



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

MeteoSvizzera

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

Rapporto sul clima 2023



Rapporto sul clima 2023

Editore

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

 servizioclienti@meteosvizzera.ch

 [meteosvizzera.ch](https://www.meteosvizzera.ch)

Redazione

Elias Zubler, Stephan Bader, Thomas Schlegel, Julien Anet

Autori

Julien Anet, 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

 [bundespublikationen.admin.ch/it/](https://www.bundespublikationen.admin.ch/it/)

Numero d'articolo: 313.001.i

ISSN: 2296-1526

La stampa

CO₂ neutrale (SC202390501) stampato in Svizzera

 [swissclimate.ch](https://www.swissclimate.ch)

Citazione del presente rapporto:

MeteoSvizzera 2024: Rapporto sul clima 2023.
Ufficio federale di meteorologia e climatologia
MeteoSvizzera, Zurigo. 100 pagine.

Indice

	Riassunto	4
	Summary	7
1	Andamento del tempo nel 2023	8
	Temperatura, precipitazioni e durata del soleggiamento dell'anno 2023	13
	Temperature mensili nel 2023 scarto dalla norma 1991–2020	14
	Precipitazioni mensili nel 2023 in percento rispetto alla norma 1991–2020	15
	Soleggiamento mensile nel 2023 in percento rispetto alla norma 1991–2020	16
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	35
3	Particolarità del 2023	42
3.1	Temporale estremo nel Giura	43
3.2	Ondata di caldo in agosto	44
3.3	Forti precipitazioni nella seconda parte dell'anno	45
3.4	Nubi stratosferiche polari sulla Svizzera meridionale	46
4	Andamento meteorologico e climatico globale	48
4.1	Anno eccezionalmente caldo in tutto il mondo	48
4.2	El Niño e La Niña	50
4.3	Eventi particolari globali	51
5	Monitoraggio climatico	54
5.1	Atmosfera	56
5.1.1	Osservazioni al suolo	56
5.1.2	Atmosfera libera	72
5.1.3	Composizione dell'atmosfera	78
5.2	Suolo	82
5.3	Base dei dati e dei metodi	88
	Bibliografia	92

Riassunto

4

In Svizzera la temperatura media annuale del 2023 è stata di 7,2 °C (1,4 °C sopra la norma 1991–2020), il secondo valore più elevato mai registrato dall'inizio delle misure nel 1864 dopo quello del 2022. Per alcune stazioni di misura il 2023 è risultato l'anno più caldo mai registrato. L'anno 2023 ha quindi confermato la chiara tendenza al riscaldamento degli ultimi decenni.

In alcune regioni l'inverno 2022/2023 rientra fra i primi tre o fra i primi cinque più caldi dall'inizio delle misure. In tutto il Paese le precipitazioni invernali sono state inferiori alla norma, soprattutto nelle regioni meridionali e sudorientali con il 40–65 % della precipitazione normalmente attesa. Il manto nevoso ne ha risentito di conseguenza.

L'inverno mite e secco è stato seguito da una primavera con temperature ampiamente nella norma e precipitazioni abbondanti in alcune regioni, seguita dalla quinta estate più calda dall'inizio delle misurazioni nel 1864. La temperatura media svizzera dell'estate è stata di 1,6 °C superiore alla norma 1991–2020. Dopo un giugno con poche precipitazioni, luglio e agosto hanno visto alternarsi periodi di caldo, precipitazioni abbondanti e temporali.

Le temperature dell'autunno 2023 hanno raggiunto nuovi record a livello regionale. Con una media nazionale di 2,2 °C al di sopra della norma, si è trattato del secondo autunno più caldo dall'inizio delle misurazioni nel 1864. Settembre e ottobre sono stati molto simili, con tanto sole e caldo nella prima metà del mese e un periodo di forti precipitazioni nella seconda metà. Infine, gli ultimi due mesi del 2023, novembre e dicembre, sono stati tra i più piovosi dall'inizio delle misurazioni.

A livello globale, il 2023 è stato di gran lunga l'anno più caldo da quando sono iniziate le misurazioni nel 1850, superando di 1,1 °C la norma 1961–1990. Una delle ragioni di queste temperature da record sarebbe il passaggio da La Niña a El Niño in primavera. Il caldo ha dominato in tutti i continenti. Gli ultimi nove anni dal 2015 sono stati i più caldi mai registrati.

L'andamento della temperatura a lungo termine in Svizzera dal 1864 al 2023 è un chiaro segnale del cambiamento climatico globale causato dall'uomo. Dal periodo preindustriale 1871–1900 a oggi la temperatura media svizzera è aumentata di 2,8 °C. L'ultimo decennio (2014–2023) è stato il più caldo dall'inizio delle misurazioni. La temperatura è in aumento in tutte le stagioni. In linea con l'aumento generale della temperatura in Svizzera, il numero di giorni estivi è aumentato significativamente, mentre il numero di giorni di gelo è diminuito. Di pari passo con la temperatura

si osserva un aumento della quota dell'isoterma di zero gradi. Il riscaldamento generale si riflette anche in uno sviluppo più precoce della vegetazione.

L'andamento delle precipitazioni nel periodo 1864–2023 è dominato da fluttuazioni decadal e annuali sia sull'Altopiano centrale sia sul versante meridionale delle Alpi. In inverno si osserva un aumento a lungo termine delle precipitazioni. Nelle altre stagioni, non si registrano variazioni a lungo termine nei totali delle precipitazioni. Tuttavia, gli studi dimostrano che la frequenza e l'intensità delle precipitazioni intense giornaliere sono aumentate. Se si considerano gli ultimi 40 anni, tuttavia, le estati svizzere sono diventate mediamente più secche. Oltre alla leggera diminuzione delle precipitazioni, anche l'aumento dell'evaporazione ha contribuito a rendere le condizioni più secche.

Per quanto riguarda la neve fresca e l'altezza della neve al suolo, negli ultimi 50–60 anni è stata osservata una diminuzione importante.

La situazione dell'ozono nell'alta atmosfera sopra la Svizzera è rimasta stabile negli ultimi anni. Ciò fa seguito a una diminuzione dell'ozono totale di circa il 6 % tra il 1970 e il 1995.





Summary

The mean annual temperature in Switzerland reached 7.2°C in 2023 (1.4°C above the 1991–2020 norm). It was the second-highest value since measurements began in 1864, after 2022. At some locations, 2023 was even the warmest year since measurements began. Therefore, 2023 is clearly in line with the warming trend seen over recent decades.

Regionally, the winter of 2022/2023 was one of the three to five warmest since records began. The entire country experienced a lack of precipitation during the winter. Particularly in the southern parts of the country, the precipitation sums in winter were low, reaching only 40–65 % of the 1991–2020 norm in some areas. As a consequence, snow cover was also low.

The mild and dry winter was followed by a spring with temperatures largely within the normal range and regionally wet conditions, followed by the fifth warmest summer since measurements began in 1864. The average summer temperature across Switzerland was 1.6°C above the 1991–2020 norm. After June with little precipitation, July and August saw alternating periods of heat, heavy precipitation and thunderstorms.

In autumn 2023, new regional record temperatures were reached. With a national average of 2.2°C above the norm, it was the second warmest autumn since measurements began in 1864. September and October showed very similar patterns with plenty of sunshine and warmth in the first half of the month and a period of heavy precipitation in the second half. Finally, the last two months of 2023, November and December, were among the wettest since measurements began.

Globally, 2023 was by far the warmest year since measurements began in 1850, exceeding the 1961–1990 norm by 1.1°C. One reason for the record-high temperatures was the change from La Niña to El Niño conditions in spring. Warmth dominated on all continents. The last nine years since 2015 have been the warmest since records began.

A clear sign of man-made global climate change is reflected in the long-term temperature trend in Switzerland from 1864 to 2023. The temperature increase in Switzerland from the pre-industrial reference period 1871–1900 to the present day amounts to 2.8°C. The last decade (2014–2023) was the warmest since measurements began. 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 the period 1864–2023 is dominated by decadal and year-to-year fluctuations both on the Swiss Plateau and on the southern side of the Alps. 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 2023

8

In Svizzera l'anno 2023 è iniziato con temperature eccezionalmente miti. In primavera sono stati registrati alcuni locali record di precipitazioni, mentre il mese di giugno è risultato in alcune regioni molto scarso di precipitazioni. In luglio e in agosto si sono verificate alcune ondate di caldo e nella Svizzera meridionale e sudorientale forti precipitazioni. Settembre e ottobre sono stati molto simili, con primati di temperatura nella prima metà e forti precipitazioni nelle regioni meridionali e occidentali durante la seconda metà. A nord delle Alpi novembre e dicembre sono stati molto ricchi di precipitazioni.

Secondo anno più caldo dall'inizio delle misure

Nel 2023 la temperatura media annuale su scala nazionale ha raggiunto i 7,2°C. Solo l'anno precedente, il 2022, è stato leggermente più caldo con 7,4°C (1,6°C sopra la norma 1991–2020). Nelle località di misurazione Basilea-Binningen, Berna-Zollikofen, Samedan e Segl-Maria, il 2023 è stato l'anno più caldo dall'inizio delle misurazioni nel 1864, con Samedan e Segl-Maria che hanno stabilito un record assoluto. A San Gallo e Lucerna, così come in media nella Svizzera settentrionale al di sotto dei 1000 m, il 2023 è stato caldo quanto l'anno record del 2022.

L'anno 2023 conferma quindi la forte tendenza al riscaldamento degli ultimi anni in Svizzera. Dal periodo preindustriale 1871–1900 a oggi, la temperatura annuale svizzera è aumentata di 2,8°C.

Inverno mite

L'inverno 2022/2023 è stato mite con 1,3°C in più rispetto alla norma 1991–2020, risultando su scala nazionale l'ottavo più mite dall'inizio delle misurazioni nel 1864. Sul versante meridionale delle Alpi e in Engadina, esso è stato fra il terzo e il quinto più mite, a nord delle Alpi localmente il quarto o il quinto più mite dall'inizio delle misurazioni 160 anni fa.

Inizio anno estremamente mite

Alla fine del 2022, in alcune regioni nordalpine l'aria calda subtropicale ha spinto le temperature massime fino a valori compresi fra 19 e quasi 21°C. Il caldo è continuato anche nei primi giorni di gennaio. Il 1° gennaio sono stati registrati 20,2°C a Delémont e 20,0°C a Vaduz. Per il versante settentrionale delle Alpi, queste sono state le massime giornaliere più alte registrate a gennaio dall'inizio delle misurazioni.

In alcune regioni poche precipitazioni invernali

Sul versante meridionale delle Alpi, in Engadina e nei Grigioni settentrionali e centrali, i totali delle precipitazioni invernali si sono attestati tra il 40 e il 65% della norma 1991–2020. Si è trattato del proseguimento di una marcata carenza di precipitazioni che al Sud si è protratta per due anni. A sud delle Alpi l'ultimo periodo con totali mensili spesso superiori alla media si era concluso nel mese di febbraio 2021. Nelle altre regioni, l'inverno 2022/2023 ha portato totali di precipitazioni per lo più compresi tra il 70 e il 90% della norma 1991–2020.

Poca neve

Le condizioni miti e le scarse precipitazioni non hanno favorito l'innevamento alpino. Ad Arosa, ad un'altitudine di circa 1880 metri, l'altezza media della neve da dicembre a febbraio è stata di soli 30 cm. L'ultima volta che è stata così bassa ad Arosa è stata nell'inverno 2016/2017.

Fine inverno soleggiata

Sul versante meridionale delle Alpi, in Engadina e in Vallese, il sole ha brillato quasi ininterrottamente dal 1° al 21 febbraio. Sul versante nord delle Alpi, il sole è stato abbondante dal 7 al 21 febbraio. Nella Svizzera occidentale, la durata del soleggiamento ha raggiunto localmente oltre il 180% della norma 1991–2020, mentre per Ginevra si è trattato del mese di febbraio più soleggiato dall'inizio delle misurazioni nel 1897, con il 191% della norma.

Temperatura primaverile nella norma

La temperatura media nazionale della primavera è risultata di 0,2 °C superiore alla norma 1991–2020, ma nelle valli solitamente fredde, come Andermatt, Samedan e Segl-Maria, la temperatura primaverile è stata superiore alla norma fino a 0,9–1 °C. Per queste zone si è trattato di una delle dieci primavere più miti dall’inizio delle misurazioni nel 1864.

Dopo un mese di marzo mite, la temperatura di aprile è rimasta al di sotto della media in tutte le regioni. L’aprile 2023 è stato il primo mese dopo sei mesi a far registrare una temperatura media nazionale inferiore alla norma 1991–2020. Bisognava infatti risalire a settembre 2022 per ritrovare una temperatura leggermente al di sotto della media. La temperatura media nazionale di maggio 2023 è stata invece leggermente superiore alla norma.

Primavera piovosa in alcune regioni

Nelle Alpi e nella Svizzera nordorientale i quantitativi di precipitazione della primavera sono risultati molto più abbondanti della norma a causa dei mesi di marzo e aprile molto piovosi. Vaduz nel principato del Liechtenstein ha registrato 430 mm di pioggia e la primavera più piovosa dall’inizio delle misure nel 1961. Sul Säntis, con 1077 mm, la stagione è risultata la terza più ricca di precipitazioni dall’inizio delle misure nel 1883. In alcune regioni della Svizzera occidentale e meridionale, invece, le precipitazioni primaverili sono risultate inferiori alla media.

