

# Il Friuli Venezia Giulia nel cambiamento climatico

**Stato dell'arte a maggio 2026**



#### Informazioni legali

L'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG) e le persone che agiscono per conto dell'Agenzia non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

La presente pubblicazione è stata realizzata da:

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG)

©ARPA FVG

Via Cairoli, 14 -33057 Palmanova (UD)

Tel +39 0432 922 611 -Fax +39 0432 922 626

[www.arpa.fvg.it](http://www.arpa.fvg.it)

[Contenuti rilasciati con licenza Creative Commons. Attribuzione 4.0 Internazionale \(CC BY 4.0\) \(Licenza\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)





IL FRIULI VENEZIA GIULIA NEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Stato dell'arte a maggio 2026

a cura di

ARPA FVG

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia

Andrea Cicogna, Valentina Gallina

## INDICE

<b>Introduzione.....</b>	<b>5</b>
<b>Dati e metodi .....</b>	<b>6</b>
<b>Temperatura .....</b>	<b>7</b>
Medie annue.....	7
Medie stagionali .....	9
Estremi .....	10
<b>Precipitazioni .....</b>	<b>12</b>
Pioggia annua e stagionali .....	12
Periodi secchi .....	15
Estremi di pioggia, indici di instabilità e grandine.....	16
<b>Vento .....</b>	<b>17</b>
<b>Neve e ghiacciai.....</b>	<b>18</b>
Neve.....	18
Andamento della Linea di affidabilità delle nevi e del numero di giorni con neve al suolo .....	18
Ghiacciai .....	19
<b>Mare e costa .....</b>	<b>20</b>
Livello del mare e acque alte .....	20
Temperatura del mare e ondate di calore marine.....	21
Variazioni dell'acidità delle acque marine .....	21
<b>Indici derivati .....</b>	<b>22</b>
Evapotraspirazione, bilancio idroclimatico e altezza delle falde.....	22
Gradi di riscaldamento e raffreddamento.....	23
<b>Indici fitoclimatici (Köppen - Pavari).....</b>	<b>25</b>
L'indice di Köppen.....	25
L'indice di Pavari .....	27
<b>Bibliografia e sitografia.....</b>	<b>30</b>

## Introduzione

Il Friuli Venezia Giulia si trova tra il mare Mediterraneo e l'arco alpino: due hot spot per i cambiamenti climatici. I dati registrati in questa regione confermano un **aumento** più marcato delle **temperature** rispetto al dato medio mondiale e una **diminuzione** delle piogge estive. In pianura rispetto a una **temperatura media annua** di 12.8 °C, che era la norma nel trentennio 1961-1990, negli ultimi anni si sono raggiunti valori decisamente superiori, con il picco di 14.8 °C del 2024. Anche sulla costa, nelle valli e sui monti si riscontrano i medesimi trend con incrementi medi per decennio che variano da 0.40 °C delle località di fondovalle a 0.68 °C per le vette (dati 1995-2024). L'**estate** risulta la stagione con il tasso di incremento maggiore e che mostra un aumento delle giornate in cui la temperatura massima supera la soglia dei 30 °C: il numero dei **giorni caldi** è passato da poco più dei 30 degli anni '90 ai 60 nell'ultimo quinquennio. Simile risulta l'aumento delle **notti tropicali** in cui la temperatura minima supera i 20 °C. I giorni di gelo (in cui la temperatura minima è più bassa di 0 °C), al contrario, stanno diminuendo a tutte le altitudini. Queste **tendenze** si riscontrano anche considerando gli **scenari futuri** di cambiamento climatico, dove l'incremento maggiore si osserva nello scenario ad emissioni crescenti a fine secolo.

Il segnale del cambiamento climatico sulla **pluviometria annua** della nostra regione è meno chiaro, anche per la forte variabilità interannuale di questa grandezza meteorologica. Invece uno dei cambiamenti più evidenti si rileva nella distribuzione stagionale e mensile delle piogge: si rileva una **diminuzione delle piogge estive** con un trend che risulta statisticamente significativo dalle Prealpi alla costa, considerando i dati dal 1961 al 2025. Per il **futuro** questo andamento potrebbe risultare ancora più accentuato specie nello scenario ad emissioni crescenti considerando la fine del secolo.

Un segnale statisticamente così chiaro non emerge invece nell'incremento degli **eventi estremi** in regione. L'analisi dei dati storici evidenzia dei trend significativi di crescita negli indici di instabilità atmosferica, ma non si rileva un incremento statisticamente significativo dei fenomeni meteorologici di forte intensità specie per le piogge. A livello europeo e globale, tuttavia, diversi studi indicano un aumento degli eventi estremi e le proiezioni climatiche suggeriscono che anche a livello regionale tali fenomeni potrebbero intensificarsi in futuro, soprattutto nello scenario a emissioni crescenti. Le simulazioni climatiche specifiche per la regione confermano questa tendenza, mostrando un aumento delle **precipitazioni estreme** (precipitazione totale cumulata al di sopra del 95° percentile del periodo di riferimento), in particolare verso la fine del secolo e nello scenario a più alte emissioni.

Per quanto riguarda la **neve**, già i dati attuali mostrano una diminuzione dei cumulati stagionali e dei giorni di neve, in futuro, visto l'aumento delle temperature si prevede un'ulteriore diminuzione dei giorni con neve nuova, maggiormente accentuato nello scenario a emissioni crescenti.

Considerando il bilancio idroclimatico e il conseguente **deficit evapotraspirativo** già nell'attualità si evidenziano dei trend peggiorativi rispetto al passato. Le proiezioni climatiche mostrano che tali cambiamenti diventeranno via via più significativi nel tempo, in particolare per lo scenario a emissioni crescenti.

Anche considerando gli **indici fitoclimatici** (seguendo la classificazione del Pavari) che mettono in relazione pioggia e temperatura con associazioni vegetali tipiche (cioè gruppi di piante diverse che vivono insieme in specifiche condizioni ambientali e climatiche), in FVG si osserva che considerando il trentennio più recente (1991-2020) la classe più rappresentata è quella del Laetum freddo senza siccità estiva, mentre in futuro, a fine secolo (2071-2100) nello scenario a emissioni crescenti, una porzione importante della regione sarà fitoclimaticamente classificata come Laetum caldo con siccità estiva.

Per quanto riguarda il **mare**, le serie storiche delle temperature medie annue nel Golfo di Trieste (dal 1934 al 2024) mostrano trend di aumento analoghi a quelli registrati per la temperatura dell'aria nelle vicine località di terraferma. Studi internazionali mettono in luce come in tutti gli scenari il livello medio del mare continuerà a salire. Per l'Alto Adriatico ci si attende un aumento medio del livello del mare entro fine secolo intorno ai 40 cm ( $\pm 20$  cm) nello scenario a emissioni contenute e intorno ai 70 cm ( $\pm 30$  cm) nello scenario a emissioni crescenti.

## Dati e metodi

Per i dati storici di **pioggia** e **temperatura** si fa riferimento alla rete meteorologica della Regione Friuli Venezia Giulia.

Per le analisi sulla **neve** sono stati utilizzati i dati derivanti dai rilevamenti AINEVA, affiancati a quelli della rete meteorologica regionale.

Gli **indici di instabilità atmosferica** sono stati elaborati a partire dalle rilevazioni dei radiosondaggi di Rivolto e Udine dal 1992 al 2022 (Aeronautica Militare Italiana).

I **dati del livello del mare** sono raccolti ed elaborati da CNR-ISMAR di Trieste.

I dati relativi alle **proiezioni climatiche** provengono dalla piattaforma CLima per il Nord-Est ([CLiNE](#)) che fornisce proiezioni ad alta risoluzione per il Friuli Venezia Giulia. La piattaforma è stata sviluppata nell'ambito di una collaborazione tra le ARPA del Friuli Venezia Giulia e del Veneto e propone proiezioni climatiche per il territorio del nord-est Italia. Vengono presentati 13 indicatori climatici, calcolati per 3 possibili scenari climatici futuri. Per i diversi scenari vengono presentate proiezioni che sono state rese maggiormente aderenti alle peculiarità del territorio regionale attraverso metodi di bias-correction che tengono conto dei dati effettivamente misurati delle reti meteorologiche regionali.

Gli scenari emissivi utilizzati tengono conto di diversi possibili sviluppi demografici, sociali ed economici responsabili delle emissioni di gas climalteranti (ossia i "gas serra") che sono la causa principale del riscaldamento globale:

- riduzioni immediate delle emissioni di gas climalteranti seguendo l'Accordo di Parigi (RCP2.6);
- crescita nelle emissioni di gas climalteranti (RCP8.5);
- emissioni medie rispetto ai due scenari precedenti (RCP4.5).

In estrema sintesi gli scenari climatici forniscono una rappresentazione di un possibile futuro che riflette specifici comportamenti e determinate azioni che compiamo nel presente.

Nell'analisi delle proiezioni future sono state considerate medie a livello annuale e trentennale dei seguenti periodi:

- **2021-2050** (futuro vicino);
- **2036-2065** (medio futuro);
- **2071-2100** (futuro lontano).

Per le medie trentennali e le anomalie il **periodo storico di riferimento** è il **1976-2005**.

In questo documento per ciascun scenario è stata utilizzata l'ensemble proposta dalla Piattaforma CLiNE come migliore proiezione per il futuro. Nei grafici di proiezione futura è stata inserita anche l'incertezza dell'ensemble calcolata come deviazione standard dell'insieme di modelli considerati (Giorgi, 2005) e fornisce una visualizzazione di quanto i modelli consideranti nell'ensemble siano in accordo tra loro (<https://clima.arpa.veneto.it/info>).

# Temperatura

## Medie annue

La temperatura media annua in Friuli Venezia Giulia, calcolata nel periodo 1991-2020, varia nelle diverse zone della regione, con i valori massimi - attorno ai 15 °C - lungo la fascia costiera, grazie all'azione del mare. Sulla pianura i dati termici medi annui risultano abbastanza omogenei, con valori compresi tra i 13 e i 14 °C; lievi differenze, soprattutto sull'alta pianura, sono dovute sostanzialmente alla pendenza e all'esposizione. Salendo in quota si osserva la consueta diminuzione progressiva della temperatura - circa 0.7 °C ogni 100 m- non sempre omogenea a causa dell'esposizione e dell'orientamento dei versanti; contano molto anche la giacitura e le caratteristiche orografiche delle diverse località (es. valle larga o stretta) e l'altezza delle catene montane circostanti, che favoriscono il ristagno delle masse d'aria più fredde ("inversione termica"). L'appartenenza ai sistemi idrografici di uno specifico mare o ai bacini fluviali incide notevolmente per gli effetti di maggiore o minore continentalità (ARPA FVG, 2023).

Dall'analisi delle serie climatiche emerge, come tendenza più evidente, l'aumento della temperatura. Ad esempio a Udine, in pianura, rispetto a un valore medio di 12.8 °C, che era la norma nel trentennio 1961-1990 (Figura 1), negli ultimi anni si sono raggiunti valori decisamente superiori, con il picco di 14.8 °C del 2024 (ARPA FVG, 2025).

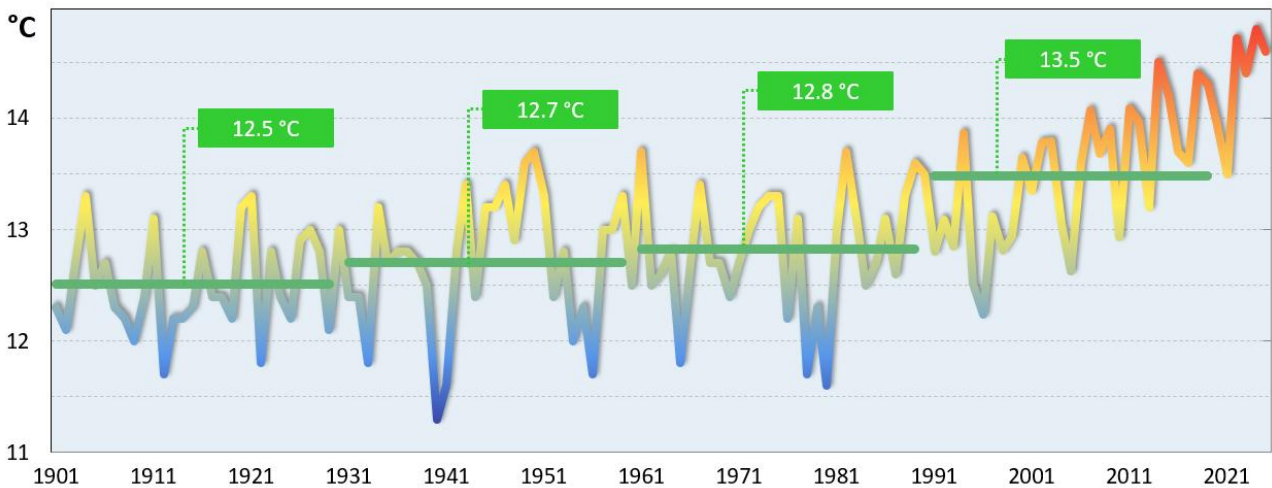


Figura 1 Andamento secolare della temperatura media annuale a Udine. Dati: serieHistAlp 1901-1991, RAFVG 1992-2025. Le linee verdi orizzontali indicano le temperature medie trentennali.

Anche sulla costa, nelle valli e sui monti si riscontrano i medesimi trend positivi con incrementi medi annui che, negli ultimi 30 anni (1995-2025), variano da 0.040 °C/anno delle località di fondovalle a 0.068 °C/anno per le vette (Figura 2).

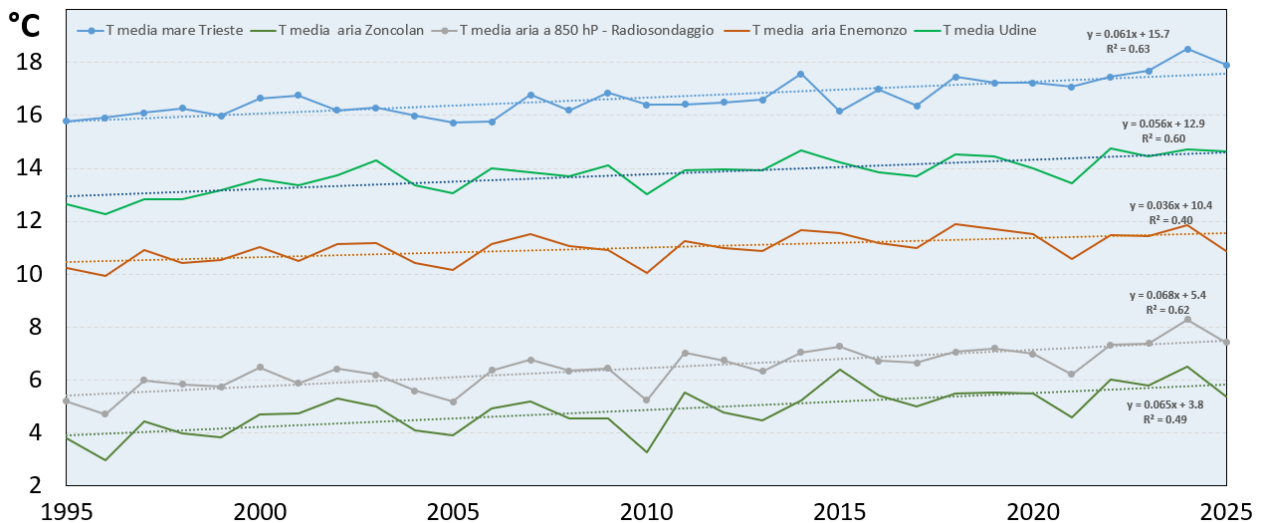


Figura 2. Andamento delle temperature medie annue dal 1995 al 2025 in cinque siti di misura (Trieste, Monte Zoncolan, Radiosondaggio di Rivolto-UD, Enemonzo, Udine). Le linee spezzate riproducono l'andamento termico annuale nelle diverse località. Le linee rette puntinate indicano i rispettivi trend.

