



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

MeteoSvizzera

Dipartimento federale dell'interno DFI
Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera

Rapporto sul clima 2024



Rapporto sul clima 2024

Editore

Ufficio federale di meteorologia e climatologia
MeteoSvizzera
Divisione Clima
Operation Center 1
CH-8058 Zurigo-Aeroporto

 meteosvizzera.ch

 servizioclienti@meteosvizzera.ch

Redazione

Elias Zubler, Stephan Bader, Thomas Schlegel

Autori

Stephan Bader, Simone Bircher, Martine Collaud Coen,
Anke Duguay-Tetzlaff, Christoph Frei, Sophie Fukutome,
Regula Gehrig, Eliane Maillard Barras, Giovanni Martucci,
Gonzague Romanens, Rolf Rüfenacht, Christoph Spirig,
Laurent Vuilleumier, Elias Zubler

Distribuzione

Pubblicazioni federali UFCL
CH-3003 Berna

 pubblicazionifederali.ch

Numero d'articolo: 313.013.i 09.25 60 860571551/3

ISSN: 2296-1526

Citazione del presente rapporto:

MeteoSvizzera 2025: Rapporto sul clima 2024.
Ufficio federale di meteorologia e climatologia
MeteoSvizzera, Zurigo. 100 pagine.

Indice

	Riassunto	4
	Summary	7
1	Andamento del tempo nel 2024	8
2	Diagrammi dell'andamento annuale	18
	Temperatura, soleggiamento e precipitazioni Berna-Zollikofen	18
	Temperatura, soleggiamento e precipitazioni Lugano	19
	Andamento annuale della radiazione globale	20
	Quota dell'isoterma di zero gradi nell'atmosfera libera	22
	Altitudine della tropopausa	23
	Precipitazioni intense eccezionali	24
	Andamento annuale della radiazione UV	25
	Serie di misurazioni dell'ozono ad Arosa e Davos	26
	Misurazioni dell'ozono a Payerne	28
	Misurazione degli aerosol sullo Jungfrauoch	30
	Eventi di polvere sahariana	31
	Sviluppo della vegetazione	32
	Primavera	32
	Estate	33
	Autunno	34
	Stagione pollinica	36
3	Particolarità del 2024	42
3.1	L'estate del maltempo	42
3.2	Precipitazioni da primato nella Svizzera orientale	44
3.3	Favonio frequente a nord delle Alpi	46
4	Andamento meteorologico e climatico globale	50
4.1	Anno eccezionalmente caldo in tutto il mondo	51
4.2	El Niño e La Niña	52
4.3	Eventi particolari globali	54
5	Monitoraggio climatico	58
5.1	Atmosfera	60
5.1.1	Osservazioni al suolo	60
5.1.2	Atmosfera libera	74
5.1.3	Composizione dell'atmosfera	80
5.2	Suolo	84
5.3	Base dei dati e dei metodi	90
	Bibliografia	95

Riassunto

Nel 2024 la temperatura media annua a livello nazionale ha raggiunto i 7,2 °C, valore di 1,4 °C superiore al periodo di riferimento 1991–2020. Si è trattato del terzo anno più caldo dall'inizio delle misurazioni nel 1864, dietro ai due anni precedenti 2022 e 2023. Per alcune stazioni di misura della regione alpina centrale e orientale, come Davos, Elm, Engelberg e il Säntis, il 2024 è stato l'anno più caldo dall'inizio delle misurazioni. Nel 2024 è quindi continuata la chiara tendenza al riscaldamento degli ultimi decenni.

Con una temperatura media di 2,8 °C più elevata della norma 1991–2020, la Svizzera ha vissuto l'inverno più mite dall'inizio delle misurazioni nel 1864. La temperatura media di febbraio è risultata addirittura più elevata della temperatura media del mese di marzo; con un'anomalia di +4,6 °C rispetto al periodo di riferimento 1991–2020, essa ha stabilito un nuovo primato. L'inverno 2023/2024 è stato estremamente ricco di precipitazioni, che hanno raggiunto il 130–160 % della media 1991–2020 su un'ampia area.

La primavera del 2024 è stata mite, poco soleggiata e abbondante di precipitazioni. Nel mese di giugno, l'estate è iniziata con molti temporali, che hanno colpito in modo particolare il versante meridionale delle Alpi e il Vallese. A livello locale, ci sono state inondazioni a causa delle grandi quantità di precipitazioni. In Mesolcina e in Valle Maggia alcune colate detritiche hanno causato distruzione e purtroppo anche vittime.

Le tempeste di giugno sono state seguite da un luglio caldo e dal secondo agosto più caldo da quando sono iniziate le misurazioni nel 1864. Agosto 2024 è stato anche il secondo mese di agosto più soleggiato a livello locale da quando sono iniziate le registrazioni. Con 0,9 °C in più rispetto al periodo di riferimento 1991–2020, la Svizzera ha registrato il nono autunno più mite dall'inizio delle misurazioni nel 1864, conclusosi con un'alta pressione persistente e in alcune regioni molto sole nel mese di novembre.

A livello mondiale, il 2024 è stato l'anno più caldo da quando sono iniziate le misurazioni nel 1850, addirittura più caldo dell'anno precedente, che già era risultato eccezionalmente caldo. Lo scarto rispetto alla media 1961–1990 è stato di 1,2 °C. Il caldo ha dominato in tutti i continenti. Gli ultimi dieci anni dal 2015 sono stati i più caldi da quando sono iniziate le misurazioni.

L'andamento a lungo termine della temperatura in Svizzera dal 1864 al 2024 è un chiaro segnale del cambiamento climatico globale causato dall'uomo. Dal periodo di riferimento preindustriale 1871–1900 ad oggi, in Svizzera la temperatura è aumentata di 2,9 °C; l'aumento si è verificato

in tutte le stagioni. In linea con l'aumento generale della temperatura, il numero di giorni estivi è aumentato in modo significativo, il numero di giorni di gelo è diminuito e l'altezza dell'isoterma di zero gradi è aumentata. Il riscaldamento generale si manifesta anche nello sviluppo precoce della vegetazione.

L'andamento delle precipitazioni in Svizzera nel periodo 1864–2024 è caratterizzato da fluttuazioni decennali e annuali. In inverno, si può osservare un aumento a lungo termine delle precipitazioni, mentre nelle altre stagioni non vi è stata alcuna variazione. Gli studi mostrano anche che la frequenza e l'intensità delle forti precipitazioni giornaliere sono aumentate. Considerando gli ultimi 40 anni, le estati svizzere sono diventate in media più secche, a causa di una lieve diminuzione delle precipitazioni e dell'aumento dell'evaporazione.

Per quanto riguarda la neve fresca e l'altezza della neve totale, negli ultimi 50–60 anni la regione alpina ha visto una significativa diminuzione di queste due grandezze. Negli ultimi anni la situazione dell'ozono nell'atmosfera superiore sopra la Svizzera è rimasta stabile. Ciò fa seguito ad una diminuzione dell'ozono totale di circa il 6 % tra il 1970 e il 1995.





Summary

The national mean annual temperature reached 7.2°C, placing the year 2024 at 1.4°C above the reference period 1991–2020 and ranking it third since measurements began in 1864, behind the previous two years, 2022 and 2023. At individual measuring stations in the central and eastern Alpine regions, 2024 was the warmest year on record. Davos, Elm, Engelberg, and Säntis all reported record-breaking annual temperatures. This confirms the clear warming trend observed over the past decades.

Switzerland experienced its mildest winter on record since 1864, with a deviation of +2.8°C from the reference period 1991–2020. February temperatures were as warm as those of an exceptionally mild March, setting new benchmarks at 4.6°C above the 1991–2020 reference. The winter of 2023/2024 was also exceptionally wet, with precipitation reaching 130–160% of the reference period.

Spring 2024 was warmer than average, with high precipitation levels and below-average sunshine. The summer began with severe storms in June, particularly affecting the southern Alpine region and the canton of Valais. In some areas, the heavy rainfall led to flooding. In Misoix, a debris flow caused significant destruction and, tragically, loss of life.

Following the June storms, July was warm, and August became the second warmest on record since 1864. In some locations, August 2024 was also the second sunniest August ever recorded. With temperatures 0.9°C above the 1991–2020 reference period, Switzerland experienced its ninth mildest autumn on record. The autumn ended with prolonged high-pressure weather, bringing plenty of sunshine to many regions in November.

Globally, 2024 was the warmest year since measurements began in 1850, exceeding the 1961–1990 reference by 1.2°C. Warmth dominated on all continents. The last ten years since 2015 have been the warmest since the beginning of measurements.

A clear sign of man-made global climate change is reflected in the long-term temperature trend in Switzerland from 1864 to 2024. The temperature increase in Switzerland from the pre-industrial reference period 1871–1900 to the present day amounts to 2.9°C. The temperature is increasing in all seasons. In line with the general temperature increase in Switzerland, the number of summer days has risen significantly, while the number of frost days has decreased. A rise of the zero degree level can be observed in agreement with the temperature increase. The general warming is also reflected in an earlier vegetation development.

Precipitation development in Switzerland in the period 1864–2024 is dominated by decadal and year-to-year fluctuations. A long-term increase in precipitation can be observed in winter. In the other seasons, there is no long-term change in precipitation sums. However, studies show that the frequency and intensity of daily heavy precipitation has increased. On the other hand, looking at the last 40 years, Swiss summers have become drier on average. In addition to slight decreases in precipitation, increasing evaporation has contributed to the drier conditions.

There has been a clear decline in snowfall and snow depth in the Alpine region over the last 50–60 years.

The ozone situation in the higher atmosphere above Switzerland has remained stable in recent years. This follows a decrease in total ozone of around 6% between 1970 and 1995.

1 Andamento del tempo nel 2024

8

La Svizzera ha vissuto un altro anno estremamente caldo, iniziato con l'inverno più mite mai registrato dall'inizio delle misurazioni. La primavera è stata particolarmente piovosa in molte zone, soprattutto sul versante meridionale delle Alpi. L'estate ha fatto registrare il secondo agosto più caldo dall'inizio delle misurazioni e alcuni temporali devastanti. Alla fine dell'autunno, le basse quote su entrambi i versanti delle Alpi hanno registrato nevicate da record.

Temperatura annuale quasi da primato

La temperatura media annuale a livello nazionale ha raggiunto i 7,2°C, valore di 1,4°C superiore alla media del periodo di riferimento 1991–2020. Il 2023 aveva raggiunto una media nazionale di 7,3°C. Il valore più alto dall'inizio delle misurazioni nel 1864 è stato registrato nel 2022 con 7,4°C.

In alcune stazioni di misura nella regione alpina centrale e orientale, come a Davos, Elm, Engelberg e sul Säntis, il 2024 è stato l'anno più caldo dall'inizio delle misurazioni. Sul versante meridionale delle Alpi, la temperatura media annuale regionale è risultata di 1,3°C superiore alla norma 1991–2020. L'anno precedente, il 2023, aveva fatto registrare 1,4°C in più rispetto al periodo di riferimento. Anche al Sud l'anno più caldo è stato il 2022, con un valore di 1,5°C superiore alla norma.

Inverno mite con febbraio da primato

La Svizzera ha vissuto l'inverno più mite dall'inizio delle misurazioni nel 1864. La temperatura dell'inverno 2023/24 è infatti risultata di 2,8°C superiore alla norma, valore simile a quello fatto registrare dall'inverno 2019/20 con +2,6°C.

Dicembre 2023 è stato di 2,0°C più mite della norma 1991–2020, il quinto mese di dicembre più caldo da quando sono iniziate le misurazioni nel 1864. Anche gennaio 2024 è stato molto mite, con 1,6°C al di sopra del riferimento, il che lo rende uno dei mesi più miti da quando sono iniziate le misurazioni. Diverse stazioni di misura hanno registrato nuovi primati per quanto riguarda la temperatura massima giornaliera.

La temperatura media di febbraio 2024 ha raggiunto un nuovo record, pari a 4,6°C in più rispetto al periodo di riferimento 1991–2020. Considerando tutti i mesi, si tratta della seconda deviazione dalla norma mensile positiva più alta da quando sono iniziate le misurazioni nel 1864. Solo nel giugno 2003 si è registrata una deviazione di riferimento positiva di poco superiore, pari a 4,7°C. Il mese di febbraio molto caldo è stato seguito da un mese di marzo mite.

Sul versante meridionale delle Alpi, il caldo di febbraio è superato abbondantemente i primati precedenti. Ad esempio, la temperatura media mensile a Poschiavo ha superato di 1,6°C il precedente massimo di febbraio 2020. Il favonio ha sicuramente contribuito a far registrare queste temperature eccezionali, provocando condizioni molto miti dal 2 al 5 febbraio.

Inverno ricco di precipitazioni

In Svizzera il mese di dicembre 2023 ha visto precipitazioni totali ampiamente superiori alla media. Per oltre 90 stazioni di misura è stato uno dei cinque o addirittura dei tre mesi di dicembre più piovosi dall'inizio delle misurazioni. A livello locale, in dicembre sono stati registrati alcuni record. Nel mese di gennaio, il versante nord delle Alpi ha registrato precipitazioni superiori alla media su un'ampia area, mentre sul versante meridionale delle Alpi e in Engadina è stato registrato localmente il febbraio più ricco o il secondo più ricco di precipitazioni dall'inizio delle misurazioni.

Le precipitazioni totali dell'inverno 2023/24 hanno raggiunto il 130–160% della media del periodo di riferimento 1991–2020. In Engadina e localmente a sud delle Alpi è stato raggiunto il 180% e più della norma. A livello locale, si è trattato di uno dei dieci inverni più ricchi di precipitazioni da quando sono iniziate le misurazioni.

Molta neve nelle Alpi orientali

Alle quote più elevate delle Alpi orientali, l'altezza della neve è stata significativamente superiore alla media del periodo 1991–2020 per tutto l'inverno. Nelle altre zone montane del versante nordalpino e in Vallese, all'inizio dell'inverno sono state registrate altezze del manto nevoso superiori alla media per un periodo di tempo prolungato.

Sulle montagne del versante sudalpino sono cadute notevoli quantità di neve fresca, soprattutto tra la fine di febbraio e l'inizio di marzo. Solo a partire da questo momento il manto nevoso è rimasto significativamente superiore alla media 1991–2020 per un periodo di tempo prolungato.

Primavera mite, poco soleggiata e piovosa

La temperatura media primaverile è stata di 0,8 °C superiore alla norma e quindi al 7° posto nella lista delle primavere più calde dal 1864. Marzo è stato più caldo alla media, mentre la temperatura di aprile è stata solo di poco superiore alla norma; la temperatura di maggio è risultata in linea con la media pluriennale.

Nella maggior parte delle regioni della Svizzera, nella primavera del 2024 le precipitazioni sono risultati più abbondanti della media. Le anomalie sono state molto marcate a sud delle Alpi e nelle aree adiacenti, a causa delle piogge diffuse dei mesi di marzo e maggio. Diverse stazioni di misura con serie lunghe oltre 100 anni hanno registrato una fra le dieci primavere più piovose, in alcuni casi una delle tre più piovose. A Elm sono caduti circa 600 mm, valore più alta da quando sono iniziate le misurazioni nel 1878, simile a quello della primavera del 1896.

La durata del soleggiamento primaverile ha raggiunto solo il 70–80% del periodo di riferimento 1991–2020. In diversi siti di misurazione, è stata una delle dieci primavere meno soleggiate da quando sono iniziate le misurazioni. Samedan in Alta Engadina ha registrato la primavera meno soleggiata da quando sono iniziate le misurazioni nel 1901, con un numero totale di ore di sole di poco inferiore a quello della primavera del 1988.

Luglio caldo, secondo agosto più caldo

La temperatura media nazionale dell'estate è stata di 1,6 °C superiore a quella del periodo di riferimento 1991–2020. È stata la sesta estate più calda da quando sono iniziate le misurazioni nel 1864. Nelle Alpi, è stata la terza o la quarta estate più calda da quando sono iniziate le misurazioni.

La temperatura media di giugno a livello nazionale è risultata solo di poco superiore alla norma 1991–2020, mentre sul versante meridionale delle Alpi essa è rimasta leggermente al di sotto della norma in molte località. La Svizzera ha poi vissuto il decimo luglio più caldo da quando sono iniziate le misurazioni nel 1864. In singole stazioni di misurazione a quote elevate e sul versante meridionale delle Alpi, è stato uno dei cinque mesi di luglio più caldi mai registrati.

L'estate si è conclusa con il secondo agosto più caldo per il Paese da quando sono iniziate le misurazioni nel 1864. Un totale di nove stazioni di misura con serie storiche più lunghe di 60 anni ha registrato l'agosto più caldo dall'inizio delle misurazioni. Sul Weissfluhjoch e sul Säntis, è stato il mese più caldo di sempre da quando sono iniziate le misure.

Anche a causa del caldo estremo di agosto, in estate sul versante meridionale delle Alpi è stato registrato un numero insolitamente elevato di notti tropicali, a Lugano 41; il precedente record della leggendaria calda estate del 2003 era significativamente più basso con 33 notti tropicali.

Giugno piovoso in alcune regioni, agosto molto soleggiato

L'insieme dei tre mesi estivi ha portato precipitazioni inferiori alla media, comprese tra il 70 e il 90% della norma 1991–2020, anche se a livello locale sono stati registrati valori superiori alla media. Sul versante meridionale delle Alpi, singole stazioni di misura hanno registrato meno del 60% della norma estiva.

Il totale delle precipitazioni di giugno ha raggiunto il 140–180% della norma 1991–2020 in alcune regioni. Sul versante nordalpino è stato registrato localmente uno dei mesi di giugno più piovosi dall'inizio delle misure. Nei mesi di luglio e agosto, invece, i totali mensili sono rimasti complessivamente al di sotto della media. Numerosi siti di misurazione con serie storiche più lunghe di 60 anni hanno registrato uno dei dieci mesi di agosto più secchi. Per alcuni di essi si è trattato del mese di agosto più secco da quando sono iniziate le misurazioni.

Dopo un mese di giugno poco soleggiato e un mese di luglio mediamente soleggiato, ad agosto c'è stato molto sole. In molte località, la somma del numero di ore di sole variava tra il 120 e il 130% della norma 1991–2020. Alcune stazioni di misura con serie lunghe più di 60 anni hanno registrato uno dei dieci mesi di agosto più soleggiati. A Ginevra e Locarno Monti si è trattato del secondo mese di agosto più soleggiato da quando sono iniziate le misurazioni.

Forte maltempo in estate

Le abbondanti precipitazioni di maggio, con forti precipitazioni alla fine del mese e ulteriori forti precipitazioni nei primi giorni di giugno, hanno portato a una situazione di piena con inondazioni nella Svizzera orientale fra il Lago dei Quattro Cantoni e il Lago di Costanza e lungo il Reno.

Dal 20 al 21 giugno, l'aria calda e umida trasportata da sud sopra le Alpi ha provocato forti precipitazioni nelle valli meridionali del Vallese e sul versante sudalpino. Sommate alla marcata fusione della neve a causa delle temperature estive dei giorni precedenti, tali precipitazioni hanno fatto innalzare di molto le portate dei fiumi. Nelle regioni di Zermatt (Vallese) e Mesolcina (Grigioni meridionali) si sono verificati ingenti danni a causa delle inondazioni e delle colate detritiche.

Il 29 giugno una zona di bassa pressione ha sospinto ancora una volta aria umida e instabile verso la regione alpina. In alcune parti dell'Alto Vallese e del Ticino si sono verificati forti temporali, che hanno riversato al suolo enormi quantità d'acqua in breve tempo. Le piogge molto intense hanno fatto salire rapidamente il livello dei fiumi, che sono esondati. L'inondazione e le masse di detriti trasportate dai torrenti impetuosi hanno causato ancora una volta danni ingenti.

Fra il 6 e il 7 luglio si sono verificate piogge abbondanti fra il Ticino meridionale, la Bregaglia e l'Alta Engadina. I fiumi ingrossati e i detriti trasportati da essi hanno causato danni locali, tuttavia molto più piccoli rispetto alle devastanti tempeste del precedente mese di giugno.

Il 12 agosto si sono verificati forti temporali in alcune regioni con piogge intense sull'Oberland bernese. Le masse d'acqua e di detriti hanno causato gravi danni alle case, alle strade e agli impianti ferroviari di Brienz. Anche la strada e la linea ferroviaria per Grindelwald sono state interrotte.

Autunno mite con finale soleggiato

Con 0,9°C in più rispetto al periodo di riferimento 1991–2020, la Svizzera ha registrato il nono autunno più mite dall'inizio delle misurazioni nel 1864. Dopo un settembre un po' più fresco della norma, i mesi di ottobre e novembre sono stati estremamente miti, soprattutto alle quote più elevate. In media a livello nazionale, è stato registrato

l'ottavo ottobre più caldo da quando sono iniziate le misurazioni e, localmente ad altitudini più elevate, il quinto più caldo. Successivamente, singole stazioni di misura nelle Alpi hanno registrato uno dei mesi di novembre più miti dall'inizio delle misurazioni.

L'insieme dei tre mesi autunnali ha portato precipitazioni superiori alla media in vaste aree. La durata del soleggiamento autunnale è rimasta al di sotto della media a causa dei mesi nuvolosi di settembre e ottobre. A livello locale, è stato registrato l'ottobre più soleggiato degli ultimi 20 anni. Nel mese di novembre, una situazione persistente di alta pressione ha portato più sole della media nella maggior parte della Svizzera. Nelle Alpi, localmente è stato registrato il secondo mese di novembre più soleggiato dall'inizio delle misurazioni.

Due forti incursioni invernali

Nella prima metà di settembre, un massiccio calo della temperatura è stato accompagnato in alta montagna da quantità di neve eccezionali. Ad Arosa, a metà mese c'erano 44 cm di neve fresca, il sesto totale di neve fresca più alto per la prima metà di settembre. Nell'ultima metà di novembre, una forte nevicata ha fatto registrare il record di neve fresca di 1 giorno alle basse quote su entrambi i versanti alpini. Con 42 cm, Lucerna ha registrato di gran lunga il valore più alto di novembre nella serie di misurazioni disponibili dal 1883; si è trattato anche del totale di neve fresca in 1 giorno in assoluto più ingente.

Polvere sahariana e aurora boreale

Durante i giorni di Pasqua, fra la fine di marzo e l'inizio di aprile 2024, una forte corrente da sud-ovest ha portato in Svizzera molta polvere sahariana. Nel pomeriggio del Venerdì Santo, a causa della polvere la visibilità è diminuita in modo massiccio in breve tempo, riducendosi a 5–7 km. L'aria è tornata limpida solo la domenica di Pasqua.

Nelle notti fra il 10 e l'11 maggio 2024 e fra il 10 e l'11 ottobre 2024 in Svizzera è stato possibile osservare una magnifica aurora boreale. Grazie al cielo sereno, nella notte tra il 10 e l'11 maggio essa era ben visibile, mentre fra il 10 e l'11 ottobre ci è voluta un po' di fortuna, poiché in molte regioni erano presenti nuvole piuttosto dense che limitavano la vista del cielo notturno colorato.

Bilancio dell'anno

La temperatura annuale del 2024 è stata di 1,0–1,5 °C superiore alla norma 1991–2020 su ampie regioni sia nordalpine sia sudalpine. Nelle Alpi, lo scarto dalla media è stato per lo più compreso tra 1,3 e 1,7 °C. A livello nazionale la temperatura annuale è risultata di 1,4 °C superiore alla norma 1991–2020.

Nel 2024 le precipitazioni totali hanno raggiunto il 90–115 % della media 1991–2020 nella maggior parte delle regioni della Svizzera. Nell'Altopiano della Svizzera centrale e orientale e nel Vallese, a livello locale sono stati registrati valori compresi tra il 120 e il 130 % della norma. Al Sud, Stabio ha registrato il quarto anno più piovoso da quando sono iniziate le misurazioni nel 1982, con poco meno del 150 % della norma. Ad Hallau nel Canton Sciafusa, con poco più del 130 % della norma, è stato il terzo anno più piovoso da quando sono iniziate le misurazioni nel 1959.

Nel 2024 il soleggiamento totale è stato compreso tra l'80 e il 90 % della norma 1991–2020 su un'ampia area. Sul Ticino meridionale è stato raggiunto il 95 % della media. Solamente la stazione di misura di Hörnli nell'Oberland zurighese ha riportato poco meno del 100 % della norma. Singole stazioni di misura della regione alpina hanno registrato uno dei dieci anni meno soleggiati dall'inizio delle misurazioni.

Stazione	Quota	Temperatura [°C]			Durata del soleggiamento [h]			Precipitazioni [mm]		
	m s.l.m.	Media	Riferimento ¹	Deviaz. ²	Somma	Riferimento ¹	% ³	Somma	Riferimento ¹	% ³
Berna	553	10.6	9.3	1.3	1542	1797	86	1022	1022	100
Zurigo	556	11.0	9.8	1.2	1508	1694	89	1281	1108	116
Ginevra	420	12.1	11.0	1.1	1693	1887	90	908	946	96
Basilea	316	12.2	11.0	1.2	1539	1687	91	831	842	99
Engelberg	1036	8.4	6.8	1.6	1263	1380	92	1762	1568	112
Sion	482	11.7	10.7	1.0	1965	2158	90	635	583	109
Lugano	273	13.9	13.0	0.9	2019	2120	95	1786	1567	114
Samedan	1709	3.8	2.4	1.5	1589	1767	90	782	710	110

¹ Media pluriennale 1991–2020
² Deviazione della temperatura rispetto al periodo di riferimento 1991–2020
³ Percentuale rispetto alla norma (periodo di riferimento = 100%)



[Rapporti climatici mensili e stagionali 2024: Bollettini climatici](#)

Tabella 1.1
Valori annuali di stazioni scelte della rete di MeteoSvizzera paragonati alla norma 1991–2020.

Temperatura, precipitazioni e durata del soleggiamento dell'anno 2024

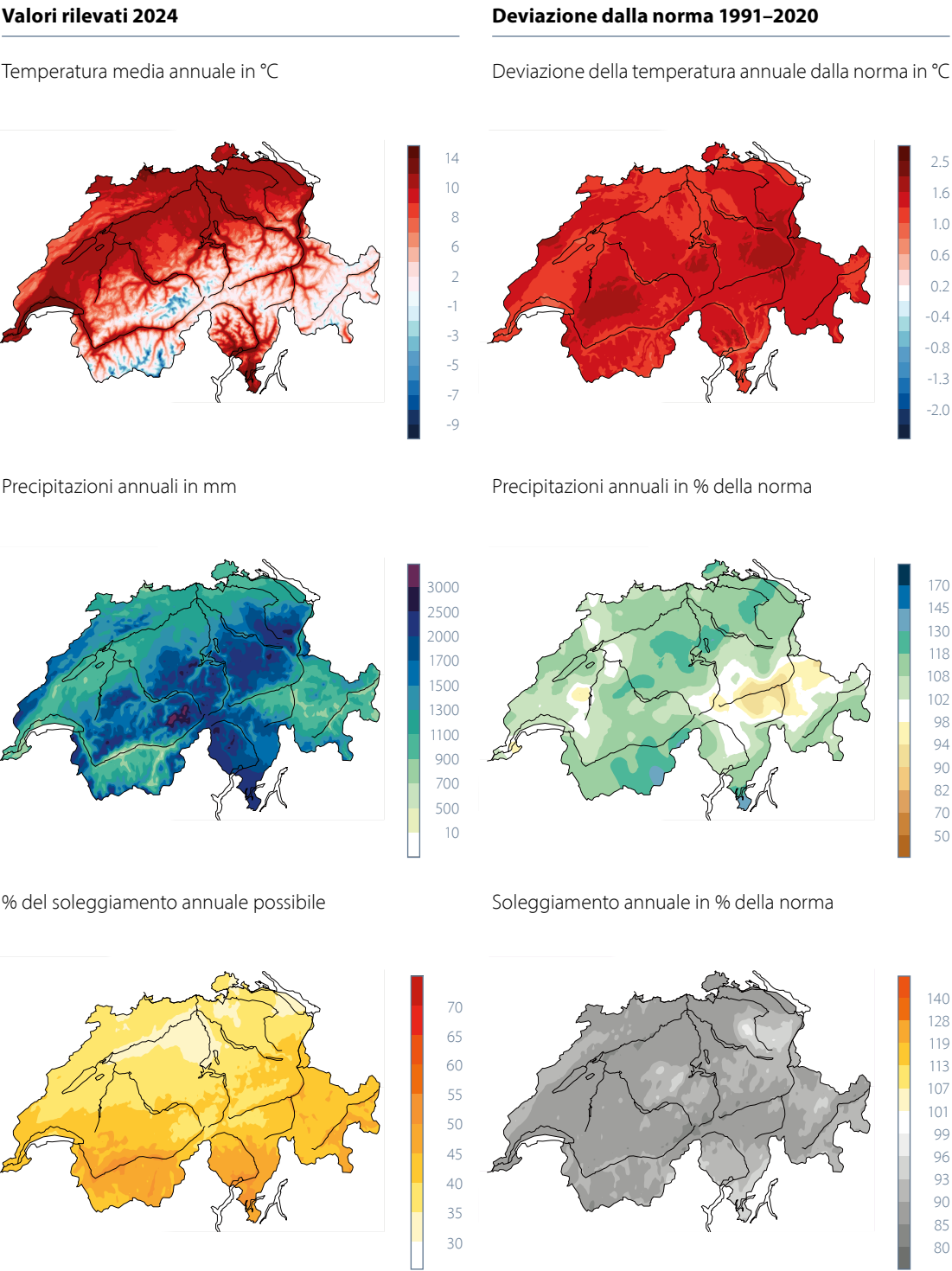


Figura 1.1
Distribuzione della temperatura, precipitazioni e soleggiamento nell'anno 2024. Sono riportati i valori rilevati (a sinistra) e le rispettive deviazioni dalla norma 1991–2020 (a destra).

Temperature mensili nel 2024 scarto dalla norma 1991–2020

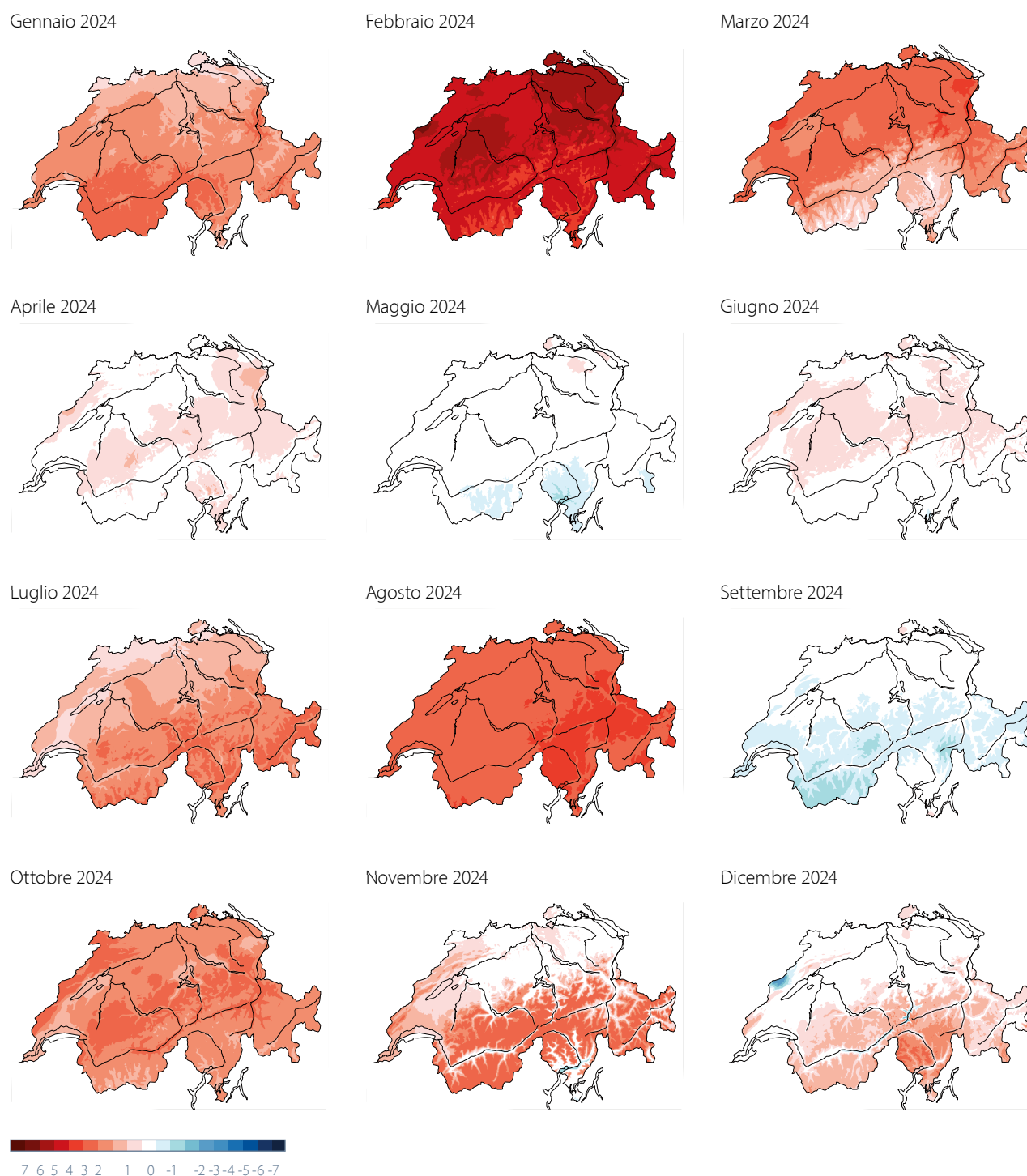
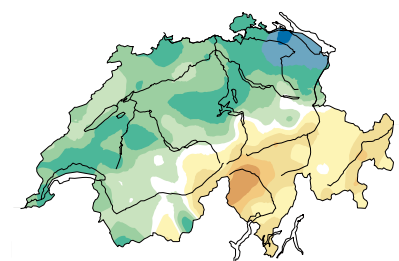


Figura 1.2

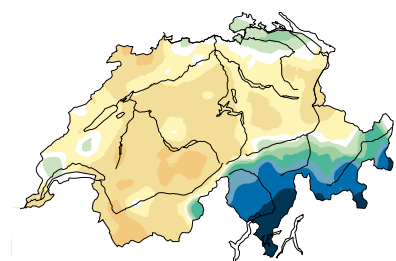
Distribuzione spaziale dello scarto delle temperature mensili in gradi rispetto alla norma 1991–2020 in °C.

Precipitazioni mensili nel 2024 in percento rispetto alla norma 1991–2020

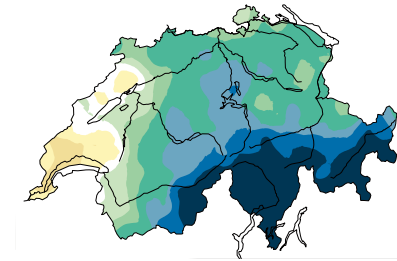
Gennaio 2024



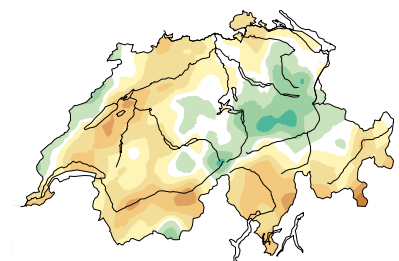
Febbraio 2024



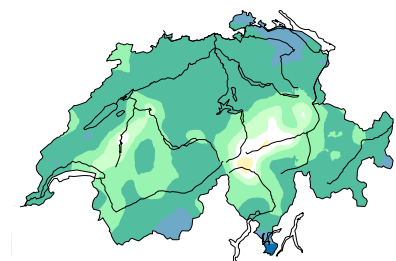
Marzo 2024



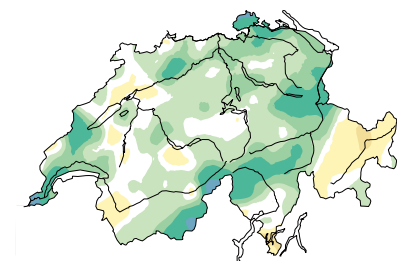
Aprile 2024



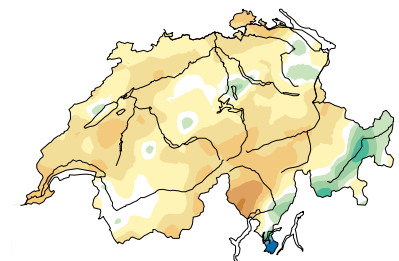
Maggio 2024



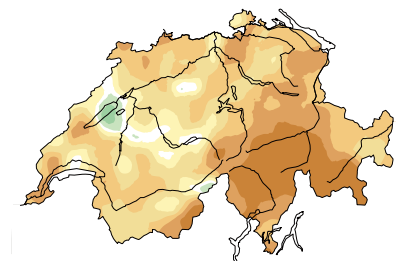
Giugno 2024



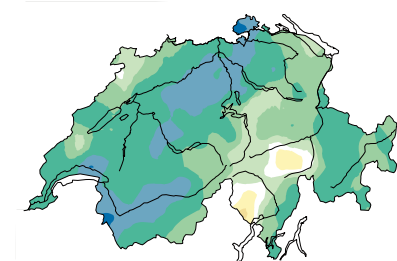
Luglio 2024



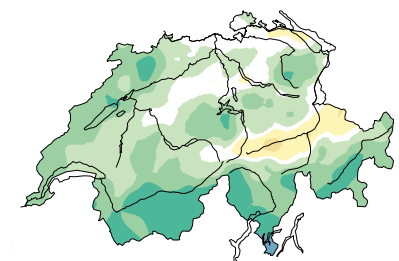
Agosto 2024



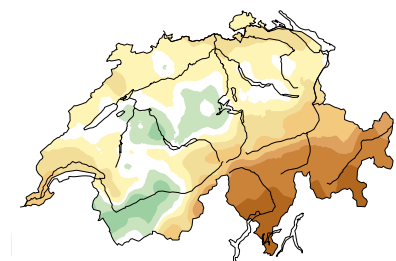
Settembre 2024



Ottobre 2024



Novembre 2024



Dicembre 2024

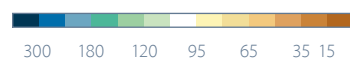
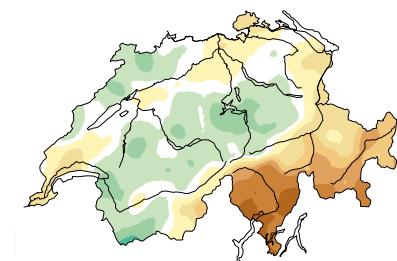
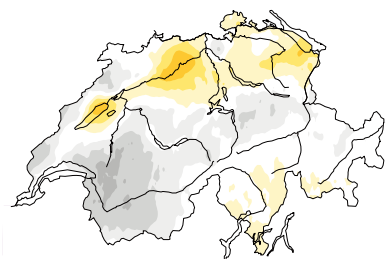


Figura 1.3

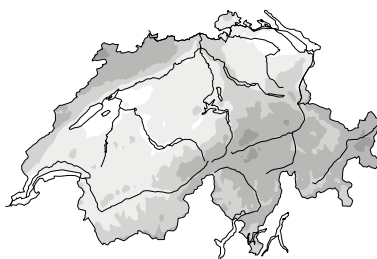
Distribuzione spaziale delle precipitazioni mensili in percento rispetto alla norma 1991–2020.