Quinta estate più calda

Su scala nazionale, la temperatura media dell’estate 2023 è risultata di 1,6 °C superiore alla norma 1991–2020, quinto valore più elevato dall’inizio delle misure nel 1864, simile a quello registrato dalla terza (2015, 1,8 °C sopra la norma) e dalla quarta (2019, 1,7 °C sopra la norma) estate più calda. Solamente le estati del 2022 e del 2003 hanno fatto registrare un’anomalia positiva maggiore di 2 °C.

Periodi caldi

Dal 9 all’11 luglio un primo periodo caldo ha interessato tutta la Svizzera con temperature massime giornaliere comprese fra 33 e 36 °C. Alcune stazioni di misura hanno registrato il valore più elevato di temperatura massima giornaliera per il mese di luglio dall’inizio delle misure. A sud delle Alpi fra il 15 e il 20 luglio si è verificato un secondo periodo caldo con temperature massime comprese fra 32 e più di 33 °C.

A partire dal 12 agosto la Svizzera è stata interessata da un secondo periodo di caldo, che si è intensificato a partire dal 18 agosto. In questo periodo dell’anno in Svizzera un periodo di caldo così lungo e intenso non si era mai manifestato, né a nord né a sud delle Alpi. In 27 stazioni di misura con serie storiche lunghe sono stati registrati nuovi primati per quanto riguarda la temperatura massima giornaliera del mese di agosto. La temperatura più elevata è stata misurata a Ginevra con 39,3 °C, valore più alto mai registrato in agosto a nord delle Alpi e in Vallese.

Nella notte fra il 20 e il 21 agosto 2023 l’isoterma di zero gradi sopra la Svizzera ha raggiunto la quota record di 5298 m. Il primato precedente, registrato il 25 luglio 2022 con 5184 m, è stato di gran lunga superato.

Temporale estremamente violento nel Giura

Il 24 luglio, durante un temporale estivo, a La Chaux-de-Fonds sono state misurate velocità del vento estreme. La raffica più forte ha superato i 200 km/h. La tempesta ha causato una vittima e 30 feriti. Numerosi edifici e mezzi di trasporto così come alcune parti dell’infrastruttura ferroviaria sono stati danneggiati. Molto alberi sono stati spezzati o sradicati.

Giugno poco piovoso, agosto ricco di precipitazioni

La somma delle precipitazioni da giugno ad agosto è stata inferiore alla media soprattutto sulla metà occidentale del Paese. In vaste parti del Vallese, del Sud delle Alpi e della Svizzera orientale il quantitativo di precipitazione estivo è invece risultato vicino alle norma 1991–2020 o leggermente superiore a essa.

Nella prima metà di giugno un'alta pressione persistente ha determinato un soleggiamento abbondante soprattutto a nord delle Alpi. Per alcune località della Svizzera settentrionale si è trattato del mese di giugno più soleggiato dall'inizio delle misure. I quantitativi di pioggia di giugno sono stati in molte regioni meno della metà di quelli attesi, in alcune regioni non hanno nemmeno superato il 30% della norma 1991–2020. Per 85 stazioni di misura con serie storiche lunghe, fra le quali alcune addirittura più lunghe di 100 anni, si è trattato del mese di giugno più asciutto dall'inizio delle misure.

In molte regioni il quantitativo di precipitazione di luglio è risultato di molto superiore alla norma. Nella Svizzera occidentale, invece, la media pluriennale non è stata raggiunta. Il 17 luglio 2023 nell'Alto Vallese si è sviluppato un incendio di bosco che si è rapidamente esteso ad una vasta regione. I lavori di spegnimento da parte degli elicotteri sono durati più giorni.

Verso la fine di agosto a sud delle Alpi e in alcune parti della Svizzera orientale si è verificato un periodo di maltempo con precipitazioni abbondanti. In alcune regioni i quantitativi di precipitazione mensile hanno quindi superato la norma 1991–2020. Per alcune stazioni di misura con serie storiche lunghe si è trattato del mese di agosto più ricco di precipitazioni dall'inizio delle misure. Nella metà occidentale del Paese le piogge di agosto sono invece rimaste al di sotto della media pluriennale.

Pioggia record

Durante l'evento di maltempo durato dal 26 al 29 agosto in Ticino e nel Moesano sono caduti localmente da 200 a 300 mm di pioggia in 3 giorni. Il quantitativo di precipitazione più elevato è stato misurato a Biasca con 387 mm. Nelle regioni limitrofe del nord e del centro dei Grigioni sono stati registrati localmente da 170 a 270 mm. Nella regione dell'Alpstein nella Svizzera orientale diverse stazioni di misura hanno registrato più di 200 mm in 3 giorni. Per quattro stazioni di misura con serie storiche lunghe più di 100 anni e quattro con serie lunghe più di 60 anni si è trattato dell'accumulo di pioggia su 3 giorni più elevato mai misurato.

Le piogge intense sono state precedute da temporali violenti. In particolare, la sera del 25 agosto un temporale molto forte ha provocato una grandinata eccezionale nel Locarnese, con chicchi di grandine di 4–7 cm di diametro. Su questa regione chicchi così grandi sono attesi in media ogni 30–50 anni, o anche più raramente.

In alcune regioni l'autunno più caldo dall'inizio delle misure

A nord delle Alpi molte stazioni di misura hanno registrato l'autunno più caldo dall'inizio delle misure nel 1864. A Ginevra la temperatura media stagionale è stata di 2,4°C superiore alla norma 1991–2020, nuovo primato davanti ai 2°C sopra la norma fatti registrare dall'autunno 2006. A sud delle Alpi Locarno Monti ha registrato una temperatura media di 1,7°C, non troppo distante dall'anomalia di +1,8°C registrata nell'autunno 2018.

Con una temperatura media nazionale di 2,2°C superiore alla norma, si è trattato del secondo autunno più caldo dall'inizio delle misure nel 1864. Un valore simile era stato fatto registrare dall'autunno da record del 2006, con 2,5°C sopra la norma.

Caldo estremo e molto sole

Un prolungato periodo molto mite e soleggiato nella prima metà di settembre e nella prima metà di ottobre ha determinato il settembre più caldo e il secondo ottobre più caldo dall'inizio delle misurazioni. In alcune zone è stato registrato il periodo di 14 giorni più caldo mai registrato sia per settembre che per ottobre. Localmente, i valori sono stati di circa 2°C superiori ai massimi precedenti. In settembre, la quota dell'isoterma di zero gradi ha raggiunto i 5253 metri, il secondo livello più alto mai registrato.

Grazie al tempo persistentemente soleggiato della prima metà di settembre e della prima metà di ottobre, diverse località di misurazione a nord delle Alpi con serie di misurazioni ultracentenarie hanno registrato uno degli autunni più soleggiati dall'inizio delle misurazioni. Lucerna ha registrato l'autunno più soleggiato mai registrato, con 440 ore di sole. Tutti i valori autunnali precedentemente misurati erano inferiori alle 400 ore. Un nuovo record autunnale è stato stabilito a Ginevra con 481 ore di sole e a Neuchâtel con 479 ore. Il record precedente per entrambe le località era di circa 470 ore di sole.

Precipitazioni abbondanti

Anche in termini di precipitazioni, i due mesi autunnali di settembre e ottobre hanno mostrato un andamento simile. Nella seconda metà di ogni mese sono cadute forti precipitazioni a livello regionale. A settembre sono stati particolarmente colpiti il versante meridionale delle Alpi e le aree limitrofe del Cantone dei Grigioni. Nella seconda metà di ottobre, una corrente umida da sud-ovest ha portato un periodo di tre giorni con forti precipitazioni sul versante meridionale delle Alpi e nella Svizzera occidentale.

A novembre, il tempo persistentemente umido sul versante settentrionale delle Alpi e nel Vallese ha portato a totali di precipitazioni ben superiori alla media. Nella Svizzera settentrionale e nordorientale si è registrato localmente il novembre più piovoso dall'inizio delle registrazioni.

L'insieme dei tre mesi autunnali ha portato precipitazioni diffusamente superiori alla media. In alcune aree è caduto dal 150 al 180% della norma 1991–2020. A livello locale, è stato uno degli autunni più piovosi dall'inizio delle misurazioni. Con 700 mm, Elm ha registrato il secondo autunno più piovoso dall'inizio delle misurazioni nel 1878. L'autunno record del 2002 aveva portato qui quasi 730 mm.

Prima neve a basse quote

Dal 29 al 30 novembre, un'incursione invernale ha portato nevicate a basse quote sul versante settentrionale delle Alpi. In molte zone è stato misurato un primo manto nevoso di 2–5 cm. Già il 2 dicembre, la pianura settentrionale era nuovamente coperta da una coltre di neve. La quantità di neve fresca è stata eccezionale a livello locale. A Zurigo-Fluntern sono caduti 26 cm in un giorno. Si è trattato della più grande quantità di neve fresca mai misurata in 24 ore in questa località nel periodo tra metà novembre e metà dicembre.

Nelle Alpi orientali, tra l'1 e il 3 dicembre sono state registrate localmente grandi quantità di neve fresca caduta in un solo giorno. Sono stati misurati 30 cm a San Gallo, 47 cm a Scuol, 48 cm a Elm e 65 cm ad Arosa.

Inondazioni

Dall'8 al 15 dicembre, una corrente nordoccidentale ha portato aria mite e umida sulle Alpi. Tra il 9 e il 13 dicembre sono cadute notevoli quantità di precipitazioni in gran parte della Svizzera occidentale e centrale. Localmente, in questi quattro giorni sono state registrate precipitazioni pari a quelle medie di dicembre.

Nell'aria mite il limite delle nevicate è salito in alcuni giorni fino a 1500–2200 m. Oltre alla precipitazioni a tratti forti, questo ha causato anche una fusione importante del manto nevoso, con la conseguenza che alcuni laghi e fiumi sono esondati.

Dicembre umido

Poco prima di Natale, il versante settentrionale delle Alpi ha ricevuto ancora una volta grandi quantità di precipitazioni. Il totale mensile delle precipitazioni di dicembre è quindi risultato molto elevato. Nelle Alpi orientali, esso ha raggiunto quasi il 300% della norma 1991–2020. Per diverse stazioni di misura si è trattato di uno dei tre mesi di dicembre più piovosi dall'inizio delle misurazioni. Elm ha registrato il dicembre più piovoso dall'inizio delle misurazioni, oltre 140 anni fa, con 287 mm e Thun con 137 mm.

Temperature da record al Sud

Mentre sul versante settentrionale delle Alpi hanno dominato le piogge, su quello meridionale il favonio ha determinato temperature superiori ai 20°C. Il 23 dicembre è stato estremamente mite. A Locarno Monti, la temperatura massima giornaliera è salita fino a 22,3°C, record di dicembre. Allo stesso tempo, anche la minima giornaliera di 12,6°C è risultata un primato per il mese di dicembre. Anche in altri stazioni di misura, oltre a Locarno Monti, la temperatura massima giornaliera ha stabilito un nuovo primato per il mese di dicembre.

Bilancio dell'anno

In molte regioni svizzere la temperatura media annuale è risultata da 1,3 a 1,7°C più elevata della norma 1991–2020. In Vallese, a sud delle Alpi e in Engadina lo scarto dalla media è risultato generalmente compreso fra 1,0 e 1,5°C. Su scala nazionale la temperatura media annuale è stata superiore alla norma 1991–2020 di 1,4°C.

La somma delle precipitazioni del 2023 ha raggiunto in molte regioni dal 90 al 120% della norma 1991–2020. Lungo il versante nordalpino orientale e in Vallese è stato raggiunto localmente il 130% della media. Ad Elm sono caduti 2122 mm e il 2023 è risultato l'anno più ricco di precipitazioni dall'inizio delle misure nel 1879. A Sion, con 822 mm, il 2023 rientra invece fra i dieci anni con precipitazioni più abbondanti. Anche per Vaduz si è trattato dell'anno più ricco di precipitazioni dall'inizio delle misure circa 60 anni fa, con circa il 170% delle precipitazioni normalmente attese.

La somma annuale del numero di ore di sole è stata compresa fra il 90 e il 120% della media 1991–2020.

Le cifre esatte del bilancio dell'anno per alcuni siti di misura sono riportate nella tabella 1.1. La distribuzione spaziale della temperatura, delle precipitazioni e del soleggiamento è rappresentata nelle figure 1.1–1.4.