Queste analisi condotte su dati raccolti localmente confermano quanto evidenziato dalla letteratura scientifica internazionale: il bacino del Mediterraneo e le Alpi sono “hot spot” del riscaldamento climatico cioè zone dove l’aumento della temperatura risulta più accentuato rispetto alla media mondiale. Infatti, confrontando i dati e gli andamenti a scala globale con quelli registrati in Friuli Venezia Giulia (Figura 3), si osserva che l’andamento locale della temperatura media annua (dati di Udine) ricalca quello registrato a scala globale, ma con un incremento ancora più accentuato. In regione la soglia del 1.5 °C in più rispetto all’epoca preindustriale è già stata superata più volte e nel 2024 questa anomalia termica ha raggiunto i + 2.5 °C (Cicogna, 2024a; ARPA FVG, 2025; Giorgi e Lionello, 2008; Ali *et al.*, 2022; Nigrelli e Chiarle 2023; MedECC, 2020).

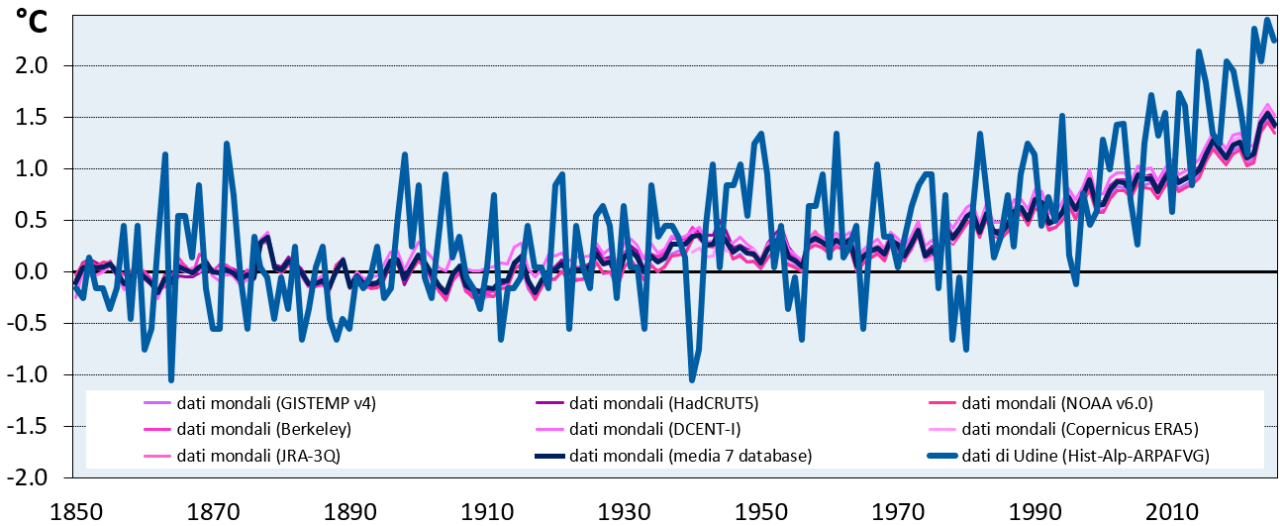


Figura 3. Anomalia della temperatura media annua (1850-2025) rispetto al periodo preindustriale (1850-1900). Confronto della serie di Udine con le serie di 7 database internazionali (fonte <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/t2025>). Sono evidenziati sia i valori dei singoli data base che la loro media.

Per la pianura regionale le proiezioni climatiche mostrano come (Figura 4, Tabella 1), rispetto al dato medio storico (1976-2005), nel panorama emissivo a emissioni fortemente ridotte (RCP2.6) nel caso di futuro vicino si assisterà a un incremento medio pari a +0.9 °C, che anche nel futuro più lontano (2071-2010) si manterrà su livelli simili. Nel futuro vicino anche i panorami emissivi crescenti (RCP4.5 e RCP8.5) delineano incrementi termici simili rispettivamente di 1.1 e 1.3 °C, ma spostandosi verso il futuro medio e lontano diventeranno rispettivamente di 1.8 °C e 2.0 °C per l’RCP4.5 e 3.6 °C e 3.9 °C per l’RCP8.5. L’esame delle proiezioni climatiche evidenzia come anomalie simili si riscontrino su tutta la superficie regionale.

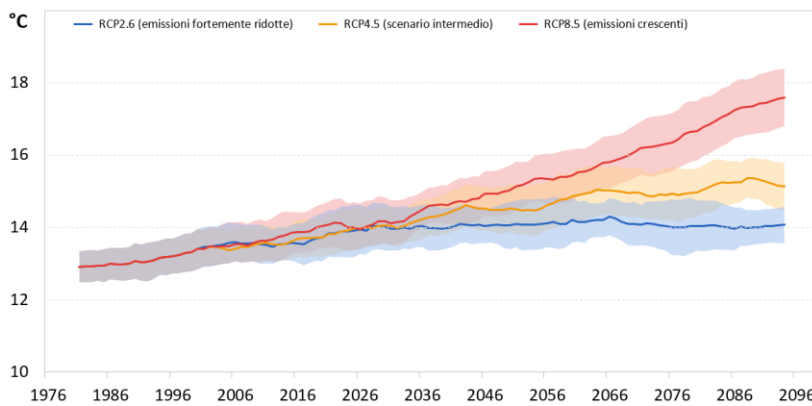


Figura 4 Udine: Andamento della temperatura media annua dal 1976 al 2100 (media undecennale e relativa incertezza dell’ensemble). Dati: Piattaforma Clima Nord-Est (ClINE).

storico	anno		
<b>1976-2005</b>	<b>13.2</b>		
	anomalie (°C)		
<b>trentenni futuri</b>	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
<b>2021-2050</b>	+0.9	+1.1	+1.3
<b>2036-2065</b>	+0.9	+1.8	+3.6
<b>2071-2100</b>	+0.9	+2.0	+3.9

Tabella 1. Udine: Anomalie delle temperature annuali tra dato storico (media 1976-2005) e proiezioni future suddivise per trentennio e panorama emissivo. Dati: Piattaforma Clima Nord-Est (ClINE).

## Medie stagionali

Considerando le temperature medie mensili, in generale, i valori massimi si registrano nei mesi di luglio e agosto mentre i valori minimi tra dicembre e febbraio; mese per mese si osserva una differenza media di circa 11-12 °C tra i valori delle località più calde vicino al mare e quelli dei siti di misura più freddi posti nelle zone montane in quota intorno 1700 m s.l.m. (ARPA FVG, 2023).

Dall'analisi delle serie termiche climatiche emerge come l'aumento della temperatura media in FVG, sia rilevabile in tutte le stagioni anche se è il periodo estivo quello con un trend positivo più accentuato (Figura 5).

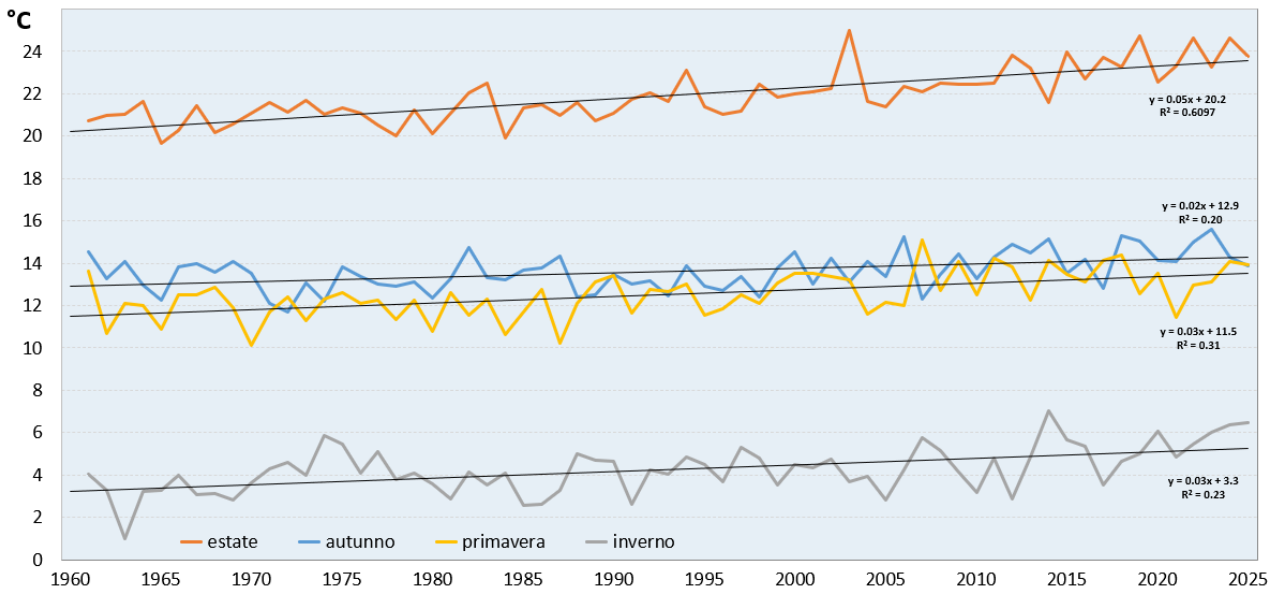


Figura 5. Andamento delle temperature medie stagionali nel periodo 1961-2025 per la pianura del Friuli Venezia Giulia. Le linee interpolanti indicano i trend individuati che risultano tutti statisticamente significativi al test di Mann-Kendall.

Anche le proiezioni climatiche mostrano una maggiore estremizzazione del trimestre estivo (Tabella 2). Nella pianura regionale, l'anomalia termica estiva (rispetto al dato medio storico 1976-2005), nello scenario a emissioni fortemente ridotte (RCP2.6) per il futuro più vicino sarà di +1.2 °C, per il futuro più lontano (2071-2100) di 1.0 °C. Nello scenario a emissioni crescenti (RCP8.5) le anomalie termiche estive nel futuro vicino, medio e lontano saranno rispettivamente di 1.5 °C, 2.2 °C e 4.7 °C. In pianura, nel futuro lontano, nello scenario a emissioni crescenti, l'anomalia termica si attesterà d'inverno intorno ai 3.6 °C, in primavera sui 3.1 °C, in autunno sui 4.2 °C.

storico 1976-2005 (°C)	inverno 3.9			primavera 12.7			estate 22.1			autunno 13.6		
anomalie (°C)		anomalie (°C)		anomalie (°C)		anomalie (°C)		anomalie (°C)		anomalie (°C)		
trentenni futuri	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
<b>2021-2050</b>	+ 0.6	+1.0	+1.2	+ 0.7	+ 1.0	+ 1.0	+ 1.2	+ 1.4	+ 1.5	+ 1.1	+ 1.2	+ 1.5
<b>2036-2065</b>	+ 0.8	+1.3	+1.8	+ 0.9	+ 1.2	+ 1.7	+ 1.0	+ 1.9	+ 2.2	+ 1.1	+ 1.5	+ 2.2
<b>2071-2100</b>	+ 0.9	+1.8	+3.6	+ 0.9	+ 1.7	+ 3.1	+ 1.0	+ 2.2	+ 4.7	+ 1.0	+ 2.1	+ 4.2

Tabella 2. Udine: Anomalie delle temperature medie stagionali tra dato storico (media 1976-2005) e proiezioni future suddivise per trentennio e panorama emissivo. Dati: Piattaforma Clima Nord-Est (CiiNE).

## Estremi

Oltre al fatto che le temperature medie estive stanno aumentando più che nelle altre stagioni, si osserva che stanno aumentando anche il numero delle giornate in cui la temperatura massima supera la soglia dei 30 °C: sulla pianura il numero delle giornate calde è passato da poco più di 30 degli anni '90 ai 60 nell'ultimo quinquennio (Figura 6). Risulta simile anche l'aumento delle notti tropicali in cui la temperatura minima supera i 20 °C (Figura 7). Similmente diminuiscono i giorni di gelo a tutte le altitudini (Figura 8).

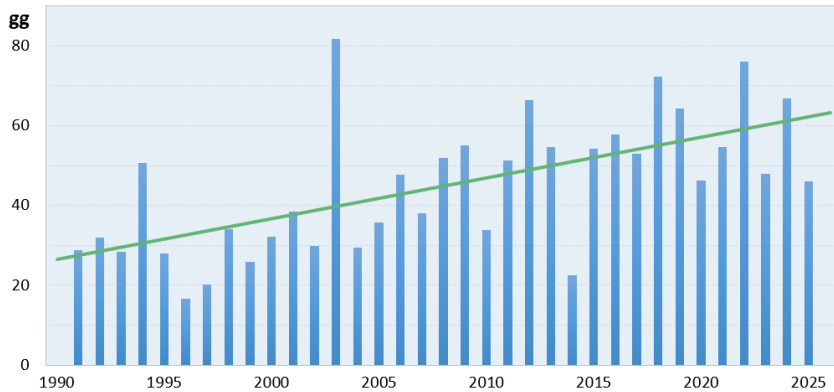


Figura 6. Numero di giorni caldi (giorni in cui la temperatura massima supera i 30 °C) mediato su 14 stazioni rappresentative dell'intera pianura. Gli istogrammi rappresentano il dato annuale. La linea verde che interpola i dati indica il trend (pendenza +1 giorni/anno) che risulta statisticamente significativo al test di Mann-Kendall.

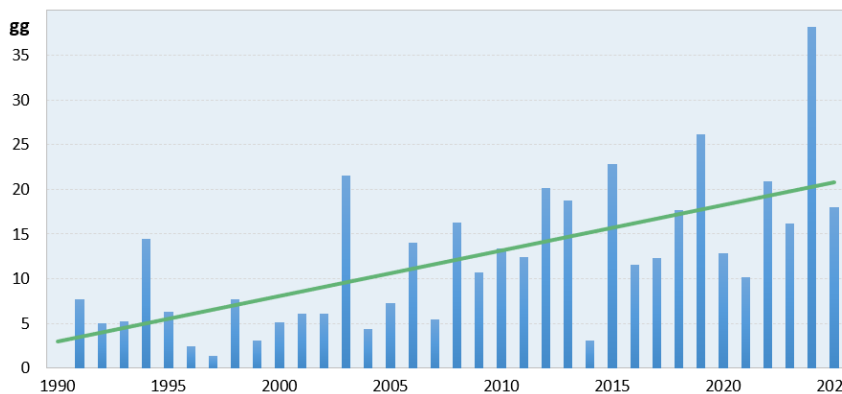


Figura 7. Numero delle notti tropicali (notti in cui la temperatura minima non scende sotto i 20 °C) mediato su 8 stazioni di pianura. Gli istogrammi rappresentano il dato annuale. La linea verde che interpola i dati indica il trend (pendenza +0.5 giorni/anno) che risulta statisticamente significativo al test di Mann-Kendall.