Soleggiamento mensile nel 2024 in percento rispetto alla norma 1991–2020

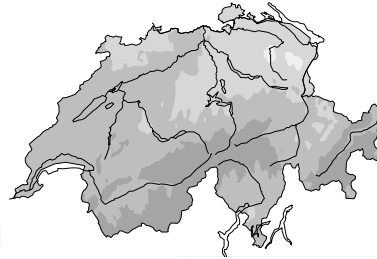
Gennaio 2024



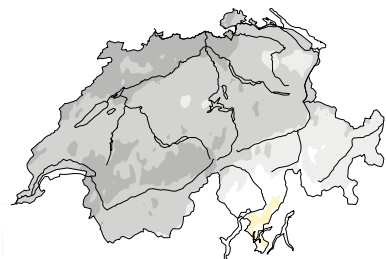
Febbraio 2024



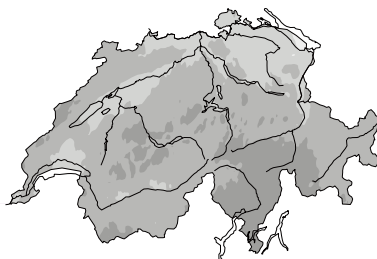
Marzo 2024



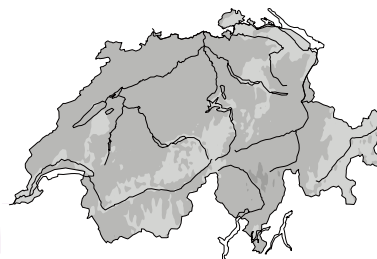
Aprile 2024



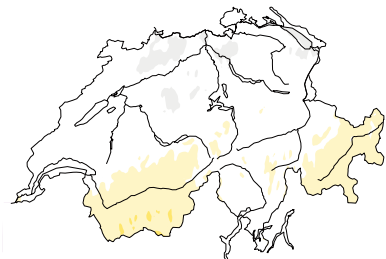
Maggio 2024



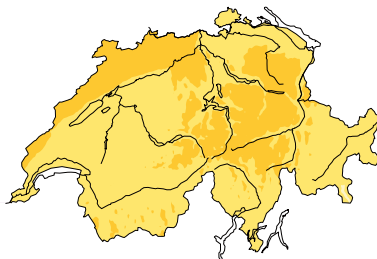
Giugno 2024



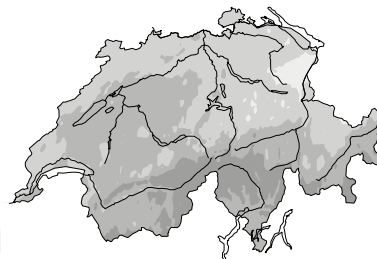
Luglio 2024



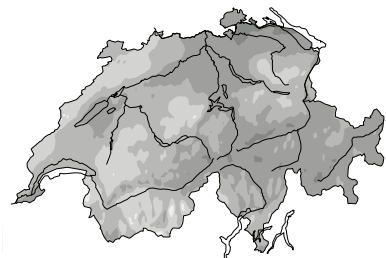
Agosto 2024



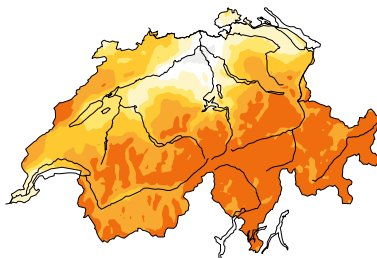
Settembre 2024



Ottobre 2024



Novembre 2024



Dicembre 2024

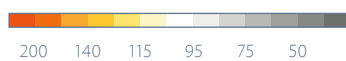
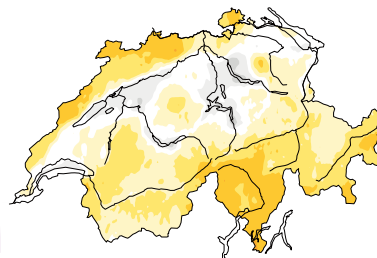


Figura 1.4

Distribuzione spaziale del soleggiamento mensile in percento rispetto alla norma 1991–2020.





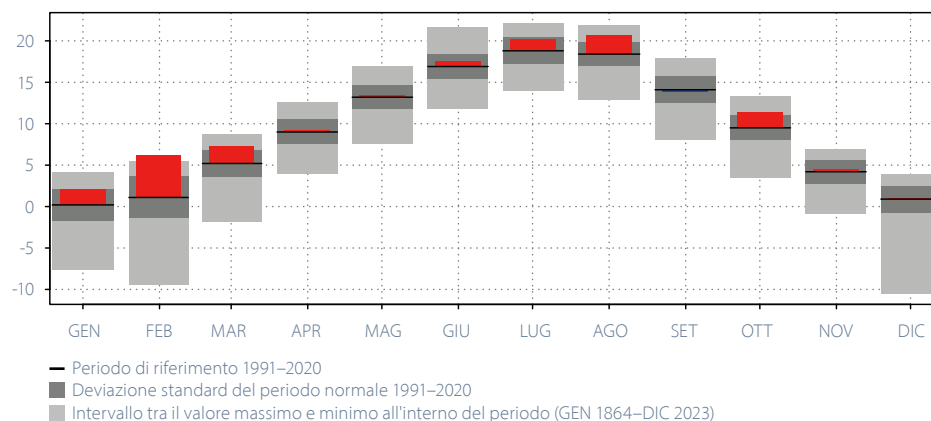
2 Diagrammi dell'andamento annuale

Temperatura, soleggiamento e precipitazioni Berna-Zollikofen (553 m) 1.1.–31.12.2024

Figura 2.1
**Andamento annuale
della temperatura
media mensile,
della durata del
soleggiamento mensile
e della somma della
precipitazione mensile
presso la stazione di
Berna-Zollikofen.**

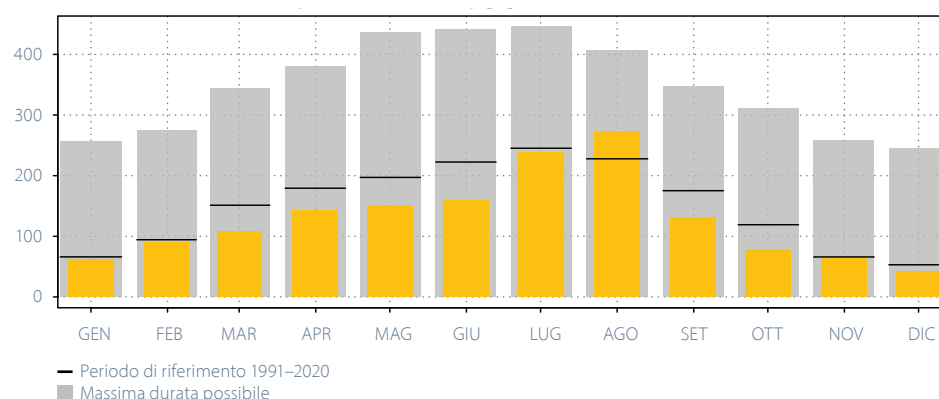
Temperatura media mensile in °C

Media: 10,6; Riferimento: 9,3



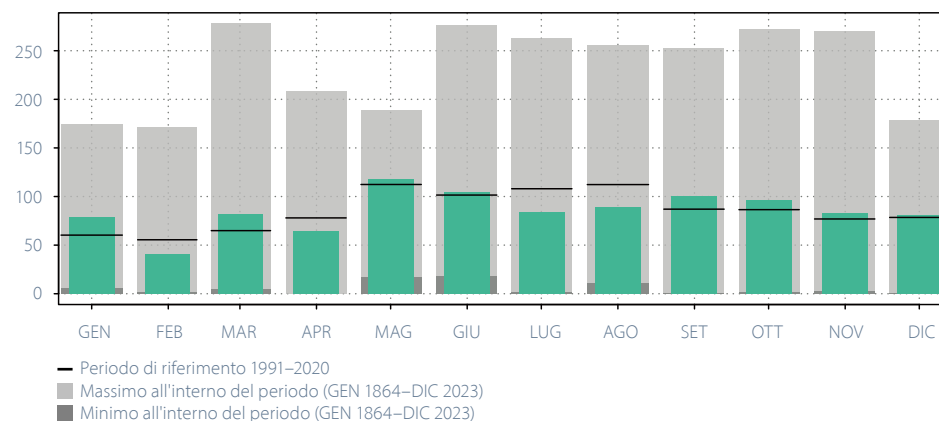
Durata del soleggiamento mensile in ore

Somma: 1541,6; Riferimento: 1797,1



Precipitazione mensile in mm

Somma: 1021,6; Riferimento: 1021,8



Temperatura, soleggiamento e precipitazioni Lugano (273 m) 1.1.–31.12.2024

Temperatura media mensile in °C

Media: 13,9; Riferimento: 13,0

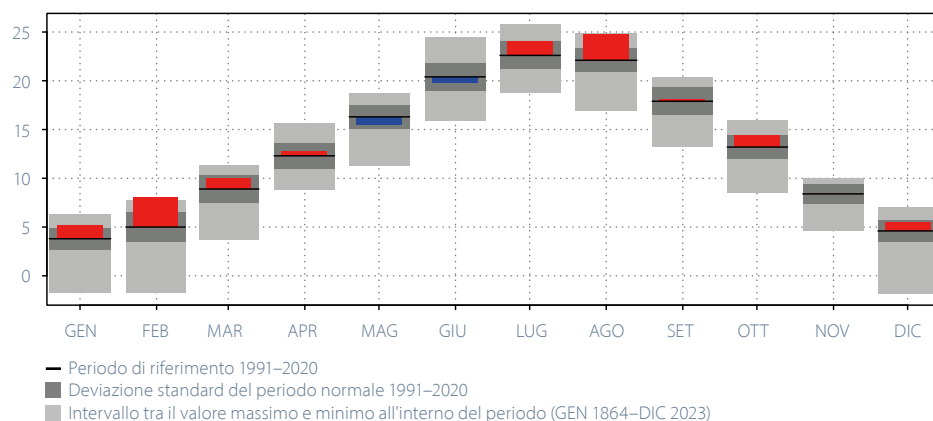
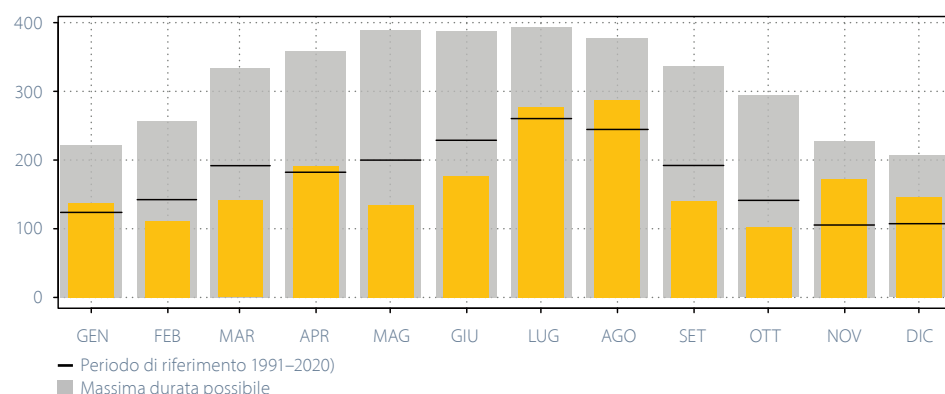


Figura 2.2

**Andamento annuale
della temperatura
media mensile, della
durata del soleggia-
mento mensile e della
somma della precipita-
zione mensile presso la
stazione di Lugano.**

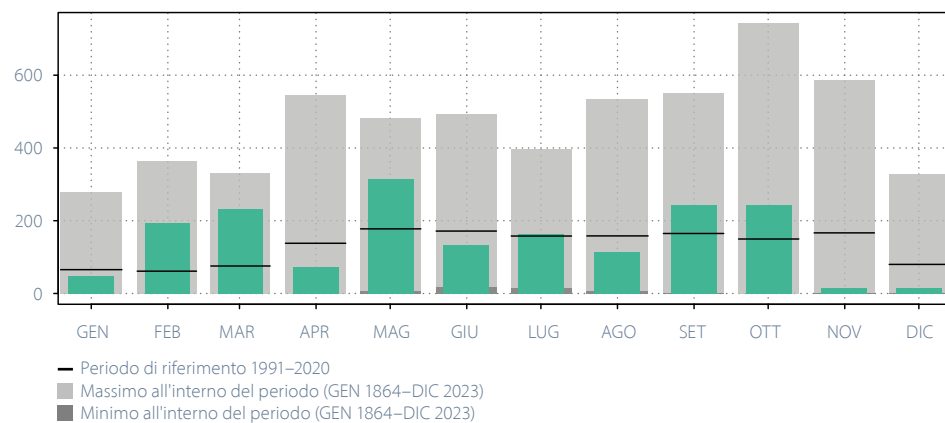
Durata del soleggiamento mensile in ore

Somma: 2019,2; Riferimento: 2119,8



Precipitazione mensile in mm

Somma: 1786,3; Riferimento: 1566,6



Andamento annuale della radiazione globale

La radiazione globale rappresenta la radiazione totale a onda corta (UV) che raggiunge la superficie terrestre e viene misurata su un piano orizzontale. La radiazione globale è di particolare importanza in relazione alla produzione di energia.

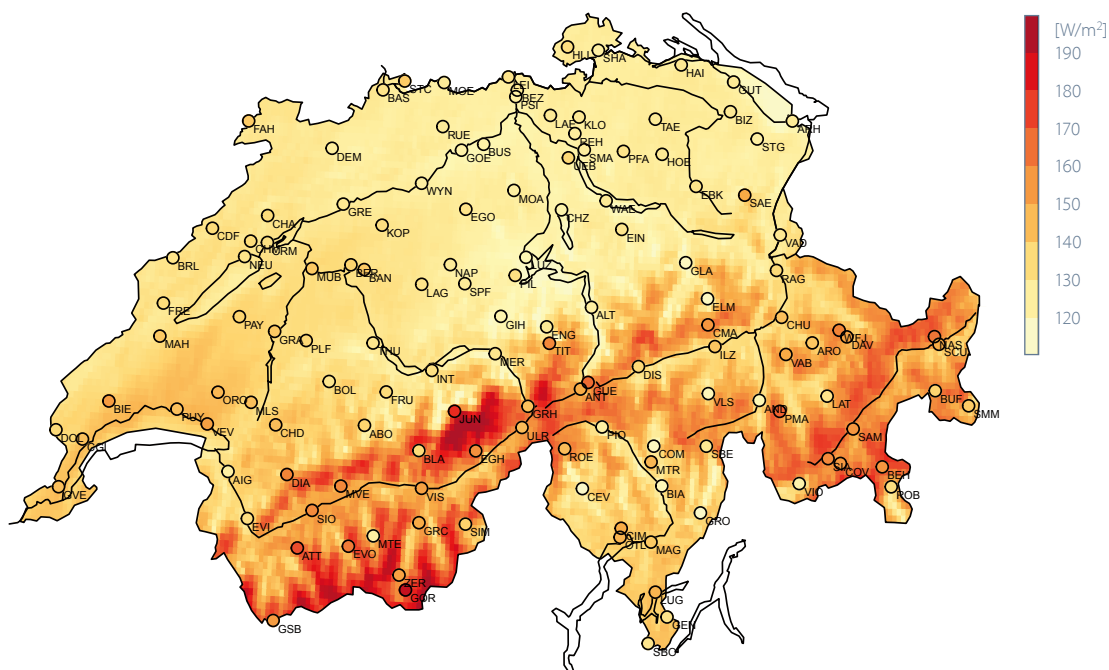
Nel 2024 la radiazione globale media ha raggiunto valori massimi di 180 W/m^2 (Figura 2.3). Anche nel 2024 la radiazione globale massima è stata misurata in prossimità della catena principale delle Alpi. La maggior parte delle stazioni dell'Altopiano ha rilevato valori molto bassi compresi tra 130 e 140 W/m^2 . Anche in Ticino, con circa 145 W/m^2 , la radiazione solare è risultata nettamente inferiore alla media del periodo di riferimento 2004–2023.

Sull'Altopiano, la stazione di Kloten ha misurato 132 W/m^2 . Nella Svizzera più occidentale, nella regione di Ginevra, con 145 W/m^2 sono stati registrati valori sensibilmente superiori. La radiazione solare è risultata nettamente superiore in alta montagna rispetto al resto della Svizzera: in Ticino, solitamente considerato il «salotto soleggiato» della Svizzera, a Lugano sono stati registrati 148 W/m^2 , mentre sullo Jungfrauoch la radiazione solare annua è risultata di 177 W/m^2 .

Figura 2.3

Radiazione globale media (in W/m^2) per il 2024 elaborata in base a rilevamenti dal satellite.

I cerchi indicano invece le stazioni di rilevamento al suolo e i rispettivi valori. La radiazione solare è un parametro molto locale. Dato che la risoluzione spaziale delle misure da satellite è di $2 \times 2 \text{ km}$, mentre le stazioni al suolo misurano in un solo punto, in questa mappa sono visibili le differenze spaziali dovute a zone d'ombra, a locali banchi di nebbia e all'orografia.



Rispetto alla media del periodo 2004–2023, il 2024 è stato un anno con una radiazione solare nettamente inferiore alla media. Salvo poche eccezioni, in Svizzera sono stati misurati da 7 a 10 W/m² in meno rispetto alla media del periodo di riferimento 2004–2023. Solo lungo le vette della catena principale delle Alpi i valori della radiazione solare sono risultati nella norma.

Alle nostre latitudini la radiazione globale presenta un marcato andamento stagionale che dipende principalmente dall'orbita solare (Figura 2.4). I valori medi giornalieri della radiazione globale variano però di molto in funzione della copertura nuvolosa.

Il 2024 è iniziato in gennaio con una radiazione solare media in tutte le regioni svizzere. Da febbraio è iniziato un lungo periodo prevalentemente grigio. In febbraio la radiazione solare è stata ampiamente inferiore alla norma, soprattutto nelle vallate alpine. Marzo è stato estremamente nuvoloso in tutta la Svizzera. In aprile una radia-

zione solare nella media è stata registrata solo in Ticino. Anche maggio è risultato molto nuvoloso in tutte le regioni. Le maggiori deviazioni dalla norma sono state registrate in maggio in Ticino. Anche in giugno il soleggiamento è stato eccezionalmente scarso. Persino lungo la catena principale delle Alpi in giugno sono stati misurati valori della radiazione globale leggermente inferiori alla media. In luglio è stato di nuovo registrato per la prima volta un lungo periodo soleggiato verso la fine del mese. Tuttavia, in gran parte della Svizzera, anche in luglio la radiazione mensile si situa solo attorno alla norma. In agosto, per la prima volta nel 2024, la radiazione globale è risultata superiore alla norma, soprattutto sull'Altopiano nella regione attorno a Basilea. Da settembre a metà ottobre il soleggiamento è di nuovo stato scarso in tutta la Svizzera. Novembre è iniziato con un periodo soleggiato. Specialmente in Ticino in novembre la radiazione solare è pertanto risultata superiore alla norma. Il 2024 si è concluso così come è iniziato, con valori della radiazione attorno alla norma.

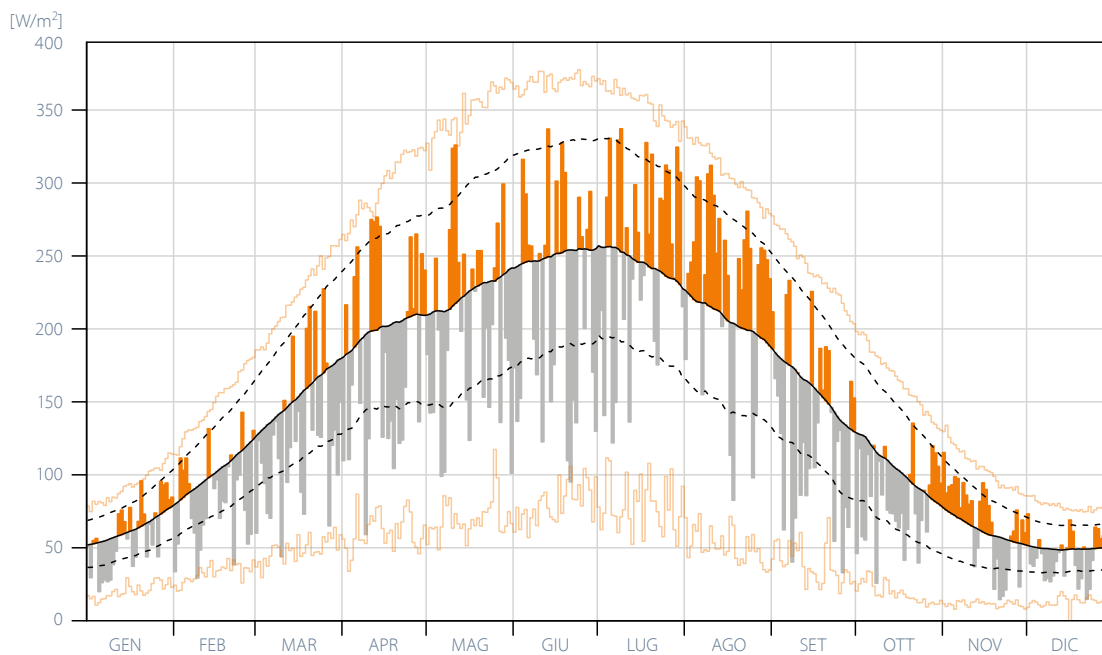


Figura 2.4
Radiazione globale media giornaliera mediata su tutta la Svizzera nel corso del 2024. Le colonne in arancione indicano una radiazione superiore al periodo di confronto 2004–2023, quelle in grigio valori al di sotto della media.

Quota dell'isoterma di zero gradi nell'atmosfera libera

L'andamento della quota dell'isoterma di zero gradi è monitorata mediante i radiosondaggi lanciati a Payerne due volte al giorno, alle 11 e alle 23 UTC. Tuttavia i radiosondaggi atmosferici non sempre consentono di determinare la quota dell'isoterma di zero gradi in modo univoco. In situazioni d'inversione termica, con più di una quota dell'isoterma di zero gradi nel profilo verticale, per la statistica è utilizzata la quota più elevata. Se al momento del radiosondaggio la temperatura misurata al suolo è inferiore a 0°C, si calcola una quota fittizia dell'isoterma di zero gradi sottraendo 100 m per ogni mezzo grado al di sotto degli 0°C (vale a dire se la temperatura è di -1,5°C si sottraggono 300 m alla quota della stazione). Poiché la stazione di Payerne si trova a una quota di 491 m slm, nei giorni in cui la temperatura al suolo è uguale o inferiore a -2,5°C, questo calcolo porta a una quota dell'isoterma di zero gradi situata al di sotto del livello del mare.

La Figura 2.5 mostra le variazioni giornaliere dell'altezza dell'isoterma di zero gradi durante l'anno 2024, in valori assoluti (altezza sul livello del mare) e rispetto ai valori di riferimento giornalieri del periodo 1991–2020 (curva nera). Le colonne blu e rosse mostrano le deviazioni dalla norma. La mediana del periodo 1991–2020 ammonta a 2605 m. Nel 2024 il valore mediano della quota dell'isoterma di zero gradi è stato di 2857 m, ovvero 252 m più alto rispetto alla media del periodo di riferimento e di 142 m superiore al valore del 2023. Il tasso percentuale delle anomalie negative nel 2024 ammonta al 36,4%. Nel 2023 la percentuale di anomalie negative era stata del 43,3%. Di conseguenza, rispetto al 2023, nel 2024 il tasso per-

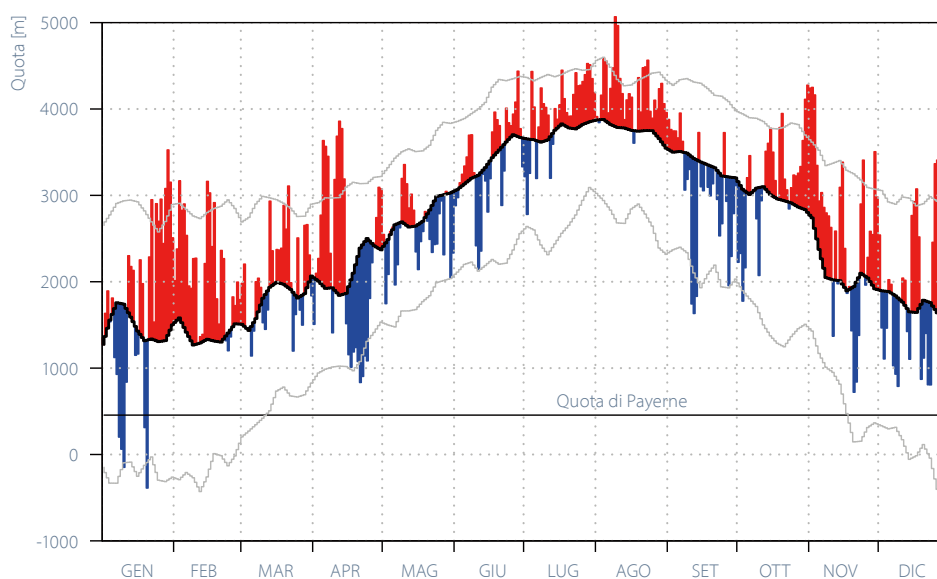
centuale delle anomalie positive (in rosso) è aumentato dal 56,7% al 63,6%. Il valore più alto della serie annuale è stato misurato il 10 agosto 2024 con una quota di 5068 m, 84 m al di sotto del valore massimo del 2023. La quota massima dell'isoterma di zero gradi del 2023 è la più alta mai registrata dall'inizio dei radiosondaggi nel 1954. La quota di -389 m calcolata il 20 gennaio 2023 corrisponde al minimo della serie annuale ed è 530 m più alta del valore minimo del 2023. In gennaio sono stati rilevati alcuni valori diurni al di sotto del livello del suolo. Alcuni valori diurni di gennaio, aprile e settembre sono stati inferiori anche al percentile del 5% (colonne blu che si estendono al di sotto della linea grigia inferiore). In generale, nel 2024 il valore soglia del 5° percentile delle deviazioni dalla media del periodo di riferimento non è stato raggiunto nel 2,7% dei giorni, mentre nel 2023 il 95° percentile della distribuzione climatologica è stato superato nel 14,0% di tutti i giorni (colonne rosse che si estendono al di sopra della linea grigia superiore).

Nell'andamento annuale 2024, tra gennaio e aprile e da ottobre a dicembre, si sono verificate lunghe fasi con una quota dell'isoterma di zero gradi relativamente alta. Queste fasi sono un chiaro indicatore del caldo eccezionale, che si era già verificato nel 2022 e nel 2023. Questo dimostra anche che gli scarti positivi delle temperature riguardano per lo più sia le basse, sia le alte quote. In generale la mediana annuale della quota dell'isoterma di zero gradi dell'anno 2024 conferma la tendenza positiva dei valori annui in atto dalla metà degli anni Ottanta del ventesimo secolo (cfr. capitolo 5.1.2).

Figura 2.5

Quota giornaliera dell'isoterma di zero gradi nell'atmosfera libera sopra Payerne nel 2024. Misurazioni aerologiche con radiosonde lanciate alle ore 00 UTC e 12 UTC. Il valore mediano (periodo di riferimento 1991–2020) è stato calcolato con dati omogenizzati e liscio con un filtro numerico. Il 90% dei valori medi giornalieri viene a trovarsi nella fascia tra i percentili del 5% e del 95%.

Mediana 2024: 2857 m; norma 1991–2020: 2605 m



Altitudine della tropopausa

La tropopausa divide la troposfera, la parte di atmosfera dove avvengono i fenomeni meteorologici, dalla stratosfera, strato molto secco e stabile. La tropopausa è caratterizzata da una chiara inversione dell'andamento della temperatura e normalmente corrisponde alla zona più fredda tra la troposfera e la stratosfera. Come per la quota dell'isoterma di zero gradi, anche l'altitudine della tropopausa sopra la Svizzera viene dedotta dai radiosondaggi lanciati due volte al giorno da Payerne, alle 11 e alle 23 UTC. L'altitudine è calcolata automaticamente in base a un algoritmo in linea con le direttive emesse dall'OMM (cfr. capitolo 5.3, Base dei dati e dei metodi).

La figura 2.6 mostra l'andamento giornaliero dell'altitudine della tropopausa nel corso dell'anno 2024. L'aumento della temperatura della colonna d'aria innalza l'altitudine della tropopausa. Per questa ragione la mediana del periodo normale 1991–2020 (linea nera) ha un marcato andamento annuale con valori più alti in estate e più bassi nel periodo invernale. L'altitudine della tropopausa è indicata in valori assoluti (in m s.l.m.) e in termini di deviazione dal periodo di riferimento 1991–2020. Le colonne blu e rosse nel grafico mostrano le deviazioni dalla norma. L'afflusso di masse di aria con provenienza polare o artica abbassa l'altitudine della tropopausa a valori al di sotto della linea di riferimento. Al contrario, l'afflusso di masse di aria calda di origine tropicale o subtropicale (marittima o continentale) innalza l'altitudine della tropopausa ri-

spetto ai valori normali dell'atmosfera sopra la Svizzera. La mediana dell'altitudine della tropopausa dell'anno 2024 ammonta a 11'560 m ed è pertanto di 305 m più alta della mediana di riferimento, pari a 11'255 m. Solo il 44,7% di tutti i valori giornalieri è inferiore al valore di riferimento. Nel 55,3% dei giorni del 2024 hanno invece superato il valore di riferimento. All'inizio dell'anno, da gennaio a febbraio, e in estate, da metà luglio all'inizio di settembre, le misure sono risultate superiori al valore di riferimento. In primavera, invece, le anomalie negative sono state frequenti, soprattutto nei mesi da aprile a giugno.

Rispetto al 2023, nel 2024 i valori di caldo estremo sono stati meno frequenti. Nel complesso il 9,0% delle deviazioni positive dalla norma ha superato il 95° percentile e solo il 5,2% delle anomalie negative è rimasto al di sotto del 5° percentile. L'altitudine più alta della tropopausa del 2024, pari a 14'607 m, è stata misurata il 10 agosto, quella più bassa, pari a 7564 m, il 23 dicembre.

L'aumento dei superamenti del 95° percentile dell'altitudine della tropopausa e la diminuzione dei valori al di sotto del 5° percentile (curve grigie) sono ulteriori indicatori del riscaldamento degli ultimi decenni. Con l'avanzare dei cambiamenti climatici il numero di anomalie positive e di superamenti del 95° percentile del periodo di riferimento 1991–2020 aumenterà ulteriormente.

Mediana 2024: 11'560 m; norma 1991–2020: 11'255 m

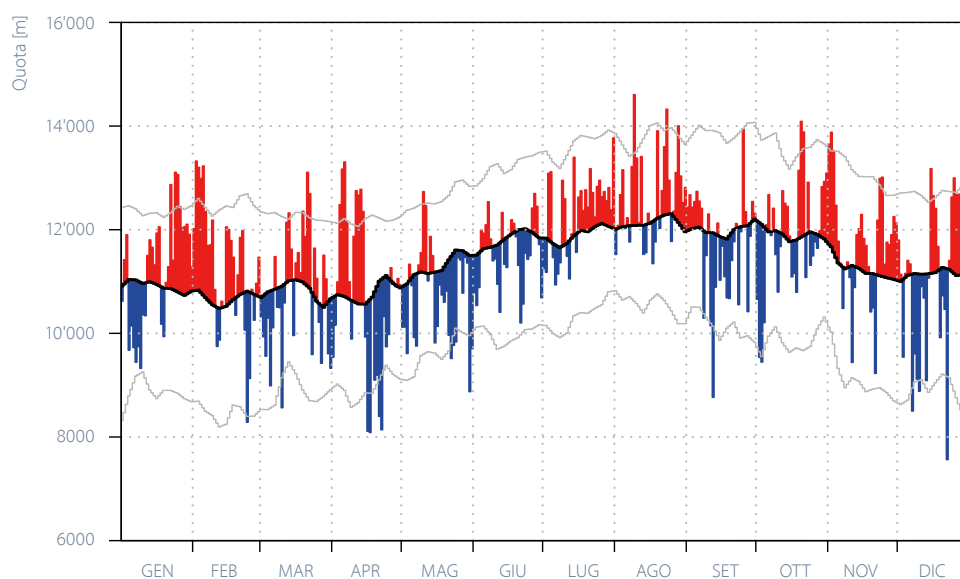


Figura 2.6

Quota giornaliera della tropopausa sopra Payerne nel 2024, in base ai radiosondaggi delle ore 11 UTC e 23 UTC. Il valore mediano (periodo di riferimento 1991–2020) è calcolato con dati omogenei e liscio con un filtro numerico. Il 90% dei valori medi giornalieri viene a trovarsi nella fascia tra i percentili del 5% e del 95%.

Precipitazioni intense eccezionali

Per valutare se si è in presenza di un evento meteorologico straordinario o meno, si eseguono delle analisi sulle frequenze (o analisi sui valori estremi), per sapere con quale frequenza media su un periodo lungo molti anni l'evento considerato potrebbe verificarsi, per esempio ogni 10 o 20 anni. Questo tipo di informazione viene chiamato periodo di ritorno. Attraverso questo procedimento (analisi spaziale dei valori estremi con periodo di base 1961–2020) viene valutato per ogni stazione di misura il quantitativo massimo di precipitazione cumulato su 1 giorno durante l'anno analizzato. Soprattutto nel caso di eventi rari, la stima dei periodi di ritorno è soggetta a notevoli incertezze.