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

Stazione	Quota m s.l.m.	Temperatura [°C]			Durata del soleggiamento [h]			Precipitazioni [mm]		
		Media	Norma ¹	Deviaz. ²	Totale	Norma	% ³	Totale	Norma	% ³
Berna	553	11.1	9.3	1.8	1993	1797	111	1080	1022	106
Zurigo	556	11.4	9.8	1.6	1812	1694	107	1160	1108	105
Ginevra	420	12.7	11.0	1.7	2059	1887	109	1016	946	107
Basilea	316	12.7	11.0	1.7	1789	1687	106	775	842	92
Engelberg	1036	8.3	6.8	1.5	1407	1380	102	1834	1568	117
Sion	482	11.8	10.7	1.1	2182	2158	100	822	583	141
Lugano	273	14.3	13.0	1.3	2309	2120	109	1462	1567	93
Samedan	1709	3.8	2.4	1.4	1745	1767	99	872	710	123

¹ Media pluriennale 1991–2020

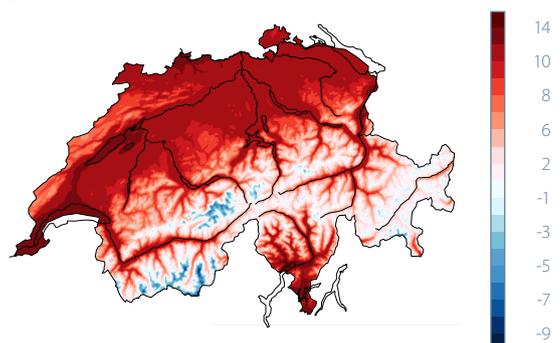
² Deviazione della temperatura dalla norma

³ Percentuale rispetto alla norma (norma = 100%)

Temperatura, precipitazioni e durata del soleggiamento dell'anno 2023

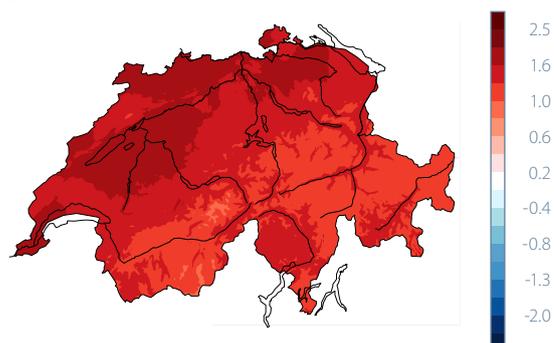
Valori rilevati 2023

Temperatura media annuale in °C

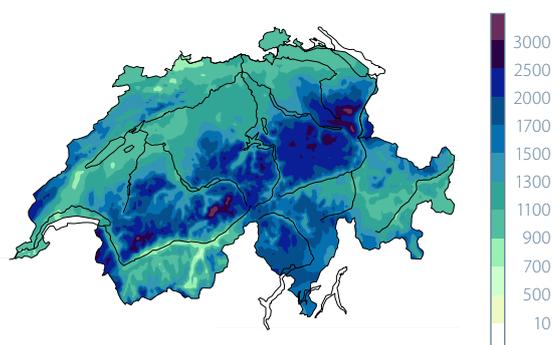


Deviazione dalla norma 1991–2020

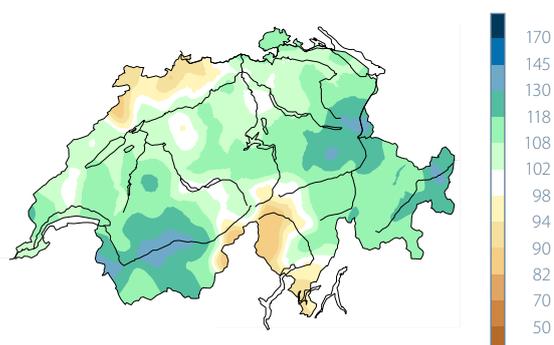
Deviazione della temperatura annuale dalla norma in °C



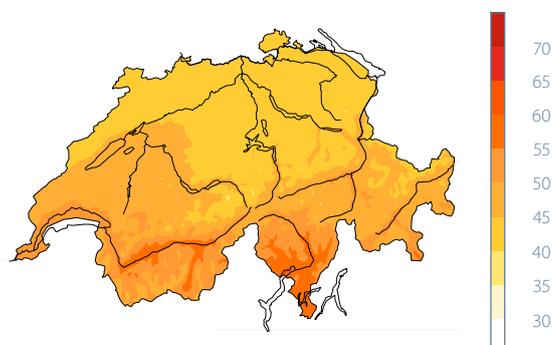
Precipitazioni annuali in mm



Precipitazioni annuali in % della norma



% del soleggiamento annuale possibile



Soleggiamento annuale in % della norma

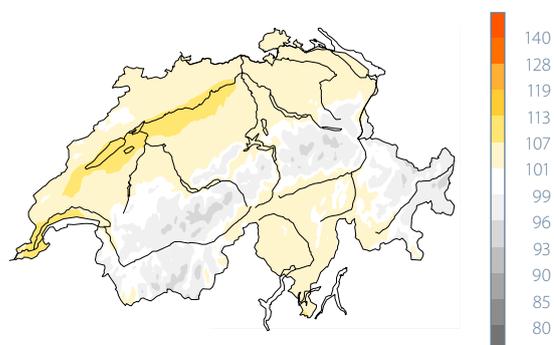
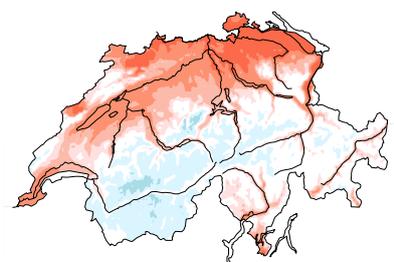


Figura 1.1

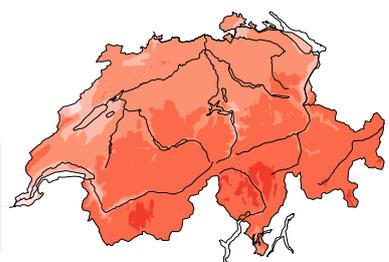
Distribuzione della temperatura, precipitazioni e soleggiamento nell'anno 2023. Sono riportati i valori rilevati (a sinistra) e le rispettive deviazioni dalla norma 1991–2020 (a destra).

Temperature mensili nel 2023 scarto dalla norma 1991–2020

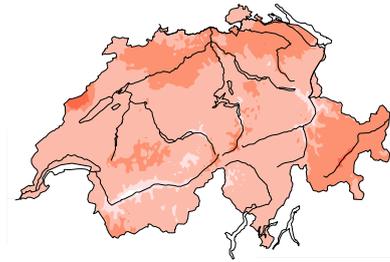
Gennaio 2023



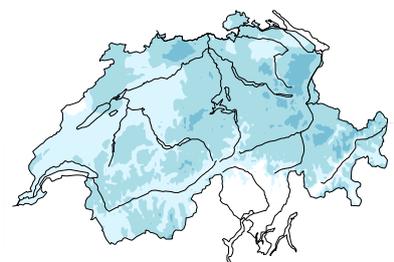
Febbraio 2023



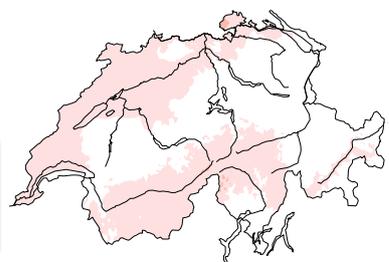
Marzo 2023



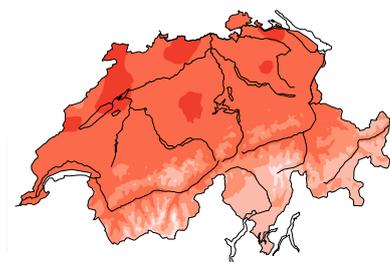
Aprile 2023



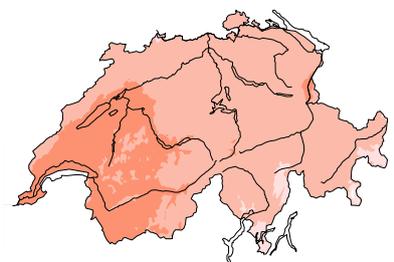
Maggio 2023



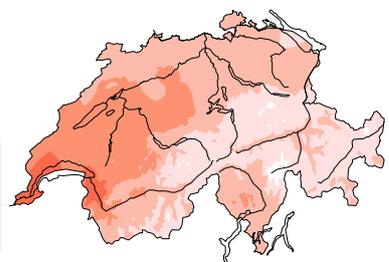
Giugno 2023



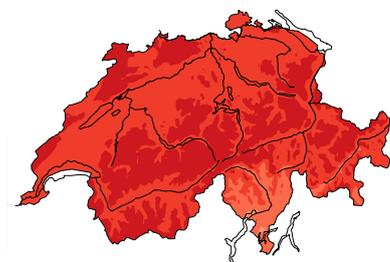
Luglio 2023



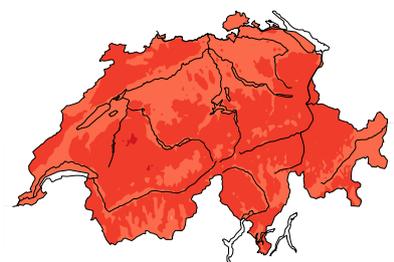
Agosto 2023



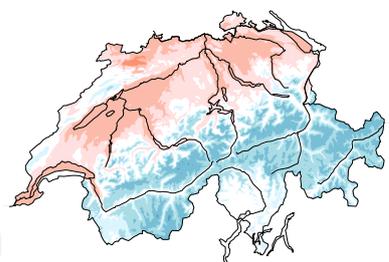
Settembre 2023



Ottobre 2023



Novembre 2023



Dicembre 2023

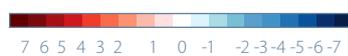
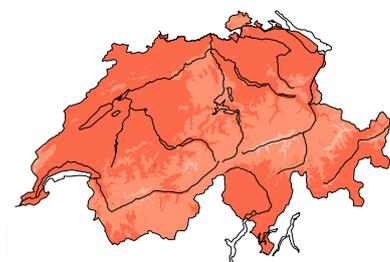
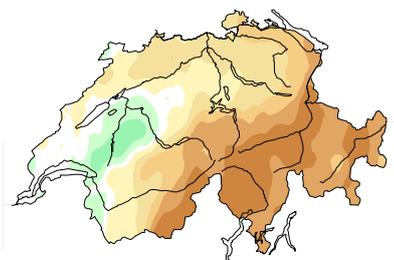


Figura 1.2

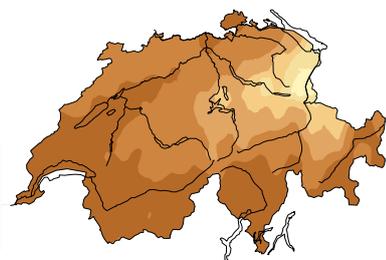
Distribuzione spaziale dello scarto delle temperature mensili in gradi [°C] rispetto alla norma 1991–2020 in °C.

Precipitazioni mensili nel 2023 in percento rispetto alla norma 1991–2020

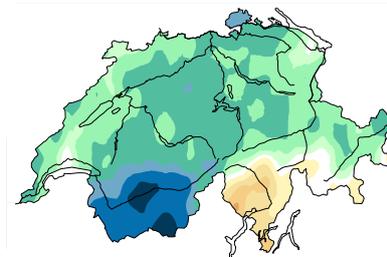
Gennaio 2023



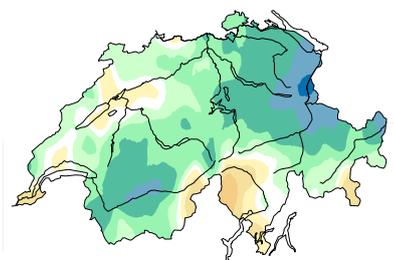
Febbraio 2023



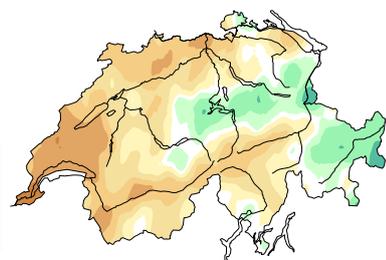
Marzo 2023



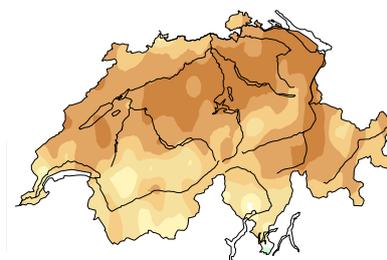
Aprile 2023



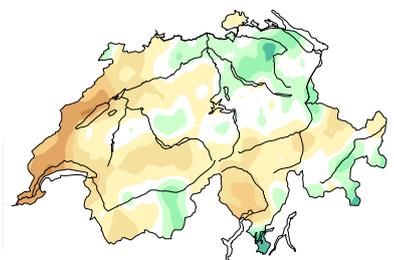
Maggio 2023



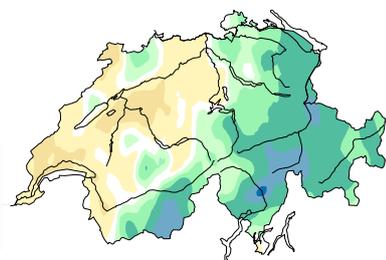
Giugno 2023



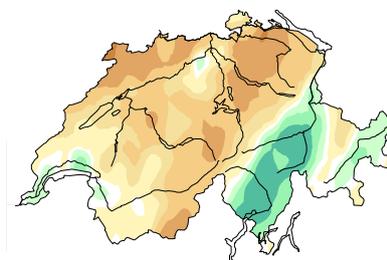
Luglio 2023



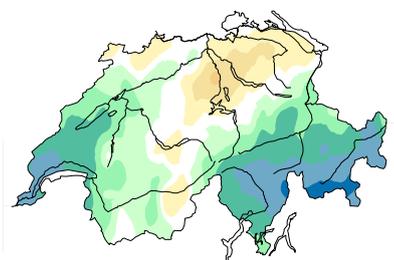
Agosto 2023



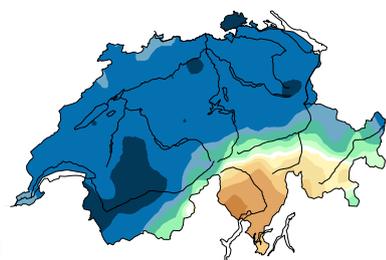
Settembre 2023



Ottobre 2023



Novembre 2023



Dicembre 2023

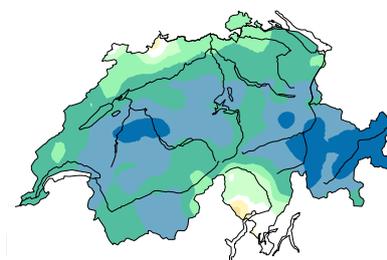
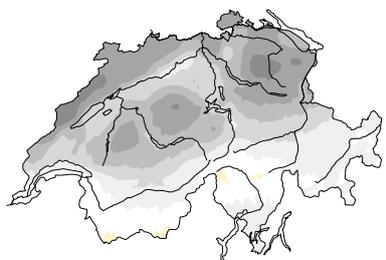