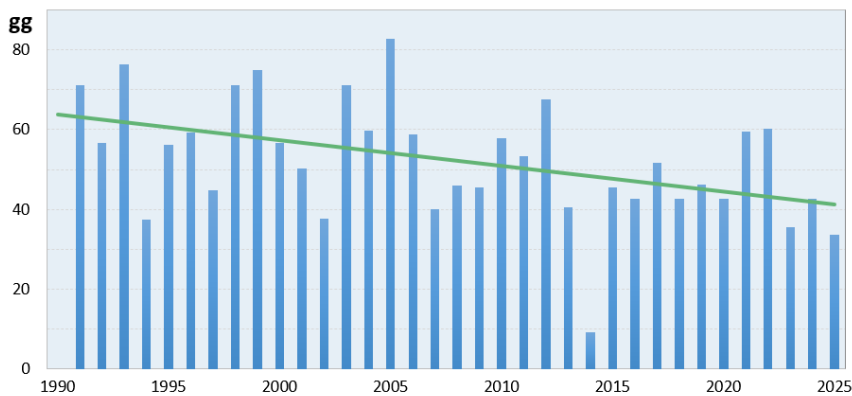


Figura 8. Numero di giorni di gelo (giorni in cui la temperatura minima è più bassa di 0 °C) mediato su 8 stazioni di pianura. Gli istogrammi rappresentano il dato annuale. La linea verde che interpola i dati indica il trend (pendenza -0.6 giorni/anno) che risulta statisticamente significativo al test di Mann-Kendall.

## IL FRIULI VENEZIA GIULIA NEL CAMBIAMENTO CLIMATICO – maggio 2026

Le proiezioni climatiche indicano che questi andamenti saranno maggiormente accentuati in futuro, soprattutto nello scenario a emissioni crescenti (linea rossa): il numero di giorni caldi potrebbe più che triplicare a fine secolo, come anche il numero di notti tropicali che anche in montagna potrebbe diventare la norma d'estate; a tutte le altitudini si osserva la scomparsa dei giorni di gelo (Figura 9). Nello scenario a emissioni fortemente ridotte (linea blu) per i tre indicatori analizzati e per le tre località si osserva come l'andamento anche in futuro sarà simile a quello attuale. (Figura 9).

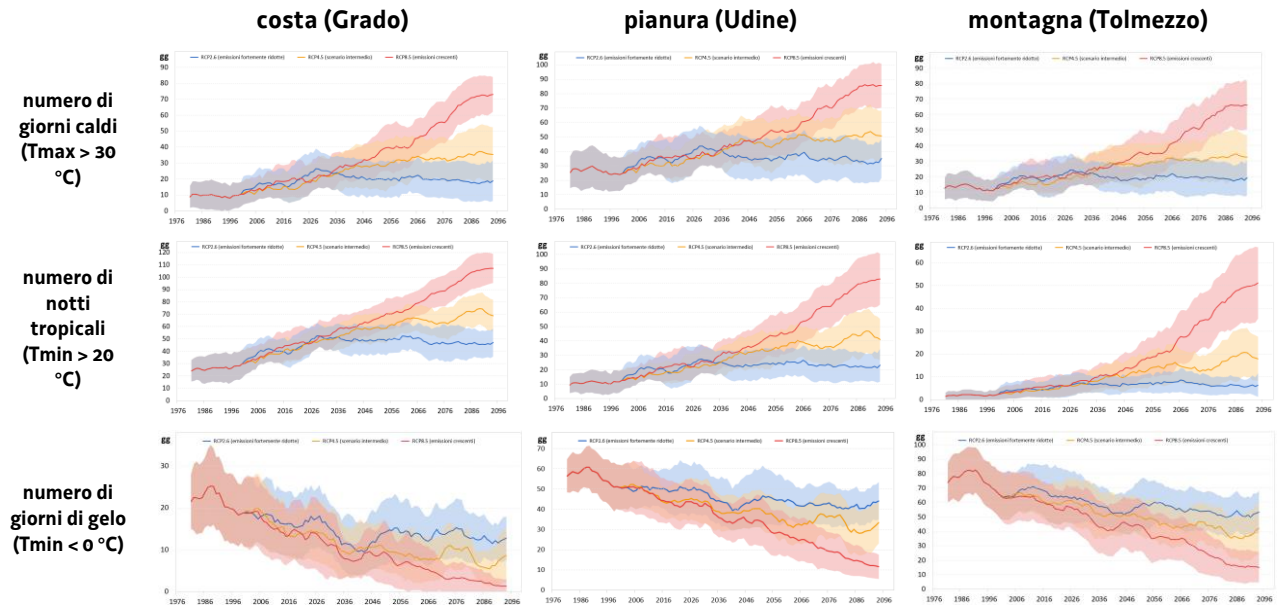


Figura 9. Proiezioni dell'andamento del numero di giorni caldi, delle notti tropicali e dei giorni di gelo dal 1976 al 2100 (media undecennale e relativa incertezza dell'ensemble) per una località rappresentativa della costa (Grado, GO), della pianura (Udine) e dei monti (Tolmezzo). Dati: Piattaforma Clima Nord-Est (CliNE).

## Precipitazioni

### Pioggia annua e stagionali

Per quanto riguarda la pluviometria il Friuli Venezia Giulia può essere, in buona misura, diviso in 4 zone che presentano regimi distinti (Figura 10A). Prendendo a riferimento il trentennio 1991-2020 si trovano i seguenti valori:

1. fascia costiera: è la zona meno piovosa della regione; i totali annui raggiungono mediamente i 900-1.000 mm, con un andamento crescente dalla costa verso l'interno;
2. fascia di pianura e colline: avvicinandosi alle montagne la piovosità aumenta; i valori medi annui variano da 1.100 a 1.800 mm;
3. fascia prealpina: le precipitazioni medie annue si aggirano tra i 2.400 ai 3.400 mm (da primato europeo);
4. fascia alpina interna: a nord delle Prealpi Carniche e Giulie la piovosità media annua torna a decrescere fino a valori di 1.400 – 1.600 mm, molto simili a quelli dell'alta pianura.

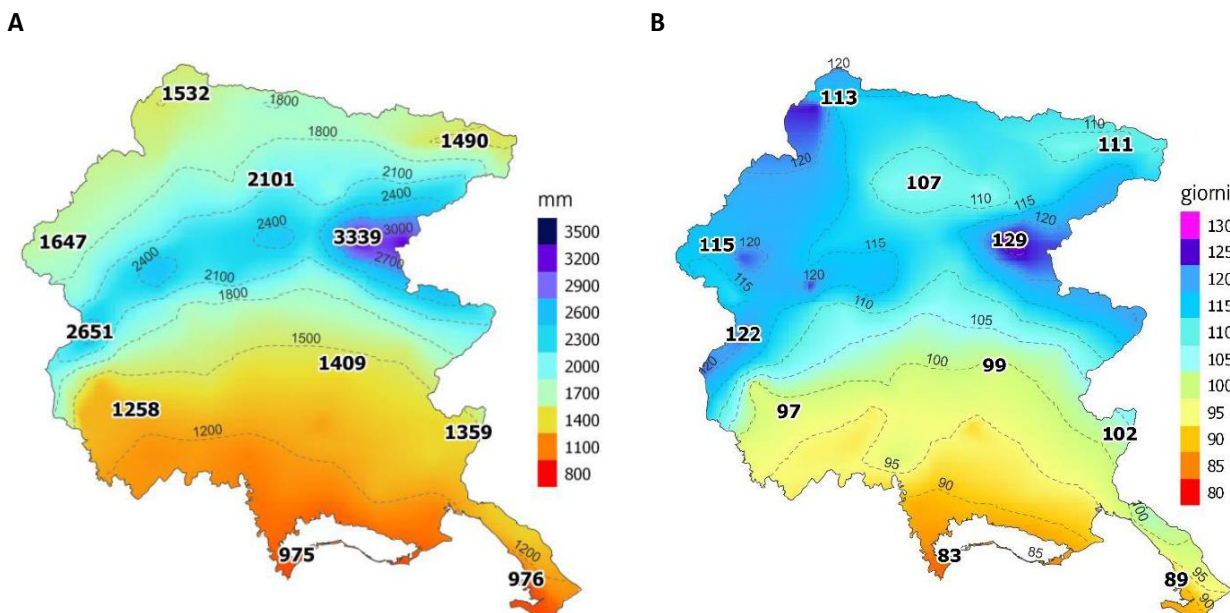


Figura 10. Precipitazioni medie annue (A) e numero medio di giorni piovosi (B). Dati della rete meteorologica regionale 1991-2020. I valori in grassetto indicano i valori delle stazioni della rete meteorologica regionale; le linee tratteggiate rappresentano le isolinee per diversi valori di precipitazioni cumulate (A), e di giorni piovosi (B).

Il numero di giorni piovosi a livello annuale varia dagli 85-90 della fascia costiera ai 120-130 della zona pedemontana e montana (Figura 10B).

Per quanto riguarda la distribuzione delle piogge nell'arco dell'anno, in tutta la regione il mese mediamente meno piovoso è febbraio, con valori che variano dai 60 mm di pioggia sulla costa ai 90 mm in pianura, fino ai 120-140 mm nella zona prealpina (Figura 11). Durante la primavera le piogge man mano aumentano fino a raggiungere a maggio un primo picco (80 mm sulla costa e 280 mm sulle Prealpi Giulie). A luglio le piogge diminuiscono per poi risalire nuovamente a partire dalla terza decade di agosto. La stagione autunnale è decisamente la più piovosa e i dati medi mensili di precipitazione a novembre variano dai 100 mm della costa ai 450 mm di Musi.

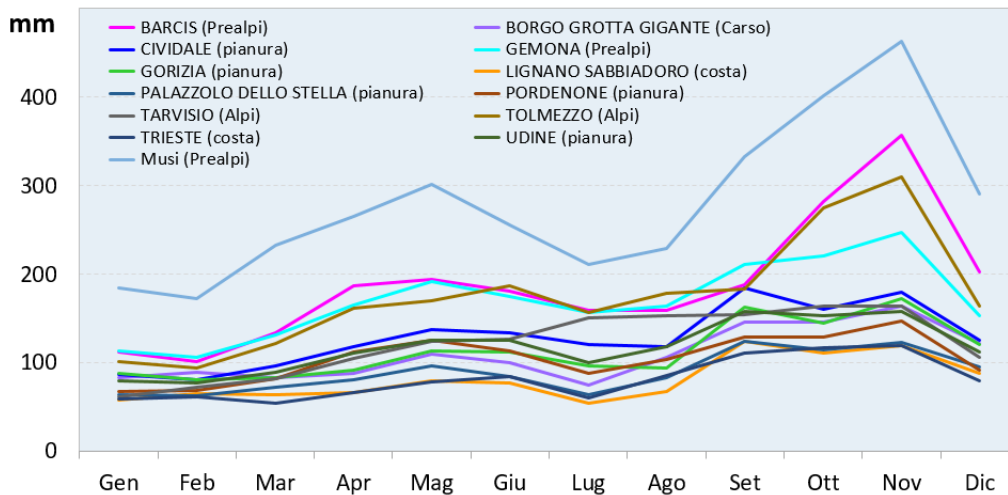


Figura 11. Andamento delle precipitazioni medie mensili (periodo 1991-2020) in diverse località regionali.

L'analisi dei trend pluviometrici annuali sulla nostra regione non mostra segnali positivi o negativi, anche per la forte variabilità interannuale di questa grandezza meteorologica. Il grafico di Udine dal 1901 risulta esemplificativo (Figura 12).

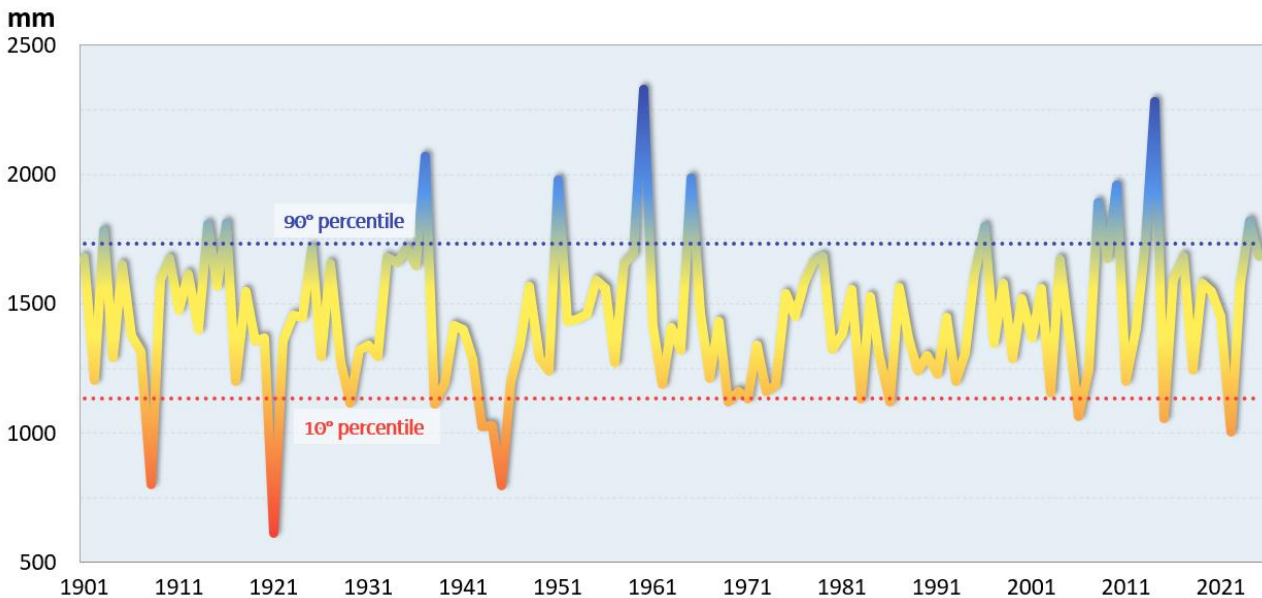


Figura 12. Andamento secolare delle precipitazioni cumulate annuali a Udine. Dati: serieHistAlp 1901-1991, RAFVG 1992-2025. Le linee punteggiate rappresentano il 10° percentile (linea rossa) e il 90° percentile (linea blu).

L'analisi delle precipitazioni stagionali suddivise a livello territoriale mostra come dal 1961 al 2025 le pluviometrie estive (e il numero dei giorni di pioggia estivi) in particolare su pianura e costa e sulle Prealpi stiano diminuendo. Questa analisi, che ha considerato i dati di 71 stazioni (36 su pianura e costa, 17 su Prealpi e 18 su Alpi), vede dei tassi di diminuzione media delle piogge che su pianura e costa e sulle Prealpi è pari a 1.5-1.2 mm/anno (Figura 13 e Figura 15) mentre il tasso di diminuzione del numero medio di giorni estivo è di 0.03-0.06 gg/anno (Figura 15 e Figura 16). In accordo con analisi condotte a livello italiano (progetto ARCIS Archivio Climatologico per l'Italia Centro-Settentrionale; [www.arcis.it](http://www.arcis.it)) si vede come nelle altre stagioni (inverno, primavera, autunno) o sulle zone alpine non si riscontrino dei trend crescenti o decrescenti statisticamente significativi.

**precipitazioni estive**

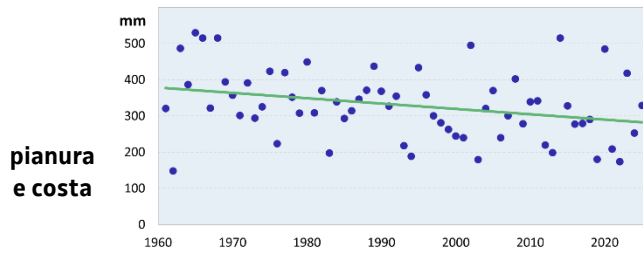


Figura 13. Media delle precipitazioni estive in 36 stazioni rappresentative di pianura e costa (punti blu). La linea verde indica il trend che interpola i dati (pendenza 1.5 mm/anno) statisticamente significativo al test di Mann-Kendall.