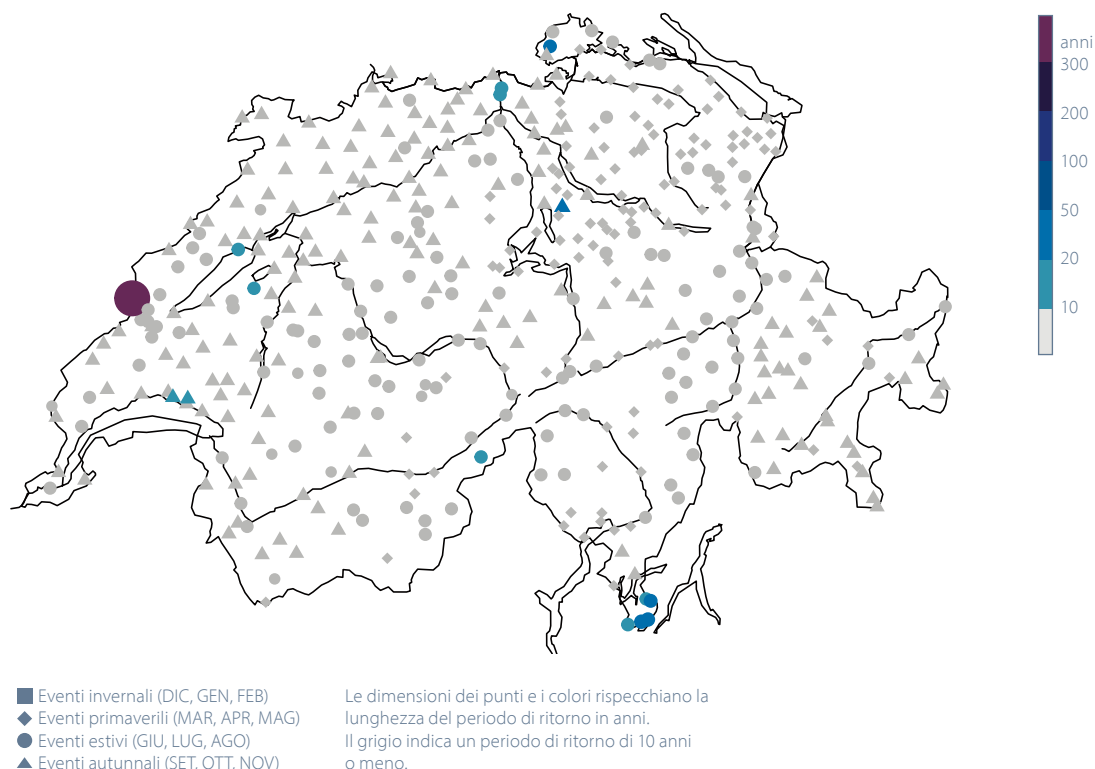
Durante i mesi estivi si sono verificati alcuni eventi di maltempo con gravi conseguenze e grandi quantitativi di precipitazione in poche ore e su più giorni (cfr. capitolo 3.1). Sono stati particolarmente colpiti il Sud delle Alpi e il Vallese. Nel 2024 le precipitazioni massime giornaliere, misurate dalle 6 alle 6 UTC, hanno tuttavia raggiunto quantitativi eccezionali solo in singoli casi e in tutte le regioni svizzere. Il 25 giugno sul versante nordalpino e nel Giura occidentale si sono verificati temporali diffusi.

Sopra il Giura si è formata una cella temporalesca, che nella stazione di misura di L'Auberson ha portato precipitazioni talmente abbondanti da stabilire un nuovo record del quantitativo giornaliero, pari a circa 130 mm. Il periodo di ritorno di questo evento è attualmente stimato a ben oltre 100 anni.

Sulla scia di una corrente in quota proveniente da sud-ovest, il 7 luglio 2024 nel Ticino meridionale e soprattutto nel Mendrisiotto, si sono verificate abbondanti precipitazioni temporalesche. A Coldrerio e Morbio Superiore sono stati registrati quantitativi complessivi di 186 mm, rispettivamente 195 mm di precipitazione giornaliera, che per queste località corrispondono a un evento che si verifica circa ogni 45 anni.

Nel 2024 eventi con precipitazioni massime giornaliere con un periodo di ritorno di oltre dieci anni si sono inoltre verificati soprattutto in luglio, agosto e settembre, ad es. nelle stazioni di misura di Hallau, Beznau, Pully, Neuchâtel e Binn.

Figura 2.7
**Periodi di ritorno in anni
dei massimi quantitativi
delle precipitazioni su
1 giorno (ore 6 fino
alle ore 6 del giorno
seguente) nel 2024,
divisi per stagione.**



Andamento annuale della radiazione UV

La parte UV-B dello spettro di radiazione solare è importante poiché influisce in modo significativo sugli esseri umani, anche se in certi casi può comportare problemi di salute (cancro della pelle, danni agli occhi, ecc.), mentre è determinante per la produzione di vitamina D nel corpo. Le misurazioni di raggi UV sono eseguite con un biometro UV eritemale. Questo strumento misura l'intensità della radiazione UV utilizzando un filtro eritemale che riproduce la sensibilità della pelle, principalmente ai raggi UV-B con una piccola porzione di UV-A. MeteoSvizzera effettua le misurazioni di radiazioni UV a Davos dal maggio 1995, sullo Jungfrauoch dal novembre 1996, a Payerne dal novembre 1997 e a Locarno-Monti dal maggio 2001.

Rispetto all'andamento medio annuo, nel 2024 la media mobile della radiazione UV mostra valori altrettanto elevati fino all'inizio di aprile. Poco prima della metà di aprile (12–14 aprile) nelle quattro stazioni la radiazione UV è stata molto elevata. Alcuni di questi valori giornalieri medi hanno raggiunto le medie climatologiche di giugno e luglio.

L'intensità della radiazione UV è influenzata da diversi fattori. Da un lato vi sono fattori che non cambiano da un anno all'altro, come la posizione del Sole e l'altitudine della stazione di misura. Gli altri principali fattori sono la nuvolosità e il quantitativo di ozono nell'atmosfera (principalmente nello strato di ozono).

Dal 12 al 14 aprile la combinazione di giornate soleggiate con una scarsa nuvolosità e bassi valori della colonna di ozono spiega gli elevati valori della radiazione UV. Questo evento era limitato nel tempo perché dal 6 al 16 aprile i quantitativi della colonna di ozono nell'atmosfera erano elevati. Dalla fine di aprile a metà luglio la radiazione UV è risultata inferiore alla media a Locarno-Monti, a Payerne e in misura minore a Davos. Questo è da ricondurre al soleggiamento inferiore alla media durante la primavera e nel mese di giugno 2024.

Dalla metà di luglio alla fine di agosto, a Locarno-Monti, a Payerne, sullo Jungfrauoch e in minor misura a Davos i valori misurati sono invece stati superiori alla media. Infatti questo periodo è stato caratterizzato da un forte soleggiamento. Dalla fine di agosto alla fine dell'anno nelle quattro stazioni di misura la radiazione UV misurata corrisponde di nuovo al livello dell'andamento annuale medio.

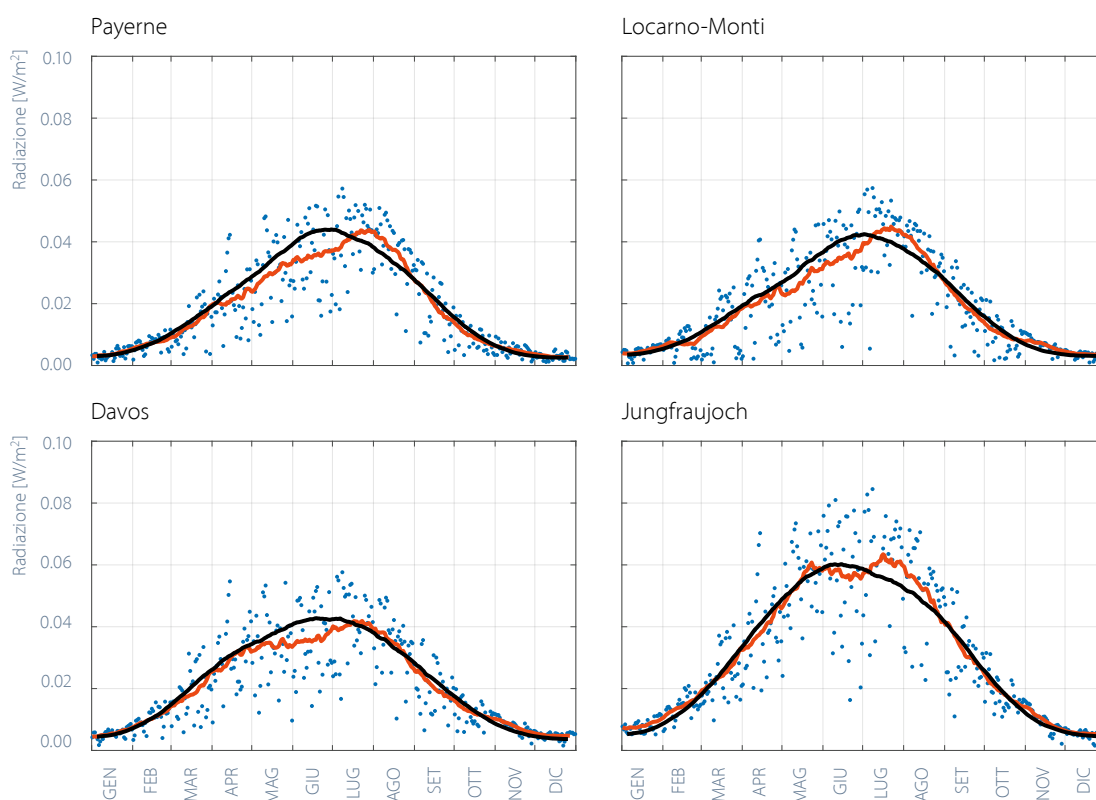


Figura 2.8
Valori medi giornalieri della radiazione ultra-violetta UV-B (in W/m^2) nel 2024 (punti blu) nelle stazioni di Payerne, Locarno-Monti, Davos e dello Jungfrauoch. Linea rossa: media mobile mensile (31 giorni). Curva nera: andamento medio annuo calcolato in base ai dati 1995–2023 (Davos), 1997–2023 (Jungfrauoch), 1998–2023 (Payerne) e 2001–2023 (Locarno-Monti).

• Valore giornaliero
— Andamento mensile 2024
— Andamento climatologico medio

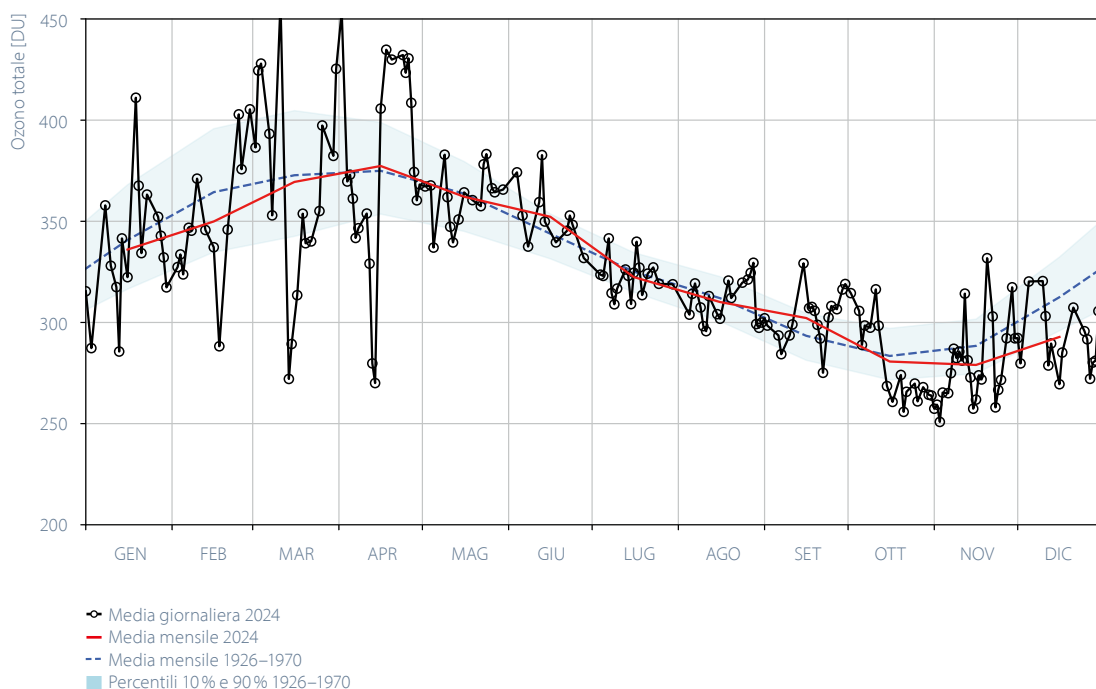
Serie di misurazioni dell'ozono ad Arosa e Davos

Le misure della colonna di ozono sono state effettuate dal 1926 ad Arosa e dal 2018 a Davos. Per il 2024 l'andamento della colonna di ozono sopra Davos (Figura 2.9) mostra il tipico andamento con valori massimi raggiunti in inverno e in primavera e valori minimi in autunno. L'andamento della colonna totale di ozono nel corso dell'anno è fortemente condizionato dal trasporto di ozono dalle regioni polari, dove la massima concentrazione di ozono è raggiunta verso la fine della notte polare, quindi all'inizio della primavera.

Nel 2024 i valori annuali dell'ozono erano assolutamente paragonabili a quelli del periodo di riferimento 1926–1970 (vedi anche la Figura 5.18). La Figura 2.9 mostra che questo vale per tutti i mesi del 2024. La variabilità è particolarmente pronunciata in marzo e aprile. Essa è associata alla dinamica del vortice polare e non è dovuta a incertezze delle misure. La diminuzione della colonna di ozono prima della metà di aprile (12–14 aprile) ha portato a un significativo aumento a breve termine della radiazione UV in Svizzera (vedi Figura 2.9).

La riduzione dell'ozono totale sopra Arosa è iniziata attorno al 1970, momento di forte crescita delle emissioni di sostanze che distruggono l'ozono. Dal 2000 circa si è invece osservata una stabilizzazione dell'ozono totale.

Figura 2.9
Andamento annuale della colonna dell'ozono totale sopra Arosa nel 2024. Il grafico mostra la concentrazione di ozono in unità Dobson (DU). 100 DU = 1 mm di ozono puro a 1013 hPa di pressione e 0 °C di temperatura. Curva nera: media giornaliera. Curva rossa: media mensile. Curva blu: andamento medio annuale nel periodo 1926–1970, cioè prima dell'insorgere del problema della distruzione dell'ozono stratosferico.



Dal 1956 a ottobre 2018 il profilo dell'ozono sopra Arosa è stato misurato per mezzo di uno spettrofotometro Dobson. La Svizzera dispone così della serie di misura dell'ozono più lunga al mondo. Le oscillazioni della concentrazione dell'ozono nel 2023 sono riportate in colore nella Figura 2.10. I valori medi del periodo 1970–1980 sono indicati in nero (isoipse per 20, 40, 60 e 80 DU). Questo permette di visualizzare le deviazioni dei valori dell'ozono dalla media climatologica nel corso dell'anno in funzione dell'altitudine.

Dai profili dell'ozono stratosferico nel 2024 emergono valori inferiori alla media climatologica tra l'8 e il 13 dicembre, durante lo spostamento del vortice polare, alle nostre latitudini.

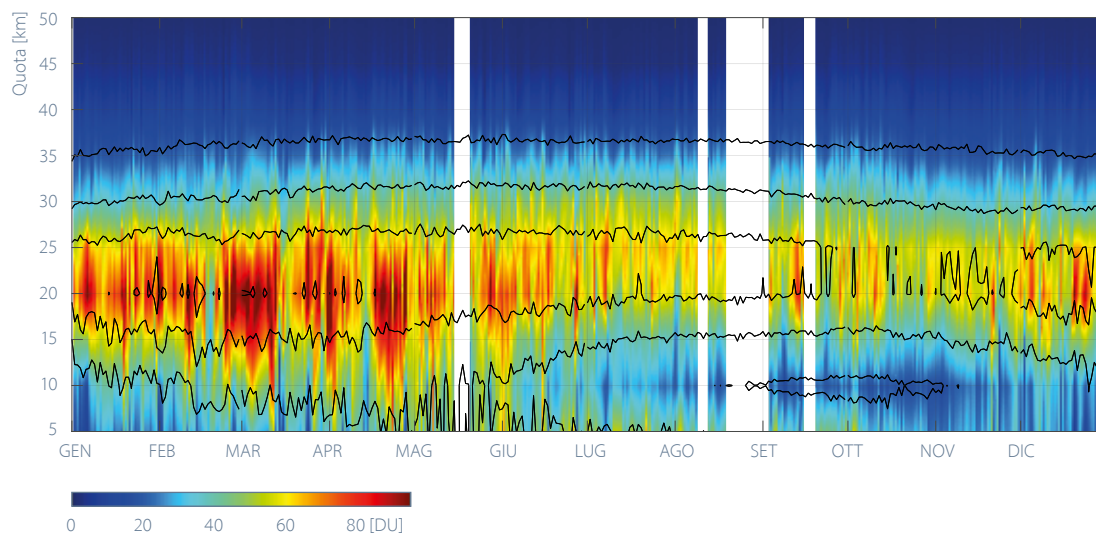
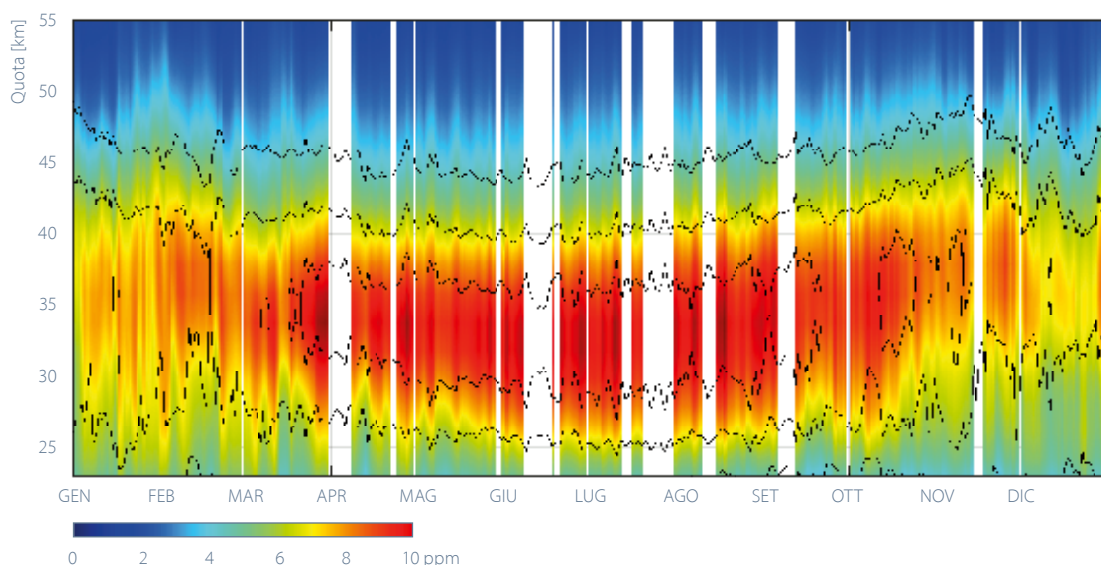


Figura 2.10
Profilo dell'ozono sopra Davos nel 2024, rilevato dallo spettrofotometro Dobson. Il grafico mostra le concentrazioni in unità Dobson (DU), sulla scala destra, tra 0 e 90 DU. 100 DU = 1 mm di ozono puro a 1013 hPa di pressione e 0° C di temperatura.

Misurazioni dell'ozono a Payerne

A partire dal 2000 alla stazione di Payerne viene misurata la distribuzione verticale dell'ozono ogni 60 minuti grazie al radiometro a microonde SOMORA (Stratospheric Ozone Monitoring Radiometer). La Figura 2.11 mostra a colori l'andamento dell'ozono del 2024 e in nero quello del 2023 (isoipse per 4, 6 e 8 ppm). Questo permette di rappresentare le diverse concentrazioni di ozono nel corso dell'anno in funzione dell'altitudine e in rapporto all'anno precedente.

Figura 2.11
Profilo verticale dell'ozono sopra Payerne nel 2024, misurato con un radiometro a microonde. È riportata la concentrazione volumetrica (VMR) in parti per milione (ppm) di ozono (scala a destra tra 0 e 10 ppm).



Le misurazioni dell'ozono nell'atmosfera fino a circa 35 km di quota sono eseguite durante i radiosondaggi. I dati raccolti permettono di determinare l'evoluzione temporale delle quantità di ozono nei diversi strati dell'atmosfera. La Figura 2.12 mostra l'andamento dettagliato per il 2024 a diverse altitudini:

- Il soleggiamento più importante a quote più elevate in estate (riferimento 15 hPa = ~28 km) provoca un massimo di ozono in questa stagione.
- Nella stratosfera inferiore, riferimento 40 hPa = ~22 km, l'andamento annuale dell'ozono è fortemente dominato dal trasporto di ozono dalle regioni polari, dove la sua massima concentrazione è raggiunta verso la fine della notte polare, quindi all'inizio della primavera.
- Nella parte superiore della troposfera (riferimento 300 hPa = ~9 km), il massimo estivo è nettamente appiattito perché le condizioni per la formazione di ozono non sono ottimali (disponibilità di energia e di ossigeno). I forti picchi sono dovuti all'arrivo di ozono da quote più elevate (stratosfera) oppure all'abbassamento della tropopausa a quote inferiori a 300 hPa.
- Alla quota più bassa (925 hPa, vicino al suolo) il valore massimo di ozono si manifesta in estate come conseguenza della forte radiazione solare abbinata all'inquinamento atmosferico (che favorisce la formazione di ozono).



Figura 2.12

Andamento della concentrazione di ozono (pressione parziale in nanobar) nel 2024 a diverse quote dell'atmosfera (ai livelli di 15, 40, 300 e 925 hPa). I colori mostrano bene l'accordo tra i dati dei radiosondaggi e quelli della misurazione dell'ozono ad Arosa. In blu: accordo ottimo; in verde: accordo buono; in rosso: differenze significative.

Misurazione degli aerosol sullo Jungfraujoch

Gli aerosol influiscono sull'atmosfera con i loro effetti diretti (assorbimento e diffusione della radiazione solare) e indiretti (formazione di nubi). L'ampiezza di questi effetti in riferimento al riscaldamento o al raffreddamento resta una delle maggiori incertezze dei modelli climatici [2]. Le misurazioni degli aerosol eseguite sullo Jungfraujoch dal 1995 rappresentano una delle più lunghe serie di misurazioni al mondo [3].

L'andamento annuale dei parametri degli aerosol sullo Jungfraujoch mostra valori massimi in estate e minimi in inverno. Gli aerosol prodotti da processi naturali e antropici si accumulano principalmente nello strato limite terrestre, lo strato più basso dell'atmosfera, che secondo la stagione presenta uno spessore tra 0,5 e 2,0 km.

Durante l'estate, il riscaldamento del suolo provoca la formazione di correnti convettive con le quali gli aerosol vengono trasportati a quote più elevate: lo Jungfraujoch

viene così a trovarsi maggiormente sotto l'influsso dello strato limite terrestre. In inverno, per contro, lo Jungfraujoch si trova per lo più nella troposfera libera [4] e quindi in posizione ottimale per la misurazione delle proprietà ottiche dell'atmosfera e della concentrazione degli aerosol, lontano dalle fonti di emissione.

Nel 2024 la concentrazione di aerosol sullo Jungfraujoch è risultata per la maggior parte del tempo inferiore al valore di riferimento, in linea con la tendenza a lungo termine a una diminuzione della concentrazione di aerosol. I parametri sono risultati superiori al valore di riferimento principalmente in estate. In questo periodo le temperature superiori alla media e i minori quantitativi di precipitazione favoriscono l'apporto di aria inquinata verso lo Jungfraujoch. La concentrazione di polvere minerale proveniente dal deserto del Sahara è stata particolarmente alta in novembre e dicembre (Figura 2.13); questo spiega i valori elevati, soprattutto in novembre.

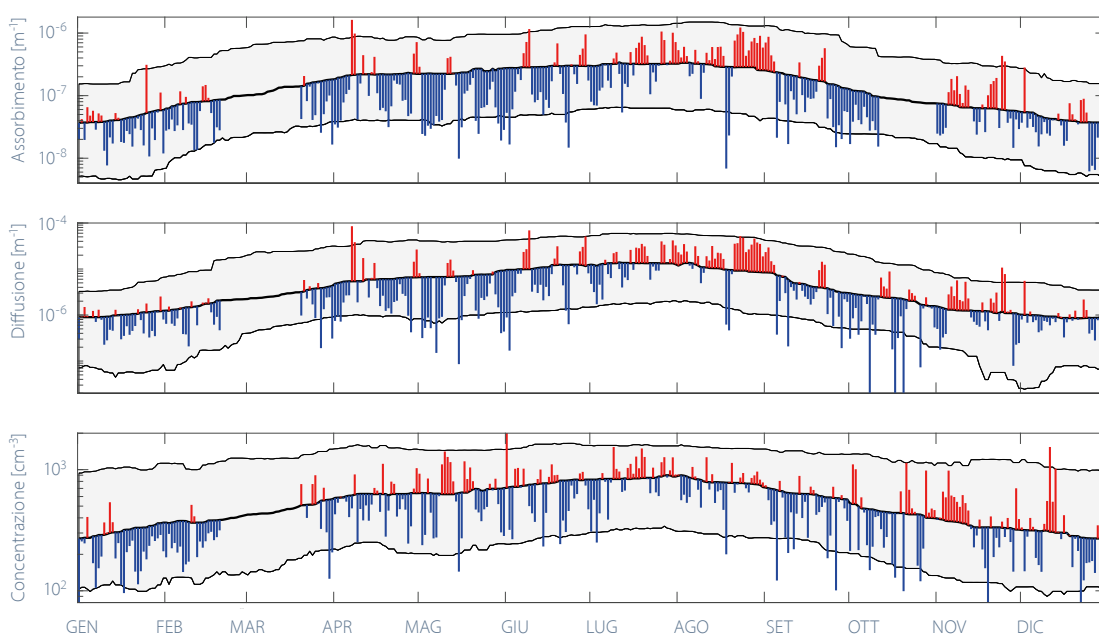


Figura 2.13

Andamento del coefficiente di assorbimento per la lunghezza d'onda di 880 nm (in alto), di diffusione per la lunghezza d'onda di 550 nm (al centro), nonché della concentrazione delle particelle di aerosol sullo Jungfraujoch nel 2024 (in basso). La curva nera mostra la media del periodo 1995–2020. Il 90% dei valori della media giornaliera viene a trovarsi nella fascia tra le linee grigie che indicano i percentili 5% e 95%.

Eventi di polvere sahariana

La polvere minerale, di cui il deserto del Sahara è la fonte più importante, costituisce una parte importante degli aerosol atmosferici. In passato, la presenza di polvere minerale nell'aria veniva stabilita analizzando le precipitazioni o la sua deposizione nella neve e nel ghiaccio. A partire dal 2001, presso la stazione alpina di ricerca dello Jungfraujoch situata a un'altitudine di 3580 m vengono invece effettuate misurazioni continue dei coefficienti di diffusione e assorbimento a diverse lunghezze d'onda. Queste misurazioni hanno permesso di sviluppare un nuovo metodo automatico per la determinazione oraria degli eventi di polvere del Sahara in Svizzera (Saharan Dust Events SDE). Con questo metodo si può studiare la frequenza degli eventi di polvere del Sahara nelle Alpi.

Avendo dati a partire dal 2001, ottenuti sempre con gli stessi strumenti di misura, disponiamo oggi di una climatologia degli eventi di polvere sahariana che copre il periodo 2001–2017. Durante questo intervallo di tempo, ogni anno

sono stati identificati tra 10 e 50 eventi di polvere sahariana, che corrispondono a 200–700 ore all'anno. Tipicamente nelle Alpi la polvere minerale del Sahara contribuisce in modo significativo alla concentrazione di aerosol in primavera (da marzo a giugno) e nei mesi di ottobre e novembre. Gli eventi di polvere sahariana sono invece meno frequenti in estate, ma a volte possono durare a lungo, mentre in inverno sono generalmente molto brevi. La maggior parte degli eventi (~50 %) dura solo poche ore, mentre il 25 % dura più di un giorno.

Dal 22 febbraio al 21 marzo 2024 non sono state effettuate misurazioni perché gli strumenti sono stati calibrati. Nel 2024 e in linea con la climatologia, gli eventi di polveri sahariana sono stati particolarmente frequenti in primavera (fino a giugno) e nel tardo autunno.

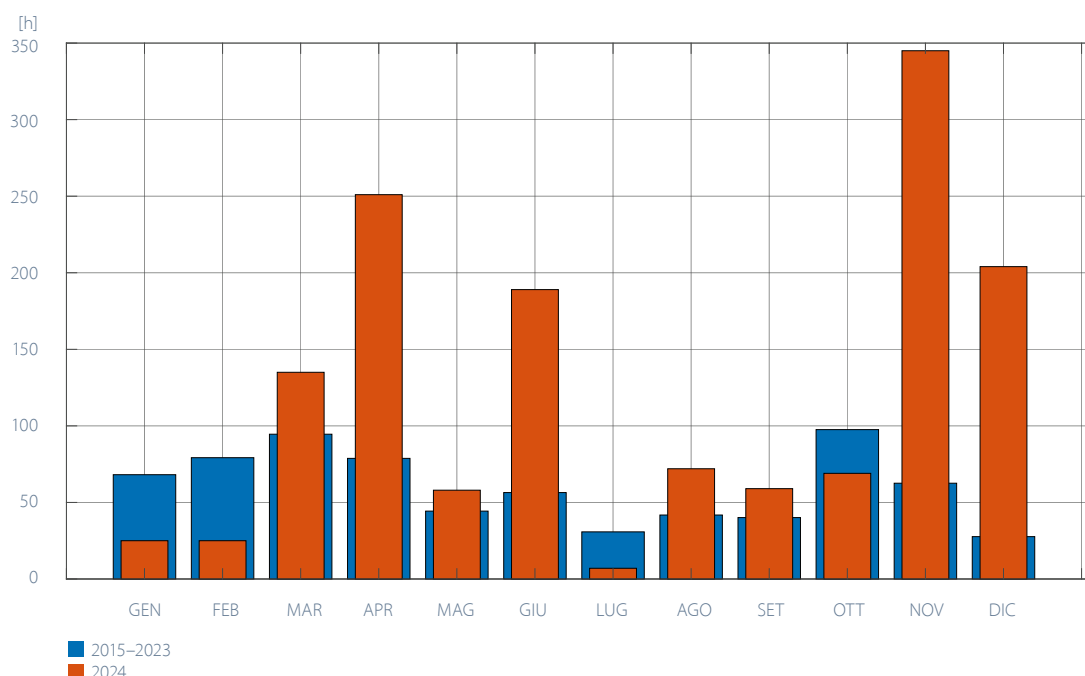


Figura 2.14
Numero di ore al mese con una presenza di polvere sahariana per una durata di almeno sei ore presso la stazione di misura dello Jungfraujoch nel periodo 2015–2023 e nel 2024.

Sviluppo della vegetazione

L'anno fenologico 2024 è cominciato con la terza fioritura del nocciolo più precoce dal 1951. Poiché in febbraio le temperature particolarmente miti hanno accelerato lo sviluppo della vegetazione primaverile, dalla fioritura del farfaro (tossilaggine comune) fino a quella dei meli sono state osservate nuove date record con un anticipo di 15 giorni rispetto alla media del periodo 1991–2020.

Il tempo variabile e piovoso a partire dalla metà di aprile ha ridotto a pochi giorni l'anticipo dell'ulteriore sviluppo della vegetazione. La colorazione delle foglie è avvenuta con un ritardo da cinque a sette giorni rispetto alla media, mentre per molte specie arboree la caduta delle foglie si è conclusa nella norma, ancora prima dell'arrivo della neve fino in pianura il 21 novembre.

Per confrontare le date delle fasi fenologiche dell'anno 2024 con quelle del periodo di riferimento 1991–2020, queste ultime sono suddivise in classi. Il 10% delle date più precoci e più tardive vengono classificate rispettivamente come molto precoci o molto tardive; il successivo 25% delle date precoci o tardive sono invece definite precoci o tardive. Il rimanente 50% delle date delle fasi fenologiche, corrispondente al centro della distribuzione statistica, è considerato come normale. Le deviazioni dalla data media del periodo di riferimento, in numero di giorni, sono indicate per il rimanente 50% di tutte le osservazioni dell'anno 2023 (ovvero per il 25% e il 75% percentile) o per la mediana di tutte le stazioni. Alcune fasi fenologiche vengono osservate solo a partire dal 1996, quindi per queste fasi viene indicata la deviazione rispetto al periodo 1996–2020. L'osservazione delle fasi fenologiche è iniziata nel 1951–1953.

Primavera

Durante l'inverno più mite dall'inizio delle misure e il mese di marzo altrettanto mite la vegetazione primaverile si è sviluppata molto precocemente. I primi noccioli in fiore sono stati osservati nei giorni più caldi all'inizio di gennaio in poche località della rete di osservazioni fenologiche. L'ulteriore fioritura dei noccioli è tuttavia stata rallentata dall'arrivo dell'inverno a partire dalla seconda settimana di gennaio. Con l'arrivo di temperature più miti dal 22 gennaio i noccioli sono fioriti molto rapidamente in tutta la Svizzera. Noccioli in fiore sono stati osservati in montagna a una quota di 1000 m già alla fine di gennaio e all'inizio di febbraio. Rispetto alla media del periodo 1991–2020, nel 2024 la fioritura del nocciolo ha avuto un anticipo di 19 giorni. Soprattutto al sopra degli 800 m circa, l'anticipo dovuto alle temperature particolarmente miti di febbraio è stato di oltre 30 giorni. Dopo gli anni 2023 e 2020, si è trattato della terza fioritura del nocciolo più precoce dall'inizio delle osservazioni nel 1953.

A partire dalla fioritura del farfaro (tossilaggine comune) dalla metà di febbraio fino alla fioritura dei meli in aprile, tutte le fasi fenologiche di fioritura non sono mai state osservate così precocemente come nel 2024. Il farfaro è fiorito con un anticipo di 15 giorni e anche la fioritura dell'anemone bianco dall'inizio alla fine di marzo ha avuto un anticipo di 15 giorni. Il tarassaco comune e la cardamine dei prati sono fioriti a partire dall'ultima decade di marzo, sempre con un anticipo di 14–15 giorni.

Gli albicocchi, i prugni, i ciliegi giapponesi e il prugnolo selvatico sono fioriti dall'inizio alla metà di marzo. L'inizio della fioritura dei ciliegi è stato segnalato dalle prime stazioni di diverse regioni in pianura a partire dal 14–20 marzo, mentre la fioritura generale è stata osservata a partire dal 21 marzo. Al di sotto dei 600 m, i ciliegi sono fioriti in media il 1° aprile, i peri il 4 aprile e i meli il 10 aprile. Rispetto alla media, la fioritura degli alberi da frutto ha avuto un anticipo di 13–15 giorni. La fioritura del ciliegio è stata altrettanto precoce nel 1961, mentre i peri e i meli sono fioriti con un anticipo di due–quattro giorni rispetto a tutti gli anni dall'inizio delle osservazioni nel 1951. Lo sviluppo precoce della vegetazione ha reso i fiori, i giovani frutti e i germogli delle foglie soggetti ai danni del gelo tardivo. Nella seconda metà di aprile le temperature minime sono scese sotto gli zero gradi soprattutto nella Svizzera romanda e in Vallese, provocando danni da gelo.

Estate

Sempre a partire dall'ultima decade di marzo i primi larici hanno spiegato gli aghi e i noccioli le foglie. Tra la fine di marzo e l'inizio aprile gli ippocastani, i sorbi degli uccellatori e le betulle sono diventati verdi, seguiti dal 6 aprile circa da tigli e aceri montani e dal 10 aprile dai faggi. Lo spiegamento delle foglie ha avuto un anticipo compreso tra sei e dieci giorni rispetto alla media. A causa del brusco calo della temperatura a metà aprile, lo sviluppo delle foglie ha subito un rallentamento e nei faggi lo spiegamento delle foglie è di nuovo stato osservato più frequentemente solo verso la fine del mese, riducendone l'anticipo a quattro giorni. Le date mostrano che lo spiegamento delle foglie non reagisce alle alte temperature con la stessa intensità della fioritura. Gli abeti rossi hanno spiegato i loro aghi da circa metà aprile in pianura e da circa metà maggio a 1000 m. di quota. Mentre in pianura l'anticipo dello spiegamento degli aghi degli abeti rossi è stato di otto giorni rispetto alla media, al di sopra di 1000 m si è nuovamente verificato nella norma.

In pianura le margherite dei prati sono fiorite in media il 2 maggio con un anticipo di nove giorni rispetto alla media e al di sopra dei 1000 m il 2 giugno con un anticipo di quattro giorni. Il tempo variabile e molto piovoso in maggio ha ridotto ulteriormente l'anticipo dello sviluppo della vegetazione.

Maggio e giugno sono entrambi stati poco soleggiati e piovosi. Perciò è stato difficile trovare giornate di bel tempo adatte alla fienagione. Alcuni contadini avevano già fatto il fieno a metà aprile e negli ultimi giorni di aprile con molto anticipo. Altri hanno approfittato del breve periodo soleggiato dal 9 al 12 maggio per falciare il fieno con circa 3–12 giorni di anticipo rispetto alla media. Al di sopra dei 1000 m, a causa delle ulteriori giornate piovose la fienagione ha potuto essere effettuata solo verso la metà e la fine di giugno, con circa tre giorni di ritardo rispetto alla media.

Il sambuco nero è fiorito principalmente tra metà maggio e metà giugno, con un anticipo di nove giorni rispetto alla media. La fioritura dei tigli nostrani è avvenuta tra il 4 giugno e il 2 luglio e quella del tiglio selvatico tra il 7 giugno e il 13 luglio, con un anticipo di soli tre giorni sulla media. Le viti sono fiorite esattamente in linea con i valori di riferimento, nella media di tutte le stazioni il giorno 11 giugno.

La maturazione delle bacche del sambuco rosso (nella media di tutte le stazioni il 4 luglio), del sorbo degli uccellatori (9 agosto) e del sambuco nero (23 agosto) ha avuto un anticipo compreso tra tre e dieci giorni. La maturazione dei frutti di entrambe le specie di sambuco è osservata dal 1996.