Figura 1.3

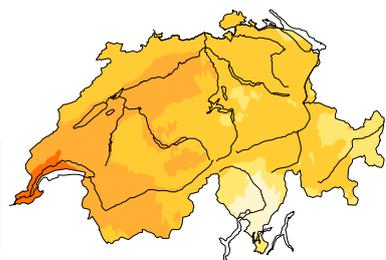
Distribuzione spaziale delle precipitazioni mensili in percento rispetto alla norma 1991–2020.

Soleggiamento mensile nel 2023 in percento rispetto alla norma 1991–2020

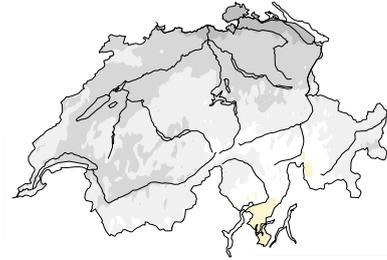
Gennaio 2023



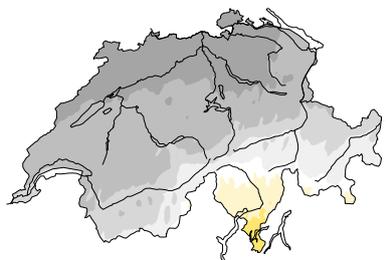
Febbraio 2023



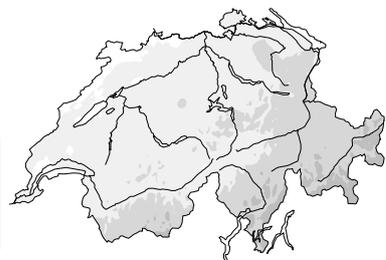
Marzo 2023



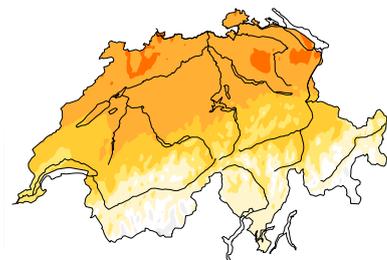
Aprile 2023



Maggio 2023



Giugno 2023



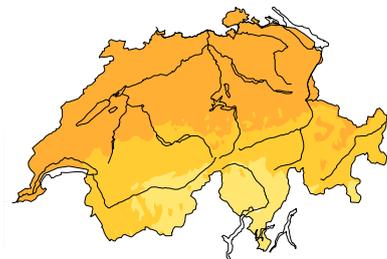
Luglio 2023



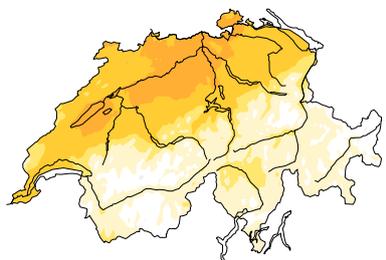
Agosto 2023



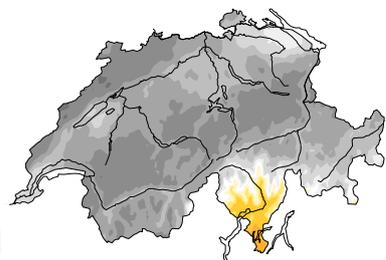
Settembre 2023



Ottobre 2023



Novembre 2023



Dicembre 2023

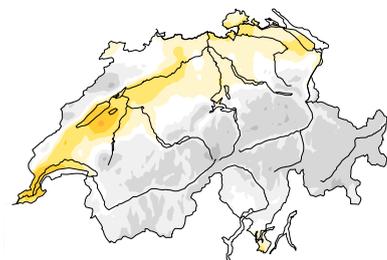


Figura 1.4

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



2 Diagrammi dell'andamento annuale

18

Temperatura, soleggiamento e precipitazioni

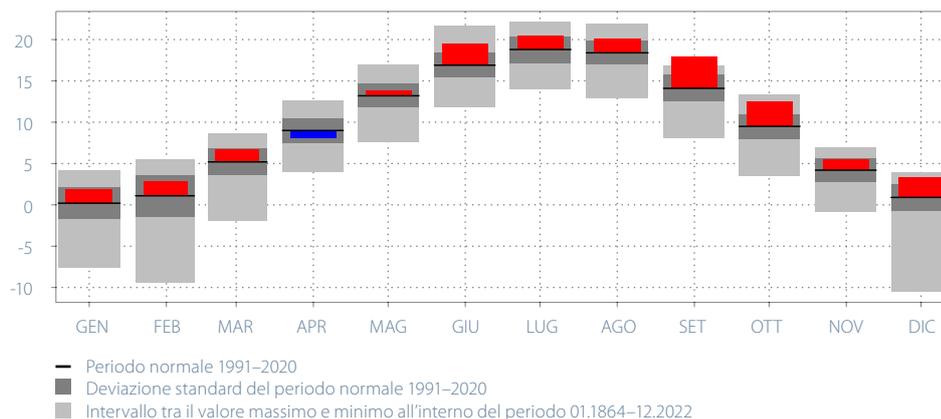
Berna-Zollikofen (553 m) 1.1.–31.12.2023

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.

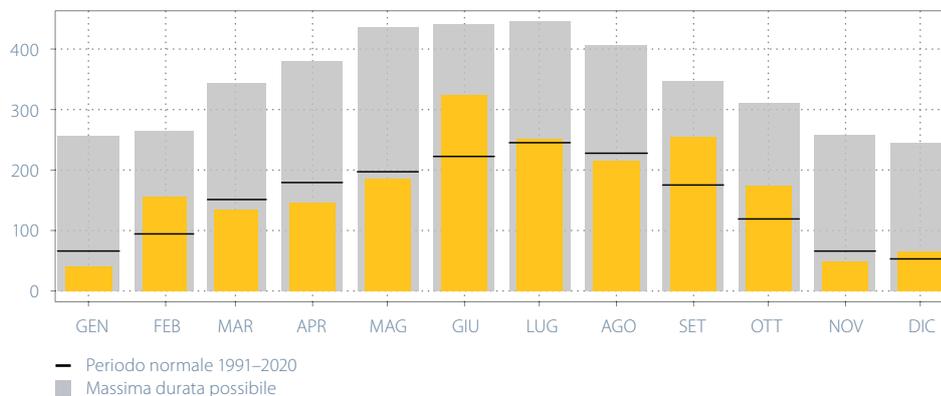
Temperatura media mensile in °C

Media: 11,1; norma: 9,3



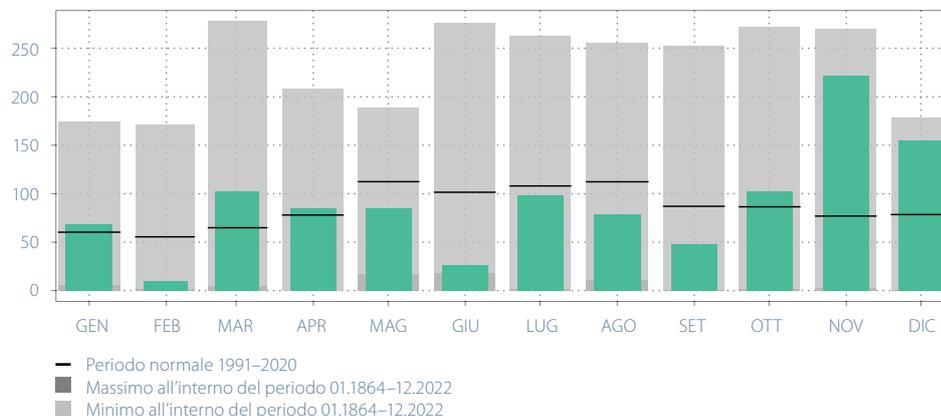
Durata del soleggiamento mensile in ore

Somma: 1993,3; norma: 1797,1



Precipitazione mensile in mm

Somma: 1079,9; norma: 1021,8



Temperatura, soleggiamento e precipitazioni

Lugano (273 m) 1.1.–31.12.2023

Temperatura media mensile in °C

Media: 14,2; norma: 13,0

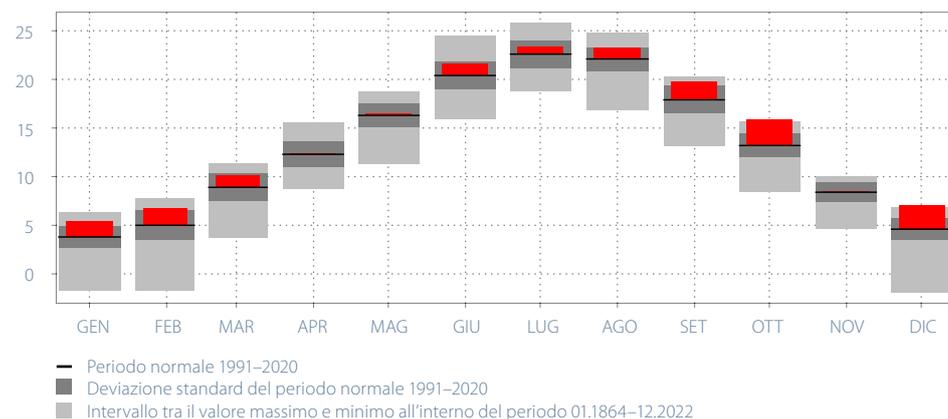
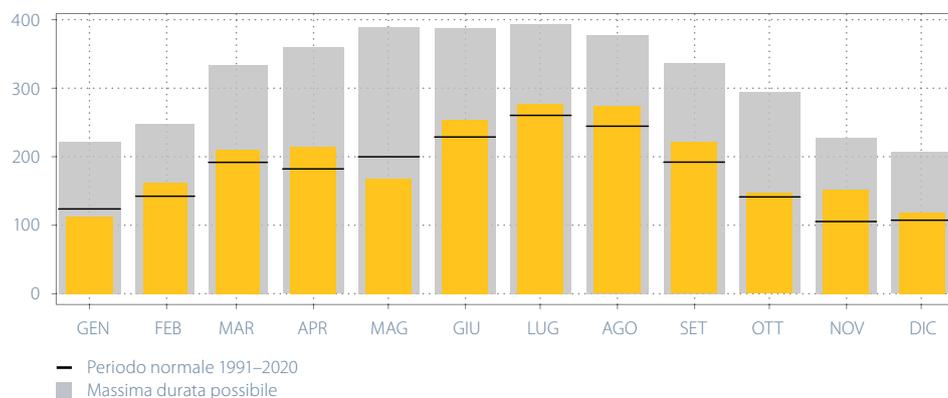


Figura 2.2

Andamento annuale della temperatura media mensile, della durata del soleggiamento mensile e della somma della precipitazione mensile presso la stazione di Lugano.