**numero di giorni di pioggia estivi**

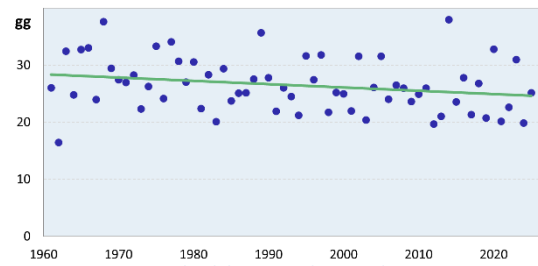


Figura 14. Media del numero di giorni di pioggia estivi in 36 stazioni rappresentative di pianura e costa (punti blu). La linea verde indica il trend che interpola i dati (pendenza 0.06 gg/anno) statisticamente significativo al test di Mann-Kendall.

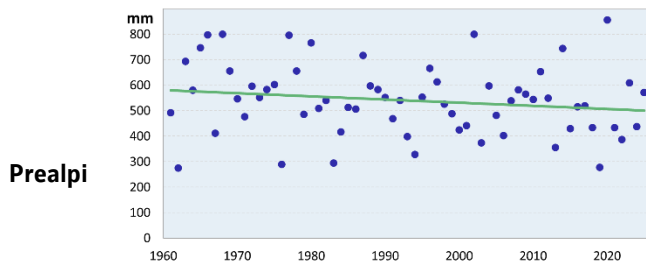


Figura 15. Media delle precipitazioni estive in 17 stazioni rappresentative delle Prealpi. La linea verde indica il trend che interpola i dati (pendenza 1.2 mm/anno) statisticamente significativo al test di Mann-Kendall.

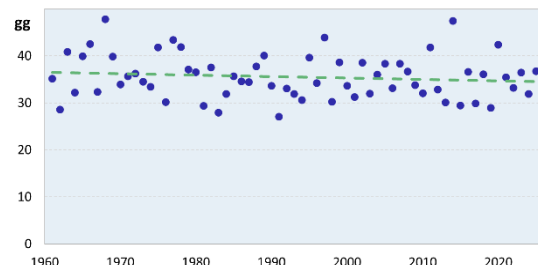


Figura 16. Media del numero di giorni di pioggia estivi in 17 stazioni rappresentative delle Prealpi (punti blu). La linea verde tratteggiata indica il trend che interpola i dati (pendenza 0.03 gg/anno) non statisticamente significativo al test di Mann-Kendall.

L'andamento futuro delle precipitazioni è complesso da delineare, data la marcata variabilità di questi fenomeni sia nel tempo che nello spazio. Utilizzando il panorama emissivo RCP8.5 le proiezioni climatiche prefigurano, per il futuro lontano, nelle diverse zone della regione un aumento delle precipitazioni invernali dal +10 al +20% rispetto al dato medio storico (Figura 17). Molto rilevante è la diminuzione delle piogge estive, stimate nel futuro lontano nel medesimo panorama emissivo, che in alcune zone della regione potrebbero risultare inferiori del 30% (Figura 18). Meno rilevanti risultano le variazioni stimate in positivo o negativo rispetto al periodo storico nelle altre stagioni o per l'intero anno sia nel futuro vicino che in quello medio o in quello lontano, per lo scenario RCP2.6.

Anomalia percentuale delle precipitazioni **invernali**, panorama emissivo RCP8.5

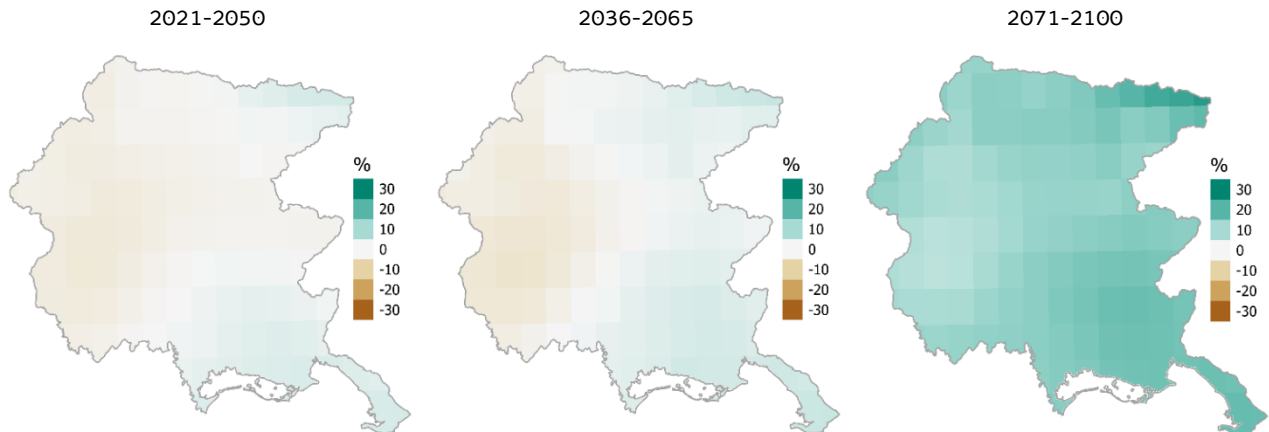


Figura 17. Anomalia percentuale della precipitazione nei mesi invernali (dicembre, gennaio, febbraio) rispetto al periodo storico 1976-2005 per lo scenario RCP8.5 nei diversi trentenni futuri. Dati: Piattaforma Clima Nord-Est (ClINE)

Anomalia percentuale delle precipitazioni **estive**, panorama emissivo RCP8.5

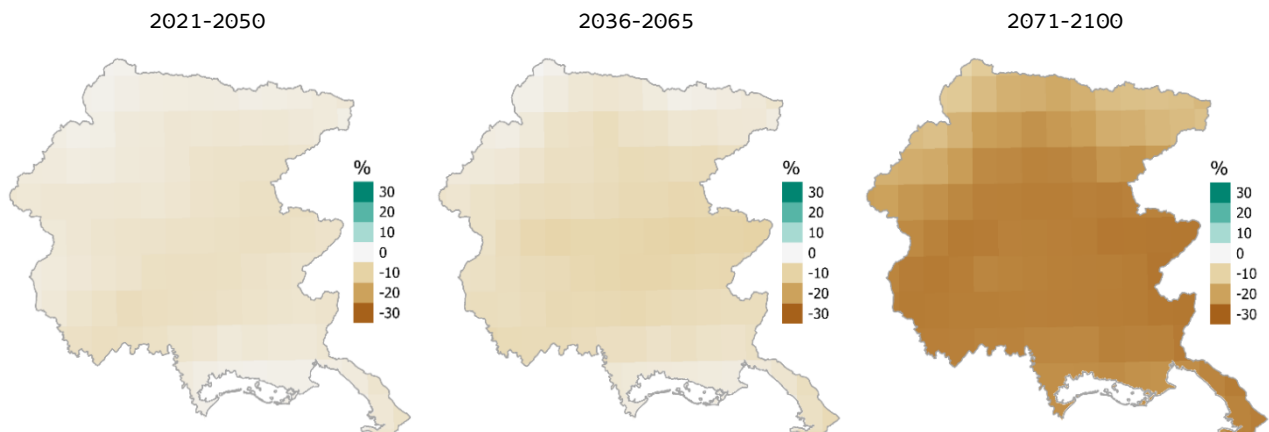


Figura 18. Anomalia percentuale della precipitazione nei mesi estivi (giugno, luglio, agosto) rispetto al periodo storico 1976-2005 per lo scenario RCP8.5 nei diversi trentenni futuri. Dati: Piattaforma Clima Nord-Est (ClINE)

## Periodi secchi

Mediamente l'inverno è la stagione in cui si possono riscontrare i periodi senza pioggia più lunghi in tutta la regione: tra i 20 e i 28 giorni. Nel corso dell'estate il numero di giorni senza pioggia aumenta scendendo dalle montagne verso il mare: dagli 8-10 giorni senza pioggia in montagna si passa ai 12-16 giorni in pianura, fino ad arrivare a sfiorare i 20 giorni sulla costa. L'andamento in primavera e autunno è piuttosto simile in tutta la regione, con una media di giorni consecutivi senza pioggia che varia tra i 14 e i 18.

L'analisi dei trend 1961-2025 esteso a 71 stazioni regionali (36 su pianura e costa, 17 su Prealpi e 18 su Alpi), non evidenzia una modifica sostanziale nel numero di giorni massimi senza pioggia.

Le proiezioni climatiche nel panorama emissivo RCP8.5 mostrano come la lunghezza del periodo massimo di giorni secchi nel periodo estivo nel futuro lontano potrebbe essere più lunga di circa 10 giorni rispetto al periodo storico 1976-2005. Nello scenario emissivo RCP2.6 non si osserva un allungamento rilevante del periodo secco rispetto al dato attuale.

## Estremi di pioggia, indici di instabilità e grandine

La climatologia regionale mostra come, per quanto riguarda i fenomeni di pioggia intensa a livello giornaliero, mediamente ogni 20 anni ci si possa aspettare eventi con piovosità massima di 100-200 mm su costa e pianura e intorno ai 300-400 mm sulla zona prealpina, dove localmente si possono registrare precipitazioni giornaliere di oltre 500 mm.

L'analisi dei trend 1961-2025 esteso a 71 stazioni regionali (36 su pianura e costa, 17 su Prealpi e 18 su Alpi), non evidenzia una modifica sostanziale dell'intensità delle piogge giornaliere.

In particolare per il periodo estivo si trova conferma in diversi lavori nazionali, internazionali (Isotta *et al.*, 2024; Mazzoglio *et al.*, 2025) e da un lavoro di approfondimento eseguito a livello locale (Manzato *et al.*, 2025). In quest'ultimo studio sono stati confrontati:

- indici di instabilità atmosferica da aprile a settembre, desunti dall'analisi dei radiosondaggi di Udine e Rivolto dal 1992 al 2022;
- le pluviometrie cumulate in 6, 12 e 24 ore su 104 stazioni rappresentative del FVG dal 2002 al 2022;
- la distribuzione dei fulmini;
- la misura dei chicchi di grandine.

La maggior parte degli indici desunti dai radiosondaggi esaminati, in particolare quelli legati al contenuto d'acqua e all'instabilità potenziale, sono caratterizzati da un evidente trend in aumento che dovrebbe potenzialmente favorire la formazione e l'intensificarsi dei temporali. Tuttavia l'esame dell'intensità delle piogge, del numero dei fulmini e del numero delle grandinate non evidenziano tendenze statisticamente significative. Interessante eccezione è il trend statisticamente significativo dell'aumento della mediana dei diametri dei chicchi di grandine.

Nelle analisi effettuate sulle proiezioni climatiche per la regione (Gallina e Giorgi, 2018) nel panorama emissivo RCP8.5 si riscontra un possibile aumento dell'intensità nelle precipitazioni massime giornaliere nel trentennio 2071-2100 soprattutto per i tempi di ritorno di 100 e, ancor più, 300 anni. Le aree con le precipitazioni più elevate risultano essere quelle di Piancavallo e del Gemonese.

Anche gli studi più recenti basati su modelli climatici ad alta risoluzione convection-permitting (CPM) indicano che, soprattutto nel futuro più lontano e nello scenario RCP8.5, i livelli di precipitazione estrema tenderanno ad aumentare. In particolare, Dallan *et al.* (2024) mostrano che l'incremento delle intensità estreme è più pronunciato alle durate brevi (1, 3 e 6 ore), mentre risulta più contenuto per la durata di 24 ore. Gli autori evidenziano inoltre che l'aumento è maggiore per gli eventi più rari: i livelli associati a un tempo di ritorno di 100 anni presentano incrementi significativamente superiori rispetto a quelli relativi a 20 anni.

## Vento

Il regime dei venti al suolo su tutto il territorio regionale è determinato dalla conformazione del territorio. La catena alpina che dalle Alpi Carniche prosegue verso est con le Alpi Giulie, degradando poi verso sud est con i rilievi del Carso, rende predominanti sulla pianura e lungo la costa i venti provenienti dai quadranti orientali.

Ogni sito montano possiede le proprie caratteristiche di circolazione dell'aria, le quali possono differire talvolta sostanzialmente da quelle di zone geograficamente molto vicine: esso infatti è fortemente condizionato dall'orografia, dalla morfologia del territorio, dalla posizione nel contesto del sistema delle catene montuose e dall'esposizione all'irraggiamento solare per quanto riguarda l'insorgere delle brezze. A fondovalle la velocità del vento varia molto sul territorio ed è comunque mediamente più bassa rispetto a quella misurata nelle stazioni di vetta. In quota, infatti, prevalgono i venti sinottici della libera atmosfera, anche in condizioni di scarsa ventilazione.

Sulla pianura friulana le brezze si sviluppano dai quadranti meridionali nelle ore diurne, da quelli settentrionali invece nelle ore notturne; sulla Pedemontana e sull'alta pianura le direzioni sono determinate anche dallo sbocco della principale valle limitrofa, questo effetto si osserva particolarmente allo sbocco della Valle del Tagliamento nei pressi di Gemona del Friuli. Nelle zone centrali della pianura, il regime di brezza assume valori medi compresi tra 5 e 10 km/h. Le brezze lungo la costa risentono specificatamente dell'orientamento rispetto al mare Adriatico: variano da una provenienza da sud tipica di Lignano Sabbiadoro, da sud-ovest a Grado, da ovest-nordovest a Trieste durante il giorno e generalmente tra nord, nord-est ed est durante la notte. Lungo la zona costiera e allo sbocco delle principali valli sulla pianura (Tagliamento, Natisone e Cellina), si registrano valori medi di intensità del vento più elevati rispetto a quelli in pianura e sono in genere compresi tra 10 e 15 km/h. Tali intensità medie, tuttavia, rappresentano solo un'estrema sintesi del fenomeno, in quanto le brezze seguono un ciclo giornaliero e stagionale, che alterna periodi più calmi a periodi con intensità un po' più elevata, la quale può raggiungere valori compresi tra 20 e 30 km/h specie lungo la costa e allo sbocco della valle del Tagliamento (in questo ultimo caso in particolare con le brezze di monte notturne e di primo mattino). I venti sinottici talvolta possono sovrapporsi al regime delle brezze, determinando il fenomeno delle "brezze ampliate", specie sulla zona montana e sulla costa.

I venti sinottici, più presenti nel periodo autunnale e invernale, hanno valori medi superiori rispetto a quelli delle brezze: i principali si possono inquadrare, in base ai quadranti di provenienza, con i nomi "storici" di Tramontana, Grecale, Bora (vento sinottico predominante per la costa), Levante, Scirocco, Ostro, Libeccio, Ponente, Maestrale. Tali venti possono venire incanalati e quindi accelerati, oppure anche rallentati, in funzione della conformazione orografica locale.

In pianura valori medi compresi tra 10 e 20 km/h possono considerarsi descrittivi della circolazione sinottica, tenendo presente però che le irruzioni di vento nordorientali sovente si manifestano con intensità medie orarie attorno ai 40 km/h per alcune ore. Per la costa, la Bora è il vento sinottico predominante. Questo vento ha un caratteristico comportamento a raffiche, quindi una descrizione media del fenomeno sarebbe riduttiva. Episodi di Bora con intensità del vento medio orario superiore a 35 km/h per oltre 5 ore consecutive non sono per niente rari; spesso le raffiche superano i 100 km/h e sono stati registrati valori superiori ai 150 km/h negli ultimi 30 anni a Trieste.

