonoma di Trento, 2014). Le valutazioni adottate nel Piano Energetico Ambientale Provinciale 2021-2030 indicano che i cambiamenti climatici lasceranno sostanzialmente inalterata la quantità totale di domanda idrica a scopo idroelettrico nei prossimi 10 anni. Le conseguenze dei cambiamenti climatici potrebbero non incidere significativamente sulla produzione idroelettrica annua nel breve periodo, ma pongono le condizioni per una pianificazione più attenta già da ora, in vista di modifiche nei regimi stagionali e di possibili modifiche più importanti sul medio e lungo periodo. I cambiamenti futuri probabilmente richiederanno una revisione delle strategie e delle procedure legate alla gestione degli invasi ad uso idroelettrico, anche in funzione della laminazione delle piene e del tamponamento delle situazioni di magra prolungata.

Il probabile aumento della frequenza e dell’intensità di eventi meteorologici estremi

potrebbe inoltre incidere sulla sicurezza delle infrastrutture energetiche, attraverso un aumento della frequenza con la quale queste subiranno danneggiamenti. Questi effetti potrebbero colpire l’affidabilità della fornitura di energia elettrica, in termini di danni alla rete elettrica, alle centrali di produzione di energia termoelettrica e agli stessi impianti di produzione di energia rinnovabile.

Potrebbero inoltre insorgere maggiori difficoltà nella gestione operativa delle infrastrutture energetiche, ad esempio a causa di possibili picchi di domanda in taluni periodi (in particolare in estate), e/o difficoltà nella loro messa in opera, nonché variazioni nell’efficienza degli impianti di produzione dovute, ad esempio, alle temperature elevate.

#### **4.2.9 Impatti sulle infrastrutture**

I principali impatti causati dai cambiamenti climatici ai danni delle infrastrutture (di trasporto, energetiche, di informazione e comunicazione - ICT, di logistica, di gestione idrica e dei rifiuti) includono essenzialmente danneggiamenti e perdite di funzionalità a causa di eventi meteorologici estremi e fenomeni ad essi associati (ondate di calore, incendi, esondazioni, colate di detrito, tempeste di vento, etc.), che probabilmente aumenteranno in frequenza e intensità in futuro.

In particolare, il trasporto privato e pubblico potrebbero subire un incremento degli impatti negativi, con maggiori interruzioni del traffico stradale e ferroviario, a causa di eventi quali inondazioni, allagamenti, frane e smottamenti, per i quali si attende un aumento in frequenza ed intensità.

La modificazione degli eventi di precipitazione intensa e di conseguenza di esondazioni e allagamenti potrà causare inoltre impatti diretti sui sistemi di drenaggio e raccolta delle acque reflue in ambito urbano e sugli impianti di trattamento delle acque reflue, con possibili blocchi, malfunzionamenti, straripamenti e versamenti.

Oltre al danno diretto sulle infrastrutture, ci si attende un aumento dei danni indiretti per la conseguente mancata capacità di produrre beni e servizi.

#### **4.2.10 Impatti sul settore industriale**

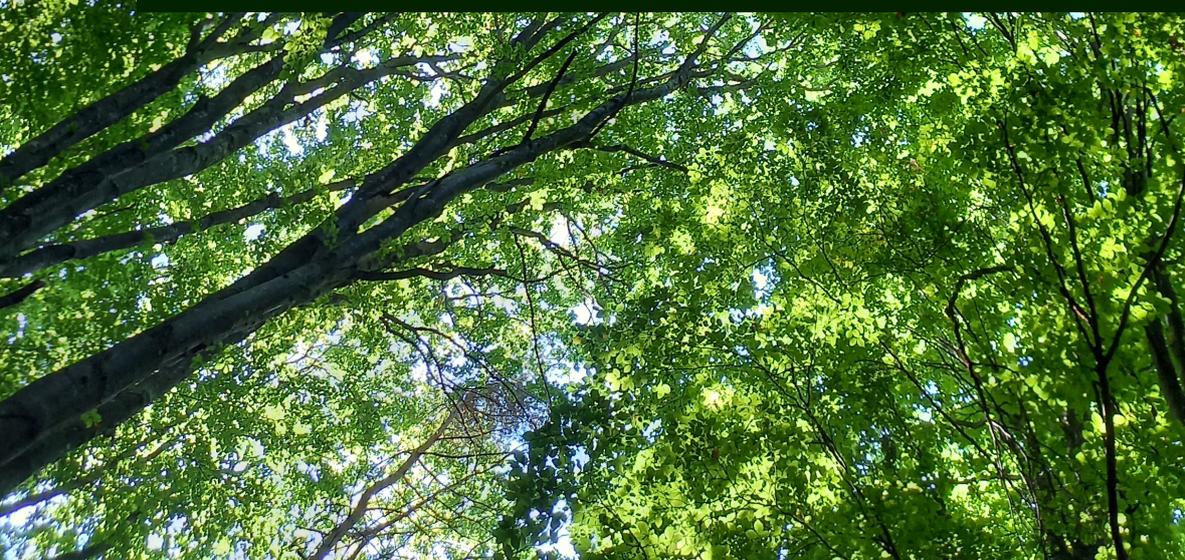
La valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sul settore della produzione industriale è complessa, anche a causa della grande eterogeneità delle attività comprese nel settore stesso, in termini di tipologia, risorse utilizzate e dimensioni produttive.