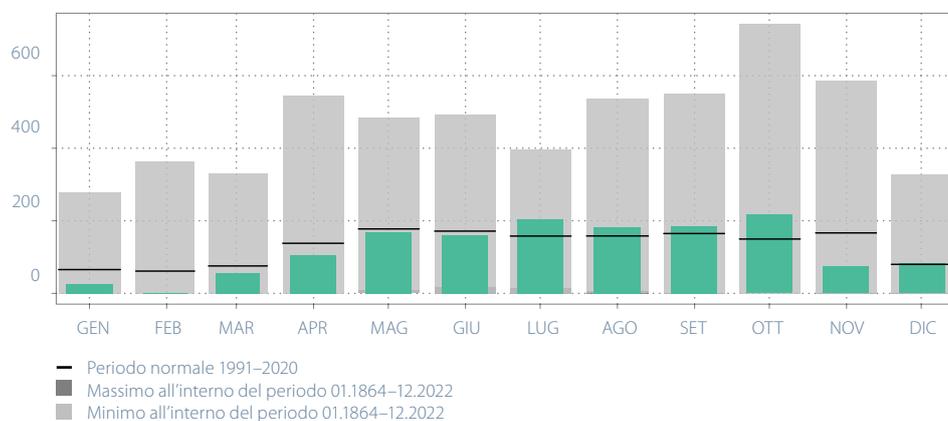
Durata del soleggiamento mensile in ore

Somma: 2309,0; norma: 2119,8



Precipitazione mensile in mm

Somma: 1461,8; norma: 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.

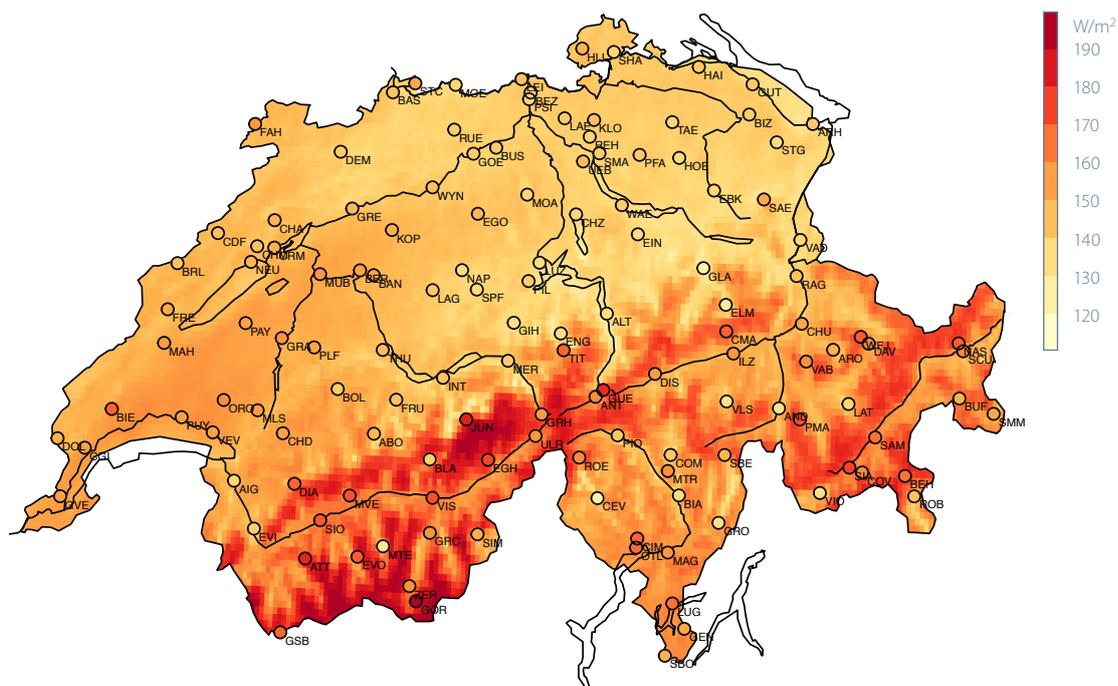
Nel 2023 la radiazione globale media ha raggiunto valori massimi di 185 W/m² (Figura 2.3). Anche nel 2023 i valori più alti sono stati misurati in prossimità della catena principale delle Alpi. Sull'Altopiano e in Ticino la radiazione solare è risultata nettamente inferiore al 2022, con valori compresi tra 140 e 165 W/m². Tuttavia, essi rientrano nella media nel periodo di riferimento 2004–2022.

I valori della radiazione solare più bassi, pari a 140 W/m², sono stati registrati sull'Altopiano nella regione attorno al Lago Bodanico. La radiazione solare è invece risultata sensibilmente superiore nella Svizzera più occidentale, nella regione di Ginevra, dove sono stati misurati 154 W/m². Essa è stata nettamente superiore in alta montagna rispetto al resto della Svizzera: a Lugano, in Ticino, sono stati rilevati 164 W/m², mentre sullo Jungfrauoch la radiazione solare annua è risultata di 179 W/m².

Figura 2.3

Radiazione globale media (in W/m²) per il 2023 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 x 2 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 2004–2022, il 2023 è stato un anno con una radiazione solare media. Nella Svizzera settentrionale sono stati misurati localmente da 5–7 W/m² superiori alla media, alle basse quote della Svizzera meridionale i valori sono risultati nella media e nelle regioni di montagna localmente di 5–7 W/m² inferiori.

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

Nel 2023 la radiazione globale è stata estremamente variabile. In quasi tutta la Svizzera gennaio e febbraio sono risultati nella norma con periodi soleggiate alternati a periodi nuvolosi. Solo nella Svizzera occidentale sono stati registrati valori nettamente superiori in febbraio. Marzo è stato molto nuvoloso in tutta la Svizzera, aprile più grigio della media nella Svizzera settentrionale. In maggio la radiazione globale è risultata nella media. Giugno è stato quasi ininterrottamente molto soleggiato in Svizzera. Dopo un mese di luglio e di agosto nella norma, durante la prima metà di settembre e in ottobre sono seguiti lunghi periodi con giornate molto soleggiate. Il resto dell'anno è risultato nuvoloso, come di consueto in questo periodo dell'anno.

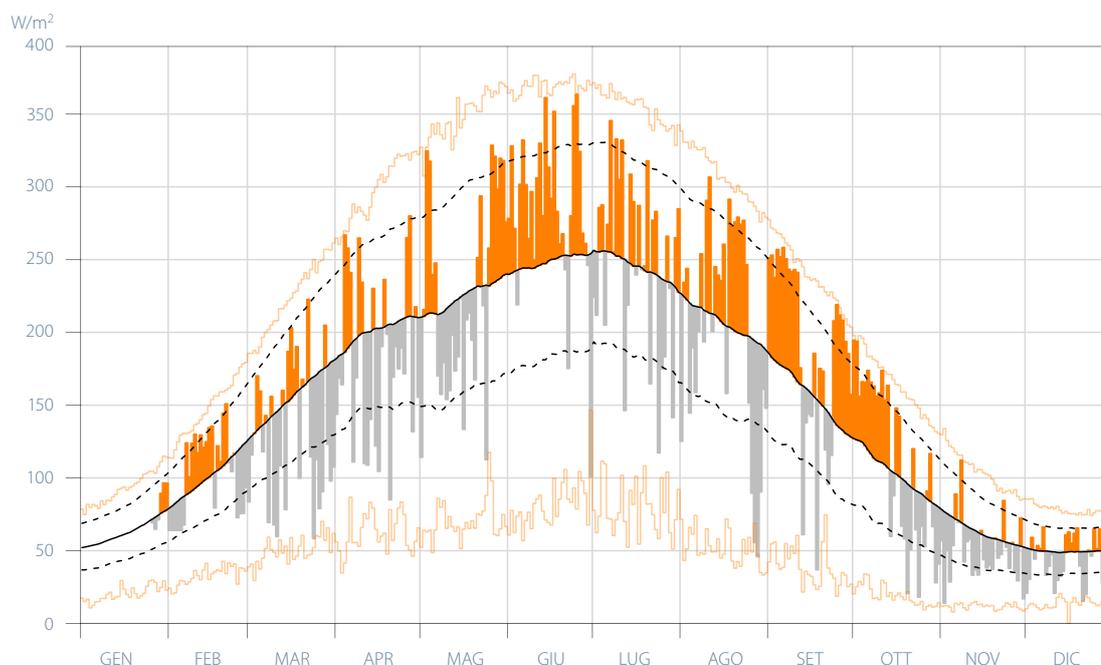


Figura 2.4

Radiazione globale media giornaliera mediata su tutta la Svizzera nel corso dell'anno 2023. Le colonne in arancione indicano una radiazione superiore al periodo di confronto 2004–2022, 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 monitorato 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 2023, 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 2023 il valore mediano della quota dell'isoterma di zero gradi è stato di 2715 m, ovvero 110 m più alto rispetto alla media della norma e di 115 m inferiore al valore del 2022. Il tasso percentuale delle anomalie negative nel 2023 ammonta al 43,3%. Nel 2022 la percentuale di anomalie negative era stata del 36,4%. Di conseguenza, rispetto al 2022, nel 2023 il tasso percen-

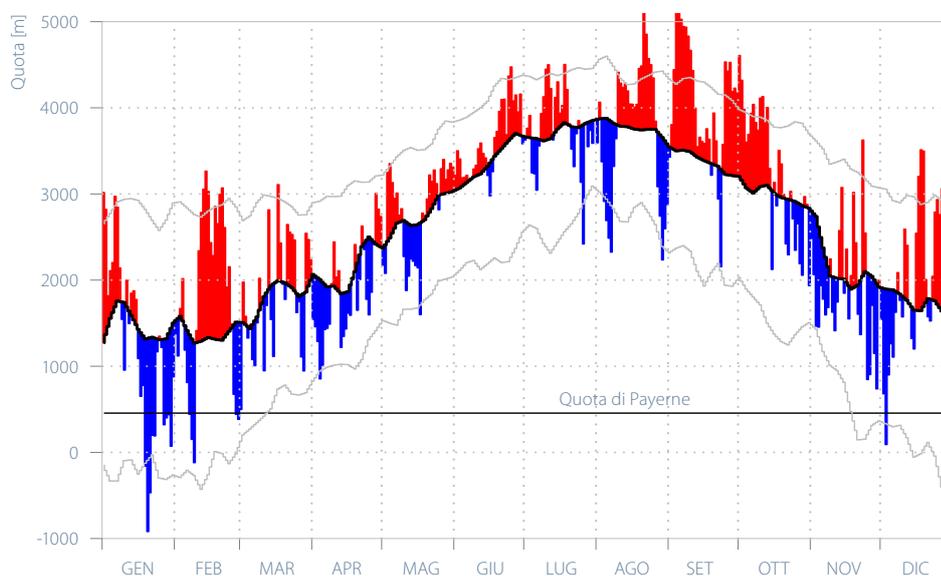
tuale delle anomalie positive (in rosso) è diminuito dal 63,6% al 56,7%. Il valore più alto della serie annuale è stato misurato il 21 agosto 2023 con un'altezza di 5152 m, 433 m al di sopra del valore massimo del 2022. Si è trattato, al contempo, della posizione più alta mai registrata della quota dell'isoterma di zero gradi dall'inizio dei radiosondaggi nel 1954. La quota di -919 m calcolata il 20 gennaio 2023 corrisponde al minimo della serie annuale ed è 380 m più bassa del valore minimo del 2022. Nei mesi di gennaio, febbraio e dicembre sono stati rilevati alcuni valori diurni al di sotto del livello del suolo. Alcuni di questi sono stati inferiori anche al percentile del 5% (colonne blu che si estendono al di sotto della linea grigia inferiore). In generale, nel 2023 il valore soglia del 5° percentile delle deviazioni dalla media del periodo di riferimento non è stato raggiunto nel 3,3% dei giorni, mentre il 95° percentile della distribuzione climatologica è stato superato nel 14,2% di tutti i giorni (colonne rosse che si estendono al di sopra della linea grigia superiore).

Nell'andamento annuale 2023 si possono osservare più volte lunghe fasi con una quota dell'isoterma di zero gradi relativamente alta, soprattutto durante il semestre estivo e in dicembre. Queste fasi sono un ulteriore indicatore del caldo eccezionale, che si era già verificato nel 2022. 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 2023 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 2023. 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 2023: 2715 m; norma 1991–2020: 2605 m

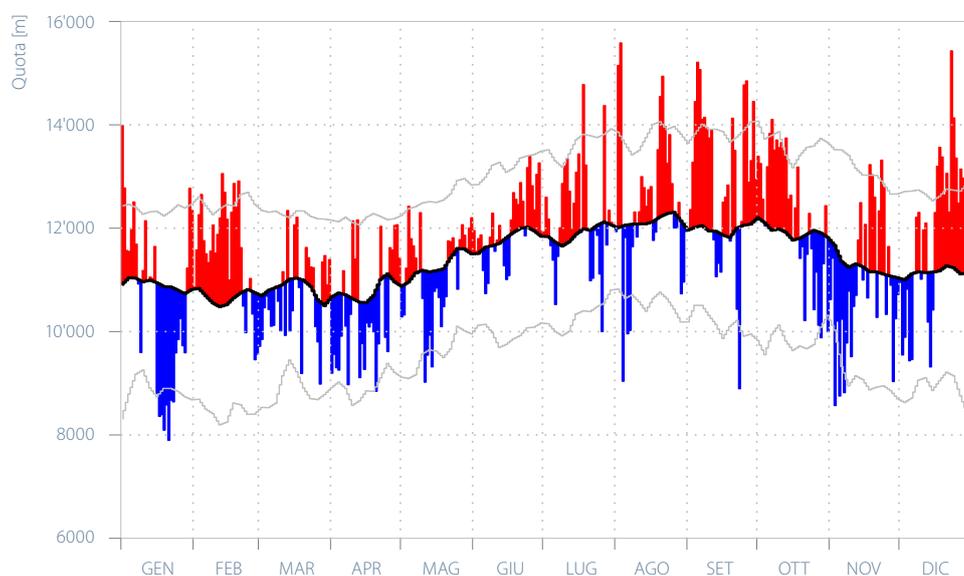


Altitudine della tropopausa

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 (vedi 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 2023. 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 rispetto ai valori normali dell'atmosfera sopra la Svizzera. La mediana dell'altitudine della tropopausa dell'anno 2023 ammonta a 11'722 m ed è pertanto di 467 m più alta della mediana di riferimento, pari a 11'255 m.