I dati attuali non consentono di osservare un trend in aumento o in diminuzione, né del vento medio, né degli estremi.

Anche in futuro non è semplice ipotizzare delle variazioni significative nel regime dei venti. Un tentativo è stato fatto nel progetto Interreg AdriaClim che ha valutato possibili trend nei giorni con Bora e Scirocco.

Per quanto riguarda la [Bora](#) si osserva un aumento significativo solo d'estate e nello scenario RCP8.5: 3 giorni in più ogni venti anni con Bora superiore ai 5 m/s (18 km/h); 1 giorno ogni venti anni per la Bora superiore ai 10 m/s (36 km/h). Per lo scenario a emissioni fortemente ridotte (RCP2.6) non si evidenziamo trend significativi nel numero di giorni di Bora.

I giorni di Scirocco in generale tenderanno a diminuire soprattutto in estate.

## Neve e ghiacciai

### Neve

Metà del territorio regionale è montuoso e fa parte delle Alpi Orientali con rilievi possono arrivare fino a quasi 2800 m di altitudine. Ovviamente in tali zone la presenza di neve è frequente soprattutto nei mesi più freddi dell'anno, quando le temperature rimangono attorno o sotto 0 °C. Sulla pianura la presenza di neve invece è solo sporadica.

Le nevicate più intense della zona montana si verificano solitamente sulle Alpi Giulie e sulle Prealpi Carniche:

- sulle Alpi Giulie possono cadere fino a 120 cm di neve in 24 ore sopra i 1800 m slm;
- sulle Prealpi Carniche possono cadere fino a 100 cm in 24 ore sopra i 1200 m slm.

In funzione della località, della quota e dell'esposizione il numero di giorni nevosi, dei giorni con copertura di neve al suolo e con copertura di neve maggiore o uguale a 30 cm varia come riportato in Tabella 3.

stazione	giorni nevosi	giorni con copertura nevosa	giorni con copertura nevosa $\geq 30$ cm
<b>Fusine</b> (m. slm 850)	24	102	24
<b>Forni di Sopra</b> (m. slm 910)	19	84	35
<b>Piancavallo</b> (m. slm 1280)	25	115	72
<b>Monte Zoncolan</b> (m. slm 1750)	25	132	103
<b>Rifugio Gilberti</b> (m. slm 1850)	40	149	140

Tabella 3 Dati medi per singola stazione 1991-2020 (AINEVA). I giorni nevosi fanno riferimento al numero medio di giorni in cui è stata rilevata neve fresca. I giorni con copertura di neve si riferiscono al numero medio di giorni in cui c'è accumulo di neve al suolo. I giorni con copertura di neve  $\geq 30$  cm identificano il numero medio di giorni in cui l'accumulo di neve al suolo è stato  $\geq 30$  cm.

### Andamento della Linea di affidabilità delle nevi e del numero di giorni con neve al suolo

La Linea di Affidabilità della Neve (LAN) è l'altitudine media oltre la quale le precipitazioni nevose e la temperatura garantiscono almeno 100 giorni all'anno con uno spessore di almeno 30 cm di neve. Un comprensorio sciistico è considerato "affidabile" quando più del 50% del suo territorio si trova ad una quota superiore alla LAN. Questa quota può variare nel tempo e a seconda delle caratteristiche climatiche delle specifiche aree geografiche: considerando in generale le Alpi italiane, nel periodo 1961-1990 tale limite si attestava intorno ai 1500 metri di altitudine. In uno studio della Sezione ambiente del Club Alpino Italiano (CAI, 2022) i comprensori sciistici sono stati classificati in base alla LAN e per il Friuli Venezia Giulia si riporta: "solo un comprensorio sciistico può essere attualmente classificato affidabile, ma già l'aumento di 1 °C, che innalzerebbe la LAN a 1.650 m s.l.m., farebbe uscire dall'affidabilità quell'unico comprensorio".

Una stima della quota della LAN per il decennio 2008-2018 in FVG è stata effettuata utilizzando i dati di 35 stazioni della rete meteorologica regionale dotate di misuratore automatico dell'altezza della neve. In particolare sono stati analizzati il numero di giorni medi con neve al suolo superiore a 30 cm in 10 stagioni invernali (da inizio dicembre a tutto il mese di aprile). I dati nel loro insieme indicano, con buona approssimazione, che la LAN in regione si attesta nel decennio 2008-2018 ad una quota superiore ai 1600 m slm, con un innalzamento pari o superiore ai 100 m rispetto ai decenni precedenti.

L'andamento negativo del trend di innevamento sulle montagne del Friuli Venezia Giulia di questi ultimi decenni emerge analizzando le serie di dati relativi al numero di giorni con neve al suolo o relativi allo spessore del manto nevoso.

Nella Figura 19 sono riportati i dati per il campo neve di Forni Sopra, che è posta a 910 m slm. Come si nota dalla figura la variabilità interannuale è certamente elevata (retta interpolante con  $r^2 = 0.1$ ), ma il trend negativo individuato, che indica una diminuzione di giorni con neve a terra pari a 8 per decennio, risulta essere statisticamente significativo (test Mann-Kendall). Similmente nella Figura 20 sono riportati il numero di giorni con strato di neve maggiore di 10 cm per ogni stagione invernale (da inizio dicembre a fine aprile). Anche in questo caso la variabilità è elevata ma di nuovo i trend negativi individuati, che indicano rispettivamente una diminuzione pari a 10 giorni per decennio, risultano essere statisticamente significativi.

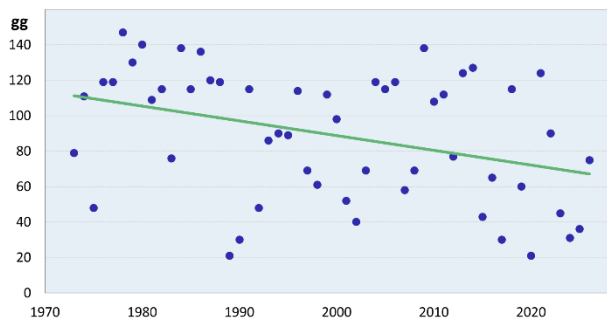


Figura 19. Forni di Sopra, numero di giorni per stagione invernale (dicembre-aprile) con neve al suolo. Dati: 1972-2026.

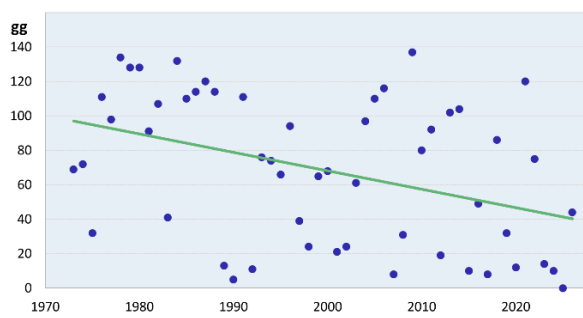


Figura 20. Forni di Sopra, numero di giorni per stagione invernale (dicembre-aprile) con strato di neve al suolo > di 10 cm. Dati 1972-2026.

In un vasto lavoro di review del 2017 (Beniston *et al.*), che ha visto la partecipazione di quasi 30 autori afferenti a 19 istituti di ricerca europei, si afferma che la maggior parte degli studi mostra tendenze negative nell'altezza e nella durata della neve negli ultimi decenni e le tendenze negative sono ben documentate nelle Alpi grazie all'abbondanza di osservazioni a lungo termine.

In un ampio lavoro di analisi effettuato nel 2020 (Matiu *et al.*) su misurazioni di oltre 2000 stazioni alpine, che ha visto la partecipazione di quasi 35 autori afferenti a 20 istituti di ricerca ed enti, tra cui anche ARPA FVG, si mette in luce una chiara tendenza nella diminuzione dello strato di neve al suolo dal 1971 al 2019, particolarmente evidente nel settore sudorientale delle Alpi.

Le proiezioni climatiche per la località di Forni di Sopra mostrano la riduzione nel tempo del numero di giorni con neve (neve nuova) dal periodo storico di riferimento a fine secolo. Tale andamento è accentuato ulteriormente considerando il panorama emissivo RCP8.5 (Figura 21).

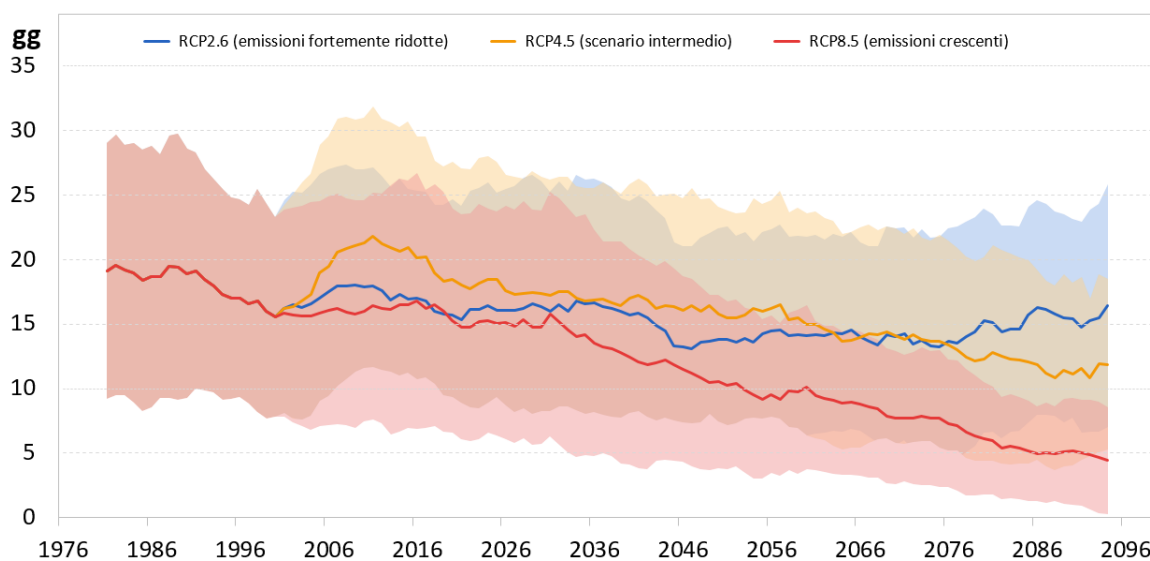


Figura 21. Proiezioni per Forni di Sopra dell'andamento del numero di giorni con neve nuova (numero di giorni con temperatura media inferiore a 2 °C e precipitazione giornaliera superiore a 1 mm) - media undecennale - da Piattaforma CLima Nord-Est (CLiNE).

## Ghiacciai

La riduzione dei ghiacciai dovuta al cambiamento climatico in Friuli Venezia Giulia è evidente. Colucci *et al.* (2023) riportano: "Le evidenze geomorfologiche hanno permesso di ricostruire le aree ed i volumi dei ghiacciai al loro picco di estensione olocenica, e di calcolare quindi poi nel dettaglio di quanto essi si siano ridotti in un arco temporale complessivo di circa 150 anni. Va però sottolineato come una gran parte di questa riduzione si sia verificata in una rapida fase iniziata dalla metà degli anni '80 del '900. In questa recente fase climatica di repentino cambiamento, indotta dal riscaldamento globale di origine antropica, si è avuta la scomparsa di circa il 60-70% di tutto quello che era rimasto dall'ultima espansione olocenica della PEG (Piccola Era Glaciale). Complessivamente, oggi rimangono circa solo il 17% dell'estensione areale ed il 4% del volume dei corpi glaciali delle Alpi Giulie."

## Mare e costa

### Livello del mare e acque alte

La stazione mareografica di Trieste Molo Sartorio, attiva da oltre 150 anni, conferma che l'innalzamento del livello medio del Mare Adriatico segue quello globale sulle scale temporali pluridecennali e secolari (Figura 22). Su questo si sovrappongono fluttuazioni su periodi più brevi, direttamente legate alla circolazione atmosferica e marina del nord Atlantico e del Mediterraneo. Ricordiamo che durante il ventesimo secolo il livello medio globale è aumentato alla velocità di 1.5-2.0 mm/anno, ma durante gli ultimi 30 anni l'aumento ha raggiunto circa 3 mm/anno. Una delle conseguenze rilevanti per il litorale della nostra regione è, in media, la crescente frequenza di eventi di "acqua alta". Tali fenomeni si verificano in corrispondenza di bassa pressione atmosferica e correnti di Scirocco lungo l'Adriatico, tipicamente in autunno e inverno.

Questi eventi estremi provocano allagamenti e incrementano l'erosione costiera, anche a causa del forte moto ondoso che spesso li accompagna. Con l'aumentare del livello medio del mare crescono i rischi di inondazione ed erosione costiera, lo scarico fluviale in mare è ostacolato, si innalza la tavola d'acqua e l'acqua marina, salata, penetra più facilmente nel sottosuolo costiero (Raicich, 2023, 2024).

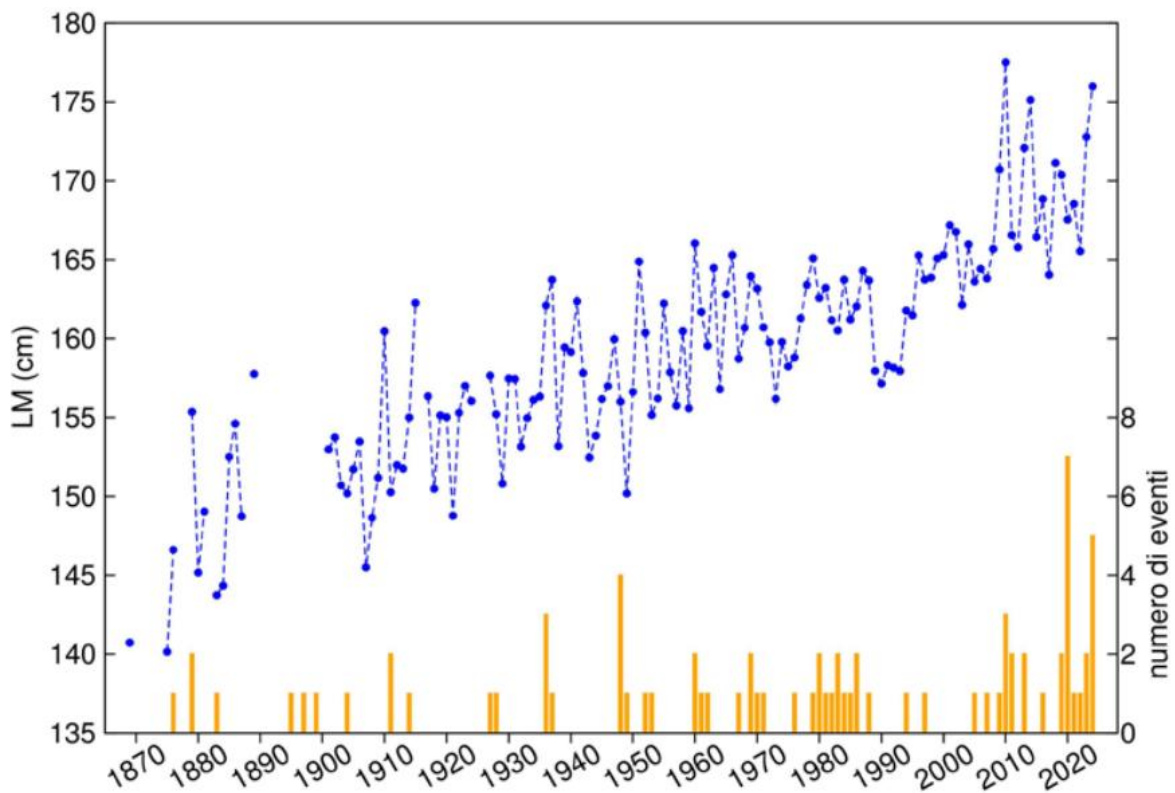


Figura 22. Livello medio (LM) annuale dal 1869 al 2024 osservato a Trieste Molo Sartorio; l'altezza è misurata rispetto alla zero mareografico. Numero annuo di eventi di superamento del piano del molo Sartorio (istogramma arancione). (Dati: CNR-ISMAR).