Nel 2024 la vendemmia è stata osservata in 39 stazioni. In media è stata effettuata il 26 settembre con un anticipo di 12 giorni rispetto alla media del periodo 1991–2020. Agosto e la prima metà di settembre sono stati soleggiati e caldi, ma il brusco calo della temperatura a partire dal 9 settembre ha reso difficile la pianificazione della vendemmia.

I primi boschi di latifoglie hanno iniziato a colorarsi già nel corso del mese di settembre, ma i colori sono apparsi in modo diffuso solo a inizio ottobre. In settembre sono ingialliti gli ippocastani, le betulle, i sorbi degli uccellatori e i tigli nostrani. Tra la fine di settembre e l'inizio di ottobre anche i faggi, gli aceri montani e i tigli selvatici hanno assunto i colori dell'autunno. I faggi e gli aceri montani si sono dapprima colorati in montagna e dal 5–10 ottobre anche viepiù alle basse quote, mentre per quanto riguarda i tigli le segnalazioni della colorazione delle foglie sono arrivate quasi contemporaneamente da tutte le quote.

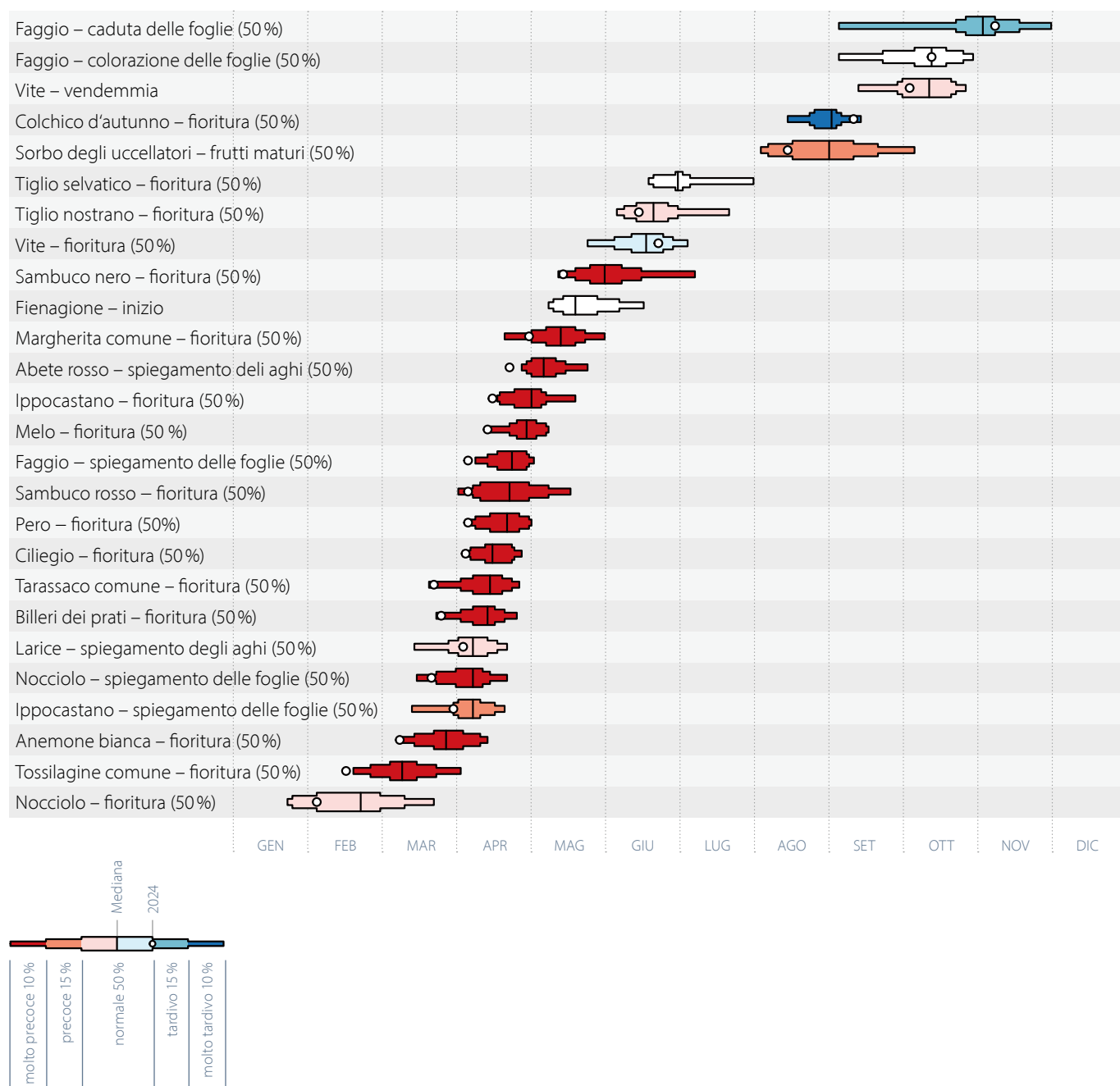
Nel 2024 la colorazione delle foglie si è verificata con un ritardo di cinque–sei giorni rispetto alla media del periodo 1991–2020. Solo quella dei sorbi degli uccellatori e delle betulle è avvenuta circa in una data media. Il tempo mite, ma umido a partire dalla seconda settimana di ottobre sembra aver ritardato la colorazione delle foglie.

In montagna la colorazione dei larici è iniziata a partire dalla seconda settimana di ottobre e si è intensificata attorno alla metà del mese, in parte nella media e in parte con un leggero ritardo. A partire dall'ultima decade di ottobre larici colorati sono stati sempre più spesso osservati anche in pianura, anche se nella maggioranza dei larici la colorazione è avvenuta in novembre, con il 62% delle osservazioni classificate come «tardiva» e «molto tardiva». Nel complesso gli aghi dei larici si sono ingialliti con un ritardo di sette giorni.

La caduta delle foglie è stata osservata estesamente a partire dalla metà di ottobre fino alla prima decade di novembre, in linea con la norma. Molti alberi avevano già perso le foglie prima delle abbondanti nevicate del 21 novembre e il carico di neve ha avuto un impatto minore rispetto a quello che avrebbe potuto avere se la neve fosse caduta su alberi frondosi. Tuttavia, c'erano alberi che non avevano ancora perso le foglie, come ad esempio gli alberi nelle città o le querce e i ciliegi, che perdono sempre tardivamente le foglie. La caduta degli aghi dei larici è avvenuta tra la fine di ottobre e l'inizio di novembre in montagna e da metà novembre in pianura, dove si è protratta fino a metà dicembre. Nel complesso ha avuto un ritardo di sette giorni rispetto alla media.

Figura 2.15

Il calendario fenologico 2024 di Rafz. Le barre mostrano la distribuzione statistica delle diverse fasi fenologiche osservate per il periodo 1991–2020, mentre i piccoli cerchi bianchi indicano la data dell'osservazione della relativa fase nel 2024. Se per il 2024 manca l'osservazione o essa coincide esattamente con la mediana, il periodo di riferimento rimane bianco.



Stagione pollinica

La stagione pollinica 2024 è stata caratterizzata da una stagione molto precoce del polline di betulla e da una stagione pollinica delle graminacee con un inizio tardivo di concentrazioni elevate in giugno. Le temperature molto miti in febbraio hanno favorito la dispersione dei pollini di nocciolo e ontano, mentre il brusco abbassamento della temperatura in aprile ha concluso precocemente la stagione pollinica della betulla e del frassino. In maggio i numerosi giorni con precipitazioni hanno ridotto in modo significativo la dispersione dei pollini delle graminacee. In seguito al sufficiente apporto idrico del terreno, il periodo con un'elevata concentrazione di pollini di graminacee è durato fino alla fine di luglio e quindi più a lungo rispetto alla norma. La concentrazione di pollini di ambrosia durante la tarda estate è stata molto debole. Di seguito la stagione pollinica 2024 è confrontata con la media del periodo di 30 anni, dal 1991 al 2020.

Sul sito web di MeteoSvizzera i grafici annuali mostrano la concentrazione media giornaliera delle 14 specie di pollini più importanti rilevata dalle stazioni della rete pollinica.



[La concentrazione media giornaliera delle 14 specie di pollini più importanti rilevata](#)

Automazione della rete pollinica dal 1° gennaio 2023

Il passaggio dalla misurazione manuale a quella automatica a partire dal 1° gennaio 2023 ha causato differenze nei risultati delle misurazioni della concentrazione giornaliera di polline. Perciò attualmente il confronto dell'intensità dell'attuale stagione pollinica con gli anni precedenti può essere effettuato solo parzialmente. Ciò nonostante, l'andamento della stagione pollinica può essere paragonato con entrambi i metodi di misura. Perciò il confronto con l'andamento pluriennale si concentra soprattutto sul periodo della stagione pollinica e non sull'intensità. Per questa ragione i grafici dell'andamento pluriennale dell'intensità dei pollini nel capitolo 5 non verranno più elaborati fino a quando le serie di dati non saranno omogeneizzate tenendo conto del passaggio alla misurazione automatica.

Stagione pollinica del nocciolo e dell'ontano

Poiché il mese di dicembre è stato molto mite, alcuni pollini di nocciolo sono stati misurati in Ticino già a partire da Natale e al Nord delle Alpi in basse concentrazioni dalla fine di dicembre. In questo momento sono fioriti solo i noccioli più precoci, mentre nella maggior parte dei casi gli amenti dei noccioli sono ancora rimasti chiusi. Il polline di nocciolo in dicembre è molto precoce, ma era già stato osservato anche negli anni precedenti. Al Nord delle Alpi le concentrazioni di polline sono rimaste basse fino al 23 gennaio poiché le precipitazioni, l'arrivo di temperature invernali e il verificarsi di giornate di ghiaccio hanno rallentato l'ulteriore fioritura dei noccioli. Solo l'arrivo di aria più mite durante l'ultima decade di gennaio ha permesso un aumento delle concentrazioni di polline. Nella maggior parte delle stazioni di misura questo è avvenuto con una o due settimane di anticipo rispetto alla media pluriennale del periodo 1991–2020. Le concentrazioni polliniche più alte sono state misurate dalla fine di gennaio alla metà di febbraio. Le miti temperature da record in febbraio hanno consentito una fioritura rapida e sincrona dei noccioli, accorciando in generale il periodo di massima concentrazione di pollini di nocciolo. In Ticino giorni con concentrazioni moderate di pollini si sono verificati già in gennaio. Anche qui l'aumento a concentrazioni più elevate è stato osservato solo durante la terza decade di gennaio, collocandosi nella media.

Gli ontani viola piantati in alcune città hanno iniziato a fiorire già a Natale, causando gravi sintomi di allergia nelle vicinanze degli alberi. Poiché le stazioni di misura del polline non si trovano in prossimità di questi ontani in fiore, il polline non ha raggiunto gli strumenti di misura. Gli ontani viola piantati fioriscono sempre prima delle nostre specie autoctone di ontano. Il primo polline di ontano è stato misurato in Ticino a partire dall'11 gennaio. Al Nord delle Alpi i pollini di ontano sono comparsi localmente a partire da metà gennaio. In Ticino, le concentrazioni di polline di ontano sono aumentate dal 25 gennaio e al Nord delle Alpi dall'inizio di febbraio. In Ticino, questa data si colloca pressoché nella media del periodo 1991–2020, mentre al Nord delle Alpi precede di qualche giorno la scadenza media. In Ticino le concentrazioni più elevate sono state misurate dal 2 al 20 febbraio e al Nord delle Alpi dal 9 al 21 febbraio. In questo periodo sono state misurate quasi in continuazione concentrazioni forti e molto forti. Come nel caso del nocciolo, la fioritura principale dell'ontano si è conclusa molto prima della media e anche la durata del periodo con le concentrazioni massime di polline è stata più breve della media. In Ticino, le precipitazioni intense hanno posto fine alla fioritura dell'ontano a partire dal 22 febbraio.

Stagione pollinica del frassino e della betulla

La stagione pollinica della betulla è iniziata il 18–19 marzo, quasi contemporaneamente in Ticino e al Nord delle Alpi. In Ticino, con una settimana di anticipo rispetto alla media 1991–2020 e al Nord delle Alpi con un anticipo di 8–13 giorni. In diverse stazioni di misura si è trattato del secondo o terzo inizio più precoce della stagione pollinica della betulla nel periodo di riferimento di 30 anni. Nella media di tutte le stazioni di misura del Nord delle Alpi l'inizio è stato più precoce di alcuni giorni solo negli anni 2020, 1997, 1994 e 1990. La fioritura delle betulle è avvenuta così in anticipo poiché in febbraio e marzo le temperature sono state nettamente superiori al valore di riferimento. Poco dopo l'inizio della stagione pollinica delle betulle sono già state raggiunte forti concentrazioni, pure con 7–13 giorni di anticipo rispetto alla media. Fino all'inizio di aprile la dispersione dei pollini di betulla è stata ripetutamente interrotta dalle precipitazioni. La fase con la più forte concentrazione di pollini di betulla è stata misurata al Nord delle Alpi dal 3 all'8 aprile, un periodo eccezionalmente mite con giornate estive (temperatura massima superiore a 25 °C). Anche durante la seconda fase particolarmente mite del mese di aprile, in tutta la Svizzera sono state rilevate forti concentrazioni di polline di betulla dal 13 al 15. In Ticino, dal 2 al 15 aprile la concentrazione di questi pollini è stata quasi costantemente elevata. L'abbassamento delle temperature a metà aprile ha concluso la stagione dei pollini di betulla con una o due settimane di anticipo rispetto alla norma. Grazie all'inizio precoce, la stagione ha avuto una durata paragonabile alla media.

I primi pollini di frassino sono già stati misurati all'inizio di marzo, quindi molto precocemente. Probabilmente sono stati trasportati in Svizzera dai frequenti venti da sud e da sud-ovest. In Ticino, concentrazioni moderate sono state raggiunte più volte durante la prima metà di marzo e in singoli giorni anche al Nord delle Alpi. Le concentrazioni sono aumentate dal 13 al 21 marzo, in Ticino in linea con la media e al Nord delle Alpi con circa una settimana di anticipo rispetto alla media. A causa delle frequenti precipitazioni, fino al 4 aprile sono stati registrati solo pochi giorni con livelli elevati, anche se in Ticino la concentrazione di polline è risultata più alta rispetto al Nord delle Alpi. Il periodo più lungo con una forte concentrazione di polline di frassino è stato registrato dal 4 all'8 aprile, in concomitanza con il polline di betulla. Come per la betulla, la stagione pollinica del frassino si è conclusa con l'abbassamento delle temperature a metà aprile. Nel complesso, la stagione ha avuto una durata vicina alla media, ma praticamente senza lunghe fasi pronunciate con forti concentrazioni di polline.

Stagione pollinica delle graminacee

Le graminacee si sono sviluppate molto presto. Alcuni pollini di graminacee erano già presenti nell'aria all'inizio di aprile. Tuttavia, il brusco abbassamento della temperatura nella seconda metà del mese ha impedito un'ulteriore rapida fioritura. Il primo giorno con concentrazioni di polline più elevate si è verificato dopo questa fase fredda, alla fine di aprile, e forti concentrazioni sono state misurate dal 9 all'11 maggio. Si tratta di un anticipo di qualche giorno rispetto alla media del trentennio 1991–2020. Maggio e giugno sono stati spesso piovosi e poco soleggiati. Di conseguenza, in maggio sono stati misurati periodi da tre a sei giorni al massimo con concentrazioni di pollini di graminacee costantemente elevate, che sono poi gradualmente diminuite a causa delle precipitazioni. La prima lunga fase con concentrazioni di pollini di graminacee forti e molto forti risale al periodo dal 4 al 20 giugno. Anche questa fase non è stata priva di precipitazioni, per cui sono stati misurati anche singoli giorni con concentrazioni polliniche moderate, soprattutto nella Svizzera tedesca. In Ticino, le massime concentrazioni di pollini di graminacee sono state rilevate tra il 9 e il 15 maggio. In seguito, a causa delle frequenti precipitazioni, la concentrazione pollinica è stata per lo più moderata, interrotta da singole giornate con forti concentrazioni. In Ticino, la stagione dei pollini di graminacee è comunque sempre più debole rispetto al Nord delle Alpi e solitamente le concentrazioni diminuiscono a partire dalla fine di maggio. Al Nord delle Alpi sono stati ripetutamente registrati giorni con forti concentrazioni fino alla fine di luglio. Si tratta di un periodo significativamente più lungo rispetto alla media, poiché normalmente la fase con forti concentrazioni di pollini termina a metà luglio. Nel 2024 le graminacee hanno potuto continuare a fiorire nella seconda metà di luglio grazie alla sufficiente disponibilità di acqua nel terreno e alle giornate calde e asciutte.

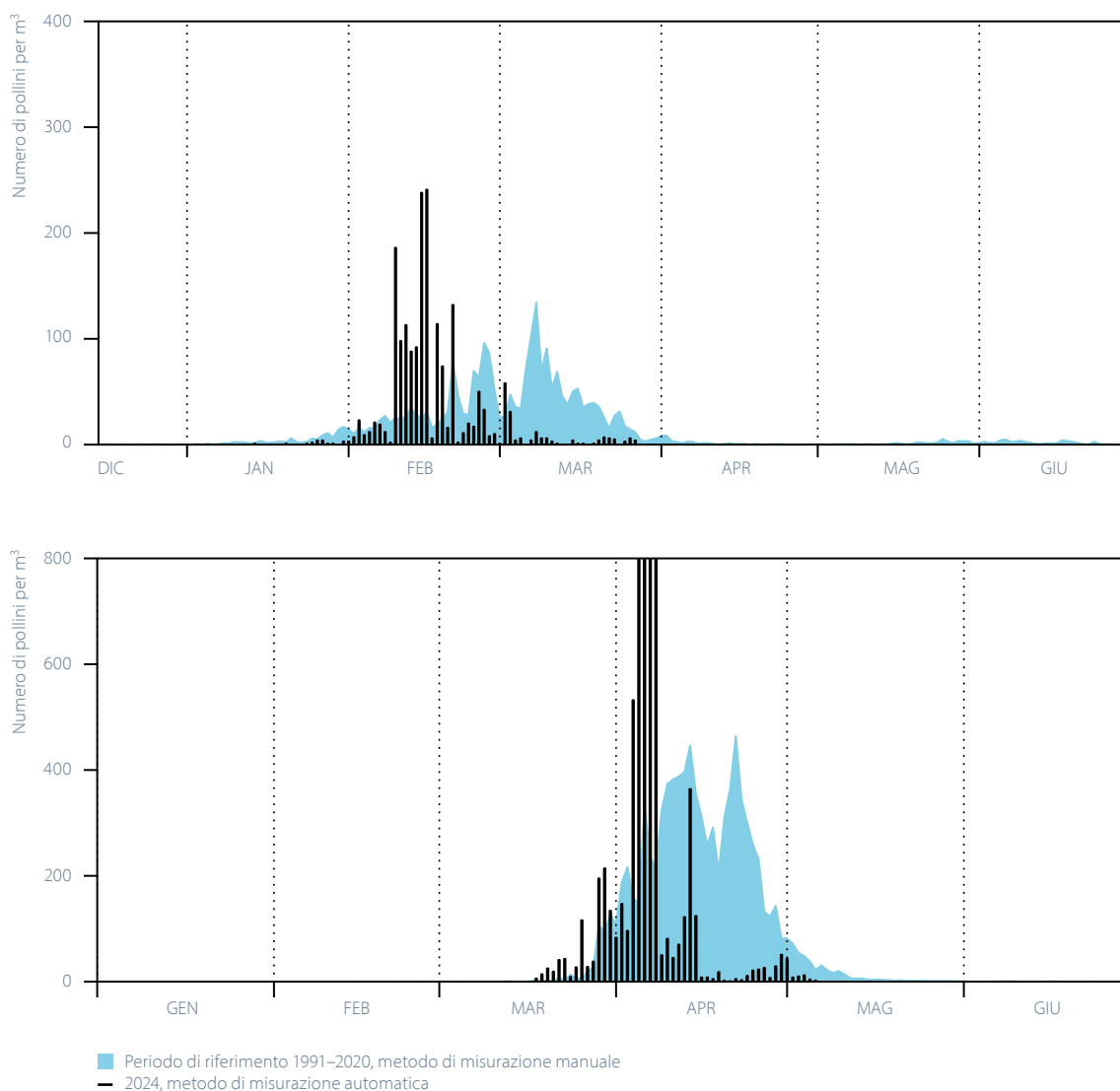
Stagione pollinica dell'artemisia e dell'ambrosia

Il polline dell'artemisia e dell'ambrosia non può ancora essere determinato con il metodo di misura automatico. Perciò l'analisi dei pollini di ambrosia è stata effettuata con i dati di sei stazioni con il metodo di misurazione manuale dei pollini, che nel 2024 è stata fatta parallelamente a quella automatica. L'analisi della stagione pollinica dell'artemisia è stata interrotta, perché la stazione di misura di Visp, la stazione per il rilevamento dei pollini di artemisia più importante della Svizzera, non è più in funzione dal 2024.

A Lugano la concentrazione del polline di ambrosia è stata molto bassa. Solo nel 2022 erano state registrate concentrazioni inferiori. Una forte concentrazione è stata misurata solo il 23 agosto. Vi sono inoltre stati altri cinque giorni con concentrazioni moderate, nove giorni in meno rispetto alla media. Dal 2013 nell'Italia settentrionale e in Ticino il carico di polline è diminuito sensibilmente a causa della presenza di un coleottero (*Ophraella communa*) che causa gravi danni alle piante di ambrosia. Dal 12 al 17 settembre una lunga fase di favonio da nord ha inoltre impedito il trasporto di polline dal Norditalia a Lugano. A Ginevra la stagione dei pollini di ambrosia è stata intensa solo circa la metà rispetto alla media plurienale del periodo 1991–2020. Sono stati misurati tre giorni con forti concentrazioni di pollini, due giorni in meno rispetto alla media. La somma stagionale delle concentrazioni giornaliere è stata di 111 pollini, rispetto a una media di 208. Concentrazioni polliniche moderate sono state registrate dal 20 agosto al 3 settembre. La stagione dei pollini di ambrosia si è quindi conclusa con un anticipo di 13 giorni rispetto alla media. A Ginevra il polline di ambrosia è stato misurato soprattutto nel pomeriggio e di notte. Poiché il polline di ambrosia viene rilasciato al mattino presto, questi dati indicano che il polline ha avuto origine in Francia ed è stato trasportato a Ginevra dai venti da sud-ovest. Nelle altre stazioni nordalpine non sono stati registrati giorni con concentrazioni polliniche elevate.

Figura 2.16

Andamento delle misure automatiche nel 2024 del polline di ontano a Münsterlingen (in alto) e del polline di betulla a Berna (in basso) rispetto alla media trentennale 1991–2020 della misurazione manuale (in turchese). A Münsterlingen la breve ma intensa stagione del polline di ontano si è concentrata durante i giorni molto miti di febbraio. A Berna la stagione del polline di betulla è iniziata molto presto. Con l'abbassamento delle temperature a metà aprile è però terminato molto presto. L'intervallo delle ordinate (concentrazione di polline) è stato limitato a 400 risp. 800 pollini/m³, in modo da mostrare anche i valori bassi, importanti per le persone che soffrono di allergie.







3 Particolarità del 2024

3.1 L'estate del maltempo

Maltempo a nord delle Alpi

Le abbondanti precipitazioni di maggio, con forti precipitazioni alla fine del mese e ulteriori forti precipitazioni nei primi giorni di giugno, hanno portato a una situazione di piena con inondazioni nella Svizzera orientale dal Lago dei Quattro Cantoni al Lago di Costanza e lungo il Reno. All'inizio di giugno, il livello del Lago di Costanza è salito di circa 80 cm in soli quattro giorni. Le rive sono state allagate.

Maltempo in Vallese e al Sud

Il 20 giugno, a sud delle Alpi si trovava aria molto calda di origine subtropicale. Allo stesso tempo, un fronte freddo con temporali si è avvicinato da ovest e ha attraversato la Svizzera nel corso della serata. Le prime precipitazioni intense sono cadute la sera precedente e al mattino, mentre i temporali con le più alte intensità di precipitazioni si sono verificati con il passaggio del fronte nel pomeriggio e nella sera del 21 giugno.

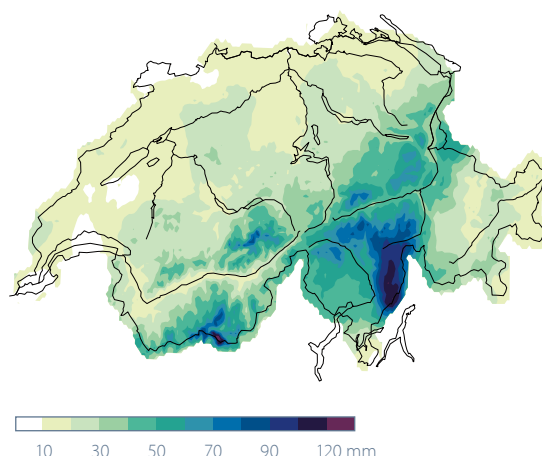
Fra la serata del 20 giugno e la serata del giorno seguente, nelle vallate meridionali del Vallese l'aria mite e umida trasportata da sud sopra le Alpi ha generato da 40 a 50 mm di pioggia in modo esteso, con accumuli che hanno toccato localmente i 70–100 mm. Sommate alla marcata fusione della neve a causa delle temperature estive dei giorni precedenti, tali precipitazioni hanno fatto innalzare in modo marcato le portate dei fiumi. Nella regione di Zermatt si sono verificate importanti inondazioni che hanno causato alcuni danni, come ad esempio l'interruzione della linea ferroviaria. Nel basso Vallese il Rodano è andato in piena.

Sul totale dell'evento, a sud delle Alpi sono caduti da 30 a 50 mm, nella regione più colpita dalle forti piogge – il Moesano – da 60 a 80 mm, localmente fino a più di 100 mm. La stazione di Grono ha misurato 124 mm.

La maggior parte delle precipitazioni è caduta in breve tempo. Grono ha registrato 63.7 mm in 60 minuti. Per il versante sudalpino non si tratta comunque di un primato, in quanto il valore più elevato di pioggia in 60 minuti è stato misurato a Locarno Monti nell'agosto 1997 con 91,2 mm, seguito da Crana Torricella in giugno 2017 con 80,5 mm.

L'evento di maltempo ha avuto conseguenze molto importanti nel Moesano. A sud di Lostallo una colata detritica ha travolto parte dell'abitato di Sorte producendo gravi danni e mietendo alcune vittime. A nord di Lostallo una frana ha deviato l'alveo della Moesa, che ha fatto crollare parte dell'autostrada.

Figura 3.1
Somma di precipitazione su 2 giorni in Svizzera il 20 e 21 giugno 2024 in mm.

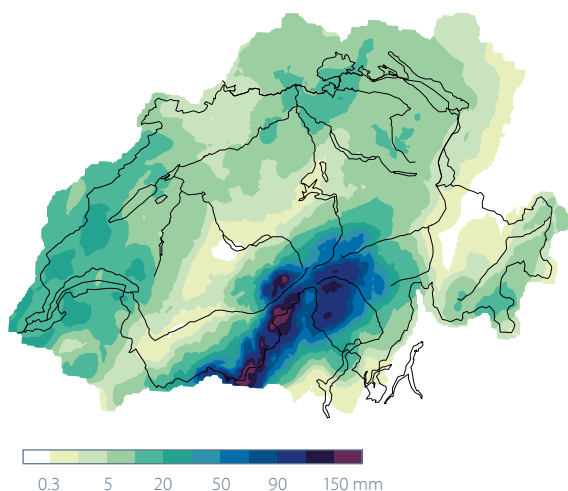


Ancora maltempo in Vallese e a sud delle Alpi

Il 29 giugno una zona di bassa pressione si è spostata fra la Francia e la Germania meridionale, sospingendo ancora una volta aria umida e instabile verso la regione alpina. In alcune parti dell'Alto Vallese e sull'Alta Valle Maggia si sono verificati forti temporali, che hanno riversato al suolo enormi quantità d'acqua in breve tempo. Nelle regioni più colpite, il totale delle precipitazioni durante l'evento ha raggiunto i 60–130 mm. Binn nell'Alto Vallese ha registrato con 159 mm la somma più elevata di precipitazione giornaliera del mese di giugno 2024 per l'intera rete di stazioni di MeteoSvizzera.

Figura 3.2

Somma delle precipitazioni su 1 giorno in Svizzera il 29 giugno 2024 in mm.



Le piogge molto intense hanno fatto salire rapidamente il livello dei fiumi, che sono esondati. Il Rodano e la Maggia hanno provocato molti danni, le colate detritiche hanno devastato gli insediamenti con le loro masse di detriti. La Valle di Saas nel Vallese e la Val Bavona in Ticino sono state colpite duramente. A causa di strade sotterrate dai detriti o distrutte, alcune zone sono rimaste isolate, raggiungibili solo in elicottero.

Maltempo al Sud e in Engadina

Il 6 luglio verso mezzogiorno si sono verificate le prime precipitazioni a sud delle Alpi, che si sono poi estese verso la Val Bregaglia e l'Engadina intensificandosi. Nel Ticino meridionale le precipitazioni sono state intense nelle ore mattutine del 7 luglio, con accumuli orari da 20 a 30 mm, localmente fino a 60 mm.

L'evento di precipitazione è durato da metà giornata del 6 luglio a mezzogiorno del 7 luglio. Durante questo periodo, nel Ticino meridionale gli accumuli totali hanno raggiunto i 200–220 mm, in Val Bregaglia erano compresi tra 80 e poco più di 100 mm, in Alta Engadina si aggiravano sugli 80 mm.

In alcune regioni gli ingenti quantitativi di pioggia hanno causato locali inondazioni. Si sono verificate frane e straripamenti di torrenti e fiumi, come per esempio l'Inn in Engadina. Tuttavia i danni sono stati molto inferiori rispetto alle devastanti alluvioni del mese di giugno.

Maltempo nell'Oberland bernese

Il 12 agosto, l'Oberland bernese è stato interessato da temporali intensi. La regione di Brienz è stata duramente colpita. Secondo le mappe delle precipitazioni derivate dai dati radar, è probabile che in alcune località sul fianco della montagna sopra Brienz siano caduti circa 100 mm di pioggia, la maggior parte dei quali in circa un'ora. Di conseguenza, il torrente Milibach è straripato. Le enormi masse d'acqua e il materiale detritico hanno causato gravi danni alle case, alle strade e agli impianti ferroviari di Brienz. Settanta persone hanno dovuto essere evacuate.

Forti temporali hanno imperversato anche nella regione di Grindelwald. In serata, una colata detritica ha sotterrato la strada e la linea ferroviaria per Grindelwald, che è rimasta isolata.

3.2 Precipitazioni da primato nella Svizzera orientale

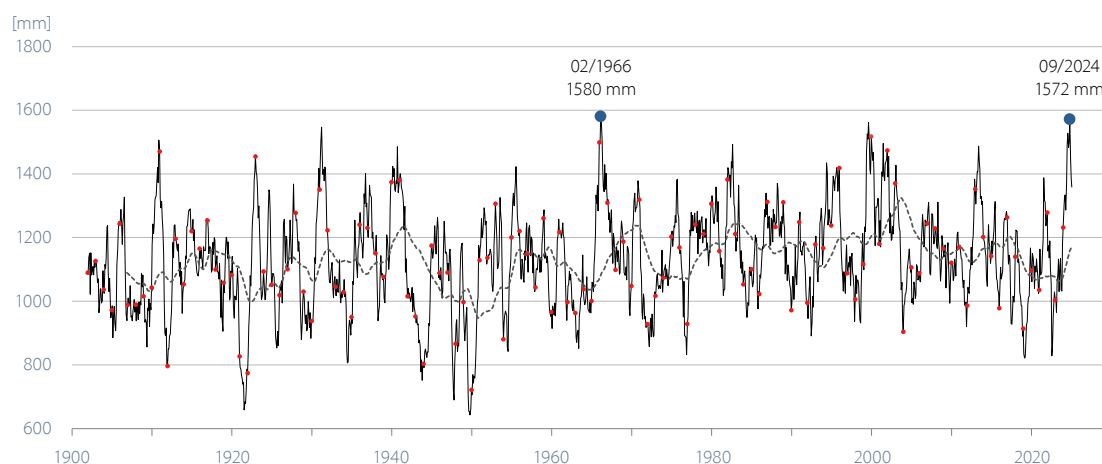
In diverse zone della Svizzera, nel corso del 2024 si è concluso un periodo di 12 mesi insolitamente piovoso. Una regione particolarmente colpita è stata l'Altopiano della Svizzera orientale. A livello regionale, le precipitazioni cadute sull'arco di dodici mesi fra ottobre 2023 e settembre 2024 sono risultate da primato.

Secondo la norma 1991–2020, sull'Altopiano della Svizzera orientale sull'arco di dodici mesi cadono 1170 mm di precipitazioni. Nei dodici mesi da ottobre 2023 a settembre 2024, le precipitazioni totali hanno raggiunto 1572 mm. In

questa regione un totale su dodici mesi solo di poco più elevato è stato registrato fra i mesi di marzo 1965 e febbraio 1966. La serie di dati è disponibile a partire dal 1901.

Il grafico mostra il totale mobile di precipitazioni su dodici mesi nell'Altopiano centro-orientale (linea nera). I punti rossi segnano gli anni solari (totale da gennaio a dicembre). I due massimi storici di settembre 2024 e febbraio 1966 sono colorati di blu. La linea tratteggiata grigia mostra la media mobile su cinque anni.

Figura 3.3
**Somma mobile su
12 mesi del totale delle
precipitazioni registrate
sull'Altopiano orientale
dal 1901 al 2024.
Ulteriori spiegazioni
nel testo.**



Estremamente piovoso anche al Sud

Anche sul versante meridionale delle Alpi nel corso del 2024 si è concluso un periodo di 12 mesi estremamente piovoso. Nel sito di misurazione di San Bernardino, tra agosto 2023 e luglio 2024 sono cadute precipitazioni estremamente abbondanti, pari a 2484 mm. Una somma così elevata su 12 mesi viene raggiunta o superata solo molto raramente; la norma 1991–2020 è di circa 1630 mm.

Il periodo estremamente piovoso di 12 mesi fino all'estate del 2024 è stato uno dei fattori che ha innescato le devastanti colate detritiche e le inondazioni durante i temporali estivi del 2024 sul versante meridionale delle Alpi.

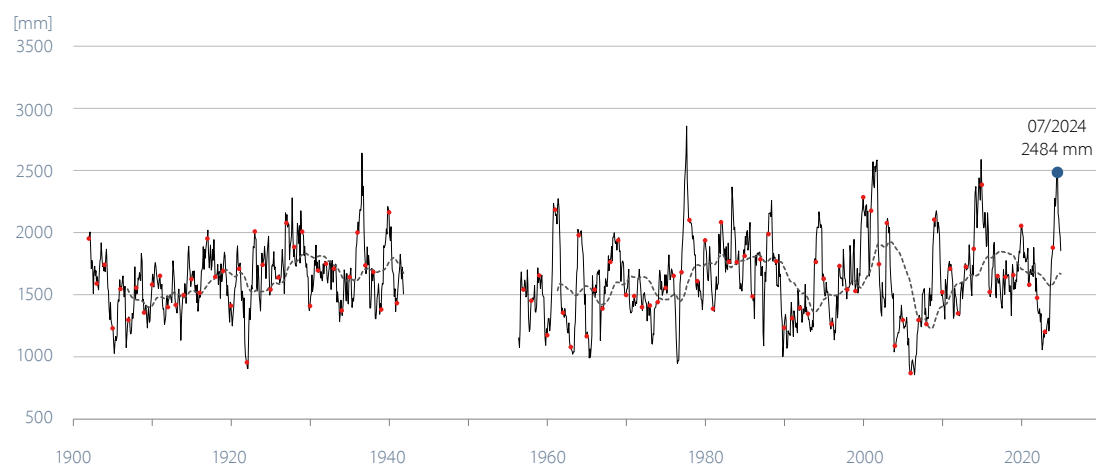


Figura 3.4
Totale mobile su 12 mesi delle precipitazioni misurate a San Bernardino a sud delle Alpi fra il 1901 e il 2024. Fra il 1942 e il 1954 non sono disponibili dati. Ulteriori spiegazioni nel testo.