Mediana 2023: 11'722 m; norma 1991–2020: 11'255 m



Solo il 43,3% di tutti i valori giornalieri è inferiore alla norma. Nel 56,7% dei giorni del 2023 i valori hanno invece superato la norma. Tra metà maggio e la prima metà di ottobre le misure sono risultate ampiamente al di sopra del valore di riferimento, con pochi valori estremi verso il basso. Le due fasi ininterrotte più lunghe con anomalie negative sono state misurate nella seconda metà di gennaio e tra la metà di ottobre e la metà di novembre.

Rispetto al 2022, nel 2023 i valori di caldo estremo sono stati più frequenti. Nel complesso il 12,1% delle deviazioni positive dalla norma ha superato il 95° percentile e solo il 5,8% delle anomalie negative è rimasto al di sotto del 5° percentile. L'altitudine più alta della tropopausa del 2023, pari a 15'584 m, è stata misurata il 3 agosto. Il valore minimo di 7897 m è stato registrato il 21 gennaio.

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 normale 1991–2020 aumenterà ulteriormente.

Figura 2.6

Quota giornaliera della tropopausa sopra Payerne nel 2023, 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.

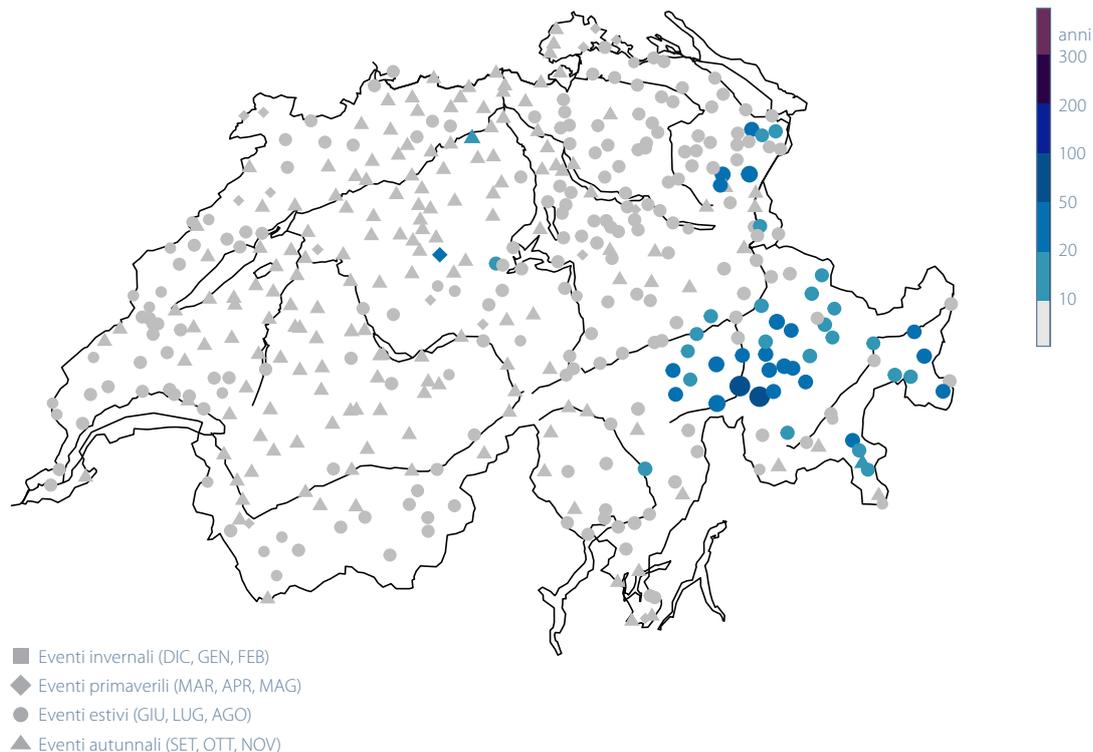
Nel 2023 le precipitazioni più estreme si sono verificate in relazione alla zona di bassa pressione «Rea» (cfr. capitolo 1 e 3), che dal 26 al 29 agosto ha portato quantitativi di precipitazione giornaliera e su più giorni estremamente alti in Ticino e nelle regioni limitrofe del Nord e del centro dei Grigioni. Il 26 agosto 2023 a Biasca la somma delle precipitazioni ha raggiunto i 192 mm. In questa stazione questo quantitativo viene superato ogni 20 anni circa. Il giorno successivo precipitazioni estreme si sono verificate

anche nella regione del Reno posteriore. Nelle stazioni di misura Innerferrera e Splügen sono stati registrati 165 mm, rispettivamente 158 mm di precipitazione in 24 ore. A Innerferrera si è trattato del quantitativo giornaliero più alto mai registrato in questa stazione di misura, con un periodo di ritorno stimato a oltre 100 anni. Nelle altre stazioni di queste regioni (Andeer, Piz Martegnas) lo stesso giorno le precipitazioni hanno raggiunto somme di 130 mm e più. I rispettivi periodi di ritorno sono compresi tra 50 e 90 anni. Nelle altre regioni dei Grigioni centrali il 27 agosto la somma giornaliera delle precipitazioni è risultata compresa tra 70 e 100 mm, con un periodo di ritorno da dieci a 25 anni. Anche il 28 agosto sono di nuovo stati registrati quantitativi di precipitazione eccezionali, questa volta nelle stazioni di misura di Brülisau con 134 mm, corrispondenti a un periodo di ritorno di ca. 45 anni, e di Kronberg con 131 mm e un periodo di ritorno di circa 35 anni.

Nel resto della Svizzera nel 2023 le precipitazioni giornaliere con un periodo di ritorno di oltre dieci anni sono state poche (Figura 2.7).

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 2023, divisi per stagione.



Le dimensioni dei punti e i colori rispecchiano la lunghezza del periodo di ritorno in anni. Il grigio indica un periodo di ritorno di 10 anni o meno.

Andamento annuale della radiazione UV

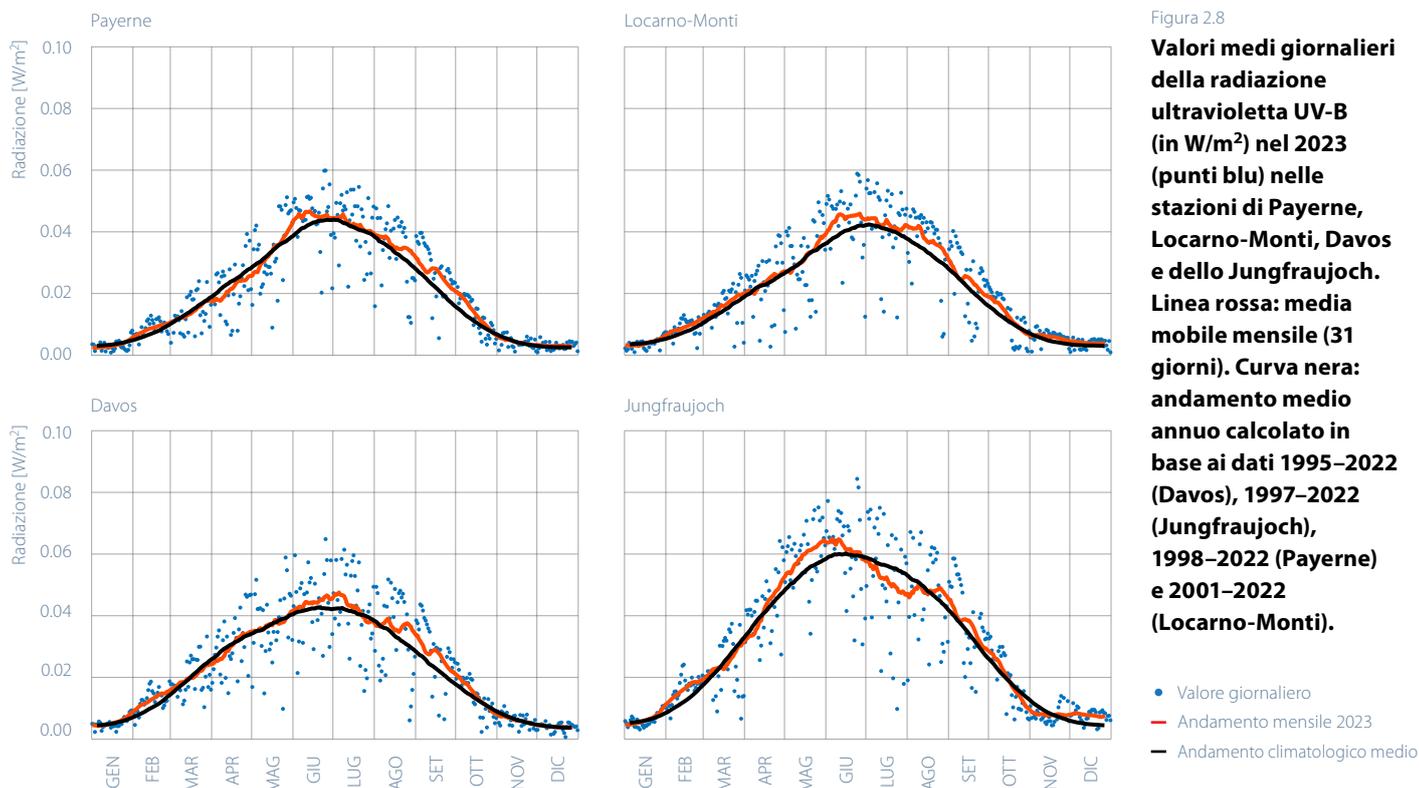
La parte UV-B dello spettro di radiazione solare è importante poiché influisce in modo significativo sugli esseri umani, anche se in certi casi può comportare problemi di salute (cancro della pelle, danni agli occhi, ecc.), mentre è determinante per la produzione di vitamina D nel corpo. Le misurazioni 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 2023 la media mobile della radiazione UV è stata superiore in gran parte dell'anno in tutte le stazioni di misura (Figura 2.8).

Il confronto delle medie mobili mensili con l'andamento medio annuo mostra che in febbraio, nella tarda estate e in autunno 2023 la radiazione UV è stata in tutte le stazioni superiore rispetto all'andamento medio annuo.

Per il resto dell'anno vi sono alcune differenze tra le stazioni. A Locarno-Monti e Payerne valori elevati della radiazione UV sono stati rilevati alla fine di maggio e in giugno, a Davos in giugno e luglio e sullo Jungfrauoch da metà aprile e metà giugno. Inoltre, sullo Jungfrauoch la radiazione UV è risultata nettamente inferiore all'andamento medio annuo in luglio, ma non nelle altre stazioni.

A parte la posizione del Sole e l'altitudine della stazione di misura, fattori che non cambiano di anno in anno, ad incidere sull'intensità della radiazione UV sono soprattutto la nuvolosità e il quantitativo di ozono nell'atmosfera (principalmente nello strato di ozono). Rispetto agli anni precedenti, il quantitativo di ozono nell'atmosfera è stato inferiore in febbraio e nella seconda metà di dicembre, ma non nel resto dell'anno. I valori della radiazione UV superiori alla media, osservati in febbraio, sono pertanto da ricondurre parzialmente al basso quantitativo di ozono nell'atmosfera in questo periodo, mentre nel resto dell'anno le differenze osservate sono dovute alle variazioni della radiazione solare.