Secondo le più aggiornate proiezioni climatiche globali (IPCC, 2021) il livello del mare continuerà ad aumentare su scale plurisecolari, in modo irreversibile e progressivo, ma in diversa misura a seconda degli scenari relativi alle emissioni di gas climalteranti. Il rapporto tra l'aumento del livello del mare globale e quello nel Mediterraneo è complesso e oggetto di diversi studi ma studi internazionali indicano come per l'Alto Adriatico a fine secolo ci si attende un aumento medio del livello del mare intorno ai 40 cm ( $\pm 20$  cm) nello scenario a emissioni fortemente ridotte e intorno ai 70 cm ( $\pm 30$  cm) nello scenario emissioni crescenti (Flapp, 2023).

Alcuni effetti a livello locale dell'innalzamento dell'Adriatico sono messi in luce da Fontolan *et al.* (2023) che hanno analizzato scenari di inondazione costiera per l'isola di Grado nell'attualità e nel futuro. Gli autori evidenziano come, pur considerando una proiezione futura di innalzamento del livello del mare all'anno 2100 ottimistica (+40 cm RCP2.6), un evento di acqua alta con tempi di ritorno di 30 anni (innalzamento del livello del mare pari a 128 mm sul livello medio), a fine secolo provocherebbe danni ben più rilevanti rispetto ad oggi. Infatti, la mareggiata sommergerebbe gran parte della cittadina.

## Temperatura del mare e ondate di calore marine

In regione, similmente alla temperatura dell'aria, anche quella del mare presenta un trend in crescita (Cicogna, 2024a). Le misurazioni secolari (anche se discontinue) di temperatura del mare a Trieste evidenziano come il riscaldamento in atto sia particolarmente evidente nell'ultimo ventennio (Figura 23). Infatti, mentre dal 1899 al 1999 la temperatura è aumentata complessivamente di 0.8 °C, e di 0.08 °C per decennio, dal 2000 l'aumento complessivo è stato di quasi 1.3 °C, corrispondente a 0.55 °C per decennio (Raichich, 2024).

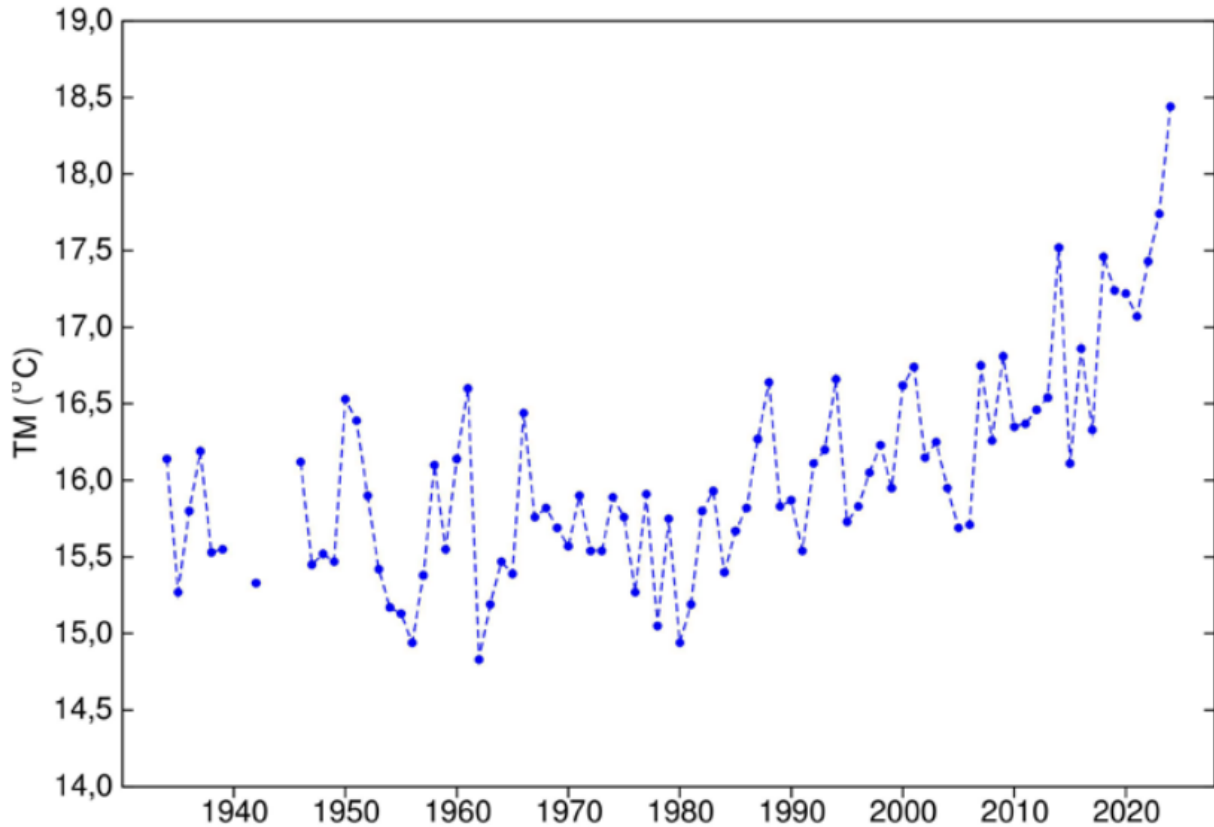


Figura 23. Temperatura media annuale (TM) annuale dal 1934 al 2024 osservato a Trieste a 2 m di profondità. (Dati: CNR-ISMAR).

Nell'alto Adriatico sono in aumento anche le ondate di calore marine, intese come un periodo (per esempio 5 giorni) in cui la temperatura dell'acqua supera ininterrottamente la temperatura tipica del periodo (Solidoro, 2023).

## Variazioni dell'acidità delle acque marine

L'acidificazione marina è una conseguenza diretta dell'aumento di anidride carbonica in aria: quando la CO<sub>2</sub> si scioglie in acqua avvengono una serie di reazioni chimiche che portano alla formazione di acido carbonico ed un aumento dell'acidità, che si misura come diminuzione del pH. Questo processo, ben compreso da un punto di vista fisico e chimico, è un fatto certo, assolutamente prevedibile e che stiamo già osservando in tutti i mari del mondo. L'acidificazione marina è osservabile anche nei mari italiani e nel Nord Adriatico, con intensità paragonabile a quella degli altri mari (circa 0.03 unità di pH/decade) ed anche nelle acque del Friuli Venezia Giulia, le simulazioni climatiche restituiscono proiezioni con ulteriori variazioni: di 0.25 unità a fine secolo, se le emissioni di CO<sub>2</sub> continueranno con la attuale intensità, di 0.08 unità con scenari di emissioni più conservativi (Solidoro, 2023).

## Indici derivati

### Evapotraspirazione, bilancio idroclimatico e altezza delle falde

Il bilancio idroclimatico è definito come la differenza tra piogge ed evapotraspirazione di riferimento (ET<sub>0</sub>, cioè la quantità di acqua che evapora dal suolo e viene traspirata da una coltura standard di riferimento).

In prima approssimazione si può affermare che se questo bilancio è positivo le piogge riescono a soddisfare le esigenze idriche della coltura di riferimento (prato), in caso contrario la coltura, nel corso dell'estate, andrà in contro a una situazione di stress. Questo approccio semplificato non tiene conto dell'eventuale riserva idrica contenuta nel terreno a inizio estate o delle perdite idriche per ruscellamento e percolazione dal terreno, ciononostante è molto utile per inquadrare il problema della disponibilità idrica. È interessante osservare che se negli anni '60 del secolo scorso il bilancio idroclimatico a Udine era positivo, questo sia invece diventato ora sempre più negativo con l'aumento nei decenni dell'evaporazione e la contemporanea diminuzione delle piogge estive.

Infatti nella media pianura friulana negli ultimi 60 anni l'evapotraspirazione di riferimento (ET<sub>0</sub>) media estiva è variata dai 440 mm (cioè 440 litri al metro quadrato) degli anni '60 del secolo scorso ai quasi 500 mm del secondo decennio del nuovo millennio.

Per quanto riguarda le piogge medie estive, negli anni '60 a Udine erano quasi di 500 mm, superiori quindi alla evapotraspirazione, ma a partire dagli anni '70 si è assistito a una generale diminuzione delle piogge estive fino ad attestarsi poco sopra ai 340 mm nel decennio 2011-2020.

In futuro, in funzione degli scenari emissivi, il bilancio idroclimatico potrà raggiungere valori sempre più critici. A fine secolo con lo scenario a emissioni ridotte (RCP2.6) la situazione sarà simile a quella attuale, mentre nello scenario a emissioni crescenti (RCP8.5) il bilancio idroclimatico presenterà dei livelli molto più negativi di oggi (Figura 24). In quest'ultima ipotesi saranno molto più comuni situazioni come quelle del 2022 dove, a Udine, a fronte di una pioggia estiva di 160 mm, l'evapotraspirazione di riferimento ha raggiunto i 500 mm con un conseguente deficit idroclimatico di 340 mm (Cicogna, 2024b).

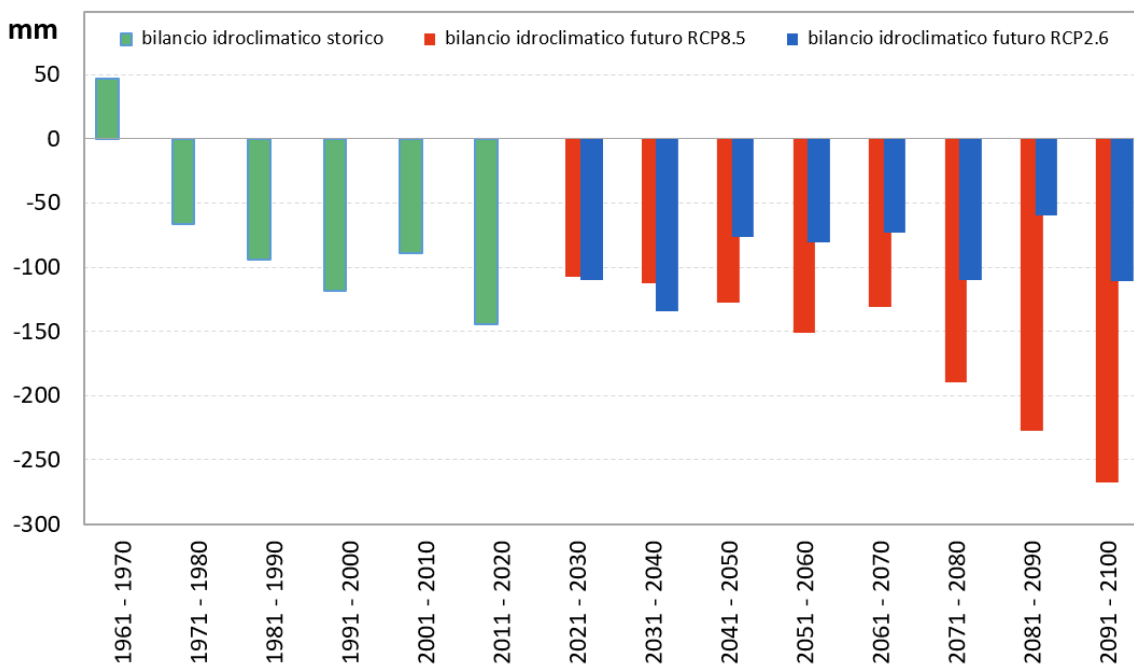


Figura 24 Bilancio idroclimatico estivo (pioggia-evapotraspirazione), media decennale nei mesi estivi (giugno-luglio-agosto).  
Dati: per il periodo storico 1961-2020 RAFVG, per il futuro 2021-2100 Piattaforma CLima Nord-Est (CLINE).

Il graduale abbassamento del livello delle falde, che si sta manifestando negli ultimi decenni nella nostra regione e che ha raggiunto a novembre 2022 livelli negativi da record, deve essere attribuito più a un utilizzo non equilibrato della risorsa idrica che all'andamento climatico (Casagrande et al., 2024).

Tuttavia Olivo et al. (2018) evidenziano come il meccanismo di ricarica della falda freatica dell'Alta Pianura nei prossimi decenni sarà modificato dall'impatto dei cambiamenti climatici in particolare nello scenario a emissioni crescenti (RCP8.5). In questo

scenario si assisterà a una diminuzione della ricarica complessiva annua unita a un marcato calo nel periodo estivo della risorsa idrica.

## Gradi di riscaldamento e raffrescamento

I gradi giorno di raffrescamento estivo (CDDs) sono un indicatore legato ai consumi energetici per il condizionamento estivo e ha a che fare con le condizioni di salute per la popolazione, specie nelle sue componenti più vulnerabili (anziani, bambini, malati). CDDs è definito come: somma delle differenze tra la temperatura media giornaliera esterna e la temperatura di comfort climatico (21 °C) nell'anno solare (1 gennaio - 31 dicembre); la differenza viene conteggiata solo se la temperatura media esterna supera i 24 °C (Cicogna e Gallina, 2025).

In Figura 25 la linea blu rappresenta lo scenario RCP2.6: a fine secolo i gradi giorno per raffrescamento saranno molto simili a quello che viviamo attualmente. La linea rossa rappresenta lo scenario RCP8.5: in questo caso a fine secolo è evidente come i gradi giorno per raffrescamento aumenteranno in modo considerevole: si passerà dai 160-180 gradi giorno attuali ai 600-900 a fine secolo.

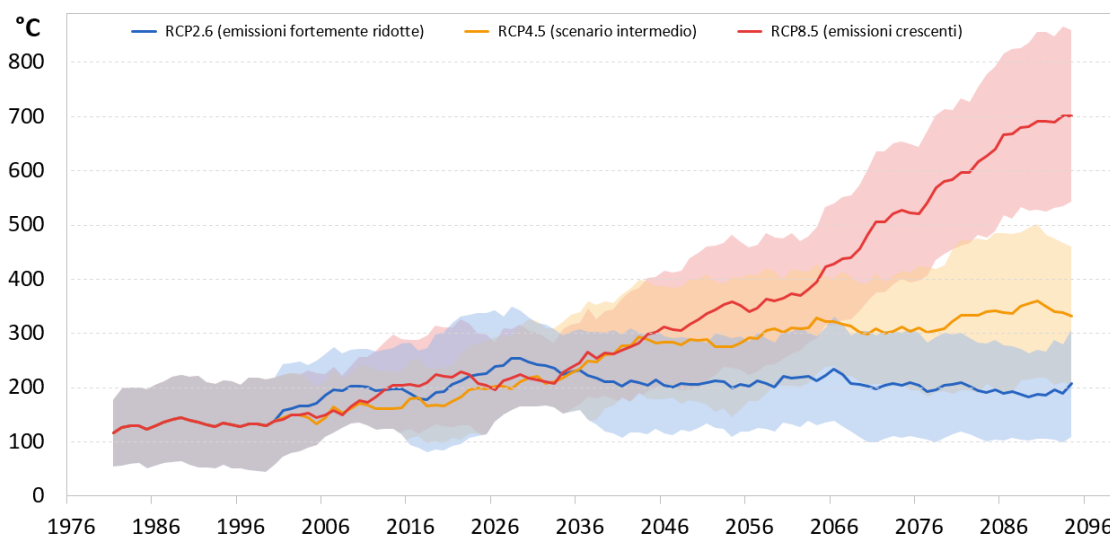


Figura 25. Proiezioni dei gradi giorno di raffrescamento (CDDs) per Udine - media undecennale - da Piattaforma CLima Nord-Est (CLINE).