In generale, il settore industriale potrebbe subire impatti negativi a causa degli effetti dell'aumento di temperatura sulla produttività del lavoro (anche se in maniera molto ridotta nel nostro territorio), nonché delle modificazioni nella disponibilità di risorse idriche, fondamentali in molti processi produttivi (come materia prima, per il lavaggio o per il raffreddamento) e soggette anche in Trentino ad una crescente competizione nella domanda da parte di utilizzi concorrenti, in particolare in estate (irrigazione in agricoltura, produzione idroelettrica, uso civile, etc.).

A ciò sono da aggiungere i possibili danni infrastrutturali diretti (agli stabilimenti produttivi) o indiretti (ad esempio quelli relativi alle infrastrutture energetiche o di trasporto) indotti dal probabile incremento negli eventi meteorologici estremi e nei pericoli naturali associati.



**5. L'AZIONE DI CONTRASTO AI  
CAMBIAMENTI CLIMATICI DELLA  
PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO**



5

## 5.1 Il programma di lavoro “Trentino Clima 2021-2023”

Approvato dalla Giunta provinciale con D.G. n.1306 del 7 agosto 2021, rappresenta l'atto di indirizzo che delinea il percorso finalizzato ad adottare una Strategia Provinciale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

## 5.2 La Strategia Provinciale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici

La Strategia sarà lo strumento di riferimento per orientare l'azione amministrativa della Provincia Autonoma di Trento per contenere il riscaldamento in atto e contrastare gli impatti negativi del cambiamento climatico. Le misure di mitigazione (riduzione delle emissioni di gas serra) saranno essenzialmente quelle indicate dal Piano Energetico Ambientale Provinciale. Le misure di adattamento (riduzione della vulnerabilità e aumento della resilienza dei sistemi naturali e dei settori socio-economici) saranno integrate nei piani e nei programmi di settore attraverso un processo di *mainstreaming*.

## 5.3 Il Piano Energetico Ambientale Provinciale 2021-2030

Il [Piano Energetico Ambientale Provinciale \(PEAP\) 2021-2030](#) è il documento di programmazione provinciale degli interventi in materia di energia della Provincia Autonoma di Trento. Il documento traccia una traiettoria che attraverso 12 linee strategiche trasversali accompagna la transizione energetica ed ambientale del Trentino. Esso prevede al 2030 di aver ridotto del 55% le emissioni climalteranti rispetto al 1990, puntando ad arrivare, nel 2050, ad una Provincia autonoma dal punto di vista energetico.

## 5.4 La Strategia provinciale di Sviluppo Sostenibile (SproSS)

[La Strategia provinciale per lo sviluppo sostenibile \(SproSS\)](#) declina a livello locale gli obiettivi di sostenibilità dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite e della Strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile. La Strategia Provinciale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici si colloca tra gli obiettivi per attuare la SproSS (Sustainable Development Goal 13: “Climate action”).

## Bibliografia

APPA. "Rapporto sullo Stato dell'ambiente 2020". Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente, 2020.

APPA. "Inventario delle emissioni della Provincia Autonoma di Trento – 2019", Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente, 2022.

Brighenti Stefano et al., 2019. After the peak water: the increasing influence of rock glaciers on Alpine river systems. *Hydrological Processes*, 33:2804-2823. <https://doi.org/10.1002/hyp.13533>

Brugnara, Yuri, et al. "High-resolution analysis of daily precipitation trends in the central Alps over the last century." *International Journal of Climatology*, vol. 32, 2012, pp. 1406 – 1422.