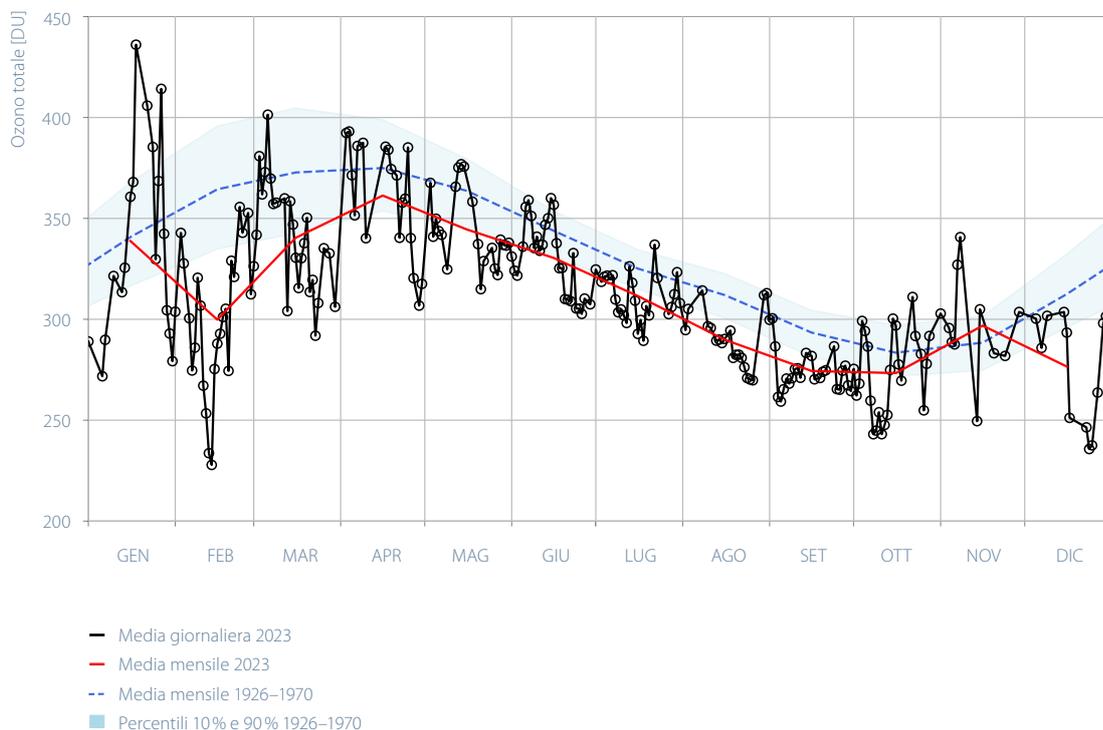
Serie di misurazioni dell'ozono ad Arosa e Davos

Le misure della colonna di ozono sono state effettuate dal 1926 ad Arosa e dal 2018 a Davos. Per il 2023 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.

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.

Nei mesi di febbraio e dicembre del 2023 lo spostamento del vortice polare ha causato un abbassamento significativo dei valori dell'ozono al di sotto dei valori del periodo di riferimento. Negli altri mesi del 2023 i valori sono invece risultati leggermente inferiori alla media.

Figura 2.9
Andamento annuale della colonna dell'ozono totale sopra Arosa nel 2023. 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 2023 emergono valori inferiori alla media climatologica tra il 10 e il 15 febbraio, periodo in cui il vortice polare si è spostato alle nostre latitudini a seguito di un improvviso riscaldamento della stratosfera (Sudden Stratospheric Warming¹).

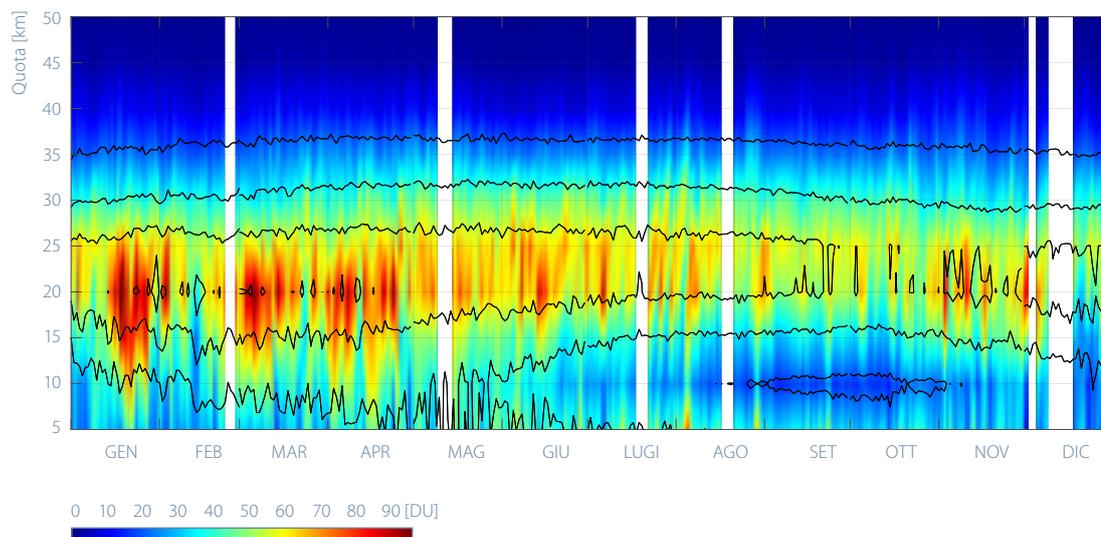


Figura 2.10

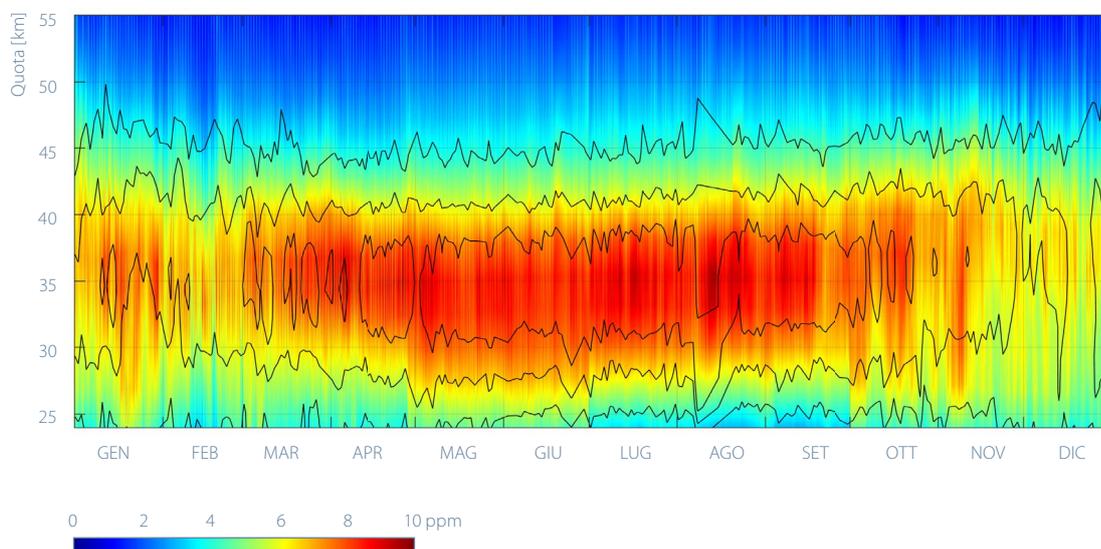
Profilo dell'ozono sopra Davos nel 2023, rilevato dallo spettrofotometro Dobson. Il grafico mostra le concentrazioni in unità Dobson (DU), sulla scala destra, tra 0 e 90 DU. 100 DU = 1 mm di ozono puro a 1013 hPa di pressione e 0° C di temperatura.

¹ I riscaldamenti improvvisi della stratosfera sono una conseguenza dell'indebolimento o addirittura dell'inversione della corrente a getto polare e possono avere una durata di diversi giorni [43].

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 2023 e in nero quello del 2022 (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 2023, 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 2023 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).

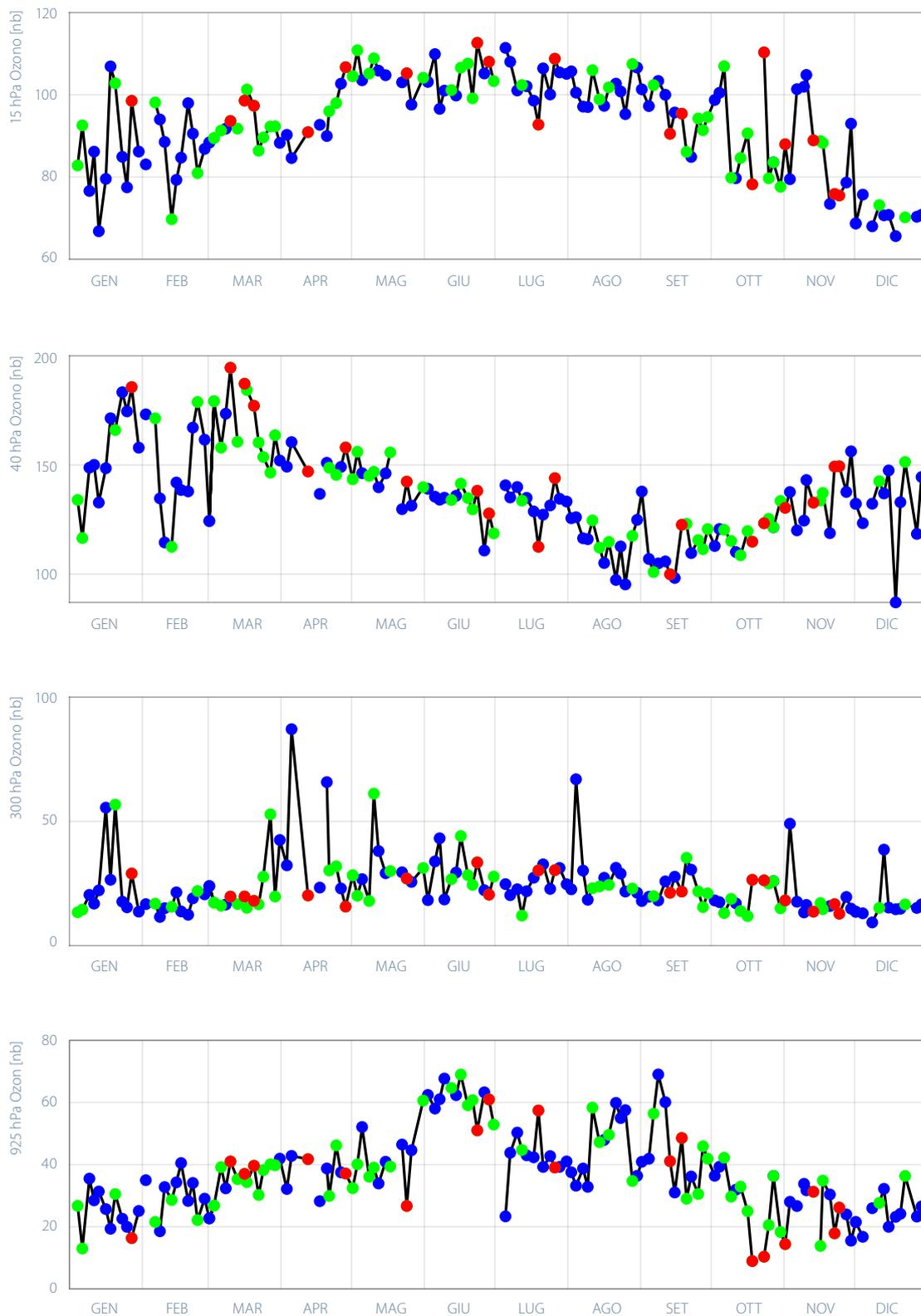


Figura 2.12

Andamento della concentrazione di ozono (pressione parziale in nanobar) nel 2023 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 Jungfrauoch

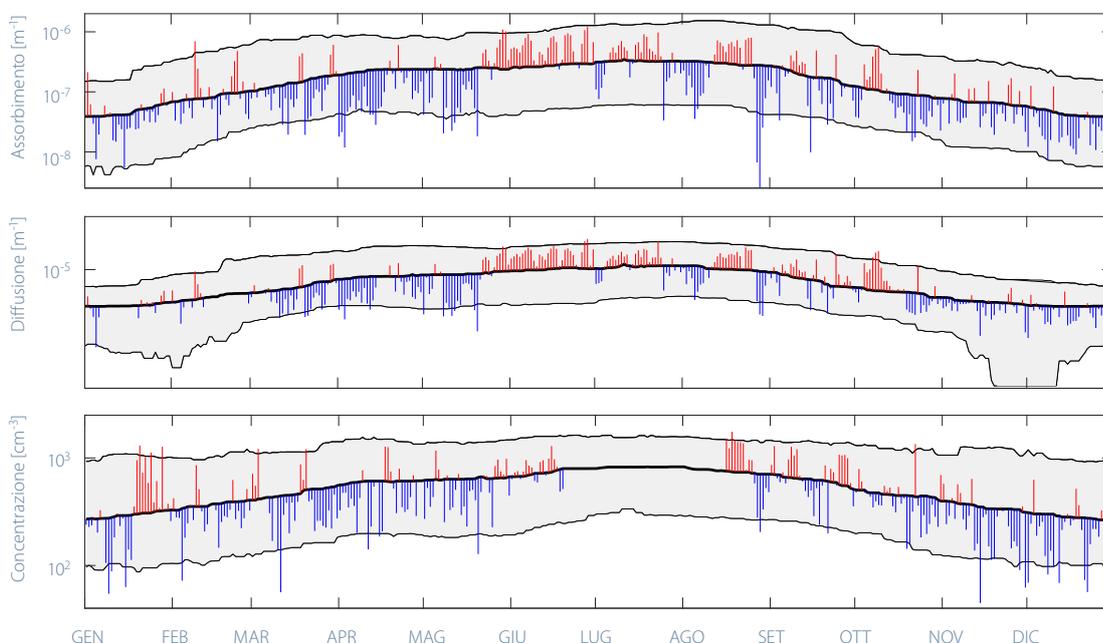
Gli aerosol influiscono sull'atmosfera con i loro effetti diretti (assorbimento e diffusione della radiazione solare) e indiretti (formazione di nubi). L'ampiezza di questi effetti in riferimento al riscaldamento o al raffreddamento resta una delle maggiori incertezze dei modelli climatici [2]. Le misurazioni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

L'andamento annuale dei parametri degli aerosol sullo Jungfrauoch 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 Jungfrauoch viene così a trovarsi maggiormente sotto l'influsso dello strato limite terrestre. In inverno, per contro, lo Jungfrauoch 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 2023 la concentrazione di polvere minerale proveniente dal deserto del Sahara è stata moderata (Figura 2.13). Le tendenze a lungo termine mostrano una diminuzione della concentrazione degli aerosol sullo Jungfrauoch, che si sovrappone al ciclo annuale. Di conseguenza i parametri tendono a essere inferiori a quelli del periodo di riferimento 1995–2022. I periodi con temperatura e radiazione solare superiori a quelli di riferimento (da giugno a ottobre) coincidono tuttavia con una concentrazione di particelle di aerosol superiore al valore di riferimento.