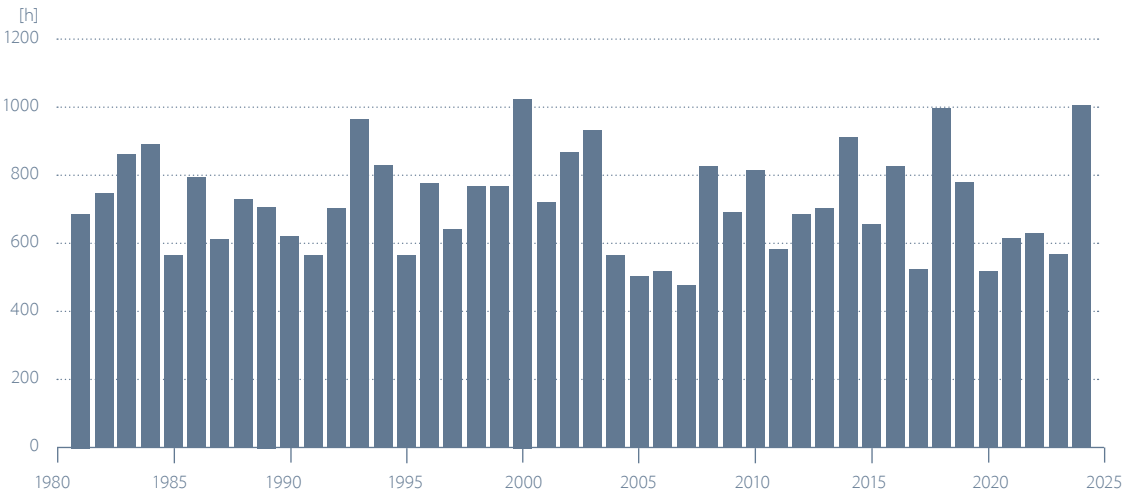
3.3 Favonio frequente a nord delle Alpi

Nel 2024 il numero di ore di favonio nelle località nord-alpine frequentemente interessate da questo vento è risultato superiore alla media. Alcuni siti di misurazione hanno registrato uno dei tre anni con più favonio dall'inizio delle misurazioni automatiche nel 1981. Ad Aigle, nella bassa valle del Rodano, è stato addirittura un anno record.

Più di un mese di favonio

Coira, il sito di misurazione nordalpino in cui il favonio è più frequente, nel 2024 ha registrato un totale di 1009 ore di favonio. Solo nel 2000 il favonio è stato ancora più frequente, con 1028 ore; nel 2018, invece, le ore di favonio furono 998. Mediamente a Coira il favonio soffia per 726 ore. La somma del numero di ore del 2024 in cui a Coira c'è stato favonio corrisponde ad una durata di 42 giorni.

Figura 3.5
Numero di ore di favonio all'anno a Coira dall'inizio delle misure dal 1981. Nel 2024 ci sono state 1009 ore di favonio.



Molti mesi con tanto favonio

Nel 2024, Coira ha registrato sette mesi con un numero di ore di favonio nettamente superiore alla media. Particolarmente degno di nota è il periodo di cinque mesi compreso tra febbraio e giugno, con valori mensili ben al di sopra della media. Dopo la consueta pausa estiva, nei mesi autunnali di settembre e ottobre si è registrato nuovamente un numero elevato di ore di favonio.

In altre stazioni di misura, come Altdorf o Vaduz, il totale delle ore di favonio è stato decisamente superiore alla media soprattutto nei mesi da febbraio a marzo e in giugno. Nei mesi autunnali di settembre e ottobre, invece, i valori sono stati solo leggermente superiori alla media.

Il mese di marzo 2024 è stato caratterizzato da un forte favonio a livello locale. Ad Altdorf, con 175 ore, il numero di ore di favonio è stato più di tre volte superiore alla media di marzo, pari a circa 50 ore. A Vaduz, con 192 ore, il numero di ore di favonio è stato più di quattro volte superiore alla media di marzo, pari a 44 ore.

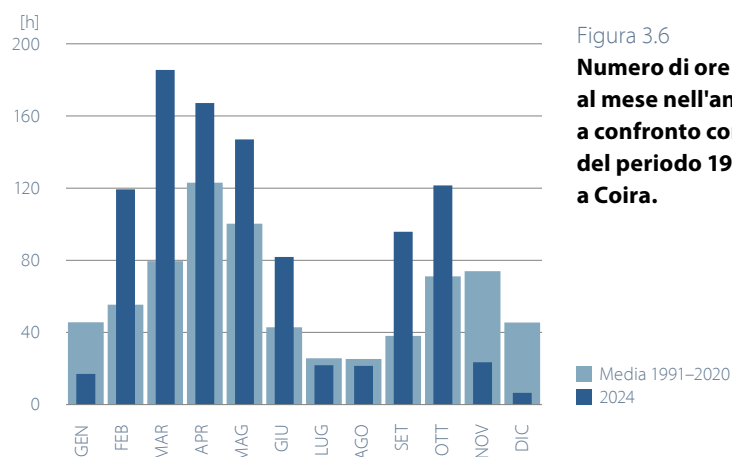


Figura 3.6
Numero di ore di favonio al mese nell'anno 2024 a confronto con la media del periodo 1991-2020 a Coira.

Primato di favonio a Aigle

A Aigle, nella bassa valle del Rodano vicino al Lago di Ginevra, il favonio soffia molto meno frequentemente che nelle classiche valli interessate da questo fenomeno del versante nordalpino. Mentre Coira ha registrato anni con più di 800 ore di favonio, ad Aigle il massimo è stato finora di 123 ore.

Con 158 ore di favonio, a Aigle il 2024 ha fatto registrare un nuovo notevole primato. Il contributo principale è stato

fornito dal mese di marzo con 79 ore di favonio. Secondo la media pluriennale, in marzo a Aigle il favonio soffia solo per 8 ore.

Il mese di marzo 2024 è stato il mese più ventoso a Aigle nella serie di misurazioni disponibili dal 1981. Al secondo posto si colloca l'aprile 1993 con 73 ore di vento.

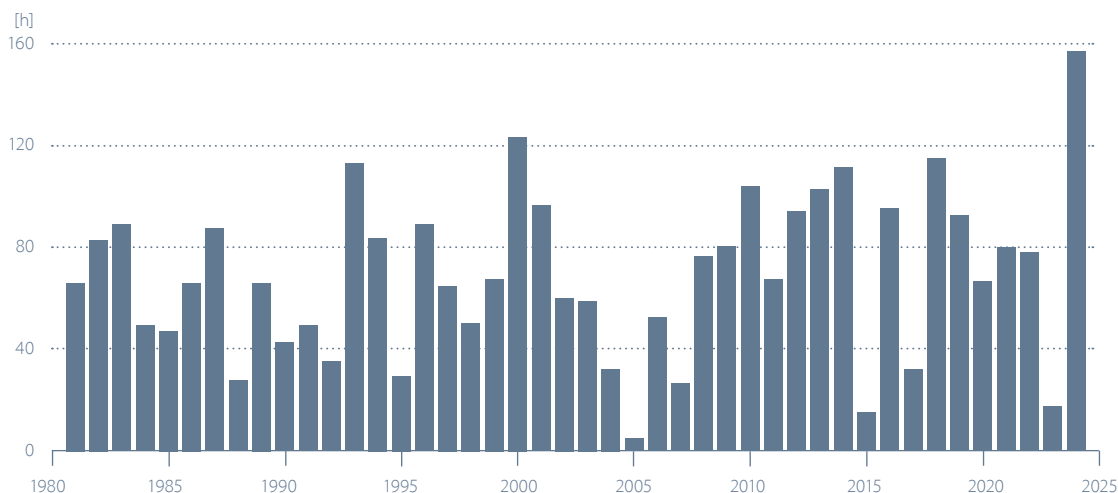


Figura 3.7
Numero di ore di favonio all'anno a Aigle dall'inizio delle misure nel 1981. Nel 2024 il favonio ha soffiato per 158 ore.





4 Andamento meteorologico e climatico globale

Su scala globale il 2024 è stato l'anno più caldo dall'inizio delle misure sistematiche nel 1850. Con una deviazione di $+1,2^{\circ}\text{C}$ rispetto al periodo di riferimento 1961–1990, nel set di dati Had-CRUT5 il 2024 è stato più caldo di $0,1^{\circ}\text{C}$ rispetto al precedente record del 2023. In entrambi gli anni El Niño ha avuto un influsso sulla temperatura media globale, anche se un po' meno marcato nel 2024.

La sintesi riportata di seguito si basa principalmente sul rapporto annuale sullo stato del clima dell'Organizzazione meteorologica mondiale (OMM) [5], sul Global Climate Highlights 2024 di Copernicus/ECMWF [6] e sul Global Climate Report della National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA) [7] e sulle fonti in essi contenute.

4.1 Anno eccezionalmente caldo in tutto il mondo

51

In base al set di dati HadCRUT5 della University of East Anglia (GB), la temperatura media annuale globale del 2024 ha mostrato una deviazione di $+1,2^{\circ}\text{C}$ rispetto al periodo di riferimento 1961–1990 ($+0,7^{\circ}\text{C}$ rispetto al periodo di riferimento 1991–2020) e ha pertanto raggiunto un valore elevato mai registrato dal 1850 (Figura 4.1), dopo che già il 2023 aveva stabilito un record significativo. Gli ultimi dieci anni dal 2015 sono stati i più caldi dall'inizio delle misure.

Praticamente in tutto il mondo sono state registrate temperature ben oltre la media del periodo 1961–1990. Nel Canada nordoccidentale, nell'Europa orientale e nella Siberia settentrionale sono state raggiunte deviazioni di oltre 3°C rispetto al periodo di riferimento 1961–1990. Nelle altre regioni del Nordamerica, nell'Europa occidentale e

in vaste zone dell'Asia e in Nordafrica le deviazioni sono comprese tra $1,5$ e 3°C rispetto al periodo di riferimento. Nell'Africa centrale, in India, a sud-est della Groenlandia e in Australia le temperature medie annuali sono state leggermente inferiori, ma comunque positive rispetto al valore di riferimento. Valori leggermente inferiori al periodo di riferimento 1961–1990 sono stati rilevati solo lungo la costa occidentale del Sudamerica, nella Terra del Fuoco e nel vicino Pacifico meridionale.

In Europa, Nordamerica, Africa e Oceania il 2024 è stato l'anno più caldo dall'inizio delle misurazioni nel 1850, in Asia e Australia il secondo anno più caldo. In Sudamerica il 2023 e il 2024 sono stati in egual misura gli anni più caldi mai registrati.

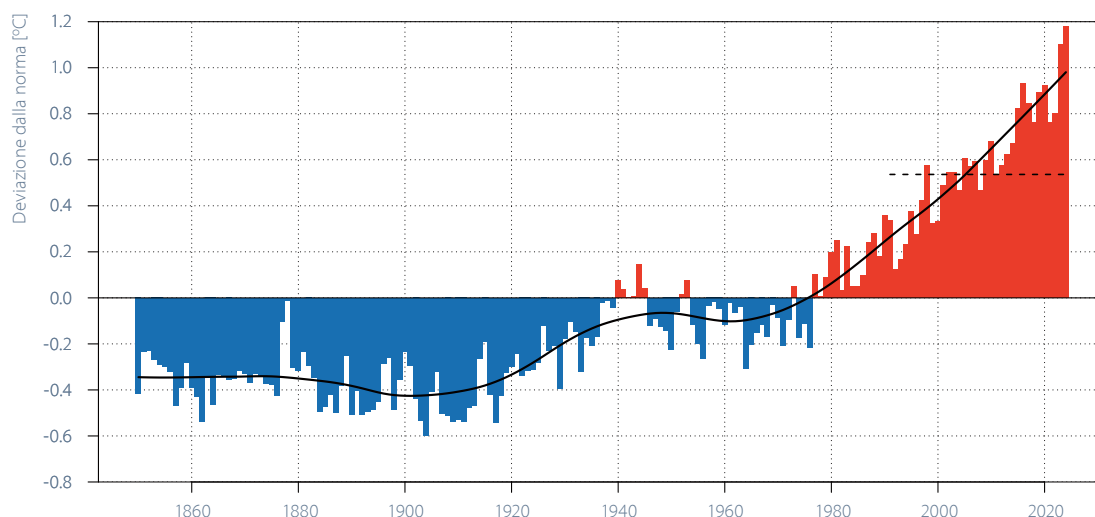


Figura 4.1
Andamento della temperatura media globale (terre emerse e oceani). È riportata la deviazione annuale della temperatura rispetto alla norma 1961–1990 (in rosso deviazione positiva, in blu negativa). La curva nera indica la media ponderata su 20 anni, la linea tratteggiata la norma 1991–2020.

University of East Anglia, 2022 [8], set di dati HadCRUT5.

In base al set di dati della University of East Anglia [8], tra il periodo di riferimento preindustriale 1871–1900 e la media climatica attuale (basata sulla regressione lineare locale) la temperatura annua globale (terre emerse e oceani) è aumentata di $1,3^{\circ}\text{C}$. L'andamento globale pluriennale delle temperature, con la maggior frequenza di anni molto caldi in tempi recenti, si rispecchia anche nella serie delle temperature registrate in Svizzera (Figura 5.1).

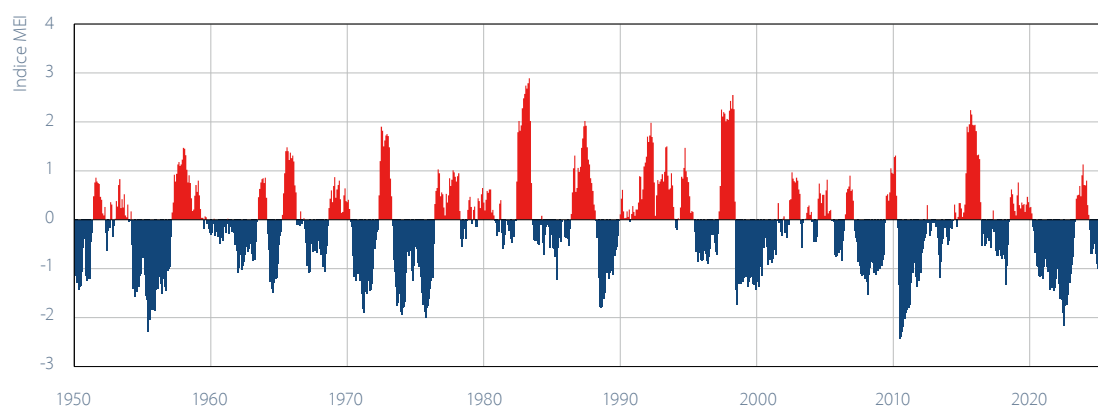
4.2 El Niño e La Niña

Il fenomeno noto come El Niño Southern Oscillation (ENSO) descrive l'oscillazione naturale del sistema accoppiato tra la superficie dell'oceano e l'atmosfera nel Pacifico tropicale. Durante una fase El Niño questo sistema si trova in una fase calda: la temperatura dell'acqua di superficie del Pacifico e quella della bassa atmosfera sopra di essa hanno una temperatura superiore alla media. Durante una fase La Niña sussiste invece un'anomalia fredda sopra il Pacifico equatoriale. El Niño e La Niña si alternano con una periodicità media che varia approssimativamente dai quattro ai sette anni. In caso di forte intensità, El Niño Southern Oscillation (ENSO) è uno dei fattori principali che spiega le oscillazioni annuali della temperatura globale. Gli anni con una situazione di El Niño sono globalmente più caldi, quelli con una situazione di La Niña tendenzialmente più freddi.

Nel periodo dal 2017 al 2022 non si sono verificate fasi di El Niño particolarmente marcate. Negli anni 2020–2022 ha invece dominato un'intensa situazione La Niña. Una fase El Niño si è affermata nel Pacifico meridionale a partire dal 2023 fino a metà 2024. Con la diminuzione della lingua di acqua calda a partire da metà 2024, si sono dapprima instaurate di nuovo condizioni neutre e in seguito La Niña. Di conseguenza nel 2024 l'influsso del fenomeno El Niño è stato minore rispetto al 2023.

Figura 4.2

Multivariate El Niño Southern Oscillation Index (MEI) 1950–2023. In rosso i valori dell'indice della fase El Niño (fase calda), in blu quelli della fase La Niña (fase fredda). L'indice MEI è calcolato partendo dalla pressione al suolo, dalle componenti est-ovest e nord-sud del vento al suolo, dalla temperatura della superficie marina, dalla temperatura dell'aria a livello del mare e dal grado di copertura nuvolosa. Le misurazioni vengono effettuate nel Pacifico equatoriale.



 I dati sono disponibili in [9].



4.3 Eventi particolari globali

Caldo e siccità

Nel 2024 si sono verificate numerose forti ondate di caldo. Di conseguenza in molte regioni sono scoppiati incendi di bosco. Particolarmente colpite sono state l'Asia orientale, l'Europa sud-orientale, le regioni attorno al Mediterraneo e il Medio Oriente, gli Stati Uniti sud-occidentali, il Sud-est asiatico, l'India settentrionale, l'America centrale, nonché l'Africa occidentale e orientale e il Corno d'Africa.

In luglio un'ondata di caldo nelle regioni attorno al Mediterraneo ha portato temperature superiori a 41 °C in Marocco e causato molte vittime che sono state attribuite al caldo. Nella seconda metà di maggio in India e in Pakistan le temperature hanno superato i 48 °C. A causa dell'enorme calura nella regione è mancata l'acqua potabile. Anche qui ci sono state numerose vittime. Nel Golfo Persico un'ondata di caldo con temperature dell'aria superiori ai 40 °C e dell'acqua di oltre 32 °C ha provocato temperature percepite di 60 °C e più.

In base alle misure di superficie bruciata, in Canada la stagione degli incendi di bosco è stata la seconda più violenta dopo il 2023. Durante questo periodo migliaia di persone hanno dovuto essere evacuate.

Molte regioni americane sono state colpite dalla siccità. In Messico e in alcune regioni dell'America centrale la grave siccità del 2023 è perdurata fino ai primi mesi del 2024, mentre era marcata anche in gran parte delle zone interne del Sudamerica. In Messico la siccità ha presumibilmente provocato un calo del 20–40% della produzione di mais. In settembre ad Asunción il fiume Paraguay ha raggiunto un minimo storico, così come diversi fiumi nel Bacino amazzonico.

Nell'Africa nordoccidentale e in Sudafrica negli ultimi mesi del 2023 e all'inizio del 2024 la mancanza di precipitazioni durante la normale stagione delle piogge ha provocato una marcata siccità in diverse regioni. In combinazione con i conflitti locali, questo ha portato a un aumento degli sfollati, delle epidemie e della scarsità di viveri. In Zambia, ad es., si stima che la produzione di cereali sia diminuita del 42% rispetto alla media dei cinque anni precedenti.

Precipitazioni intense e inondazioni

A metà settembre in un'ampia zona dell'Europa centrale si sono verificate precipitazioni estreme. Nell'Austria settentrionale, nella Repubblica Ceca orientale e nella Polonia sudoccidentale, per cinque giorni di fila sono caduti cumuli di precipitazione di oltre 400 mm, che in molti luoghi hanno superato di gran lunga i precedenti record. In Spagna sono state segnalate oltre 150 vittime a causa di alluvioni improvvise.

In molte regioni della zona del Sahel, tra cui Ciad, Mali, Niger e Nigeria, un monzone insolitamente attivo ha causato gravi inondazioni. Nell'Africa orientale equatoriale si sono verificate inondazioni che, in paesi come il Kenya e la Tanzania, hanno causato gravi perdite di vite umane. Il Lago Vittoria ha raggiunto un livello record.

Nello stato brasiliano di Rio Grande do Sul, precipitazioni abbondanti e persistenti hanno causato inondazioni che hanno allagato ampie zone della città di Porto Alegre e molte aree circostanti. Sono state segnalate perdite economiche per un ammontare di diversi miliardi di dollari americani.

Cicloni tropicali

Nel 2024 gli Stati Uniti e i Caraibi sono stati colpiti da una serie di violenti uragani. In luglio Beryl è stato l'uragano atlantico di categoria 5 più precoce mai verificatosi e ha colpito diversi Paesi dei Caraibi, in particolare Grenada e Saint Vincent e l'arcipelago delle Grenadine. In settembre l'uragano Helene ha causato inondazioni catastrofiche nel sud-est degli Stati Uniti e danni ingenti quando ha raggiunto la terraferma, mentre in ottobre Milton ha provocato gravi danni in Florida a seguito di mareggiate, venti e inondazioni.

Il ciclone tropicale probabilmente più violento del 2024 è stato il tifone Yagi all'inizio di settembre. Ha causato inondazioni dopo aver toccato terra con gravi conseguenze per Vietnam, Repubblica Democratica Popolare del Laos, Thailandia e Myanmar, mentre in Cina e nelle Filippine i venti hanno causato notevoli danni. Yagi ha mietuto circa 200 vittime in Vietnam, distruzione di terreni agricoli e strade, nonché interruzioni della produzione di generi alimentari in Myanmar.

Banchisa

La banchisa artica ha raggiunto la sua estensione massima annuale di 15,01 milioni di km² il 14 marzo; questa superficie è leggermente inferiore alla media pluriennale del periodo 1991–2020 di 15,2 milioni di km². L'estensione minima annuale di 4,3 milioni di km² è invece stata raggiunta l'11 settembre. La superficie minima del 2024 è la settima più ridotta dall'inizio delle misurazioni satellitari.

Il 20 febbraio la banchisa antartica ha raggiunto la sua estensione minima annuale di 2,0 milioni di km², la seconda più ridotta dall'inizio delle misurazioni satellitari (1979–2024), dopo quella del 2023. La superficie massima annuale dell'estensione della banchisa antartica è stata raggiunta attorno al 19 settembre con 17,2 milioni di km². La superficie massima del 2024 è la seconda più ridotta dalle misurazioni satellitari, il valore più basso era stato raggiunto nel 2023.





5 Monitoraggio climatico

Questo capitolo sul monitoraggio climatico (osservazione del clima) fornisce una panoramica sull'evoluzione climatica pluriennale in Svizzera, in riferimento all'anno dell'attuale rapporto. Per i parametri principali della temperatura e delle precipitazioni è possibile seguire l'evoluzione climatica dall'inizio delle misurazioni ufficiali nell'inverno 1863–1864. Per la maggior parte degli altri parametri – invece – sono disponibili serie di misura controllate e corrette dal 1959.

Il capitolo è suddiviso secondo la struttura GCOS (Global Climate Observing System) delle variabili climatiche essenziali [10]. Vengono trattati i settori atmosfera e terre emerse, concentrandosi sulle osservazioni al suolo (Tabella

5.1). Si tratta delle classiche serie di misura della temperatura, delle precipitazioni e dei parametri da loro derivati. I metodi di analisi utilizzati sono descritti al capitolo 5.3.

Tabella 5.1
Variabili climatiche essenziali secondo il GCOS Second Adequacy Report [10], completate con le variabili rilevanti per la Svizzera.

Settore		Variabili climatiche essenziali
Atmosfera	Al suolo	Temperatura dell'aria, precipitazioni, pressione, bilancio della radiazione vicino al suolo, velocità del vento, direzione del vento, vapore acqueo
	Atmosfera libera	Bilancio della radiazione (incl. radiazione solare), temperatura, velocità del vento, direzione del vento, vapore acqueo, nuvole
	Composizione	Anidride carbonica, metano, ozono, altri gas serra, aerosol, pollini
Oceani	Superficie	Temperatura superficiale, contenuto salino, livello del mare, condizione del mare, banchisa, corrente, attività biologiche, pressione parziale dell'anidride carbonica
	Acque intermedie e profonde	Temperatura, contenuto salino, corrente, nutrienti, carbonio, elementi in tracce, fitoplancton
Terre emerse		Deflusso, mari, acqua freatica, uso delle acque, isotopi, copertura nevosa, ghiacciai e calotta polare, permafrost, albedo, copertura superficiale (incl. tipo di vegetazione), indice di superficie fogliare, attività fotosintetica, biomassa, incendi boschivi, fenologia

Sulla base delle misure di temperatura e precipitazione, l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) ha derivato una serie di indicatori climatici con lo scopo di registrare in modo dettagliato e globalmente uniforme l'evoluzione del regime termico e pluviometrico [11]. Inoltre,

vengono qui discussi altri indicatori climatici specifici per la Svizzera. In base alle raccomandazioni dell'OMM per l'analisi dell'evoluzione del clima vengono utilizzati i valori normali del periodo di riferimento 1961–1990 [12], [13].

Denominazione	Definizione	Significato/caratteristica
Temperatura	Temperatura giornaliera media convenzionale (da mattina a mattina) aggregata alla scala mensile e annuale	Indicatore principale per i cambiamenti climatici e le variabili climatiche essenziali [14]
Giorni di gelo	Numero dei giorni dell'anno civile con temperatura minima $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	Il numero di giorni di gelo dipende principalmente dalla quota della stazione. Utilizzabile come buon indicatore climatico soprattutto alle quote più elevate.
Giorni estivi (OMM)	Numero dei giorni dell'anno civile con temperatura massima $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ (definizione secondo il servizio meteorologico nazionale della Germania [15])	Il numero di giorni estivi dipende principalmente dalla quota della stazione. Utilizzabile come buon indicatore climatico soprattutto alle quote più basse.
Isoterma di zero gradi	Quota con temperatura a zero gradi, determinata sulla base dei valori misurati dalle stazioni al suolo e dalle sonde meteorologiche	La quota dell'isoterma di zero gradi è una misura per il contenuto d'energia termica dell'atmosfera lungo il profilo verticale.
Precipitazioni	Quantitativo giornaliero convenzionale (da mattina a mattina) aggregato alla scala mensile e annuale	Indicatore principale per i cambiamenti climatici e le variabili climatiche essenziali [14]
Giorni con forti precipitazioni (OMM)	Numero dei giorni dell'anno civile con precipitazione giornaliera $P \geq 20\text{ mm}$	La soglia di più di 20 mm non può essere equiparata a precipitazioni estreme rare. In Svizzera eventi con 20 mm vengono registrati più volte ogni anno.
Precipitazioni nei giorni molto piovosi (OMM)	Somma delle precipitazioni dei giorni dell'anno civile con precipitazione giornaliera $P > 95^{\circ}$ percentile delle precipitazioni giornaliere (riferimento: 1961–1990)	Un giorno viene considerato molto piovoso se il quantitativo delle sue precipitazioni è maggiore della media pluriennale dei 18 giorni più piovosi dell'anno.
Numero max. di giorni secchi consecutivi (OMM)	Numero massimo di giorni consecutivi dell'anno civile per i quali la precipitazione giornaliera è $P < 1\text{ mm}$	Periodo ininterrotto di giorni secchi consecutivi, ognuno con precipitazioni giornaliere inferiori a 1 mm.
Indice di siccità	SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index): deviazione dal bilancio idrico climatico medio (differenza tra le precipitazioni e la potenziale evaporazione)	Il valore dell'indice di un determinato mese mostra quantità idriche che si accumulano ovvero eccedenze idriche che si accumulano nel periodo precedente del confronto pluriennale.
Somma complessiva di neve fresca	Somma complessiva della neve fresca giornaliera dei mesi da ottobre a marzo (semestre invernale)	La somma complessiva della neve e la quantità di neve fresca dipendono in modo complesso dalla temperatura e dalle precipitazioni. Quindi reagiscono in modo sensibile ai cambiamenti climatici a lungo termine [16], [17], [18], [19].
Giorni di neve fresca	Numero di giorni con neve fresca misurabile nei mesi da ottobre a marzo (semestre invernale)	

Tabella 5.2

Indicatori climatici utilizzati per i settori presi in esame dell'atmosfera e delle terre emerse. Gli indicatori WMO sono definiti in WMO/ETCCDI [11].

5.1 Atmosfera

5.1.1 Osservazioni al suolo

Gli indicatori climatici qui rappresentati seguendo le indicazioni dell'OMM (Tabella 5.2) fanno riferimento alle serie di misura di quattro stazioni scelte per la loro rappresentatività di quattro aree svizzere: Berna (pianura nordalpina), Sion (valle intralpina), Davos (ubicazione alpina) e Lugano (Sud delle Alpi). Gli indicatori sono riportati come valori annuali, ad esempio come numero di giorni di gelo per anno civile (dal 1° gennaio al 31 dicembre).

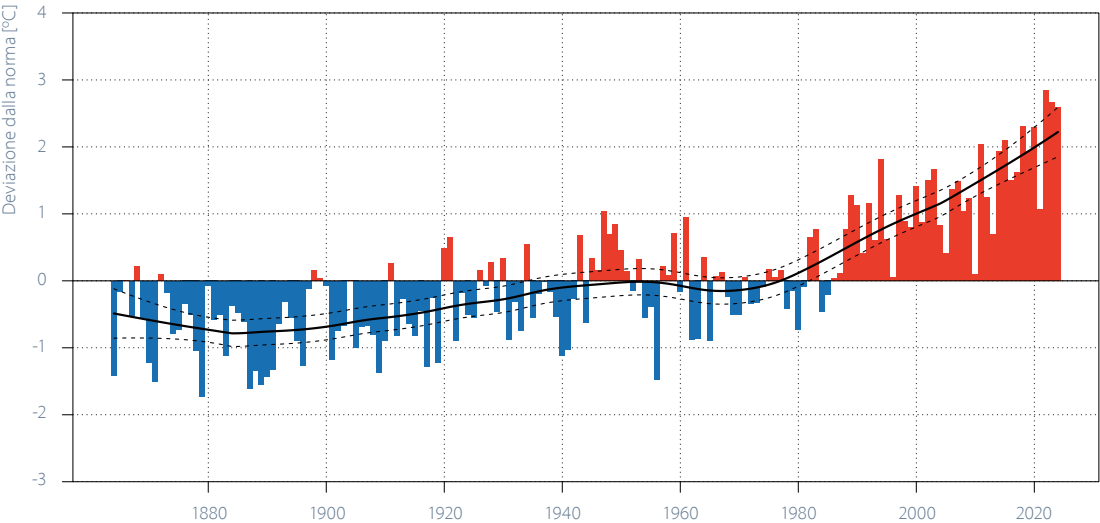


[Ulteriori informazioni sugli indicatori climatici](#)

Temperatura

Con una temperatura media svizzera di 7,2 °C, il 2024 è stato il terzo anno più caldo dall'inizio delle misure nel 1864. Si tratta di 2,6 °C in più rispetto al valore di riferimento del periodo 1961–1990 e 3,3 °C in più rispetto al periodo preindustriale 1871–1900. Gli anni precedenti 2022 e 2023 sono stati leggermente più caldi con una temperatura media svizzera di 7,4 °C e 7,3 °C. Il 2024 conferma pertanto la forte tendenza al riscaldamento degli ultimi decenni. Dal periodo preindustriale 1871–1900 fino a oggi la temperatura annuale in Svizzera è aumentata di 2,9 °C an (cfr. [20]). Questo scarto corrisponde alla differenza dell'attuale media climatica, quindi la temperatura media annuale che ci si aspetterebbe con le odierne condizioni climatiche, rispetto alla media del periodo di riferimento preindustriale. Se si considera il margine di incertezza della stima della tendenza, in Svizzera il riscaldamento ammonta a 2,6–3,3 °C.

Figura 5.1
Andamento pluriennale della temperatura annuale (media di tutta la Svizzera). È riportato lo scarto annuale della temperatura rispetto alla norma 1961–1990 (rosso = scarto positivo, blu = scarto negativo). La curva nera mostra la media ponderata su 30 anni (regressione lineare locale LOESS conformemente a [20]). Le linee tratteggiate indicano la fascia di incertezza di questa media (intervallo di confidenza 95 %).

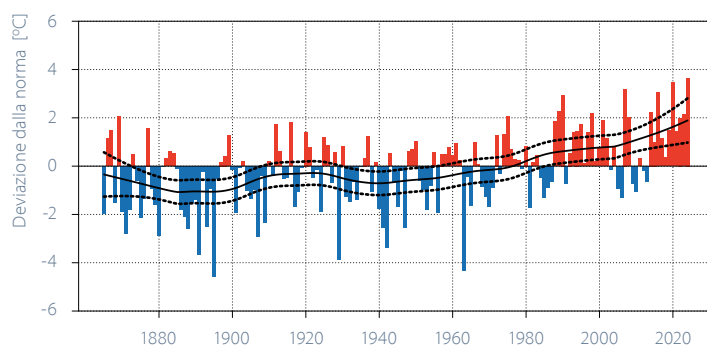


L'inverno 2023/24 è stato il più mite dall'inizio delle misure nel 1864 con uno scarto di $+3,6^{\circ}\text{C}$ rispetto alla norma del periodo di riferimento 1961–1990. Con uno scarto di $+2,4^{\circ}\text{C}$ rispetto a questo periodo, in Svizzera nel 2024 è stata registrata la settima primavera più calda della serie temporale di 160 anni. L'estate 2024 è stata la sesta più calda con una temperatura media nazionale di $3,3^{\circ}\text{C}$ superiore a quella del periodo di riferimento 1961–1990. La maggiore deviazione dal periodo di riferimento di un'estate svizzera risale tuttora al 2003, con uno scarto di oltre $4,8^{\circ}\text{C}$ rispetto al periodo di riferimento 1961–1990.

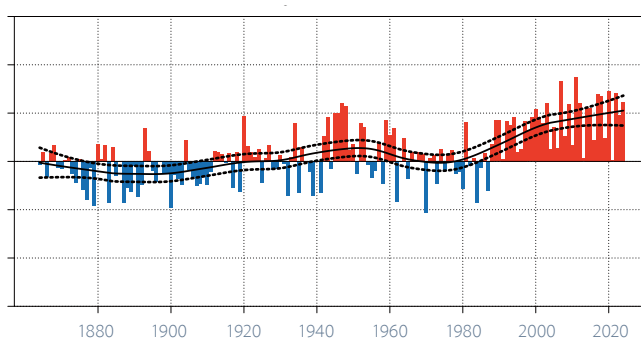
Con una deviazione di $+1,4^{\circ}\text{C}$, l'autunno è stato il nono più caldo mai registrato.

La tendenza al riscaldamento è evidente e statisticamente significativa in tutte le stagioni. Nel clima attuale del 2024 l'inverno è di $2,9^{\circ}\text{C}$ più caldo rispetto al periodo di riferimento preindustriale 1871–1900. In primavera e in autunno il riscaldamento ammonta in media a $2,6^{\circ}\text{C}$, rispettivamente $2,8^{\circ}\text{C}$ rispetto al riferimento preindustriale. Nei mesi estivi (giugno, luglio e agosto) si osserva uno scarto di $+3,4^{\circ}\text{C}$.

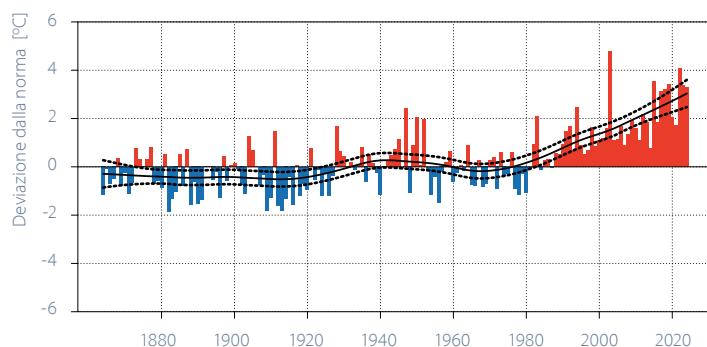
Inverno (DIC, GEN, FEB) 1864/65–2023/2024



Primavera (MAR, APR, MAG) 1864–2024



Estate (GIU, LUG, AGO) 1864–2024



Autunno (SET, OTT, NOV) 1864–2024

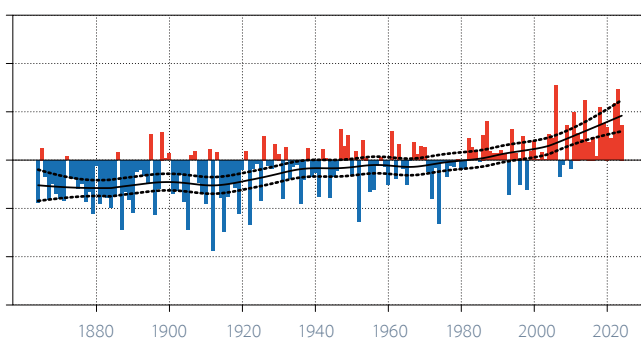


Figura 5.2

Andamento pluriennale della temperatura stagionale mediata su tutta la Svizzera. È riportato lo scarto annuale della temperatura stagionale rispetto alla norma 1961–1990 (rosso = scarto positivo, blu = scarto negativo). La curva nera mostra la media ponderata su 30 anni (regressione lineare locale LOESS). Le linee tratteggiate indicano la fascia di incertezza di questa media (intervallo di confidenza 95 %).