I gradi giorno di riscaldamento (HDDs) sono un indicatore legato ai consumi energetici per il riscaldamento invernale e può essere utile impiegato per progettare il corretto dimensionamento dell'isolamento degli edifici dal freddo. I HDDs sono definiti come somma delle differenze tra la temperatura dell'ambiente (20 °C) e la temperatura media giornaliera esterna nell'anno solare (1 gennaio - 31 dicembre); vengono conteggiate solo le differenze superiori allo zero (Cicogna A., Gallina V. 2024).

Le proiezioni climatiche permettono di comparare, in funzione dei panorami emissivi, i diversi futuri possibili confrontandoli con il passato e il presente (Figura 26). Per lo scenario RCP2.6 a fine secolo i gradi giorno per riscaldamento saranno molto simili a quello che viviamo attualmente.

Nello scenario RCP8.5 a fine secolo i gradi giorno per riscaldamento diminuiranno in modo considerevole.

## IL FRIULI venezia GIULIA NEL CAMBIAMENTO CLIMATICO – maggio 2026

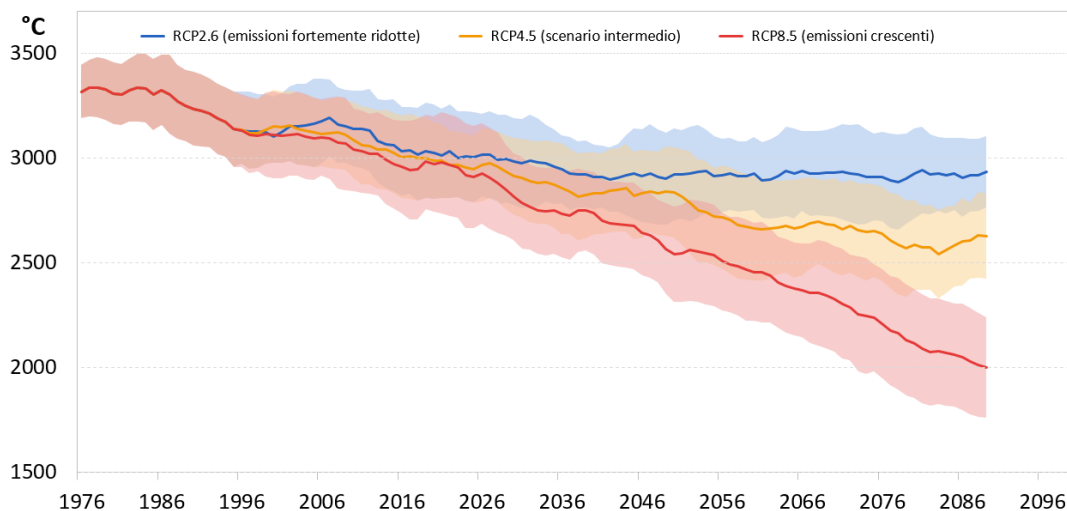


Figura 26. Proiezioni dei gradi giorno di riscaldamento (HDDs) per Tolmezzo - media undecennale - da Piattaforma CLima Nord-Est (CLiNE).

Possiamo infine considerare l'attuale normativa relativa alla gestione degli impianti di riscaldamento sul territorio nazionale (D.P.R.412/93, D.P.R. 74/2013). Questa normativa classifica la pianura regionale come afferente alla zona climatica E (zona fredda). In queste zone, l'attivazione dei sistemi di riscaldamento è consentita dal 15 ottobre al 15 aprile, con un limite di funzionamento giornaliero fino a 14 ore. La piattaforma CLiNE, attraverso l'indicatore "gradi giorno di riscaldamento" (HDDs), indica che secondo lo scenario RCP8.5 nel futuro lontano (2071-2010) buona parte della pianura regionale passerebbe da zona E a zona D (zona fresca) dove i riscaldamenti possono essere accesi dal 1° novembre al 15 aprile per un massimo di 12 ore al giorno.

## Indici fitoclimatici (Köppen - Pavari)

Il clima del Friuli Venezia Giulia può essere descritto, oltre che dall'analisi diretta delle serie storiche delle diverse grandezze meteorologiche, anche attraverso l'uso di opportuni indici che mettono in relazione uno o più elementi climatici con gli esseri viventi. La bioclimatologia, infatti, è una scienza ecologica che studia le relazioni tra il clima e la distribuzione delle specie viventi, e delle loro comunità, sulla superficie terrestre (Rivas-Martinez *et al.*, 2011).

Il clima infatti esercita un ruolo dominante sulla distribuzione dei principali tipi di vegetazione naturali. Ad esempio, in Italia, a partire dalle zone più calde e spostandosi verso le più fredde, si assiste al passaggio di fasce di vegetazione che vanno dai boschi sempreverdi mediterranei, a quelli temperati caducifogli, fino a quelli dominati da conifere microterme (Bernetti, 2007).

### L'indice di Köppen

Questo indice venne proposto per la prima volta nel 1918 da Wladimir Köppen e successivamente perfezionato sino alla sua edizione definitiva del 1936. Questa classificazione identifica 5 grandi gruppi climatici che caratterizzano il clima dell'intero globo terrestre.

L'inquadramento del Friuli Venezia Giulia attraverso la classificazione di Köppen (Peel *et al.*, 2007) consente di confrontare il clima della regione con il resto del mondo.

Utilizzando i dati climatici dal 1991 al 2020, la classificazione della regione con tale indice restituisce un territorio dove, partendo dall'Adriatico e muovendosi a nord verso le montagne, si incontrano climi progressivamente più freddi (Figura 27A).

Quasi tutta la regione (circa il 91.5% del territorio) è caratterizzata da climi mesotermi C (climi temperati delle medie latitudini: il mese più freddo ha una temperatura media inferiore a 18 °C ma superiore a -3 °C, in almeno un mese si ha una temperatura media superiore a 10 °C).

Le piogge risultano abbondanti in ogni mese dell'anno (sottoclimate umido f), per cui in funzione della temperatura estiva distinguiamo i seguenti sottoclimi:

- Cfa: con estate molto calda; il mese più caldo ha una temperatura media superiore a 22 °C;
- Cfb: con estate calda; il mese più caldo ha una temperatura media inferiore a 22 °C ma si contano almeno 4 mesi con temperatura media al di sopra di 10°C;
- Cfc: Con estate fresca e breve; meno di 4 mesi e temperatura media al di sopra di 10°C.

Nelle zone regionali che si trovano a quote più elevate (8.1% della superficie regionale) sulle Alpi Giulie e Carniche, si incontrano i climi microtermi delle medie latitudini dove il mese più freddo ha una temperatura inferiore a -3 °C:

- Dfb: estate calda e almeno 4 mesi hanno una media superiore a 10 °C;
- Dfc: meno di quattro mesi con temperature superiori a 10 °C, ma comunque mai inferiori a -38 °C.

Sulle vette (0.4% della superficie regionale), dove la temperatura del mese più caldo è inferiore a 10 °C, si incontra il clima semi-nivale di montagna (ETH), in cui la temperatura del mese più caldo è compresa tra 0 e 10 °C.

Le figure Figura 27B e Figura 27C illustrano la classificazione di Köppen nello scenario emissivo RCP2.6 rispettivamente per i trentenni futuri 2021-2050 e 2071-2100. Si nota come rispetto alla mappa storica (Figura 27A) si abbia una diminuzione delle zone in cui è presente il clima Cfb a favore del più caldo Cfa. Si può quantificare come, in termini percentuali, la superficie del Cfa passi da circa il 42% al 53-55%. Meno evidente risulta la diminuzione percentuale dei climi microtermi (Dfb e Dfc) mentre si assiste alla quasi scomparsa delle superfici classificate come clima semi-nivale montano (ETH). È interessante notare come non vi sia una variazione significativa delle superfici tra i due trentenni futuri analizzati, ad indicare come nello scenario emissivo in esame (RCP2.6) si assista ad una sostanziale costanza delle condizioni climatiche future.

A

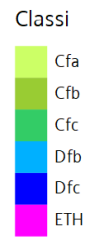
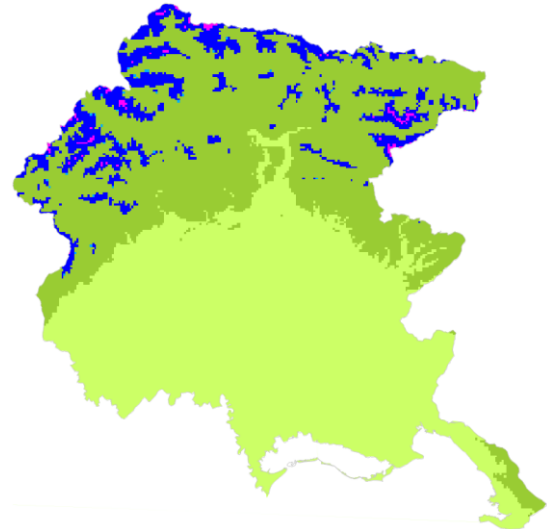


Figura 27. Classificazione bioclimatica del Friuli Venezia Giulia secondo la classificazione di Köppen: A) dati medi del trentennio di riferimento 1991-2020; B) scenario RCP2.6 periodo 2021-2050; C) scenario RCP2.6 periodo 2071-2100; D) scenario RCP8.5 periodo 2021-2050; E) scenario RCP8.5 periodo 2071-2100.

B



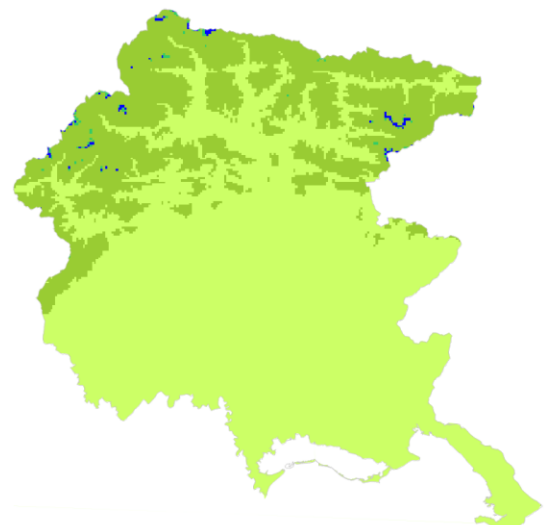
C



D



E



Similmente le figure Figura 27D e Figura 27E restituiscono la classificazione di Köppen nello scenario emissivo RCP8.5 rispettivamente per i trentenni futuri 2021-2050 e 2071-2100. Si può notare una forte differenza rispetto alla mappa storica (Figura 27A) nelle variazioni previste per il primo e il secondo trentennio. Mentre nel periodo 2021-2050 la variazione nella classificazione delle superficie regionali è molto simile a quanto previsto per lo scenario emissivo RCP2.6, nel trentennio 2071-2100 il panorama bioclimatico regionale appare profondamente mutato. Infatti si può notare come, nel futuro più lontano i climi microtermi, e tanto più quello seminivale montano, quasi spariscano nella classificazione. Si prevede quindi un aumento significativo della superficie territoriale con sottoclimate caldo Cfa, passando dal 41% al 73%, mentre il Cfb passa dal 44% al 26%. Contrariamente allo scenario RCP2.6, per lo scenario RCP8.5 la variazione verso climi più caldi tra futuro più vicino e futuro lontano risulta molto marcata.

## L'indice di Pavari

La classificazione fitoclimatica del Pavari (Susmel, 1988) suddivide il territorio italiano in 5 zone, ciascuna associata al nome di una specie vegetale rappresentativa. Questa suddivisione si basa sull'analogia fra associazioni vegetali simili dislocate in aree geografiche diverse per altitudine e latitudine, ma che sono analoghe per i regimi termici e pluviometrici.

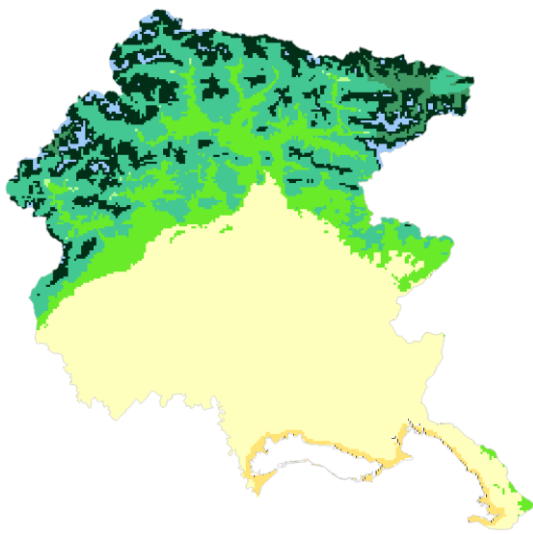
Ai fini del calcolo dell'indice, vengono utilizzate le temperature medie dell'anno, del mese più caldo (luglio), del mese più freddo (gennaio) e le medie dei minimi. Ogni zona si suddivide in più tipi e sottozone in base alla temperatura e, per alcune zone, alla piovosità.

In Friuli Venezia Giulia si ritrovano tutte le 5 zone principali proposte da Pavari, ma non tutte le sottoclassi. Considerando il trentennio più recente 1991-2020 si osserva che la classe più popolata risulta essere il Lauretum freddo senza siccità estiva, che caratterizza in buona sostanza tutta la pianura; mentre il Castanetum copre circa il 13% della superficie regionale (Figura 28A).

Le figure Figura 28B e Figura 28C restituiscono la classificazione di Pavari nello scenario emissivo RCP2.6 rispettivamente per i trentenni futuri 2021-2050 e 2071-2100. Si nota come rispetto alla mappa storica (Figura 28A) ci sia una forte diminuzione delle zone in cui è presente il fitoclimate Castanetum caldo umido sostituito dal Lauretum freddo: in termini percentuali le superfici delle varie classi nello scenario emissivo RCP2.6 non si discostano di molto rispetto alla mappa del 1991-2020.

Come già per la classificazione di Köppen anche per questa classificazione è interessante notare come non vi sia una variazione significativa delle superfici tra i due trentenni futuri, ad indicare come nello scenario emissivo in esame (RCP2.6) vi sia una sostanziale costanza delle condizioni climatiche future.