Crespi, Alice, et al. "A high-resolution gridded dataset of daily temperature and precipitation records (1980–2018) for Trentino-South Tyrol (north-eastern Italian Alps)." *Earth System Science Data*, vol. 13, no. 6, 2021, pp.2801-2018.

Dallan, Eleonora., et al. "Enhanced Summer Convection Explains Observed Trends in Extreme Subdaily Precipitation in the Eastern Italian Alps." *Geophysical Research Letters*, vol. 49, no. 5, 2022.

Di Piazza, Annalisa, et al. "Analisi di serie giornaliere di temperatura e precipitazione in trentino nel periodo 1958-2010". Provincia autonoma di Trento, 2012.

EURAC Research. "Rapporto sul clima – Alto Adige, 2018", 2018.

Formetta, Giuseppe, et al. "Differential orographic impact on sub-hourly, hourly, and daily extreme precipitation." *Advances in Water Resources*, vol. 159, 2021.

Gampe, David, et al. "Using an ensemble of regional climate models to assess climate change impacts on water scarcity in European river basins." *Science of the Total Environment*, vol. 573, 2016.

Giovannini, Lorenzo, et al. "Analysis of the Urban Thermal Fingerprint of the City of Trento in the Alps." *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 50, no. 5, 2011, pp.1145–1162.

Laiti, Lavinia, et al. "Downscaling di proiezioni climatiche a scala locale per il territorio della Provincia di Trento al 2030. Supporto scientifico alla predisposizione del Piano Energetico Ambientale Provinciale 2021-2030", Università di Trento (DICAM), 2020.

Laiti, Lavinia, et al. "Messa a punto di applicativi condivisi specifici per la spazializzazione e la mappatura delle principali variabili meteo-climatologiche sul territorio del Trentino". Università di Trento (DICAM), 2016.

Lutz, Stefanie R., et al. "Hydroclimatic and water quality trends across three Mediterranean river basins." *Science of The Total Environment*, vol. 571, 2016, pp. 1392-1406.

Majone, Bruno, et al. "Impact of climate change and water use policies on hydropower potential in the south-eastern Alpine region." *Science of the Total Environment*, vol. 543, 2016.

Mallucci, Stefano, et al. "Detection and attribution of hydrological changes in a large Alpine river basin." *Journal of Hydrology*, vol. 575, 2019, pp. 1214-1229.

Marcolini, Giorgia, et al. "Variability in snow depth time series in the Adige catchment." *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 13, 2017.

- Matiu, et al. "Observed snow depth trends in the European Alps: 1971 to 2019". *The Cryosphere*, 15, 1343–1382. DOI: 10.5194/tc-15-1343-2021.
- MIMS. "Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità". Rapporto della "Commissione cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità sostenibili", Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, 2022.
- Pavan, Valentina et al., 2019: High resolution climate precipitation analysis for north-central Italy, 1961–2015. *Clim Dyn* (2019) 52:3435-3453 . DOI 10.1007/s00382-018-4337-6.
- Penna, Daniele et al. "Tracer-based analysis of spatial and temporal variations of water sources in a glacierized catchment. *Hydrol. Earth Sci.*, 18, pp 5271–5288, 2014.
- Provincia Autonoma di Trento. "L'impatto dei cambiamenti climatici sulla produzione idroelettrica in Trentino", Progetto OrientGate - A structured network for integration of climate knowledge into policy and territorial planning, 2014.
- Spano, Donatella, et al. "Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia". DOI: 10.25424/CMCC/ANALISI\_DEL\_RISCHIO, Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, 2020
- Tolotti Monica et al., 2020. Alpine headwaters emerging from glaciers and rock glaciers host different bacterial communities: Ecological implications for the future. *Science of the Total Environment*, 717:137101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137101>
- Trenti, Alberto "Nevicate a Trento (1920-2017)". *Meteotrentino*, Provincia autonoma di Trento, 2018
- Tudoroiu, M., et al. "Negative elevation-dependent warming trend in the Eastern Alps." *Environmental Research Letters*, vol. 11, 2016.
- Zaniboni, Luca et al. "Ricostruzione ed omogeneizzazione della serie di temperature di Trento dal 1816 al 2016", Università di Trento (DICAM), 2016.
- Zolezzi, G., A. Bellin, M. C. Bruno, B. Maiolini, and A. Siviglia (2009), Assessing hydrological alterations at multiple temporal scales: Adige River, Italy, *Water Resour. Res.*, 45, W12421, doi:10.1029/2008WR007266.