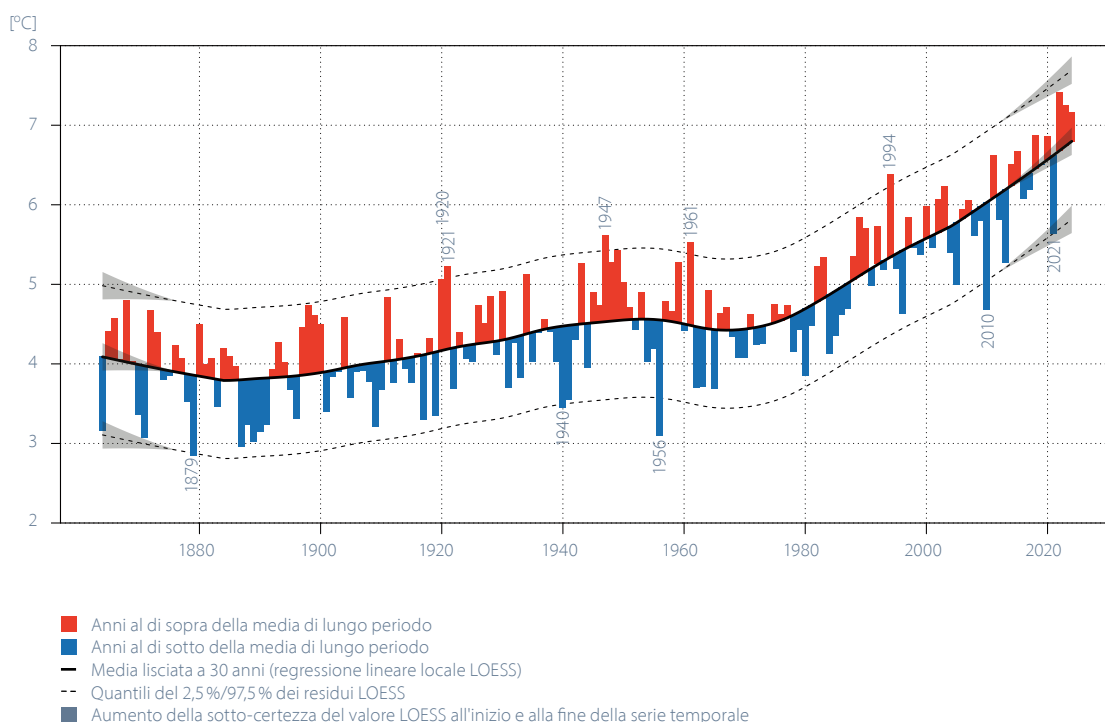
La media climatica attuale per l'anno civile 2024 ammonta a $6,8^{\circ}\text{C}$ ed è quindi di $2,2^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,4^{\circ}\text{C}$) superiore alla norma 1961–1990. Il riscaldamento del clima in Svizzera ha subito una forte accelerazione a partire circa dal 1970 (Figura 5.3). Il 2024 si situa $0,4^{\circ}\text{C}$ sopra la linea della tendenza climatica, che indica la rispettiva media climatica attuale per ogni anno, ed è quindi stato più caldo di quanto ci si aspetterebbe nel clima attuale. La stessa cosa vale per il 2022 e il 2023. Al contrario, il 2021 è stato nettamente più fresco rispetto al corrispondente clima attuale.

Le maggiori deviazioni positive dalla media climatica valida allora risalgono agli anni come il 1994, 1961, 1947 e gli anni consecutivi 1920/1921. Tutti questi anni si situano al di fuori del margine di fluttuazione del 95 % delle

temperature annuali del corrispondente clima e sono pertanto stati eccezionalmente caldi per le condizioni climatiche di allora. Gli anni particolarmente freddi per le condizioni climatiche prevalenti sono il 2021, 2010, 1956, 1940, come pure il 1879. Le temperature medie di questi anni sono tutte al di sotto del margine di fluttuazione del 95 % delle temperature annuali nel clima attuale di allora.

Questa rappresentazione mostra in modo sorprendente che un anno particolarmente caldo come il 2024 rispetto a tutto il periodo di misura (3° posto) può assolutamente situarsi nell'ambito delle aspettative del clima attuale, oppure che un anno come il 2021, che è tra i 25esimi anni più caldi dall'inizio delle misure, rappresenta un anno fresco nel clima attuale.

Figura 5.3
Andamento pluriennale della temperatura annuale assoluta, indicata sotto forma di deviazione dalla media mobile su 30 anni (regressione lineare locale LOESS, linea nera). Le colonne rosse mostrano gli anni con temperature superiori alla media mobile, le colonne blu corrispondono agli anni con temperature inferiori alla media mobile. Le linee tratteggiate indicano in quale fascia si muove il 95 % delle temperature annuali attorno alla linea di tendenza climatica.



In virtù del rapido riscaldamento in Svizzera, gli anni con le temperature più elevate sono stati tutti registrati negli ultimi decenni. Gli anni 2022, 2023 e 2024 vantano le temperature più alte dall'inizio delle misurazioni nel 1864 e sono nettamente più caldi di tutti gli altri anni. Tra i trenta anni più caldi dall'inizio delle misure nel 1864, quelli precedenti al 1990 sono pochissimi. I nove più caldi si sono verificati tutti dopo il 2010 (Figura 5.4). In Svizzera solo il 2010 e il 2013 non appartengono ai trenta più caldi. Anche a livello globale l'andamento delle temperature rispecchia la tendenza osservata in Svizzera, con la maggiore frequenza di anni molto caldi in tempi recenti (Figura 4.1).

Senza interventi efficaci di protezione del clima, in Svizzera il riscaldamento continuerà a causa del cambiamento climatico di origine antropica. Secondo gli scenari climatici CH2018, fino alla fine del ventunesimo secolo l'aumento della temperatura media annuale sarà compreso circa tra 3,3 e 5,4°C rispetto alla norma 1981–2010. L'aumento maggiore della temperatura media avverrà in estate e sarà compreso tra 4,1 e 7,2°C nel caso in cui le emissioni di gas ad effetto serra continueranno come finora [21].

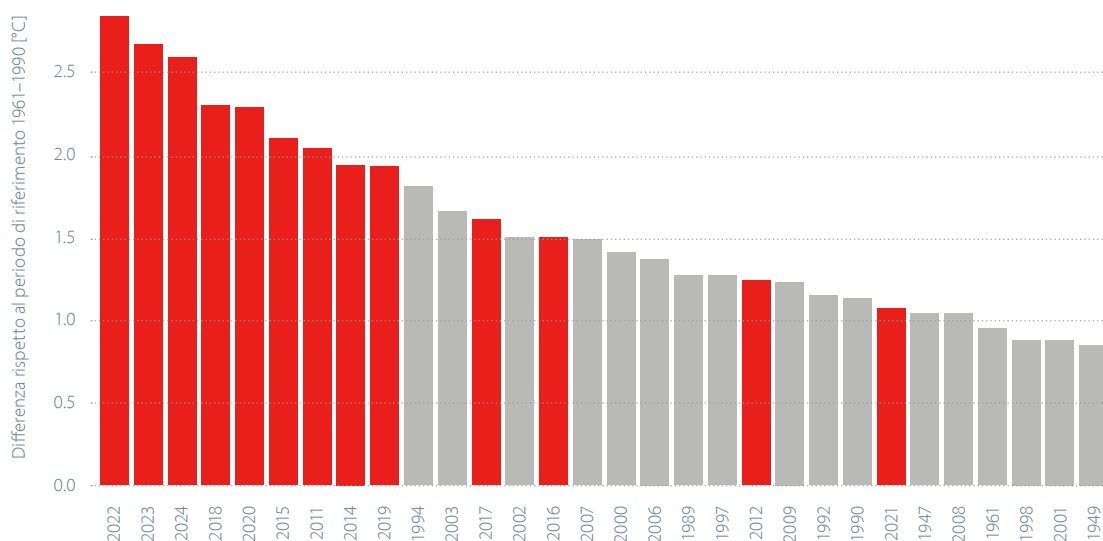


Figura 5.4
Classifica dei 30 anni più caldi dal 1864. Le colonne mostrano la deviazione della temperatura media svizzera rispetto alla norma 1961–1990. Gli anni dopo il 2010 sono rappresentati in rosso.

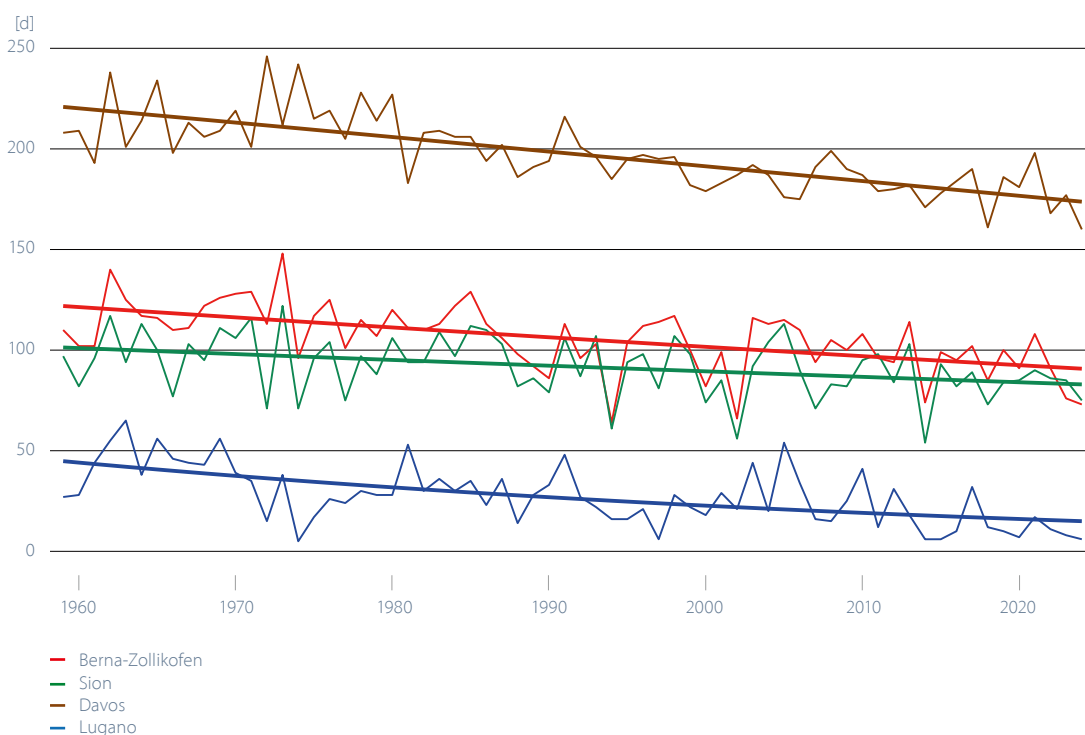
Giorni di gelo

A causa dell'inverno estremamente mite e delle temperature superiori alla media in primavera e in autunno, nel 2024 in tutte e quattro le stazioni di misura mostrate in questa pubblicazione il numero di giorni di gelo è stato molto basso. A Lugano i giorni con una temperatura minima inferiore a 0°C sono stati solo sei, che corrispondono a circa un sesto del numero di giorni di gelo del periodo di riferimento 1961–1990 (35 giorni). La stazione di Berna/Zollikofen ne ha registrati un buon terzo in meno. Qui i giorni di gelo sono stati 73 (valore di riferimento 115). Presso la stazione

di Davos, quella situata alla quota più alta, in tutto il 2024 sono stati contati 160 giorni di gelo, che equivalgono a poco meno di un quarto in meno del periodo di riferimento 1961–1990 (210). A Sion nel 2024 il numero di giorni di gelo è stato inferiore alla norma di circa il 25%: 75 giorni anziché i 98 di riferimento.

A causa del sensibile riscaldamento invernale degli ultimi decenni, a Berna, Davos, Sion e Lugano il numero dei giorni di gelo è diminuito in modo significativo: per ogni decennio in queste località vengono rilevati da tre a sette giorni di gelo in meno.

Figura 5.5
Andamento temporale
del numero di giorni
di gelo, cioè con
temperatura minima
inferiore a 0 gradi, per
le stazioni di Berna-
Zollikofen, Sion,
Davos e Lugano.



In base agli scenari climatici CH2018 [21] se le emissioni di gas a effetto serra continueranno ad aumentare senza misure di contenimento, a Lugano il numero dei giorni di gelo potrebbe diminuire entro il 2060 a 5–14 all'anno. A Berna il numero dei giorni di gelo sarà invece compreso tra 50 e 70.

Giorni estivi

La sesta estate più calda dall'inizio delle misure nel 1864 ha portato un minor numero di giorni con una temperatura massima superiore o uguale a 25 °C del 2022 e del 2023, ma rispetto alla media pluriennale del periodo 1961–1990 il loro numero risulta nettamente superiore. A Sion nel 2024 i giorni estivi sono stati complessivamente 78; qui la media del periodo di riferimento 1961–1990 è di 56 giorni estivi. A Lugano le giornate estive sono state 80. Nel periodo di riferimento a Lugano si contano 50 giorni estivi. A Berna/Zollikofen nel 2024 si sono verificati complessivamente 55 giorni estivi (riferimento 31 giorni). Nonostante la sua altitudine, Davos ha registrato

otto giorni con almeno 25 °C. Durante il periodo normale 1961–1990 qui si contava in media un solo giorno estivo all'anno. Con il clima odierno si verificano sempre più spesso giorni estivi anche alle quote più alte.

L'aumento dei giorni estivi in tutte e quattro le serie di misura considerate è significativo. Per ogni decennio a Berna si registrano circa cinque giorni estivi in più, a Sion sei e a Lugano otto. A Davos, a 1600 m di quota, l'aumento è di due giorni estivi per decennio.

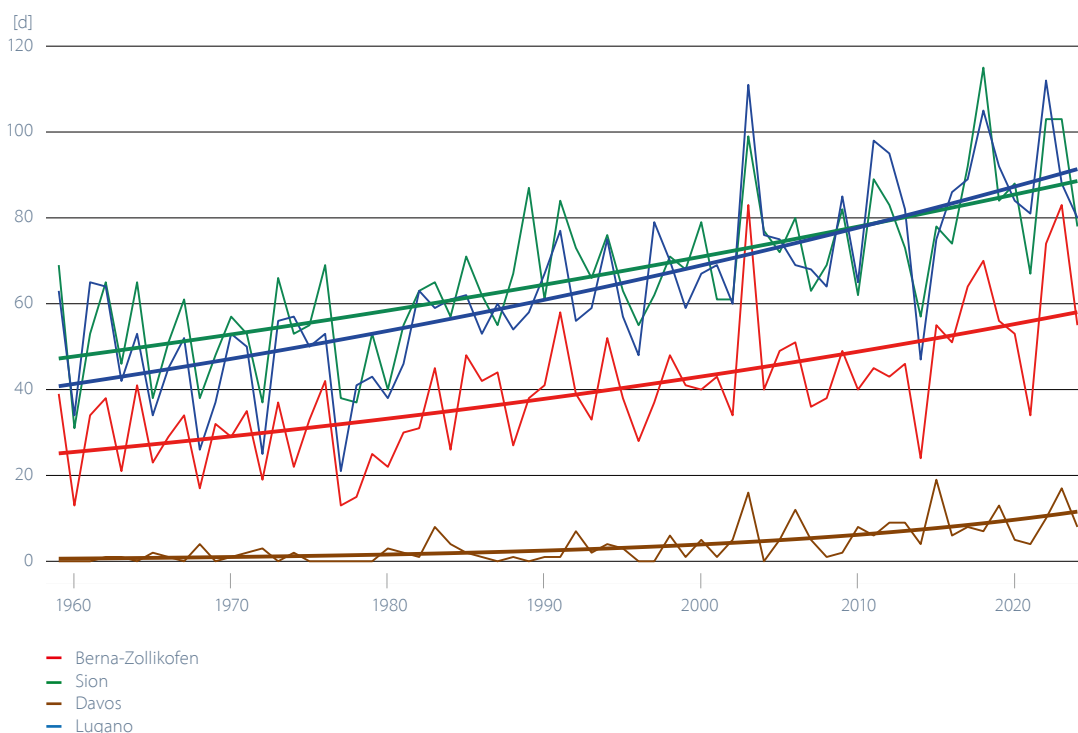


Figura 5.6
Andamento temporale del numero di giorni estivi (cioè con temperatura massima superiore o uguale a 25 °C) per le stazioni di Berna-Zollikofen, Sion, Davos e Lugano.

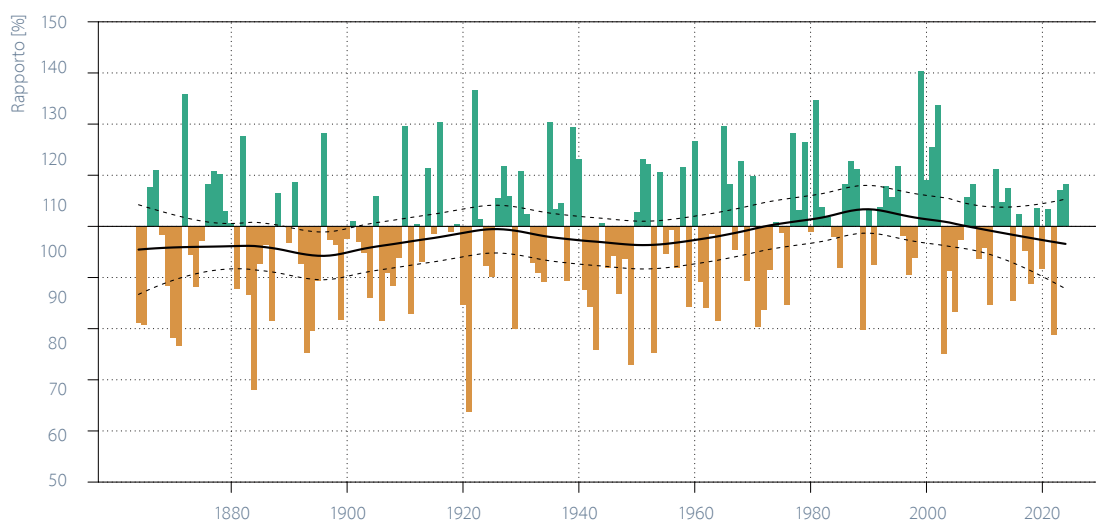
Se le emissioni di gas ad effetto serra dovessero continuare come fino ad oggi, attorno al 2060 a basse quote il numero di giorni estivi sarà mediamente il doppio rispetto alla norma 1961–1990. Così, ad esempio, a Berna si verificheranno 70–90 giorni estivi e a Davos 15–40, cioè il numero di giorni estivi che si verificavano mediamente a Berna nel periodo 1961–1990 [21].

Precipitazioni

Nella media nazionale il 2024 è stato, analogamente al 2023, più piovoso rispetto al periodo di riferimento 1961–1990 (Figura 5.7). I quantitativi di precipitazione sono risultati il 108 % del valore di riferimento del periodo 1961–1990. Ad eccezione dell'estate, tutte le stagioni sono state più piovose del rispettivo valore di riferimento (Figura 5.8). In estate i quantitativi di precipitazione a livello nazionale sono stati in media circa l'87 % di quelli di riferimento. La primavera è stata piovosa con il 132 % delle precipitazioni medie del periodo di riferimento 1961–1990. In inverno i quantitativi sono stati il 127 % e in inverno il 120 % del valore di riferimento.

L'evoluzione delle precipitazioni nel periodo 1864–2024 in Svizzera è caratterizzata da forti variazioni di anno in anno e per diversi anni, sia per quanto riguarda la media annuale, sia per tutte le stagioni. Solamente in inverno finora si può osservare per la Svizzera un aumento significativo delle precipitazioni medie di quasi il 40 % rispetto al periodo di riferimento preindustriale. Se si considera il margine di incertezza della stima della tendenza, per la stagione invernale la variazione dei quantitativi di precipitazione è compresa tra +9 a +67 % dal periodo preindustriale. Nelle altre stagioni non si può riscontrare una chiara tendenza a un aumento o a una diminuzione dei quantitativi di precipitazione.

Figura 5.7
Andamento storico delle precipitazioni annuali medie in Svizzera in percentuale rispetto alla norma 1961–1990 (verde = deviazioni positive, marrone = deviazioni negative). La curva nera indica la media ponderata su 30 anni (regressione lineare locale LOESS). Le linee tratteggiate indicano la fascia di incertezza di questa media (intervallo di confidenza 95 %).



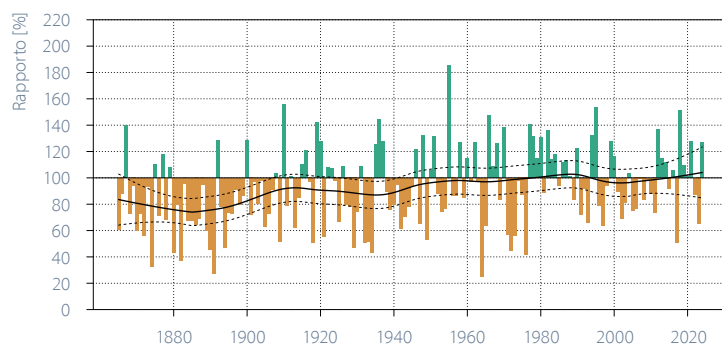
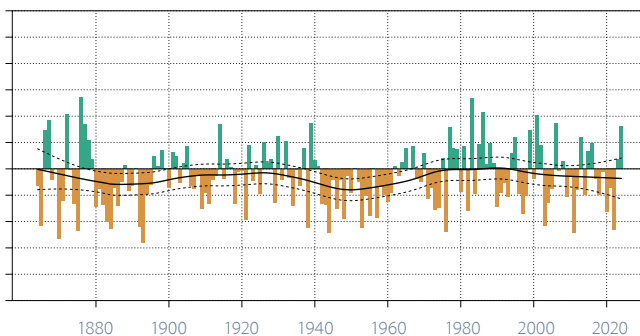
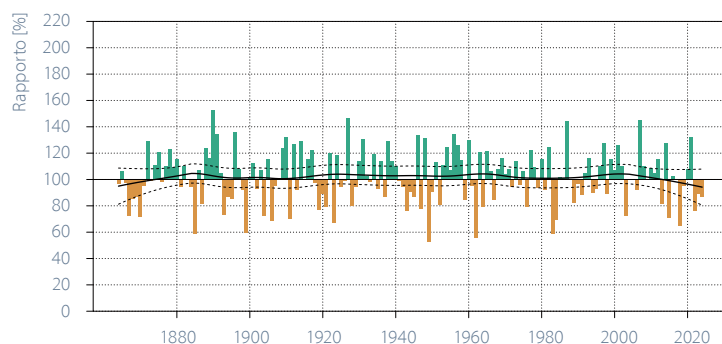
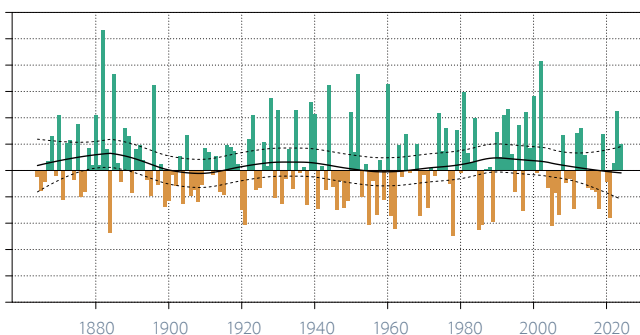
Inverno (DIC, GEN, FEB) 1864/65–2023/24**Primavera** (MAR, APR, MAG) 1864–2024**Estate** (GIU, LUG, AGO) 1864–2024**Autunno** (SET, OTT, NOV) 1864–2024

Figura 5.8

Andamento storico delle precipitazioni stagionali medie in Svizzera in percentuale rispetto alla norma 1961–1990 (verde = deviazioni positive, marrone = deviazioni negative). La curva nera indica la media ponderata su 30 anni (regressione lineare locale LOESS). Le linee tratteggiate indicano la fascia di incertezza di questa media (intervallo di confidenza 95 %).

Senza provvedimenti efficaci a livello globale, in estate in Svizzera si prevede un netto calo delle precipitazioni. Secondo gli attuali scenari climatici, e prendendo come riferimento la media del periodo 1981–2010, entro la fine del secolo in corso il calo dovrebbe essere compreso tra +2% e -39%. Gli scenari mostrano invece una tendenza all'aumento compreso tra il +2% e il +24% per la stagione invernale [21].





Giorni con precipitazioni moderate

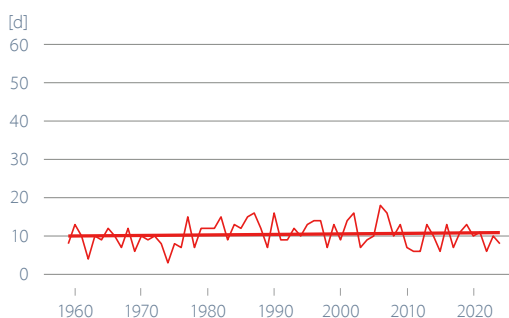
Nonostante l'estate con locali alluvioni e precipitazioni estreme (cfr. capitolo 3.1) e i quantitativi complessivi stagionali delle precipitazioni superiori alla media in tutta la Svizzera in inverno, primavera e autunno, nel 2024 nelle quattro stazioni di misura mostrate in questa pubblicazione il numero di giorni con oltre 20 mm di precipitazione è risultato attorno ai valori del periodo di riferimento 1961–1990. A Berna sono stati registrati 8 giorni con precipitazioni moderate (riferimento 10), a Davos 9 (riferimento 10), a Lugano 32 (riferimento 26) e a Sion 6 giorni (riferimento 5) con più di 20 mm di precipitazione. Nessuna delle quattro stazioni presentate in questa pubblicazione mostra una tendenza significativa a un aumento o una diminuzione dei giorni con precipitazioni moderate.

La variazione delle precipitazioni moderate è stata analizzata in 192 stazioni per il periodo 1901–2023. Il 91 % delle stazioni mostra un aumento dell'intensità dei maggiori quantitativi di precipitazione giornaliera per anno civile, di cui il 22 % un aumento significativo. La frequenza del numero di giorni per anno con precipitazione giornaliera superiore al 99° percentile è aumentata nell'87 % delle stazioni, di cui nel 29 % in modo significativo [22].

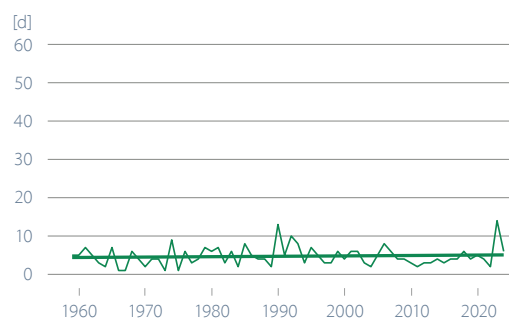
Gli scenari climatici CH2018 prospettano come in futuro le precipitazioni estreme subiranno un ulteriore aumento. Attorno all'anno 2060 la precipitazione giornaliera più elevata durante un anno potrebbe aumentare del 10 % rispetto a quella del periodo 1981–2010 [21].

Figura 5.9
Numero di giorni con precipitazioni ≥ 20 mm per anno civile nelle stazioni di Berna-Zollikofen, Sion, Davos e Lugano.

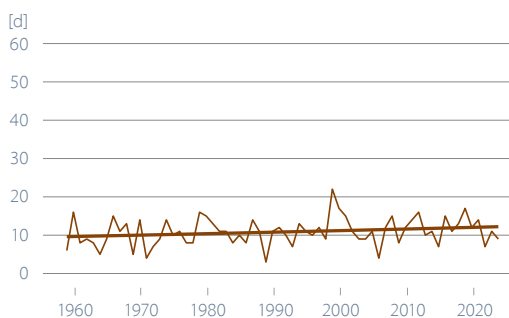
Berna-Zollikofen



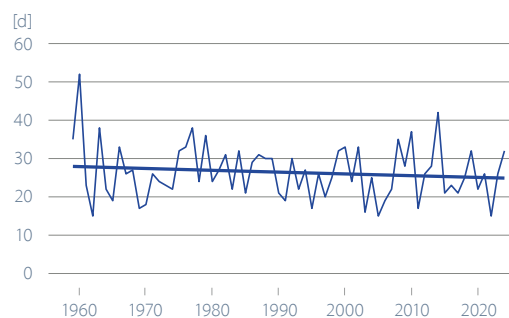
Sion



Davos



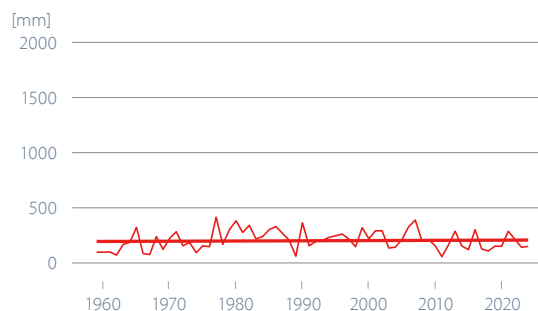
Lugano



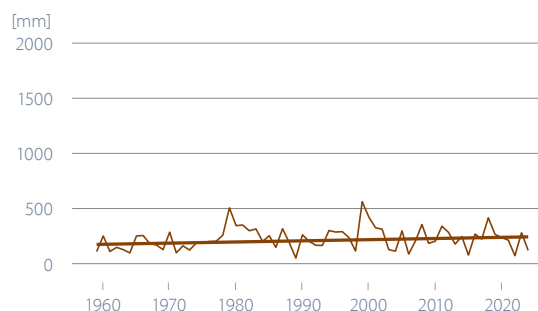
Precipitazioni nei giorni molto piovosi

In tre delle quattro stazioni di misura qui presentate i quantitativi complessivi delle precipitazioni nei giorni molto piovosi sono stati inferiori al periodo di riferimento 1961–1990. A Berna sono stati registrati 151 mm (valore di riferimento 216 mm), a Davos 120 mm (riferimento 214 mm) e a Sion 71 mm (riferimento 98 mm). Solo a Lugano il valore di riferimento di 858 mm è stato nettamente superato. Qui nel 5 % dei giorni con le precipitazioni più intense sono caduti complessivamente 1066 mm. Nell'andamento pluviennale nessuna delle stazioni qui indicate mostra una tendenza significativa.

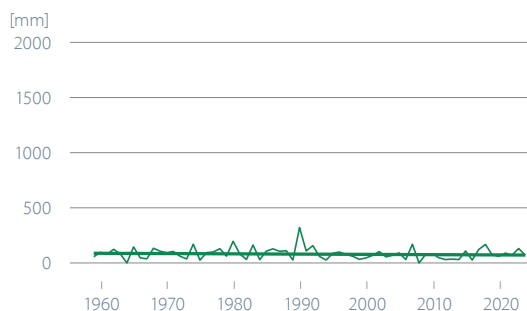
Berna-Zollikofen



Davos



Sion



Lugano

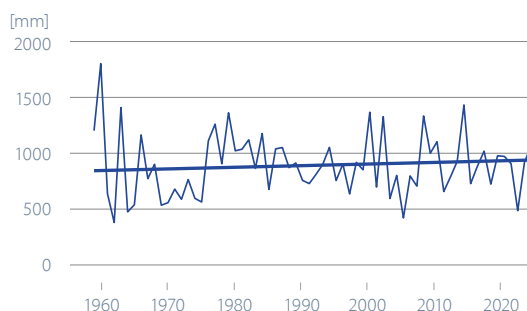


Figura 5.10

Quantitativo complessivo annuo delle precipitazioni (in mm) di tutti i giorni molto piovosi per le stazioni di Berna-Zollikofen, Sion, Davos e Lugano. Sono considerati come giorni molto piovosi quelli il cui quantitativo giornaliero rientra nel 5% delle precipitazioni massime giornaliere. Come riferimento vale il periodo 1961–1990.

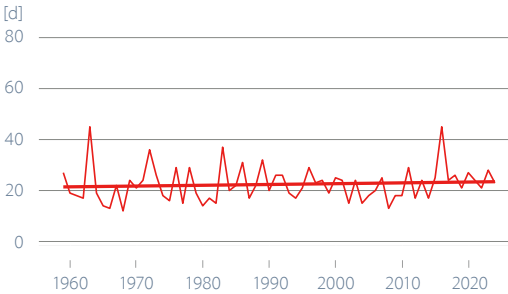
Periodi asciutti

Nel 2024 nelle stazioni di misura qui presentate i periodi asciutti più lunghi sono risultati in linea con i valori del periodo di riferimento 1961–1990, come a Berna/Zollikofen con 23 giorni (valore di riferimento 22) e Davos con 20 giorni consecutivi senza precipitazioni (riferimento 22), oppure i periodi asciutti sono stati molto più corti, come a Sion con 19 giorni senza precipitazioni (riferimento 30) e a Lugano con 24 giorni ininterrotti senza precipitazioni (riferimento 33). Nell'andamento pluriennale nessuna di queste serie di misurazioni mostra una tendenza significativa verso periodi asciutti più lunghi o più corti.

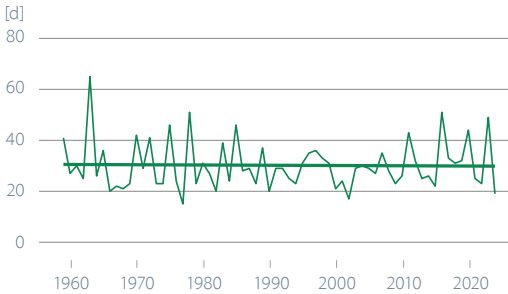
Secondo gli attuali scenari climatici la durata del periodo asciutto più lungo dell'anno aumenterà attorno al 2060 fino a nove giorni in più rispetto a oggi, se le emissioni di gas ad effetto serra non dovessero essere drasticamente ridotte [21].

Figura 5.11
Durata (numero di giorni)
dei periodi asciutti più
lunghi per anno civile
per le stazioni di
Berna-Zollikofen, Sion,
Davos e Lugano.

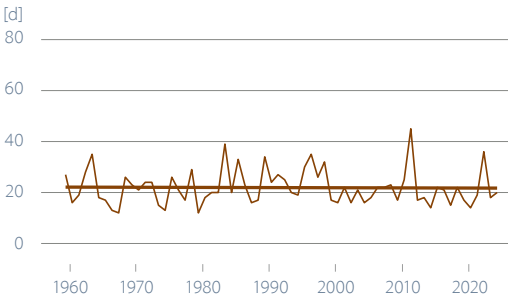
Berna-Zollikofen



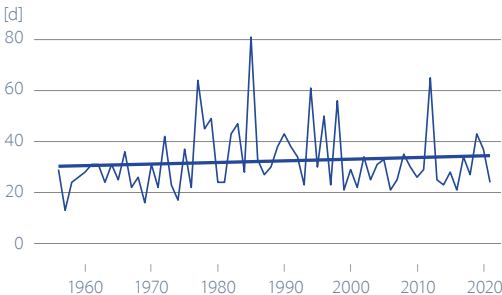
Sion



Davos



Lugano



Indice di siccità

La siccità può essere intesa in modi diversi. In termini molto generali è una carenza di precipitazioni per un periodo prolungato che può variare da più mesi a diverse stagioni. A seconda della durata della siccità, la scarsità idrica si ripercuote in maniera diversa su vari settori (agricoltura, selvicoltura, approvvigionamento idrico, produzione energetica, navigazione). In questo documento il bilancio idrico da aprile a settembre è mostrato tramite l'indice SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index).

Il semestre estivo (periodo vegetativo) è determinante per l'agricoltura. Le misure effettuate a Berna mostrano che, con l'eccezione del 2021, tutti gli anni più recenti hanno avuto un bilancio idrico negativo nel periodo da aprile a settembre. Questo vale anche per il semestre estivo 2024, ma l'anomalia è risultata più debole rispetto al 2021, anno estremo, o a quella dell'estate 2018 [23]. Estati asciutte più frequenti corrispondono alle aspettative in un contesto di riscaldamento climatico con un aumento dell'evaporazione [24].

I valori dell'indice SPEI più bassi (nel 1947, 1865, 2003, 1949, 1893 e 1911) di questa serie corrispondono agli anni in cui si sono manifestati i danni più rilevanti all'agricoltura a causa della siccità. I periodi caratterizzati da SPEI negativo coincidono esattamente con i maggiori eventi di siccità degli ultimi 150 anni [25], [26].

SPEI Berna-Zollikofen

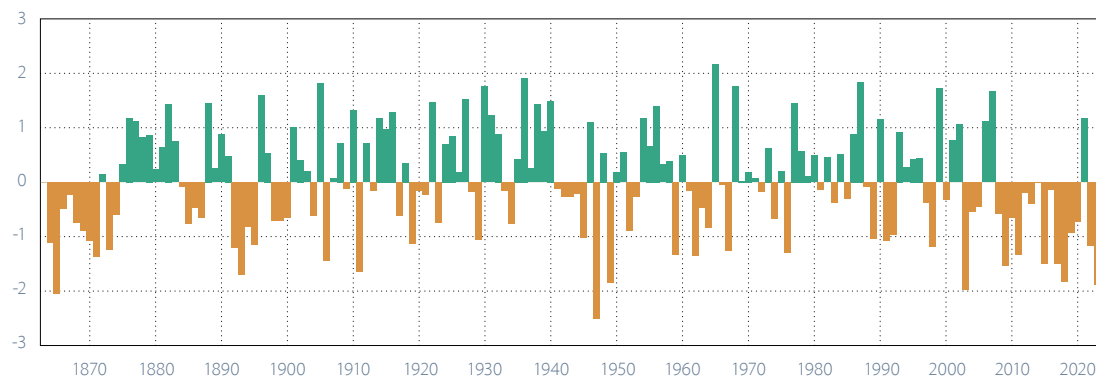


Figura 5.12

Indice SPEI del periodo vegetativo (sei mesi, aprile-settembre) per la stazione di Berna. Valori positivi significano condizioni di maggiore umidità, quelli negativi di maggiore siccità rispetto alla media (1864–2024).

5.1.2 Atmosfera libera

Quota dell'isoterma di zero gradi

La mediana annuale della quota dell'isoterma di zero gradi nell'atmosfera libera ricavata dalle sonde meteorologiche lanciate a Payerne alle 11 e alle 23 UTC di ogni giorno del 2024 è pari a 2857 m, 353 m più in alto di quella del 2023.