A

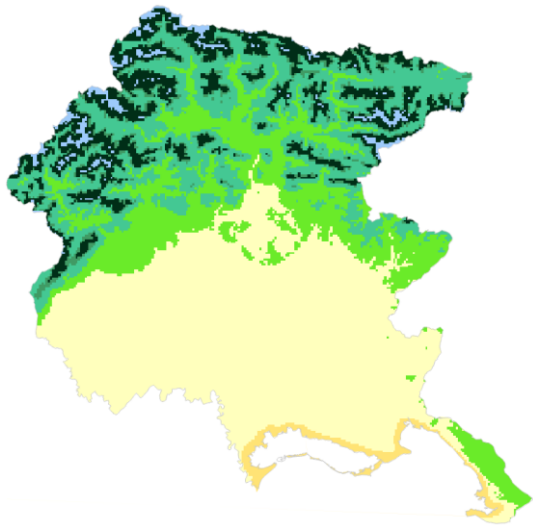


**Classi**

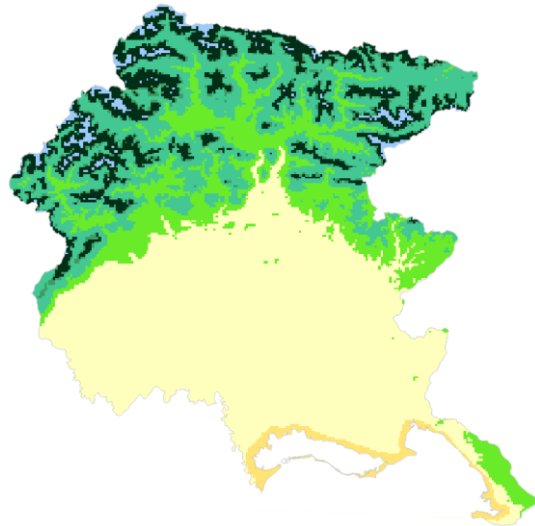
- Lauretum sottozona calda con siccità estiva
- Lauretum sottozona calda senza siccità estiva
- Lauretum sottozona media con siccità estiva
- Lauretum sottozona media senza siccità estiva
- Lauretum sottozona fredda senza siccità estiva
- Castanetum caldo umido
- Castanetum freddo umido
- Fagetum caldo
- Fagetum freddo
- Piceetum freddo
- Alpinetum

Figura 28. Classificazione Fitoclimatica del Friuli Venezia Giulia secondo la classificazione di Pavari A) dati medi del trentennio di riferimento 1991-2020; B) scenario RCP2.6 periodo 2021-2050; C) scenario RCP2.6 periodo 2071-2100; D) scenario RCP8.5 periodo 2021-2050; E) scenario RCP8.5 periodo 2071-2100.

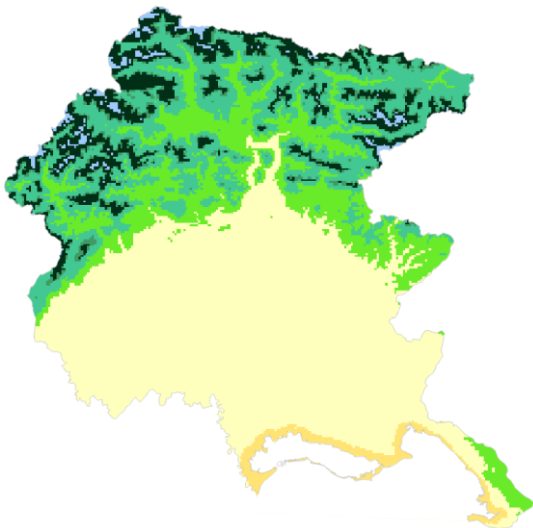
B



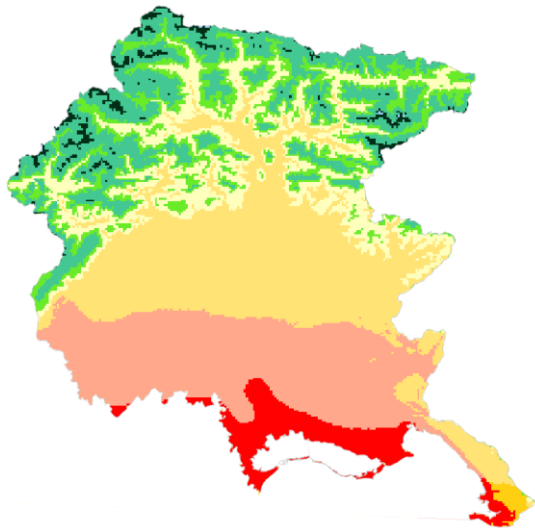
C



D



E



Le figure Figura 28D e Figura 28E illustrano la classificazione di Pavari nello scenario emissivo RCP8.5 rispettivamente per i trentenni futuri 2021-2050 e 2071-2100. Si può notare una forte differenza rispetto alla mappa storica (Figura 28A) nelle variazioni previste per il futuro più vicino e per il futuro lontano.

Mentre nel periodo 2021-2050 la variazione nella classificazione delle superfici regionali è molto simile a quanto previsto per lo scenario emissivo RCP2.6, nel trentennio 2071-2100 il panorama fitoclimatico regionale appare profondamente mutato. Infatti, nel futuro lontano è previsto che le zone di Lauretum aumentino in modo sostanziale passando dal 50%, del periodo storico 1991-2020, al 72%. Di questo 72% solo il 14% risulta rientrare nella sottozona fredda mentre il 58% del territorio è classificato come Lauretum di sottozona media o calda. Da sottolineare come l'8% del territorio regionale, localizzato nella media e bassa pianura friulana, sulla laguna, sulla costa e parte del Carso, non solo rientri nella zona del Lauretum medio o caldo ma evidenzia anche una siccità estiva (zona colorata di rosso in Figura 28E). È utile sottolineare che questa valutazione di siccità climatica esula da considerazioni circa la natura dei suoli. Ad esempio già attualmente il Carso è considerato una zona dove durante l'estate il rifornimento idrico delle colture risulta essere limitato, ma questo ha a che fare con la scarsa capacità di ritenuta idrica dei suoli dell'altopiano e non tanto con la pluviometria. Inoltre, sempre nel futuro lontano per RCP8.5, si assiste alla scomparsa di zone classificate come Alpinetum e la classe del Picetum si riduce a meno del 2% della superficie regionale. La zona del Fagetum si riduce dal 21% al 15% interessando zone a quota altimetrica più elevata. Il Castanetum interessa solo zone di quota e non risulta presente neanche nei fondivalle delle valli alpine regionali più elevate.

## Bibliografia e sitografia

- Ali, E., W. Cramer, J. Carnicer, E. Georgopoulou, N.J.M. Hilmi, G. Le Cozannet, e P. Lionello, 2022. Cross-Chapter Paper 4: Mediterranean Region. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2233–2272, doi:10.1017/9781009325844.021.
- ARPA FVG, 2023. Il clima del Friuli Venezia Giulia. [https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/meteo-fvg//2024/meteo.fvg\\_2024-riepilogo\\_it.pdf](https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/meteo-fvg//2024/meteo.fvg_2024-riepilogo_it.pdf)
- ARPA FVG, 2025. Meteo FVG Report, Riepilogo 2024. [https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/meteo-fvg//2024/meteo.fvg\\_2024-riepilogo\\_it.pdf](https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/meteo-fvg//2024/meteo.fvg_2024-riepilogo_it.pdf)
- Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L. M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacona, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H., Lehning, M., López-Moreno, J., Magnusson, J., Marty, C., Moran-Tejéda, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzago, S., and Vincent, C. (2017): The European mountain cryosphere: A review of past, current and future issues. *The Cryosphere Discussions*, <https://www.the-cryosphere-discuss.net/tc-2016-290/tc-2016-290.pdf>
- Bernetti G., 2007. I nomi delle fasce di vegetazione. In: "Botanica e Selvicoltura". Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, Italy, pp. 113- 120.
- CAI 2022 CAMBIAMENTI CLIMATICI, NEVE, INDUSTRIA DELLO SCI Analisi del contesto, prospettive e proposte Documento pp.1-14 <https://organizzazione.cai.it/commissione-centrale-tutela-ambiente-montano/wp-content/uploads/sites/85/2024/11/DOCU-NEVE-FINALE.pdf>
- Casagrande G., Iervolino D., Lippi F., Olivo P., 2024. I livelli delle falde in FVG: variazioni nel breve e nel lungo periodo, In ARPA FVG, Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG, 2024; pp 81-88. [https://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/07\\_GRUPPO\\_DI\\_LAVORO\\_CLIMA\\_FVG\\_e\\_Segnali\\_dal\\_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf](https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/07_GRUPPO_DI_LAVORO_CLIMA_FVG_e_Segnali_dal_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf)
- Cicogna A., 2024b. Pioggia, evapotraspirazione e bilancio idroclimatico: ieri, oggi e domani, In ARPA FVG, Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG, 2024; pp 95-98. [https://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/07\\_GRUPPO\\_DI\\_LAVORO\\_CLIMA\\_FVG\\_e\\_Segnali\\_dal\\_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf](https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/07_GRUPPO_DI_LAVORO_CLIMA_FVG_e_Segnali_dal_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf)
- Cicogna, 2024a. L'incremento della temperatura media annua in Friuli Venezia Giulia: dal mare alla libera atmosfera. In ARPA FVG, Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG, 2024; pp 21-24. [https://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/07\\_GRUPPO\\_DI\\_LAVORO\\_CLIMA\\_FVG\\_e\\_Segnali\\_dal\\_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf](https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/07_GRUPPO_DI_LAVORO_CLIMA_FVG_e_Segnali_dal_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf)
- Colucci R. R., Del Gobbo C., Securo A., 2023. La criosfera delle Alpi Giulie, evoluzione passata e recente. In ARPA FVG, Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG, 2023; pp. 47-51. [https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/SegnaliClimaFVG\\_20230601.pdf](https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/SegnaliClimaFVG_20230601.pdf)
- Dallan, E., Marra, F., Fosser, G., Marani, M., & Borga, M. (2024). Dynamical factors heavily modulate the future increase of sub-daily extreme precipitation in the alpine-mediterranean region. *Earth's Future*, 12, e2024EF005185. <https://doi.org/10.1029/2024EF005185>
- Flapp F., 2023. Scenari futuri di innalzamento del livello del mare, In ARPA FVG, Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG, 2024; pp 29-31. [https://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/07\\_GRUPPO\\_DI\\_LAVORO\\_CLIMA\\_FVG\\_e\\_Segnali\\_dal\\_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf](https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/07_GRUPPO_DI_LAVORO_CLIMA_FVG_e_Segnali_dal_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf)
- Fontolan G., Spadotto S., Fontanot L., Bezzi A., Bratus A., 2023. Scenari di inondazione costiera: la realtà di Grado, In ARPA FVG, Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG, 2024; pp 38-42. [https://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/07\\_GRUPPO\\_DI\\_LAVORO\\_CLIMA\\_FVG\\_e\\_Segnali\\_dal\\_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf](https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/07_GRUPPO_DI_LAVORO_CLIMA_FVG_e_Segnali_dal_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf)
- Gallina e Giorgi, 2018. Proiezioni climatiche in FVG. In ARPA FVG, Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia, 2018; pp. 40-55. [https://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/01\\_REPORT\\_cambiamenti\\_climatici\\_e\\_impatti\\_per\\_il\\_FVG/impattiCCinFVG\\_marzo2018.pdf](https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/01_REPORT_cambiamenti_climatici_e_impatti_per_il_FVG/impattiCCinFVG_marzo2018.pdf)

- Giorgi, F. (2005). Climate change prediction. *Climatic Change*, 73(3), 239-265.
- Giorgi, F., e Lionello, P., 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and planetary change*, 63(2-3), 90-104.
- IPCC, 2021. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.
- Isotta, F. A., Chimani, B., Hiebl, J., e C. Frei. 2024. Long-term Alpine precipitation reconstruction (LAPrec): A gridded monthly data set dating back to 1871. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 129, e2023JD039637, <https://doi.org/10.1029/2023JD039637>.
- Manzato A., Fasano G., Cicogna A., Sioni F., Pucillo A., 2025. Relationships between Environmental Parameters and Storm Observations in Po Valley: Are They Climate Change Invariant? *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Volume 64: Issue 3, pp267–298 <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-24-0034.1>.
- Matiu M., Crespi A., Bertoldi G., Carmagnola C.M., Majone B., Marty C., Morin S., Schöner W., Cat Berro D., Chiogna G., De Gregorio L., Kotlarski S., Resch G., Terzaggo S., Valt M., Beozzo W., Gouttevin I., Notarnicola C., Petitta M., Strasser U., Winkler M., Zebisch M., Cicogna A., Cremonini R., Debernardi a., Faletto M., Gaddo M., Giovannini L., Mercalli L., Scherrer S., Soubeyrou J.M., Sušnik A., Trenti A., Urbani S., Weilguni V. 2020 - Observed snow depth trends in the European Alps 1971 to 2019 *Cryosphere*, Vol.15(3), pp.1343-1382 DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-15-1343-2021>
- Mazzoglio P., Viglione A., Ganora D., Claps P., 2025. Mapping the uneven temporal changes in ordinary and extraordinary rainfall extremes in Italy. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Volume 58. ISSN 2214-5818, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102287>.
- MedECC (2020) *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report* [Cramer, W., Guiot, J., Marini, K. (eds.)] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, 632pp, ISBN 978-2-9577416-0-1, doi: 10.5281/zenodo.4768833.
- Nigrelli G, Chiarle M (2023) 1991-2020 climate normal in the European Alps: focus on high-elevation environments. *Journal of Mountain Science* 20(8). <https://doi.org/10.1007/s11629-023-7951-7>
- Olivo P., Iervolino D., Cicogna A., Barbieri S., 2018. 3.1 Effetti dei cambiamenti climatici sulla disponibilità di risorsa idrica, In ARPA FVG, Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia, 2018; pp. 216-241. [https://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/01\\_REPORT\\_cambiamenti\\_climatici\\_e\\_impatti\\_per\\_il\\_FVG/impattiCCinFVG\\_marzo2018.pdf](https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/01_REPORT_cambiamenti_climatici_e_impatti_per_il_FVG/impattiCCinFVG_marzo2018.pdf)
- Peel M. C., Finlayson B. L., and McMahon T. A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrology and Earth System Sciences*, Volume 11, pp 1633–1644.
- Raich F., 2023. Livello medio del mare: in crescita anche a Trieste, In ARPA FVG, Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG, 2023; pp. 26-28. [https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/SegnaliClimaFVG\\_20230601.pdf](https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/SegnaliClimaFVG_20230601.pdf)
- Raich F., 2024. Livello del mare nel 2023: il terzo più alto mai registrato & Temperatura media del mare: nel 2023 la più alta dell'intera serie temporale, In ARPA FVG, Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG, 2024; pp 115-118. [https://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/07\\_GRUPPO\\_DI\\_LAVORO\\_CLIMA\\_FVG\\_e\\_Segnali\\_dal\\_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf](https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/07_GRUPPO_DI_LAVORO_CLIMA_FVG_e_Segnali_dal_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf)
- Rivas-Martínez S., Rivas Sáenz S., Penas A., 2011. Worldwide bioclimatic classification system, *Global Geobotany*, Volume 1.
- Solidoro C., 2023. Ondate di calore marine: la situazione generale e il caso del 2022 & L'acidificazione marina: un fenomeno globale che interessa anche i nostri mari, In ARPA FVG, Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG, 2024; pp 33-37. [https://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/07\\_GRUPPO\\_DI\\_LAVORO\\_CLIMA\\_FVG\\_e\\_Segnali\\_dal\\_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf](https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/07_GRUPPO_DI_LAVORO_CLIMA_FVG_e_Segnali_dal_Clima/SegnaliDalClimaFVG2024.pdf)
- Susmel L., 1988. *Principi di ecologia: fattori ecologici, ecosistemica, applicazioni*, CLEUP.