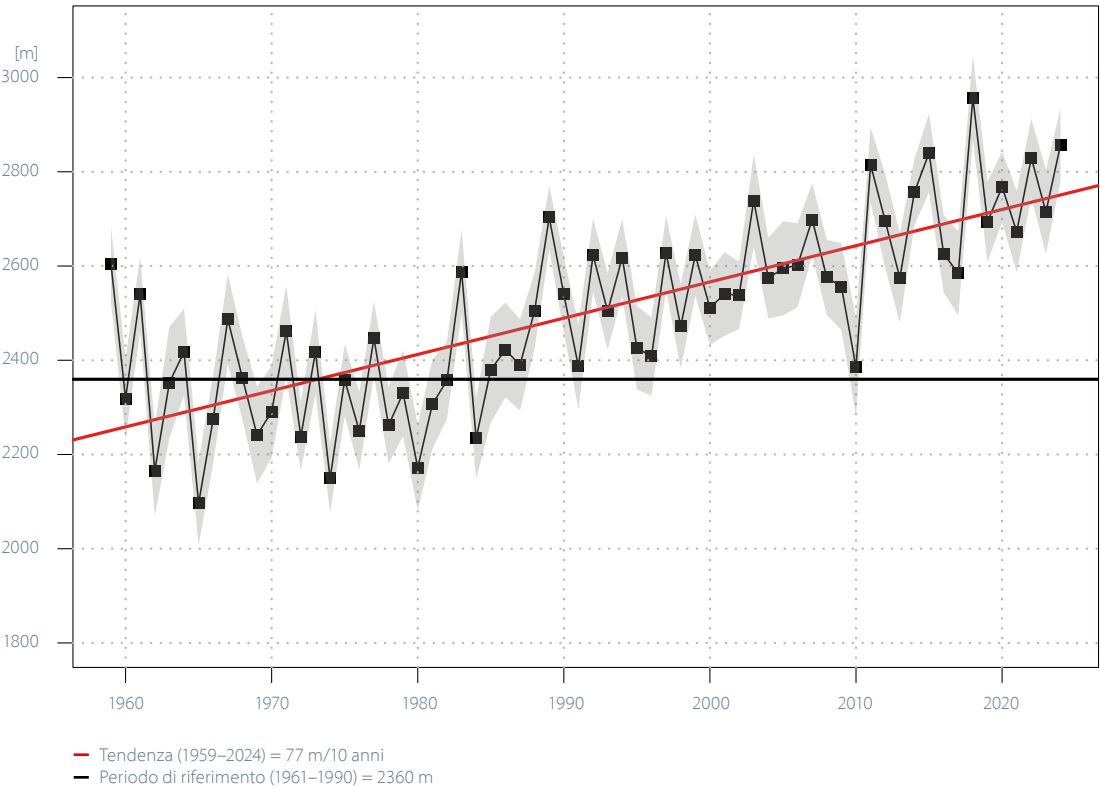
La Figura 5.13 mostra la tendenza al rialzo della quota dell'isoterma di zero gradi (linea rossa) nel periodo 1959–2024. La tendenza a lungo termine non fornisce informazioni sui cambiamenti a corto termine, che possono anche contrastare con questa evoluzione, come ad esempio nel periodo 1959–1987. Per tale motivo nel grafico sono illustrate anche le variazioni di anno in anno attorno alla tendenza lineare (linea nera con i quadratini) e l'incertezza nel calcolo di questo valore (area in grigio chiaro).

La tendenza all'aumento della quota dell'isoterma di zero gradi è determinata soprattutto dall'incremento marcato di questa grandezza verificatosi a partire dal 1990 circa. La quota media dell'isoterma di zero gradi nell'anno 2018 è stata la più elevata dell'intera serie storica con un valore di 2957 m, 597 m superiore alla mediana del periodo 1961–1990 (2360 m). Il valore minimo di 2096 m risale al

1965 ed è di 264 m inferiore al valore di riferimento. Negli ultimi 35 anni la quota dell'isoterma di zero gradi è aumentata in modo sistematico e funge pertanto da indicatore inequivocabile del riscaldamento della troposfera. Le mediane annuali del periodo 1959–1990 fluttuano attorno alla mediana del periodo di riferimento 1961–1990, senza mostrare una tendenza significativa. Al contrario, nella seconda parte della serie temporale 1990–2023 emerge una chiara tendenza a deviazioni sempre più grandi della quota dell'isoterma di zero gradi dal valore di riferimento, con l'attuale record del 2018.

L'andamento della quota dell'isoterma di zero gradi rispecchia quello della temperatura media annuale in Svizzera (Figura 5.1). Come mostrato nella Figura 5.13, nel periodo 1990–2024 la mediana annuale della quota dell'isoterma di zero gradi è aumentata in modo considerevole. L'aumento viene osservato in tutte le stagioni (Figura 5.14). La tabella 5.3 mostra il valore minimo e massimo delle rispettive serie di misure stagionali della quota dell'isoterma di zero gradi. I tre valori stagionali più alti sono stati raggiunti dopo il 2018, il quarto nel 2007.

Figura 5.13
Mediana annuale della quota dell'isoterma di zero gradi nel periodo 1959–2024, ricavata dalle radiosonde lanciate giornalmente a Payerne. La linea nera mostra la mediana del periodo 1961–1990 (2360 m), la linea rossa la tendenza lineare (significativa), l'area grigio-chiara l'incertezza delle misure.

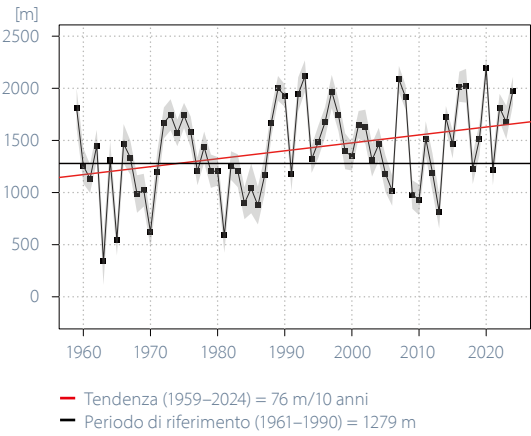


Soprattutto le stagioni calde, la primavera (83 m/10 anni) e l'estate (92 m/10 anni), mostrano un'evoluzione simile a quella dei valori annuali (77 m/10 anni) nella Figura 5.13, con l'accelerazione della tendenza a partire dal 1990 circa. Le tendenze lineari della stagione autunnale (52 m/10 anni) e invernale (76 m/10 anni) non sono invece statisticamente significative.

	Inverno (DIC, GEN, FEB)	Primavera (MAR, APR, MAG)	Estate (GIU, LUG, AGO)	Autunno (SET, OTT, NOV)
Minimo in m (anno)	341 m (1963)	1473 m (1962)	3106 m (1977)	1535 m (1974)
Massimo in m (anno)	2191 m (2020)	2619 m (2007)	3962 m (2022)	3380 m (2018)

Tabella 5.3
Minimi e massimi stagionali della quota dell'isoterma di zero gradi.

Inverno



Primavera

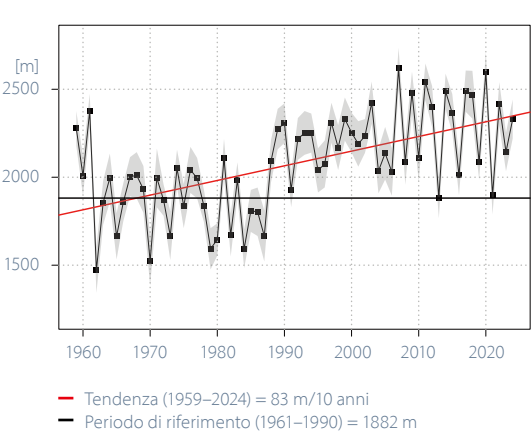
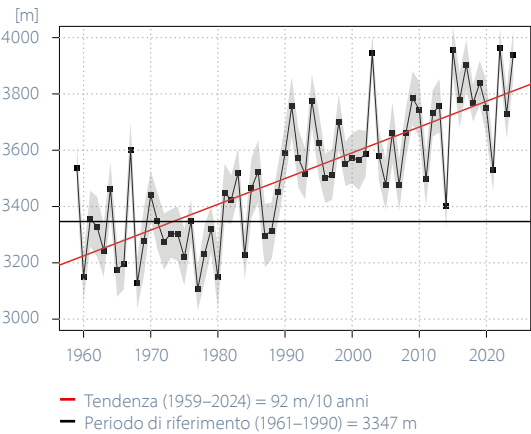
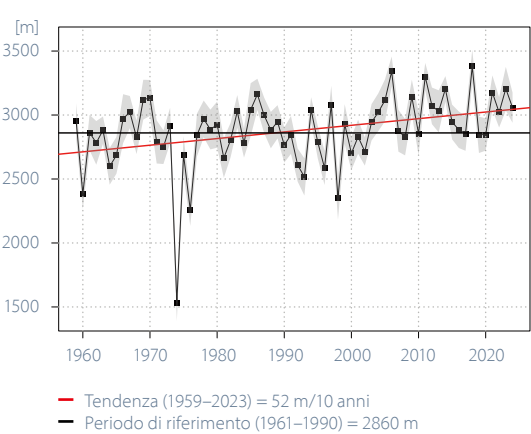


Figura 5.14
Mediana stagionale della quota dell'isoterma di zero gradi nel periodo 1959–2024. La linea nera mostra la mediana stagionale del periodo di riferimento 1961–1990, la linea rossa la tendenza lineare (significativa in tutte le stagioni), l'area grigio-chiara l'incertezza delle misure.

Estate



Autunno

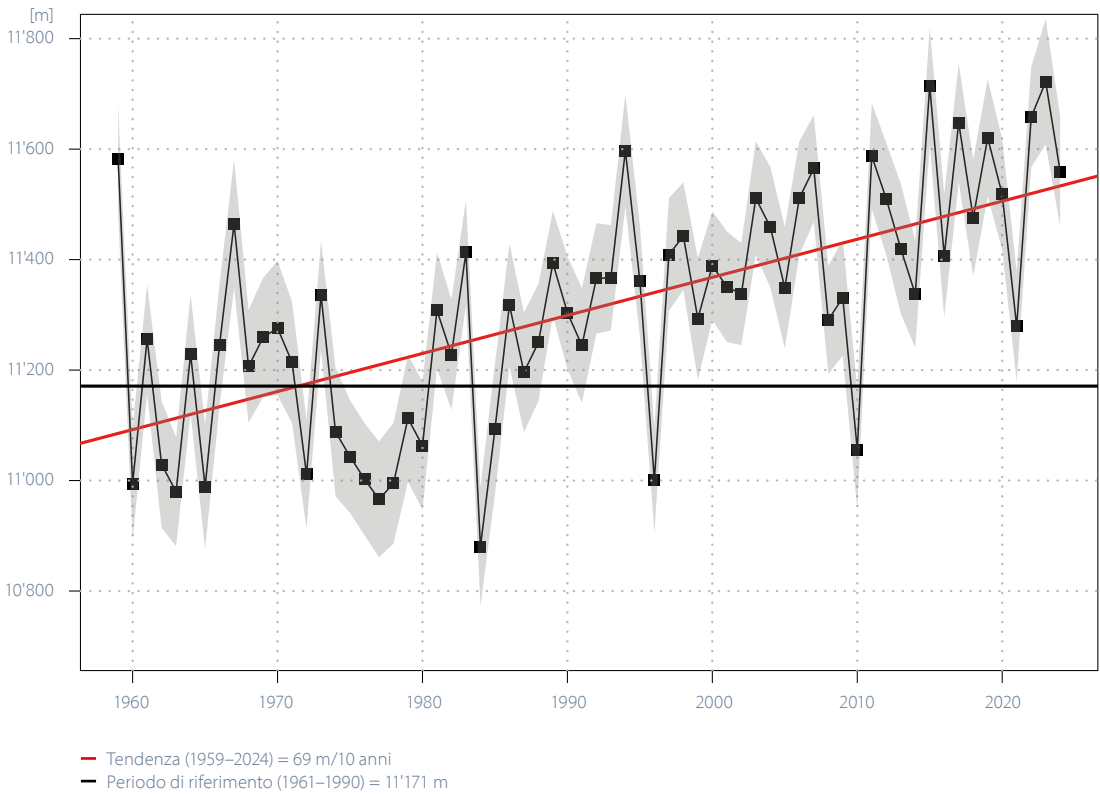


Altitudine della tropopausa

L'altitudine della tropopausa è stata calcolata seguendo la definizione di tropopausa termica fornita dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM, 1957) [27] basandosi sul profilo di temperatura misurato dal radio-sondaggio di Payerne. I valori annuali rappresentati nella Figura 5.15 corrispondono alla mediana delle altitudini della tropopausa misurate durante ogni anno a partire dal 1959. Così come la quota dell'isoterma di zero gradi, anche l'altitudine della tropopausa mostra una tendenza al rialzo durante l'intero periodo 1959–2024 (linea rossa). L'area grigia rappresenta invece l'incertezza del valore mediano di ogni anno. La linea nera orizzontale indica la mediana di tutti i valori annuali durante il periodo normale 1961–1990, fungendo da valore di riferimento.

Nel 2024 la tropopausa ha raggiunto un'altitudine media di 11'560 m, valore di 389 m più alto della mediana del periodo di riferimento (11'171 m) e di 162 m più basso del valore del 2023. L'altitudine media del 2023 corrisponde all'attuale record. Il valore del 2024 si situa vicino alla linea di regressione, che mostra l'aumento lineare dell'altitudine della tropopausa dal 1959 con un rialzo di 69 m per dieci anni. L'aumento lineare dell'altitudine della tropopausa è statisticamente significativo, nonostante le forti variazioni da un anno all'altro e i valori estremi verso il basso, come negli anni 1984 (minimo assoluto di 10'880 m), 1996 e 2010. L'andamento è in linea con la tendenza pluriennale della quota dell'isoterma di zero gradi (Figura 5.13).

Figura 5.15
Mediana annuale dell'altitudine della tropopausa nel periodo 1959–2024, ricavata dalle radiosonde lanciate giornalmente a Payerne. La linea nera mostra la mediana del periodo 1961–1990 (11'171 m), la linea rossa la tendenza lineare, l'area grigio chiara l'incertezza delle misure.



L'altitudine della tropopausa è aumentata in modo marcato soprattutto a partire dal 1990. Un quadro analogo emerge anche per quel che riguarda le tendenze stagionali nella Figura 5.16. In primavera (marzo, aprile, maggio) e in estate (giugno, luglio, agosto), a partire dal 1990 circa, i valori annuali superano quasi costantemente la mediana del periodo di riferimento 1961–1990 (10'584 m, risp. 11'673 m). Come per la quota dell'isoterma di zero gradi, in inverno (dicembre, gennaio, febbraio) e in autunno (settembre,

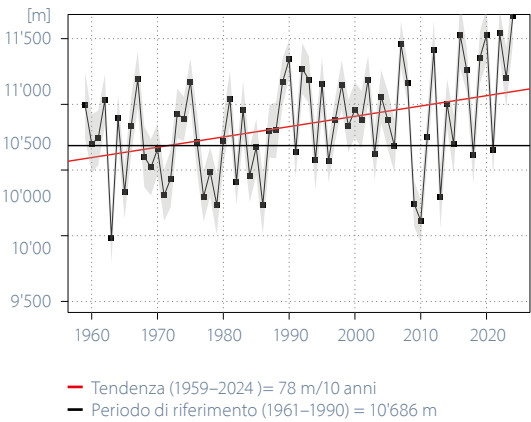
ottobre, novembre) anche le tendenze dell'altitudine della tropopausa sono un po' meno marcate. Ciò nonostante, in inverno l'aumento è significativo. Solo l'autunno non mostra una tendenza chiara, i valori annuali oscillano attorno alla mediana del periodo di riferimento.

La tabella 5.4 mostra i valori estremi assoluti delle serie stagionali dal 1959 e il record dell'inverno 2023/24.

	Inverno (DIC, GEN, FEB)	Primavera (MAR, APR, MAG)	Estate (GIU, LUG, AGO)	Autunno (SET, OTT, NOV)
Minimo in m (anno)	9982 m (1963)	10'060 m (1984)	11'178 m (1977)	10'599 m (1974)
Massimo in m (anno)	11'672 m (2024)	11'410 m (2017)	12'413 m (2003)	12'328 m (1970)

Tabella 5.4
Valore minimo e valore massimo stagionale dell'altitudine della tropopausa nelle rispettive serie di dati.

Inverno



Primavera

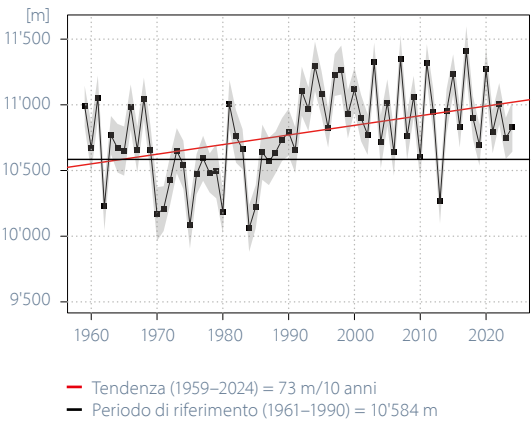
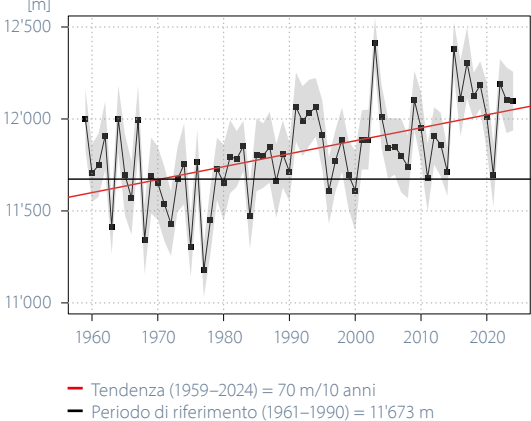
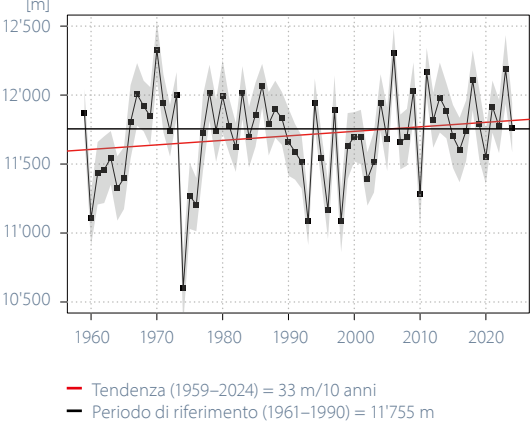


Figura 5.16
Mediana stagionale dell'altitudine della tropopausa nel periodo 1959–2024. La linea nera mostra la mediana stagionale del periodo di riferimento 1961–1990, la linea rossa la tendenza lineare su tutto il periodo, l'area grigio chiara l'incertezza delle misure.

Estate



Autunno



Tendenza della temperatura a diversi livelli di pressione

L'aumento della concentrazione del gas a effetto serra CO_2 nella troposfera, il raffreddamento della stratosfera e la diminuzione della concentrazione di ozono nella stratosfera sono strettamente correlati [28]. Anche le reazioni chimiche nell'atmosfera hanno un forte influsso sul clima. I clorofluorocarburi (CFC), la radiazione ultravioletta, l'ozono nella bassa stratosfera e i gas a effetto serra nella troposfera svolgono un ruolo chiave per l'equilibrio termico ai diversi livelli dell'atmosfera.

La Figura 5.17 mostra la tendenza della temperatura rispetto alla mediana del periodo di riferimento 1961–1990 a otto livelli di pressione (quattro nella troposfera e quattro nella stratosfera inferiore). Il continuo aumento delle concentrazioni di gas serra nella troposfera e in parte anche nella stratosfera [29] avvenuto dagli anni Ottanta del ventesimo secolo domina la tendenza generale della temperatura, causando un riscaldamento di circa $0,45^\circ\text{C}$ per decennio nella troposfera inferiore. Ad altitudini più elevate e fino alla tropopausa (circa 200 hPa) la tendenza positiva della temperatura diminuisce gradualmente, invertendosi al di sopra della tropopausa ($-0,47^\circ\text{C}$ per decennio ad un'altitudine di 20 hPa).

Le serie temporali della temperatura nella troposfera e nella stratosfera possono essere suddivise in due parti con tendenze di intensità diversa. Nella troposfera la tendenza della temperatura nel periodo tra il 1959 e il 1990 non mostra alcuna tendenza. Nel periodo 1980–2023, invece, l'andamento della temperatura riflette il forte aumento delle concentrazioni di gas a effetto serra verificatosi negli ultimi quarant'anni, e presumibilmente altri effetti rinforzanti come la diminuzione delle concentrazioni di aerosol o una minore nuvolosità.

Anche per la stratosfera possono essere individuati due periodi diversi [30]: una tendenza negativa a tutti i livelli tra il 1959 e il 1990 e un generale appiattimento a partire dagli anni Novanta, visibile soprattutto ai livelli di pressione più elevati. La tendenza negativa del periodo 1959–1990 è da attribuire principalmente alla formazione del buco dell'ozono, che provoca un raffreddamento della stratosfera.

L'evoluzione a partire dagli anni Novanta può essere spiegata con la diminuzione delle concentrazioni dei CFC nella bassa stratosfera avvenuta dopo l'accordo di Montreal nel 1987 (Protocollo sulla riduzione ed eliminazione delle sostanze che riducono lo strato di ozono). Di conseguenza, le concentrazioni di ozono si sono stabilizzate dal 1990 in poi, causando un riscaldamento della stratosfera inferiore attraverso l'assorbimento diretto delle radiazioni ultraviolette.

La Figura 5.17 mostra che appena sopra la tropopausa, ai livelli di pressione di 200 hPa e 100 hPa, il forte aumento delle concentrazioni di gas serra nella troposfera bilancia la ricostituzione dello strato di ozono e provoca un raffreddamento generale per tutto il periodo 1959–2024. Le deviazioni nel 2024 sono tutte in linea con la tendenza a lungo termine.

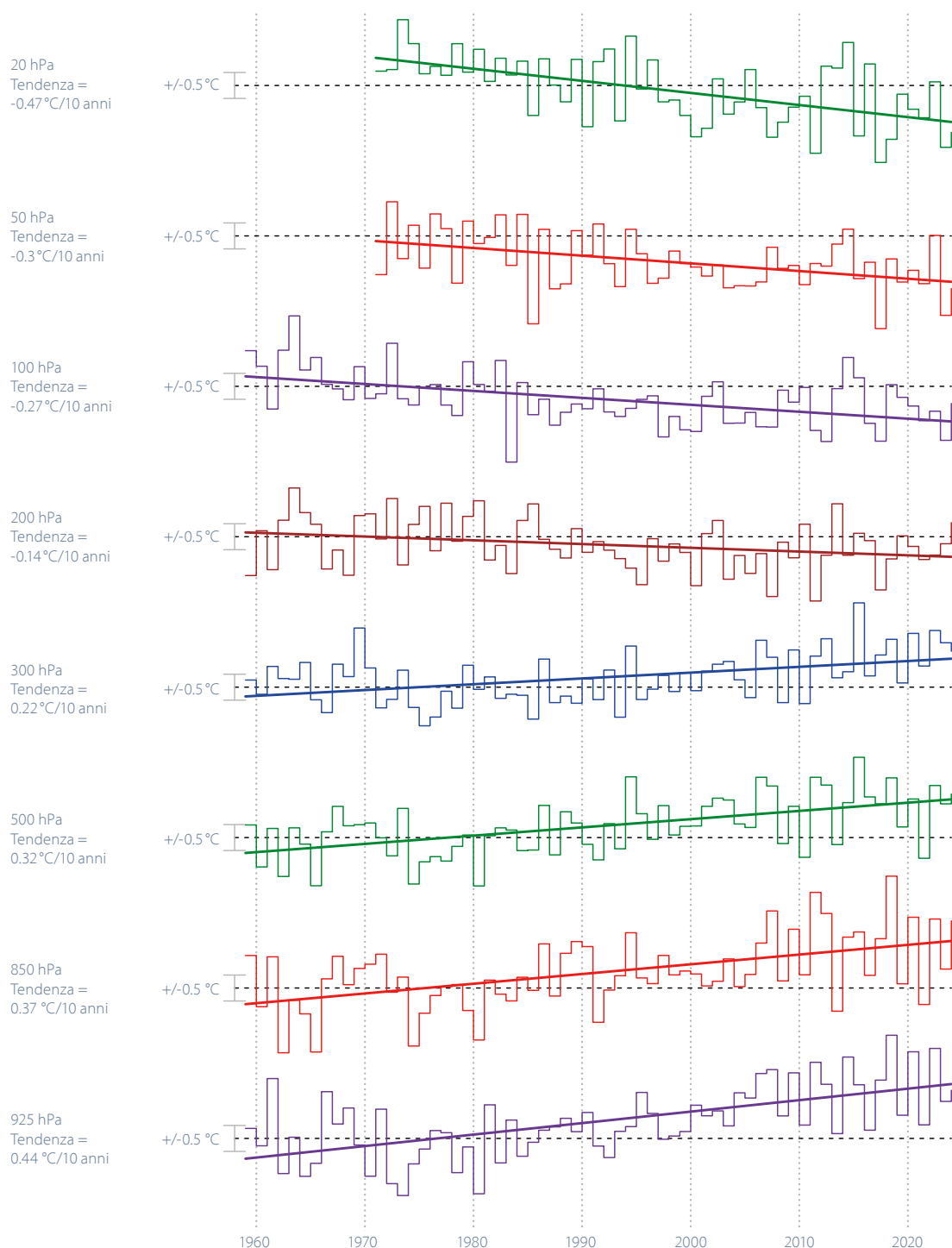


Figura 5.17
Tendenza della temperatura nel periodo 1959–2024 misurata dai radiosondaggi lanciati a Payerne per 8 livelli di pressione (4 nella troposfera e 4 nella stratosfera), espressa come deviazione dal valore mediano del periodo di riferimento 1961–1990.

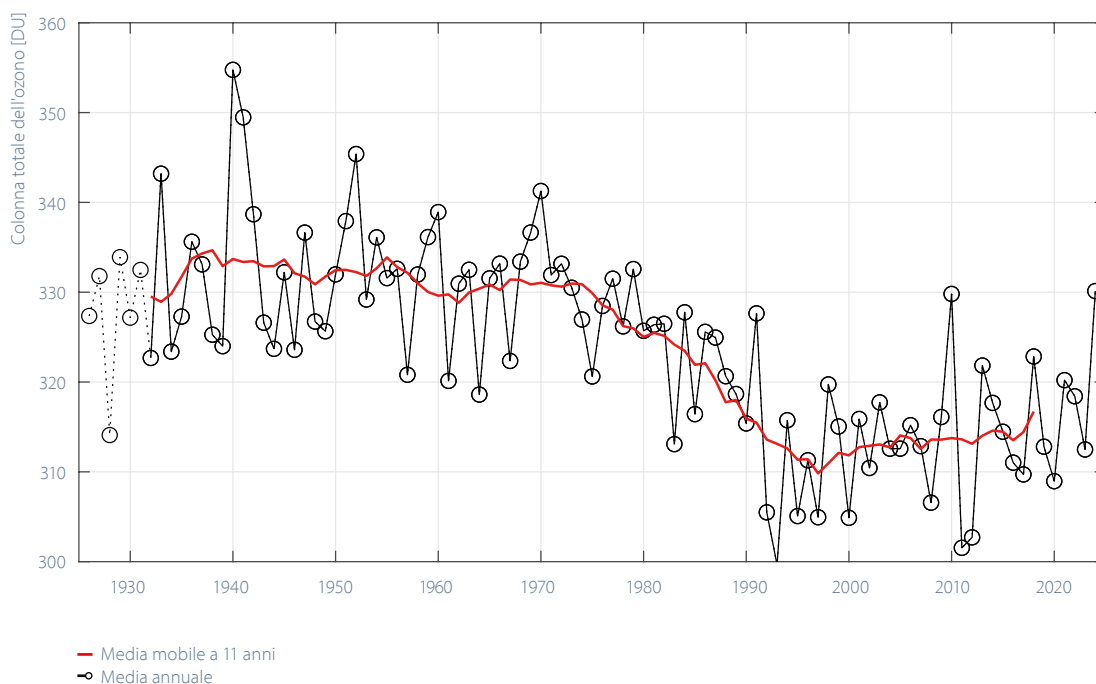
5.1.3 Composizione dell'atmosfera

Serie di misura dell'ozono ad Arosa e Davos

Con la serie di misura ad Arosa e Davos, la Svizzera dispone della serie di misura più lunga al mondo relativa all'ozono totale nell'atmosfera. La serie di misura, dal suo inizio nel 1926 fino al 1970 circa, mostra un valore medio pluriennale di circa 331,4 DU. Tra il 1975 e il 1995 le misurazioni hanno rilevato un calo significativo dell'ozono totale di circa 15 DU. Il calo dell'ozono totale sopra Arosa ha incominciato a manifestarsi agli inizi degli anni Settanta del ventesimo secolo, periodo di forte crescita delle emissioni di sostanze che distruggono l'ozono. Negli ultimi anni si osserva invece una stabilizzazione dell'ozono totale, mentre il valore medio tra il 1995 e oggi è situato tra i 310 e i 315 DU.

Negli anni 2010, 2013, 2018 e 2021 le medie sono superiori a 320 DU (330, 322, 323 rispettivamente 320,2 DU), mentre nel 2011 e nel 2012 sono vicine a 300 DU (302 risp. 303 DU). Questo a dimostrazione della grande variabilità dell'ozono totale nel corso degli anni. La media del 2024 è di 330 DU, che è particolarmente elevata per l'attuale periodo ed è paragonabile al valore dell'ozono tra il 1926 e il 1970 (e alla media dopo il 2010). Anche se la tendenza non è significativa, sussistono segnali di un aumento della colonna di ozono sopra Arosa e Davos.

Figura 5.18
Colonna totale ad Arosa/Davos nel periodo 1926–2024. Le misurazioni sistematiche sono effettuate dal 1932. Le registrazioni irregolari nel periodo antecedente sono indicate con una linea tratteggiata. 100 unità Dobson (DU) corrispondono a 1 mm di ozono puro a 1013 hPa di pressione e 0°C di temperatura. La linea rossa corrisponde alla media mobile di un ciclo solare completo.



Misurazioni dell'ozono a Payerne

Dal 1968 le misurazioni dell'ozono sono effettuate anche con sonde meteorologiche alla stazione aerologica di MeteoSvizzera a Payerne. Le misurazioni precedenti (1966–1968) sono state eseguite dal Politecnico federale di Zurigo. La serie ininterrotta di radiosondaggi consente di comprendere l'evoluzione temporale delle quantità di ozono nei diversi strati dell'atmosfera. Nel grafico seguente sono riportate, a titolo di esempio, tre diverse altitudini (3, 22 e 27 km).

Dal 2000 la concentrazione media di ozono non è più cambiata in maniera significativa, mentre negli anni antecedenti il 2000 si osserva una sua diminuzione nella stratosfera (visibile alle quote 22 e 27 km) e un certo aumento nella troposfera (visibile alla quota 3 km).

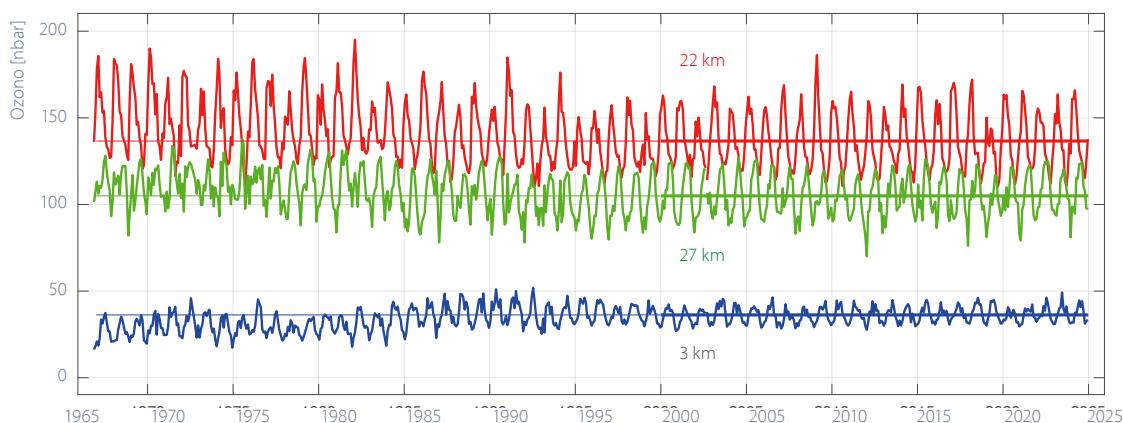


Figura 5.19
Concentrazione mensile di ozono a tre altitudini durante il periodo 1967–2024. La concentrazione di ozono è indicata in pressione parziale espressa in nanobar [nbar].

Concentrazione dei pollini

L'intensità della stagione pollinica cambia di anno in anno e può risultare molto forte o molto debole, ripercuotendosi sull'intensità dei sintomi da raffreddore da fieno per chi è allergico ai pollini.

Per la betulla, l'intensità della stagione pollinica dipende dal tempo meteorologico dell'anno precedente, poiché gli amenti si sviluppano già nell'estate dell'anno precedente. Il caldo favorisce lo sviluppo di un gran numero di amenti. L'intensità dipende tuttavia anche dal tempo meteorologico del periodo di fioritura e dalla fisiologia della pianta, in quanto le betulle mostrano una tendenza a un ritmo di fioritura biennale. Per i pollini delle graminacee l'intensità della stagione dipende invece principalmente dal tempo meteorologico durante il periodo di fioritura dell'erba stessa.

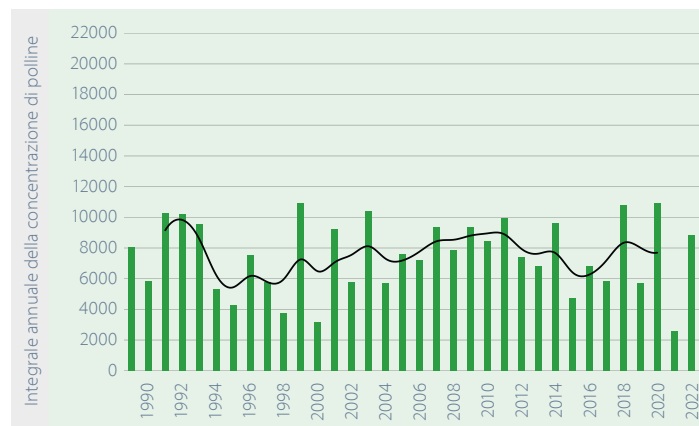
i

Il passaggio dalla misurazione manuale a quella automatica dal 1° gennaio 2023 ha causato differenze nei risultati delle misurazioni della concentrazione giornaliera di polline. Perciò, attualmente, il confronto dell'intensità dell'attuale stagione pollinica con gli anni precedenti può essere effettuato solo parzialmente. Per questa ragione i grafici dell'andamento pluriennale dell'intensità dei pollini non vengono più aggiornati fino a quando le serie di dati non saranno omogeneizzate tenendo conto del passaggio alla misurazione automatica.

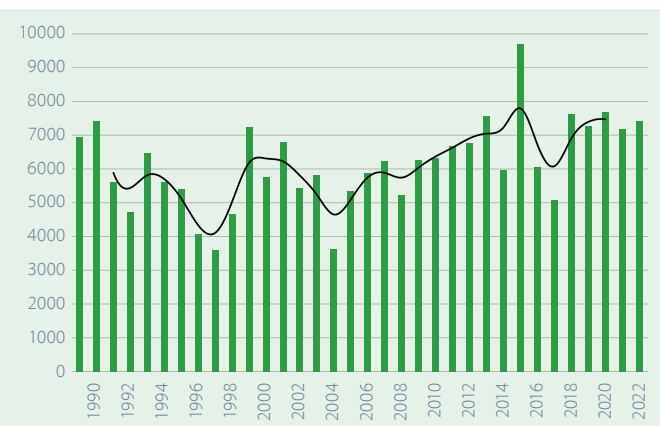
Figura 5.20

Concentrazione del polline di betulla (a sinistra) e delle graminacee (a destra) nelle regioni al Nord delle Alpi nel periodo 1989–2022 e in Ticino nel periodo 1991–2022. L'integrale delle concentrazioni annuali dei pollini stagionale corrisponde alla somma delle concentrazioni giornaliere di pollini. La curva nera mostra la media ponderata su cinque anni. Questo grafico non è aggiornato fino a quando le serie di dati non saranno omogeneizzate tenendo conto del passaggio alla misurazione automatica nel 2023.

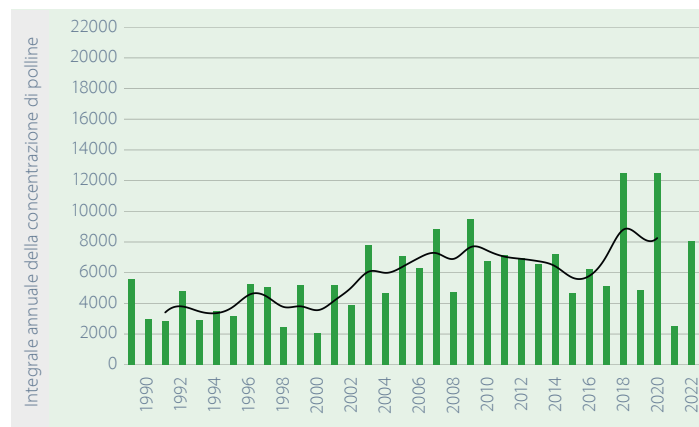
Betulla: Svizzera centrale e orientale



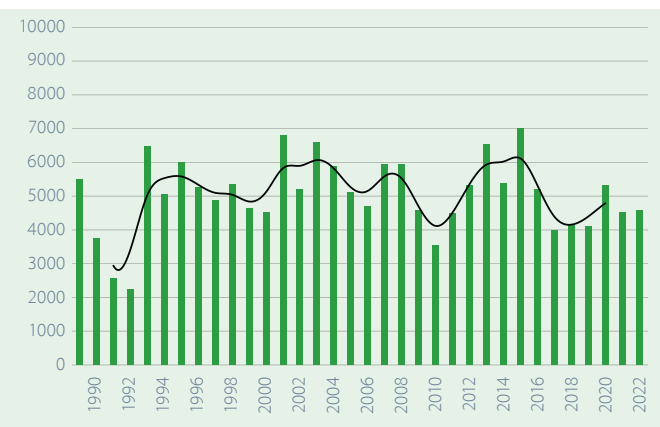
Graminacee: Svizzera centrale e orientale



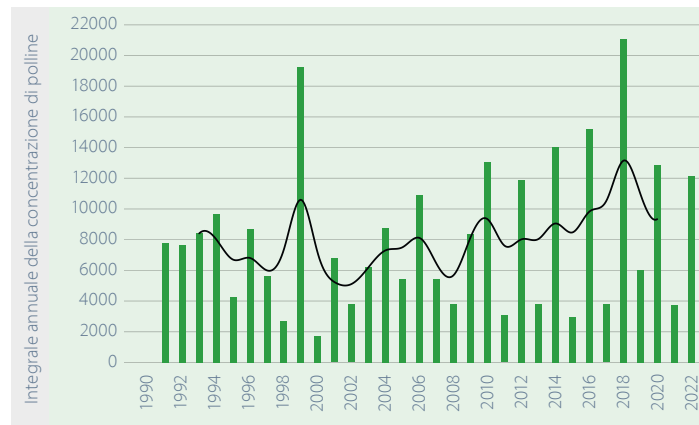
Betulla: Svizzera occidentale



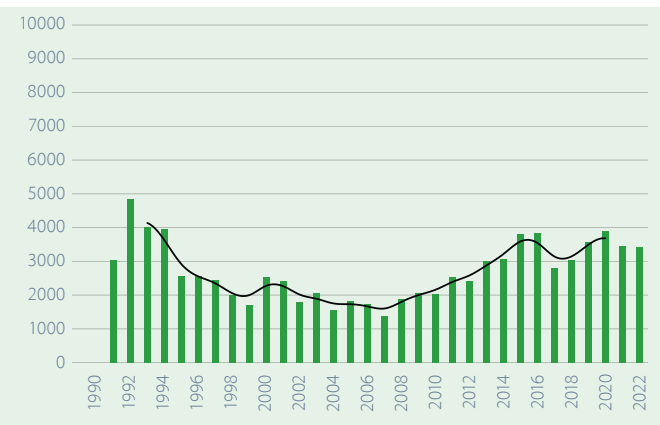
Graminacee: Svizzera occidentale



Betulla: Ticino



Graminacee: Ticino



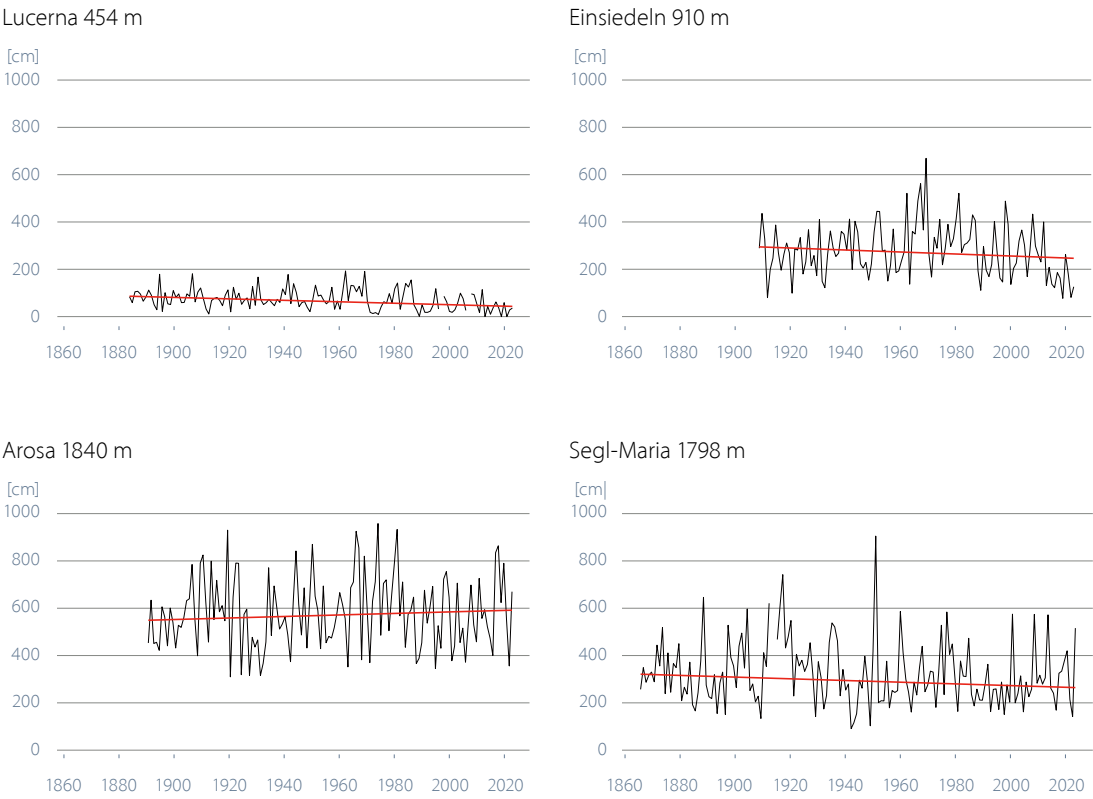
Quantitativi di neve fresca

A causa delle miti temperature invernali, alle basse e medie quote l'inverno 2024 è stato povero di neve. Soprattutto ad Einsiedeln i quantitativi di neve fresca sono stati sensibilmente inferiori alla media pluriennale del periodo di riferimento 1961–1990. Durante il semestre invernale ad Einsiedeln sono caduti complessivamente 126 cm di neve fresca. Il valore di riferimento per questa località ammonta a 341 cm. A Lucerna si sono accumulati 36 cm. Qui la media del periodo 1961–1990 è di 83 cm.

Quantitativi di neve fresca superiori al periodo di riferimento 1961–1990 sono caduti alle quote più elevate, come ad esempio ad Arosa con 670 cm. Qui il valore di riferimento è di 631 cm. Molta più neve del solito è stata misurata a Segl-Maria con 516 cm (riferimento 312 cm).

Per le stazioni di misura di Segl-Maria, Arosa e Einsiedeln non è possibile individuare una tendenza significativa nella quantità totale di neve fresca misurata durante il semestre invernale. Queste tre serie di misura sono caratterizzate da grandi variazioni di anno in anno. A Lucerna si osserva invece una diminuzione significativa di 3,0 cm per decennio. Tuttavia, bisogna sottolineare che i dati giornalieri e mensili dei quantitativi di neve fresca non sono omogenei.

Figura 5.21
Quantitativi cumulati di neve fresca (in cm) nel semestre invernale dall'inizio delle misurazioni al 2024 nelle stazioni di Lucerna, Einsiedeln, Arosa e Segl-Maria.



Fonte dei dati per Arosa: MeteoSvizzera, Istituto per lo Studio della Neve e delle Valanghe SLF, Davos.

Giorni con neve fresca

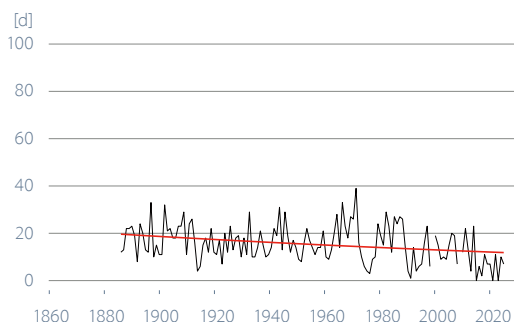
In linea con i quantitativi di neve fresca, nel semestre invernale ad Einsiedeln e Lucerna anche il numero di giorni con neve fresca è risultato inferiore alla media del periodo 1961–1990. Ad Einsiedeln i giorni con neve fresca sono stati complessivamente 17 (riferimento 46 giorni), a Lucerna sette (riferimento 18 giorni). Un numero di giorni con neve fresca superiore alla media è invece stato registrato ad Arosa con 80 giorni (riferimento 71) e a Segl-Maria con 51 giorni (riferimento 42 giorni).

Nella serie di misura della stazione di Arosa la tendenza significativa verso un aumento del numero di giorni con neve fresca è significativa (+1,5 giorni/10 anni). A Lucerna,

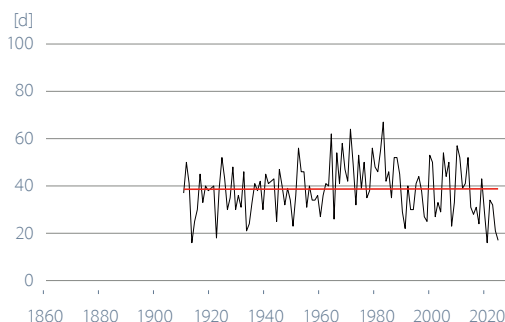
invece, si rileva una tendenza debole, ma significativa verso un minor numero di giorni con neve fresca (-0,6 giorni/10 anni). Nelle due stazioni di Einsiedeln e Segl-Maria non si può osservare una tendenza significativa. Anche qui le registrazioni giornaliere e mensili della neve non sono disponibili sotto forma di dati omogenei.

Gli scenari climatici CH2018 prevedono una decisa diminuzione del manto nevoso entro il 2060 [20]. Ad un'altitudine compresa tra 500 e 1000 m la riduzione dei quantitativi di neve sarà del 50 %, mentre alle quote inferiori essa sarà ancora maggiore.

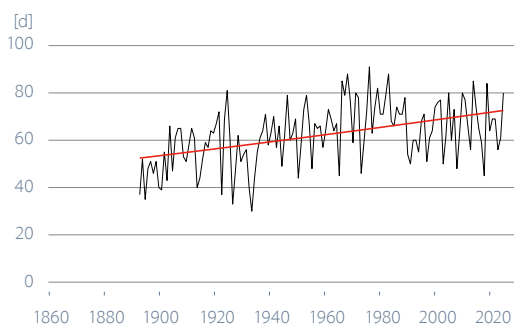
Lucerna 454 m



Einsiedeln 910 m



Arosa 1840 m



Segl-Maria 1798 m

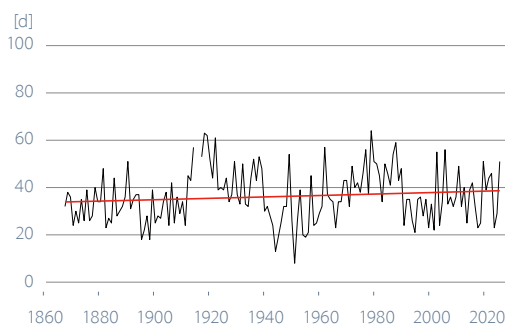


Figura 5.22

Numero di giorni con neve fresca nel semestre invernale dall'inizio delle misurazioni al 2024 nelle stazioni di Lucerna, Einsiedeln, Arosa e Segl-Maria.

Indice di primavera

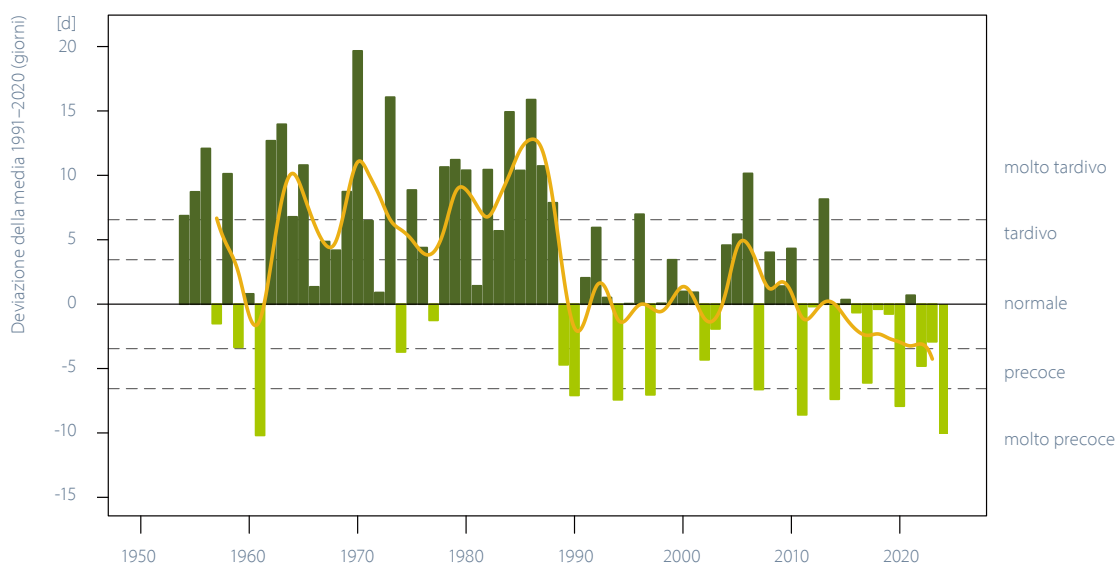
L'indice di primavera indica il momento dello sviluppo primaverile della vegetazione sotto forma di deviazione in giorni rispetto alla media del periodo 1991–2020. L'indice rilevato annualmente riassume quindi le fasi fenologiche primaverili. Lo sviluppo della vegetazione in primavera dipende principalmente dall'evoluzione della temperatura invernale e primaverile [31].

Nel 2024 lo sviluppo della vegetazione primaverile è stato il secondo più precoce dall'inizio delle osservazioni fenologiche, con dieci giorni di anticipo rispetto alla media pluriennale 1991–2020. I primi noccioli sono fioriti all'inizio di gennaio. Tuttavia, la maggior parte dei noccioli è fiorita a partire dal 24 gennaio con un anticipo di tre settimane rispetto alla media. Il farfaro (tossilaggine comune), l'anemone bianco, il tarassaco comune e gli alberi da frutto non sono mai fioriti così precocemente come quest'anno. Solo nel 1961 era stata osservata una fioritura altrettanto

precoce dei ciliegi e dei meli. La fioritura degli alberi da frutta è iniziata durante l'ultima decade di marzo con un anticipo di 14–15 giorni rispetto alla media del periodo 1991–2020 e addirittura di 22–25 giorni rispetto alla media del periodo 1961–1990. Lo spiegamento delle foglie è stato rallentato dalle basse temperature durante la seconda metà di aprile. Le foglie dell'ippocastano e del nocciolo e gli aghi del larice si sono spiegati con un anticipo da sette a nove giorni rispetto alla media, mentre lo spiegamento delle foglie del faggio è avvenuto con soli quattro giorni di anticipo rispetto alla data media.

In concomitanza con l'aumento delle temperature in inverno e soprattutto in primavera, a partire dalla metà degli anni Ottanta del ventesimo secolo, l'indice di primavera ha mostrato un cambiamento repentino verso uno sviluppo vegetativo primaverile più precoce.

Figura 5.23
Andamento annuale dello sviluppo della vegetazione (indice di primavera) 1954–2024, riportato come deviazione dalla media pluriennale dello sviluppo della vegetazione del periodo 1991–2020. La linea continua mostra la media ponderata su 5 anni.



Fioritura del ciliegio a Liestal e spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra

A partire dal 1894, nelle vicinanze di Liestal, a Liestal-Weideli, si registra la data della fioritura di un ciliegio. Nella serie di misura, si può constatare una tendenza a una fioritura più precoce a partire dal 1990 circa. L'inizio della fioritura del 20 marzo 2024 si è verificato con un anticipo di 13 giorni rispetto alla media del periodo 1991–2020, a seguito delle temperature superiori alla media in febbraio e marzo. Se confrontato con l'intero periodo di misurazione, la data del 2024 mostra un anticipo di 21 giorni rispetto alla data media ed è la quinta data più precoce dell'intera serie di dati.

Di grande importanza è anche la serie storica di osservazione della data dello spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra, la serie di osservazioni fenologiche più lunga in Svizzera iniziata nel 1808. Dal 1900 circa è riscontrabile una netta tendenza a uno spiegamento più precoce delle foglie. Nel 2024 l'ippocastano ha spiegato le foglie il 3 marzo. Lo spiegamento delle foglie è fortemente influenzato dalle temperature, ma possono incidere anche altri fattori quali l'età della pianta, i cambiamenti nell'ambiente circostante e il clima urbano. Il motivo per cui da alcuni anni lo spiegamento delle foglie avviene di nuovo più tardi è tuttora sconosciuto.

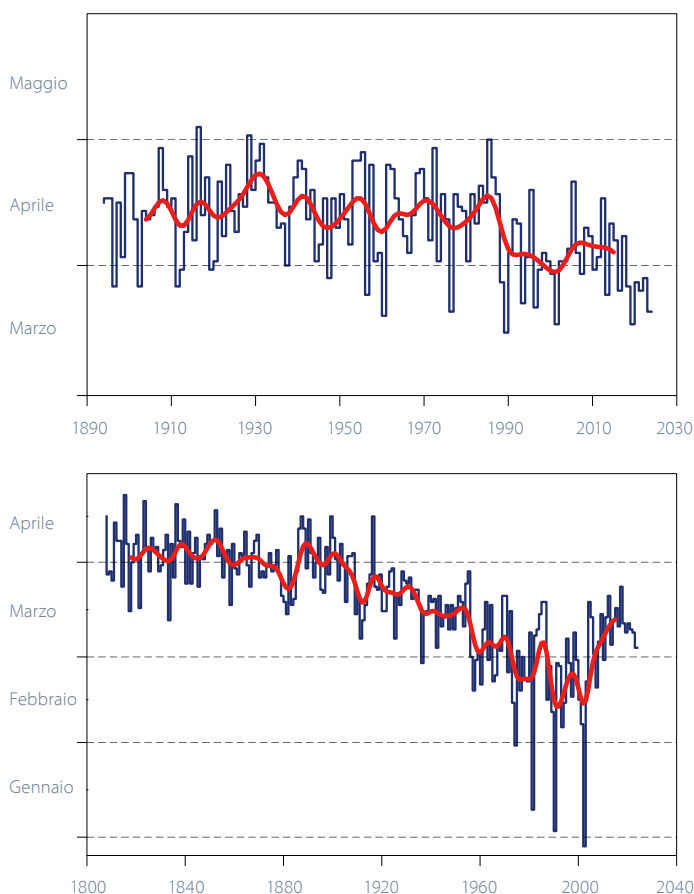


Figura 5.24

Data di fioritura del ciliegio a Liestal 1894–2024 (sopra) e data dello spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra 1808–2024 (sotto).

Fonte dei dati sulla fioritura del ciliegio a Liestal: Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain, Sissach e MeteoSvizzera.

Fonte dei dati sullo spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra: Grand Conseil de la République et canton de Genève.





5.3 Base dei dati e dei metodi

Scelta di indicatori climatici secondo l'OMM

Gli indicatori climatici secondo l'OMM sono calcolati in base alle regole e al software ufficiale del WMO Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) [11], utilizzando come valori di partenza le serie storiche omogeneizzate a partire dal 1959.

Temperatura

A causa dei diversi regimi termici su piccola scala (temperature più basse in montagna, più alte in pianura), l'evoluzione della temperatura in Svizzera viene idealmente raffigurata non con temperature assolute, ma come deviazione rispetto al valore normale pluriennale (1961–1990). La temperatura media Svizzera è la media delle temperature misurate da tutte le stazioni del Paese indipendentemente dalla loro altitudine. Le analisi si basano sul set standard di serie di misura omogenee della rete climatica svizzera (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]).



[Ulteriori informazioni](#)

Precipitazioni

In Svizzera si contrappongono i regimi di precipitazione nordalpino e sudalpino, con peculiarità del tutto specifiche nell'evoluzione pluriennale delle precipitazioni. La raffigurazione di una curva delle precipitazioni per tutta la Svizzera può quindi celare queste essenziali differenze regionali. Per questo MeteoSvizzera distingue tra evoluzione delle precipitazioni nordalpine e sudalpine, ma non elabora un andamento delle precipitazioni per tutta la Svizzera (media tra Nord e Sud delle Alpi). Le analisi si basano sulle 12 serie di misura omogenee disponibili della rete climatica svizzera (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [32], [1]).

Giorni con precipitazioni moderate

«Precipitazioni moderate» sono definite con quantitativi maggiori o uguali a 20 mm al giorno. Una precipitazione giornaliera di 20 mm viene registrata più volte all'anno nella maggior parte delle regioni svizzere. Si tratta quindi di un evento ricorrente. È considerata rara una precipitazione che si verifica ogni 10 anni o più. Questa soglia è raggiunta a Berna con circa 65 mm, a Sion 50 mm, a Davos 70 mm e a Lugano 130 mm. Tuttavia, la conferma delle tendenze utilizzando eventi estremi presenta limiti di principio proprio a causa della rarità stessa dell'evento. Più un evento è raro, più è difficile dimostrare una tendenza [33]. Pertanto gli eventi estremi non sono indicatori adatti per analizzare i cambiamenti climatici. Informazioni dettagliate in merito a eventi rari di precipitazioni intense si possono trovare nelle pagine web:



[Ulteriori informazioni](#)

Precipitazioni nei giorni molto piovosi

Un giorno viene considerato molto piovoso se il quantitativo delle precipitazioni è maggiore della media pluriennale dei 18 giorni (5 %) più piovosi dell'anno. Come riferimento vale il periodo 1961–1990. Viene raffigurata la quantità totale di precipitazioni all'anno cadute in giornate molto piovose.

Indice di siccità

Gli indici SPI (Standardized Precipitation Index, [34]) e SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, [35]) mostrano le deviazioni delle precipitazioni medie e del bilancio idrico climatico medio (differenza tra le precipitazioni e la potenziale evaporazione). Valori positivi significano condizioni di maggiore umidità, mentre valori negativi di maggiore siccità rispetto alla media.

Lo SPI (Standardized Precipitation Index) indica l'anomalia delle precipitazioni rispetto a un periodo definito (di solito da 1 a 48 mesi) e viene calcolato sulla base dei quantitativi mensili delle precipitazioni. Le precipitazioni accumulate negli ultimi mesi (da 1 a 48) vengono quindi confrontate con i relativi quantitativi nello stesso periodo nel passato. Quindi la distribuzione di questi quantitativi di precipitazioni viene trasformata in una distribuzione normale standard intorno allo zero. Il valore così trasformato di un determinato quantitativo di precipitazioni corrisponde al valore SPI.

Lo SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) viene calcolato in modo analogo allo SPI, ma al posto del quantitativo delle precipitazioni è basato sul bilancio idrico climatico, che corrisponde alle precipitazioni meno l'evapotraspirazione potenziale. Lo SPEI è dunque il bilancio idrico trasformato sulla distribuzione normale standard.

In base alla definizione di distribuzione normale standard, le condizioni con uno SPI/SPEI inferiore a -1 corrispondono a una frequenza di circa il 15%; quelle con valore inferiore a -2 a circa il 2%. Corrispondentemente, la siccità o l'eccedenza idrica può essere ripartita nelle classi indicate di seguito:

	SPEI	≤ -2,0	estremamente asciutto
-2,0	<SPEI	≤ -1,5	molto asciutto
-1,5	<SPEI	≤ -1,0	asciutto
-1,0	<SPEI	< -1,0	normale
1,0	≤SPEI	< 1,5	piovoso
1,5	≤SPEI	< 2,0	molto piovoso
	SPEI	≥ 2,0	estremamente piovoso

Isoterma di zero gradi nell'atmosfera libera

In condizioni atmosferiche normali, la temperatura dell'aria diminuisce con la quota a partire dalla superficie terrestre. Se al livello del suolo la temperatura è positiva, a una certa quota si troverà un valore della temperatura di 0°C e al di sopra delle temperature negative. L'altitudine alla quale si trova il passaggio da temperature positive a negative è definita la quota dell'isoterma di zero gradi. Con situazioni di inversioni, la temperatura può passare anche più volte da valori positivi a negativi, in questo caso le direttive dell'OMM raccomandano di considerare la quota dell'isoterma di zero gradi più alta. Per poter disporre di valori paragonabili dell'isoterma di zero gradi anche quando la temperatura al suolo è inferiore a zero, è indicato un valore teorico. Partendo dalla temperatura misurata dalla radiosonda al suolo, viene calcolata una quota fittizia sotto la superficie terrestre. La profondità dell'isoterma di zero gradi viene stabilita assumendo un gradiente termico verticale di 0,5°C ogni 100 metri. Oltre a quote sotto la superficie del terreno, con temperature di partenza inferiori a -2,5°C si ottengono pure quote dell'isoterma di zero gradi inferiori al livello del mare [36]. La quota dell'isoterma di zero gradi è riportata nel protocollo di ogni radiosondaggio: da questi valori sono poi calcolate le medie mensili utilizzate per l'analisi della tendenza del clima.

Altitudine della tropopausa

L'altitudine della tropopausa corrisponde al livello più basso dell'atmosfera in cui il tasso di raffreddamento con la quota è minore o uguale a 2 gradi ogni chilometro (cioè 0,2°C/100 metri). Inoltre deve essere soddisfatta la condizione che in uno strato spesso 2 km al di sopra di tale livello il tasso di raffreddamento di 2°C/km non debba essere superato.

Sviluppo della vegetazione

L'osservazione delle diverse fasi fenologiche è iniziata in momenti diversi. Le fasi che vengono osservate dal 1951 sono confrontate con la norma 1991–2020, mentre quelle osservate dal 1996 vengono confrontate con l'intera serie di misure dal 1996 fino all'anno precedente a quello attuale. A quest'ultime appartengono specialmente le fasi di fioritura e colorazione delle foglie di molti alberi. Nel testo il periodo di riferimento viene menzionato di volta in volta.

Stagione pollinica e concentrazione dei pollini

Il passaggio dalla misurazione manuale a quella automatica a partire dal 1° gennaio 2023 ha causato differenze nei risultati delle misurazioni della concentrazione giornaliera di polline. Perciò attualmente il confronto dell'intensità dell'attuale stagione pollinica con gli anni precedenti può essere effettuato solo parzialmente. La stagione pollinica attuale (misurata in modo automatico) viene confrontata con la media del trentennio 1991–2020 (calcolata in base alle misure manuali).

I grafici dell'andamento pluriennale dell'integrale delle concentrazioni annuali dei pollini (polline/m³ giorno) nel capitolo 5 non vengono più elaborati fino a quando le serie di dati non saranno omogeneizzate tenendo conto del passaggio alla misurazione automatica. L'integrale delle concentrazioni annuali dei pollini (polline/m³ giorno) si riferisce alla concentrazione di polline media giornaliera per metro cubo di aria, sommata sull'intero anno.

Stazioni utilizzate per il grafico sull'intensità del polline:

Svizzera centrale e orientale:

- Basilea
- Buchs
- Lucerna
- Münsterlingen
- Zurigo

Svizzera occidentale:

- Berna
- Ginevra
- Neuchâtel

Ticino:

- Locarno
- Lugano

Quantitativi di neve fresca e giorni con neve fresca

Le registrazioni giornaliere e mensili della neve non sono disponibili come dati omogenei. L'interpretazione delle serie di misurazioni richiede pertanto una certa cautela.

Indice di primavera

Lo sviluppo della vegetazione viene registrato secondo fasi fenologiche ben precise. La fenologia si occupa di studiare lo sviluppo della vegetazione durante l'anno e di correlarlo con l'andamento meteorologico. Le osservazioni fenologiche sono eseguite in circa 160 stazioni distribuite in tutta la Svizzera delle quali circa 80 con le serie più lunghe di rilevamento sono utilizzate per il calcolo dell'indice di primavera.

L'indice di primavera utilizzato nel presente rapporto è composto in base alle dieci seguenti fasi fenologiche: fioritura del nocciolo, fioritura della tossilagine comune, fioritura dell'anemone, spiegamento delle foglie dell'ippocastano, fioritura del ciliegio, spiegamento delle foglie del nocciolo, spiegamento degli aghi del larice, fioritura della cardamine, spiegamento delle foglie del faggio e fioritura del dente di leone.

Le singole fasi fenologiche dipendono ovviamente dall'andamento meteorologico. La fioritura del nocciolo, ad esempio, può essere precoce se il periodo di fine inverno è mite. Un successivo periodo di freddo persistente può però poi rallentare nuovamente lo sviluppo della vegetazione, che dipende inoltre anche dalla quota. Nelle stazioni al suolo a bassa quota, con temperature miti, le fasi fenologiche si verificano prima rispetto alle quote più elevate con condizioni più fredde. Grazie all'analisi delle componenti principali, queste voluminose osservazioni sono strutturate, semplificate e combinate per elaborare un indice di primavera per tutta la Svizzera [31].

Fioritura del ciliegio a Liestal e spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra

Fonte dei dati sulla fioritura del ciliegio a Liestal:

- Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain, Sissach
- MeteoSvizzera

Fonte dei dati sullo spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra:

- Grand Conseil de la République et canton de Genève





Bibliografia

- [1] Begert M., Seiz G., Foppa N., Schlegel T., Appenzeller C., Müller G., 2007: Die Überführung der klimatologischen Referenzstationen der Schweiz in das Swiss National Climatological Network (Swiss NBCN). Arbeitsbericht MeteoSchweiz, 215.
- [2] IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. and Midgley P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [3] Collaud Coen M., Andrews E., Alastuey A., Arsov T. P., Backman J., Brem B. T., Bukowiecki N., Couret C., Eleftheriadis K., Flentje H., Fiebig M., Gysel-Beer M., Hand J. L., Hoffer A., Hooda R., Hueglin C., Joubert W., Keywood M., Kim J. E., Kim S.-W., Labuschagne C., Lin N.-H., Lin Y., Lund Myhre C., Luoma K., Lyamani H., Marinoni A., Mayol-Bracero O. L., Mihalopoulos N., Pandolfi M., Prats N., Prenni A. J., Putaud J.-P., Ries L., Reisen F., Sellegri K., Sharma S., Sheridan P., Sherman J. P., Sun J., Titos G., Torres E., Tuch T., Weller R., Wiedensohler A., Zieger P. and Laj P.: Multidecadal trend analysis of aerosol radiative properties at a global scale, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/acp-2019-1174>, in review, 2020.
- [4] Collaud Coen M., Weingartner E., Furger M., Nyeki S., Prévôt A. S. H., Steinbacher M. and Baltensperger U., 2011: Aerosol climatology and planetary boundary influence at the Jungfraujoch analyzed by synoptic weather types. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5931-5944, doi: 10.5194/acp-11-5931-2011.
- [5] WMO 2025: State of the Global Climate 2024, WMO-No. 1368, 42 p., <https://library.wmo.int/records/item/69455-state-of-the-global-climate-2024>.
- [6] Copernicus C3S, ECMWF: Global Climate Highlights 2024: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024>.
- [7] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2024, published online January 2025 from <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202413>.
- [8] Morice C.P., Kennedy J.J., Rayner N.A., Winn J. P., Hogan E., Killick R. E., Dunn R. J. H., Osborn T. J., Jones P. D. and Simpson I. R., 2020, An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* doi: 10.1029/2019JD032361 (supporting information).
- [9] MEI-Daten unter: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>.
- [10] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.
- [11] Zwiers F.W., Zhang X., Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. WMO/TD-No. 1500; WCDMP-No. 72: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=138.
- [12] World Meteorological Organization (WMO), WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO- No. 1203, <https://library.wmo.int/records/item/48826-guidelines-on-analysis-of-extremes-in-a-changing-climate-in-support-of-informed-decisions-for-adaptation>.
- [13] Swiss GCOS Office, Seiz G, Foppa N, National Climate Observing System, 2011: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/publikationen/wissenschaftliche-publikationen/2011/national-climate-observing-system-of-switzerland.html>.
- [14] WMO, Essential Climate Variables: <https://gcos.wmo.int/site/global-climate-observing-system-gcos/essential-climate-variables>.

- [15] Sommertag, Deutscher Wetterdienst DWD: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Sommertag.html>.
- [16] Scherrer S.C., Appenzeller C., Laternser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi: 1029/2004GL020255.
- [17] Laternser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *International Journal of Climatology* 23: 733–750.
- [18] Scherrer S. C., Wüthrich C., Croci-Maspoli M., Weingartner R., Appenzeller C., 2013: Snow variability in the Swiss Alps 1864–2009, *International Journal of Climatology* 33: 3162–3173. <https://doi.org/10.1002/joc.3653>.
- [19] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit.
- [20] Scherrer S. C., de Valk C., Begert M., Gubler S., Kotlarski S., Croci-Maspoli M., 2024: Estimating trends and the current climate mean in a changing climate, *Climate Services*, 33, 100428, <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100428>.
- [21] NCCS (Hrsg.), 2018: CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2, <http://www.klimaszenarien.ch>.
- [22] Bauer V. M. and Scherrer S. C., 2024: The observed evolution of sub-daily to multi-day heavy precipitation in Switzerland, *Atmospheric Science Letters*, <https://doi.org/10.1002/asl.1240>.
- [23] MeteoSchweiz: 2018, Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp.
- [24] Scherrer S. C., Hirschi M., Spirig C., Maurer F., Kotlarski S., 2022: Trends and drivers of recent summer drying in Switzerland. *Environ. Res. Commun.* 4, 025004, <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac4fb9>.
- [25] Calanca, P., 2007: Climate change and drought occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes? *Global and Planetary Change*, 57, 1–2, 151–160. doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.11.001.
- [26] Pfister C., Rutishauser M., 2000: Dürresommer im Schweizer Mittelland seit 1525. Workshopbericht «Trockenheit in der Schweiz», Organe Consultatif sur les Changements Climatiques (Occc), Bern. 17 S. und 2 Anhänge, http://occc.ch/reports_d.html.
- [27] WMO, 1957: Definition of the tropopause. *WMO Bull.*, 6, 136.
- [28] Isaksen I., Hesstvedt E. and Stordal F. Influence of stratospheric cooling from CO₂ on the ozone layer. *Nature* 283, 189–191 (1980) doi:10.1038/283189a0.
- [29] Humpage N., Boesch H., Palmer P. I., Vick A., Parr-Burman P., Wells M., Pearson D., Strachan J. and Bezawada, N.: GreenHouse gas Observations of the Stratosphere and Troposphere (GHOST): an airborne shortwave-infrared spectrometer for remote sensing of greenhouse gases, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 5199–5222, <https://doi.org/10.5194/amt-11-5199-2018>, 2018.
- [30] Philipona R., Mears C., Fujiwara M., Jeannet P., Thorne P., Bodeker G., Haimberger L., Hervo M., Popp C., Romanens G., Steinbrecht W., Stübi R., Van Malderen R., 2018: Radiosondes show that after decades of cooling the lower stratosphere is now warming. *J Geophys Res* 123(22): 12–509.

- [31] Studer S., Appenzeller C. and Defila C., 2005: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395–414.
- [32] Begert M., Seiz G., Schlegel T., Musa M., Baudraz G., Moesch M., 2003: Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961–1990. Schlussbericht des Projekts NORM90. MeteoSchweiz, Zürich.
- [33] Frei C. and Schär C., 2001: Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitations in the Alpine region. *Journal of climate* 14: 1568–1584.
- [34] McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales, Proc. 8th Conf. on Applied Climatology, Jan. 17–22, American Meteorological Society, Boston, pp. 179–184.
- [35] Vicente-Serrano S., Bugueria S., Lopez-Moreno J., 2010: A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, *J of Climate*, 23, 1696–1718, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- [36] Güller A., 1979: Die Nullgradgrenze in der Schweiz 1951–1978, nach den Radiosondierungen von Payerne. *Klimatologie in der Schweiz*, Heft 21/0. Beiheft zu den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (Jahrgang 1978).





printed in
switzerland

 PRINTED MATTER
CO₂ NEUTRAL
by Swiss Climate
SC2025090901

Indirizzi

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie
MeteoSchweiz
Operation Center 1
Postfach
CH-8058 Zürich-Flughafen

Ufficio federale di meteorologia e climatologia
MeteoSvizzera
Via ai Monti 146
CH-6605 Locarno-Monti

Office fédéral de météorologie et de climatologie
MétéoSuisse
7bis, av. de la Paix
CH-1211 Genève 2

Office fédéral de météorologie et de climatologie
MétéoSuisse
Chemin de l'Aérologie
CH-1530 Payerne

Sito web

 meteosvizzera.ch

Contatti

 servizioclienti@meteosvizzera.ch