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 Jungfrauoch nel 2023 (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 (Figura 2.14). 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 contri-

buisce 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.

A causa del cambiamento di uno strumento, l'attuale climatologia tiene conto solamente degli ultimi anni dal 2015. Nell'autunno del 2023 si sono verificati numerosi eventi di polvere sahariana, di cui uno particolarmente lungo dal 6 al 13 ottobre.

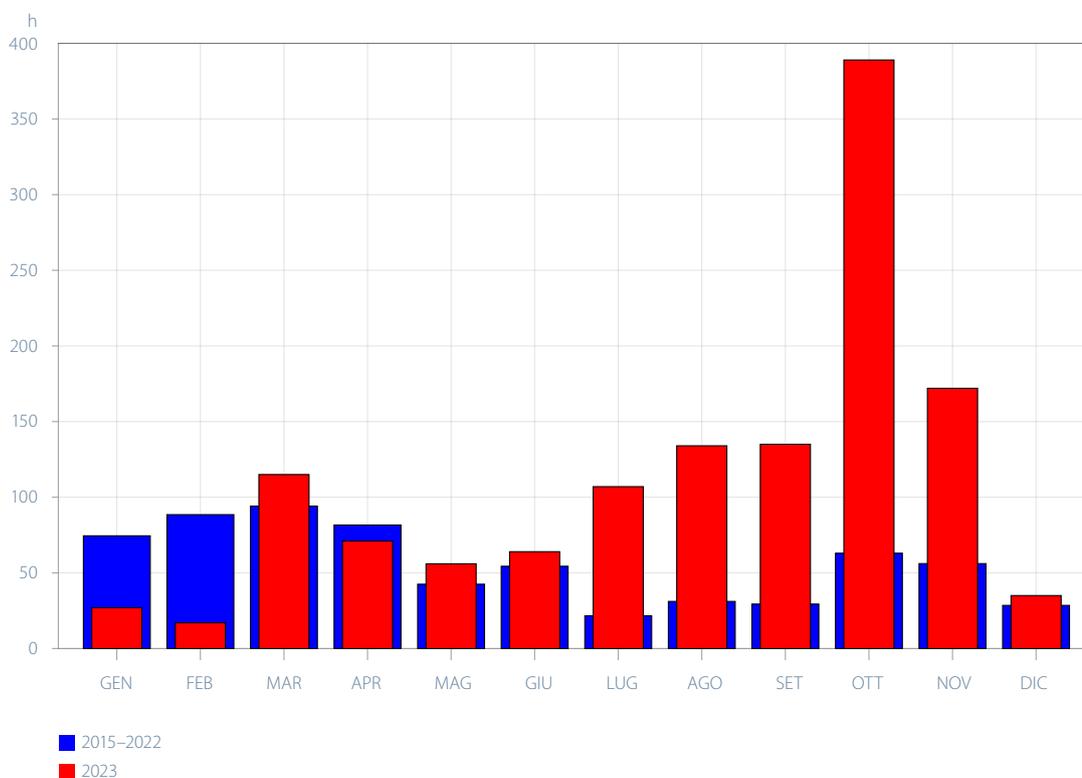


Figura 2.14

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 2015–2022 e nel 2023.

Sviluppo della vegetazione

L'anno fenologico 2023 è cominciato con la fioritura del nocciolo più precoce dall'inizio delle osservazioni nel 1953 e si è concluso con una delle più tardive colorazioni delle foglie del faggio dal 1951 e la più tardiva colorazione delle foglie di molte specie arboree osservate dal 1996 (Figura 2.15). Lo sviluppo della vegetazione è risultato nella norma in primavera e in anticipo a partire da giugno. I tigli sono fioriti con cinque giorni di anticipo rispetto alla media del periodo 1991–2020 e al momento della maturazione dei frutti del sambuco nero e della vendemmia l'anticipo era già di 11–13 giorni. Quale conseguenza dei mesi di settembre e ottobre molto caldi, la colorazione delle foglie è stata molto tardiva.

Per confrontare le date delle fasi fenologiche dell'anno 2023 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

Nel 2023 la fioritura del nocciolo è stata la più precoce dall'inizio delle osservazioni nel 1953 e, mediata su tutte le stazioni della Svizzera, ha avuto un anticipo di 22 giorni rispetto alla media del periodo di riferimento 1991–2020. La fioritura del nocciolo è stata quasi altrettanto precoce nel 2020. Il suo inizio è stato osservato al Nord delle Alpi a partire dal 26 dicembre e la fioritura generale dal 2 gennaio. È interessante notare che in Ticino la prima osservazione è stata fatta più tardi, il 5 gennaio. Questo è confermato anche dalle misure della concentrazione di polline di nocciolo, che mostrano che le concentrazioni sono aumentate prima al Nord delle Alpi e poi in Ticino. Infatti durante la fase molto mite dal 20 dicembre le temperature sono state in parte più alte al Nord delle Alpi che in Ticino.

Durante la prima metà di gennaio molti noccioli sono fioriti alle basse quote, ma partire dalla metà del mese la loro fioritura è stata interrotta dalle basse temperature ed è ripresa solo a partire dalla fine di gennaio e dall'inizio di febbraio. A partire dalla metà di febbraio, grazie al tempo soleggiato e mite le osservazioni di noccioli in fiore sono aumentate. Dalle basse quote la fioritura si è spostata a un'altitudine compresa tra 600 e 1100 m. Nel complesso oltre il 70% delle osservazioni sono state classificate come «molto precoci» e «precoci».

La fioritura del farfaro (tossilaggine comune) è iniziata a metà febbraio. In marzo è fiorita sia in pianura, sia in montagna. A Pontresina, ad esempio, è stata osservata il 20 marzo, tre settimane prima del normale, questo a causa della mancanza di neve e della fusione anticipata del ghiaccio. Rispetto alla media di tutte le stazioni, la fioritura del farfaro si è verificata con un anticipo di dieci giorni rispetto alla media.

La fioritura dell'anemone bianco è stata osservata a partire dalla metà di marzo con un anticipo di sette giorni rispetto alla media. Il tarassaco comune e la cardamine dei prati sono fioriti a partire dalla fine di marzo, con un anticipo compreso tra tre e sei giorni.

Il fresco mese di aprile ha rallentato l'ulteriore sviluppo della vegetazione: la fioritura degli alberi da frutto è avvenuta a partire dall'inizio di aprile e lo spiegamento delle foglie degli alberi da metà aprile, in linea con la media. Sotto i 600 m i ciliegi sono fioriti in media il 12 aprile, i peri il 19 aprile e i meli il 26 aprile. Circa il 70% di tutte le osservazioni è stato classificato come «normale». Se gli alberi da frutto fioriscono in un periodo normale, il rischio di danni da gelo tardivo è minore rispetto a una fioritura molto precoce.

Estate

Le prime latifoglie si sono rinverdite in Ticino a partire dall'ultima decade di marzo e al Nord delle Alpi dall'inizio di aprile. In pianura i faggi hanno spiegato le foglie a partire da metà aprile. Sotto i 600 m in media il 24 aprile, tra 600 e 1000 m il 2 maggio e sopra i 1000 m il 7 maggio.

Lo spiegamento delle foglie di betulla, nocciolo, sorbo degli uccellatori, faggio e degli aghi dei larici è avvenuto nella norma, con una differenza compresa tra -1 e +2 giorni rispetto alla media. L'acero montano, che germoglia un po' più tardi, il tiglio nostrano e il tiglio selvatico hanno avuto un ritardo di tre-cinque giorni. Sotto i 600 m il tiglio nostrano ha spiegato le sue foglie in media il 24 aprile e il tiglio selvatico e l'acero montano il 29 aprile.

In maggio hanno spiegato gli aghi i larici sopra i 1000 m ed entro la fine del mese larici verdi sono stati osservati fino a 1900 m. Lo spiegamento degli aghi dell'abete rosso è iniziato alla fine di aprile alle basse quote e in aprile ha raggiunto una quota di circa 1600 m. In generale gli abeti rossi hanno spiegato gli aghi con un ritardo di due giorni rispetto alla media.

A partire dalla fine di aprile e l'inizio di maggio è iniziata la fioritura delle margherite. Sotto i 600 m essa si è verificata con un anticipo di due giorni rispetto alla media, ma sopra i 1000 m l'anticipo è stato di sette giorni poiché in maggio le temperature erano di nuovo leggermente superiori a quelle del periodo di riferimento 1991–2020. Sopra i 1000 m la fioritura delle margherite è stata osservata in media il 30 maggio.

In maggio i numerosi giorni con precipitazioni hanno reso difficile la fienagione. In pianura il fieno è stato raccolto un po' più spesso da metà maggio e poi soprattutto dal 18 maggio, con due-cinque giorni di ritardo rispetto alla media. Sopra i 1000 m la fienagione ha potuto essere fatta principalmente durante la prima metà di giugno, con tempo prevalentemente soleggiato e asciutto, con un anticipo compreso tra sette e nove giorni rispetto alla media.

La vegetazione ha reagito molto rapidamente alle elevate temperature estive (cfr. capitolo 1 e 5). La fioritura del sambuco nero si è verificata ancora nella norma, ma con un leggero anticipo di tre giorni rispetto alla media. In Ticino è iniziata all'inizio di maggio e sulle pianure del Nord delle Alpi a partire dalla metà del mese. Ad altitudini più elevate il sambuco nero ha beneficiato delle alte temperature e sopra una quota di circa 800 m è fiorito in giugno con un anticipo di una settimana rispetto alla media.

Il tiglio nostrano e il tiglio selvatico sono fioriti con un anticipo di cinque giorni, anche se la loro fioritura rientra per lo più nella classe «normale». La fioritura dei primi tigli nostrani è iniziata alla fine di maggio, mentre la maggior parte delle osservazioni sono state fatte dall'8 al 23 giugno, con un tempo quasi sempre soleggiato e temperature elevate. A partire da questo momento i tigli nostrani sono fioriti soprattutto alle quote comprese tra gli 800 e i 1000 m. La fioritura dei tigli selvatici è avvenuta circa una settimana più tardi di quella dei tigli nostrani.

La maturazione delle bacche del sambuco rosso (nella media di tutte le stazioni il 4 luglio), del sorbo degli uccellatori (11 agosto) e del sambuco nero (16 agosto) ha avuto un anticipo compreso tra tre e undici giorni. La maturazione dei frutti di entrambe le specie di sambuco è osservata dal 1996. Nel 2023 quella del sambuco rosso è risultata la quarta più precoce e quella del sambuco nero la terza più precoce dall'inizio delle osservazioni.

Nel 2023 la vendemmia è stata osservata in 39 stazioni. In media è stata effettuata il 22 settembre con un anticipo di due settimane rispetto alla media del periodo 1991–2020 e una settimana più tardi del 2022, anno in cui la vendemmia è stata la più precoce dall'inizio delle osservazioni.

Per quanto riguarda la colorazione delle foglie, nel 2023 sono stati segnalati casi rari molto precoci in agosto, che vengono spesso osservati soprattutto durante le estati molto asciutte e calde. La colorazione autunnale delle foglie è stata significativamente ritardata principalmente dalle elevate temperature in settembre e ottobre e gli alberi sono rimasti verdi molto a lungo.

Per gli alberi la cui colorazione delle foglie è osservata dal 1996 si è trattato della colorazione più tardiva dall'inizio delle serie di osservazioni. Per il faggio, osservato dal 1951, essa è stata quasi altrettanto tardiva come nel 1980, anno in cui è stata registrata la colorazione delle foglie più tardiva dall'inizio delle osservazioni. Nel 2023 essa è avvenuta con un ritardo di dieci giorni rispetto alla media e per le altre specie con un ritardo di da otto a dodici giorni. Nel 63–76% delle località la colorazione delle foglie è stata classificata come «tardiva» e «molto tardiva» e, tra questi, il 48–60% nella classe «molto tardiva». Per il sorbo degli uccellatori la colorazione delle foglie è iniziata attorno al 20 settembre e nei faggi alla fine di settembre.

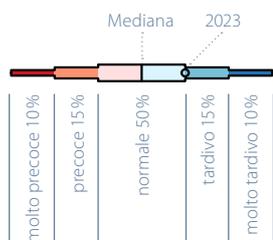
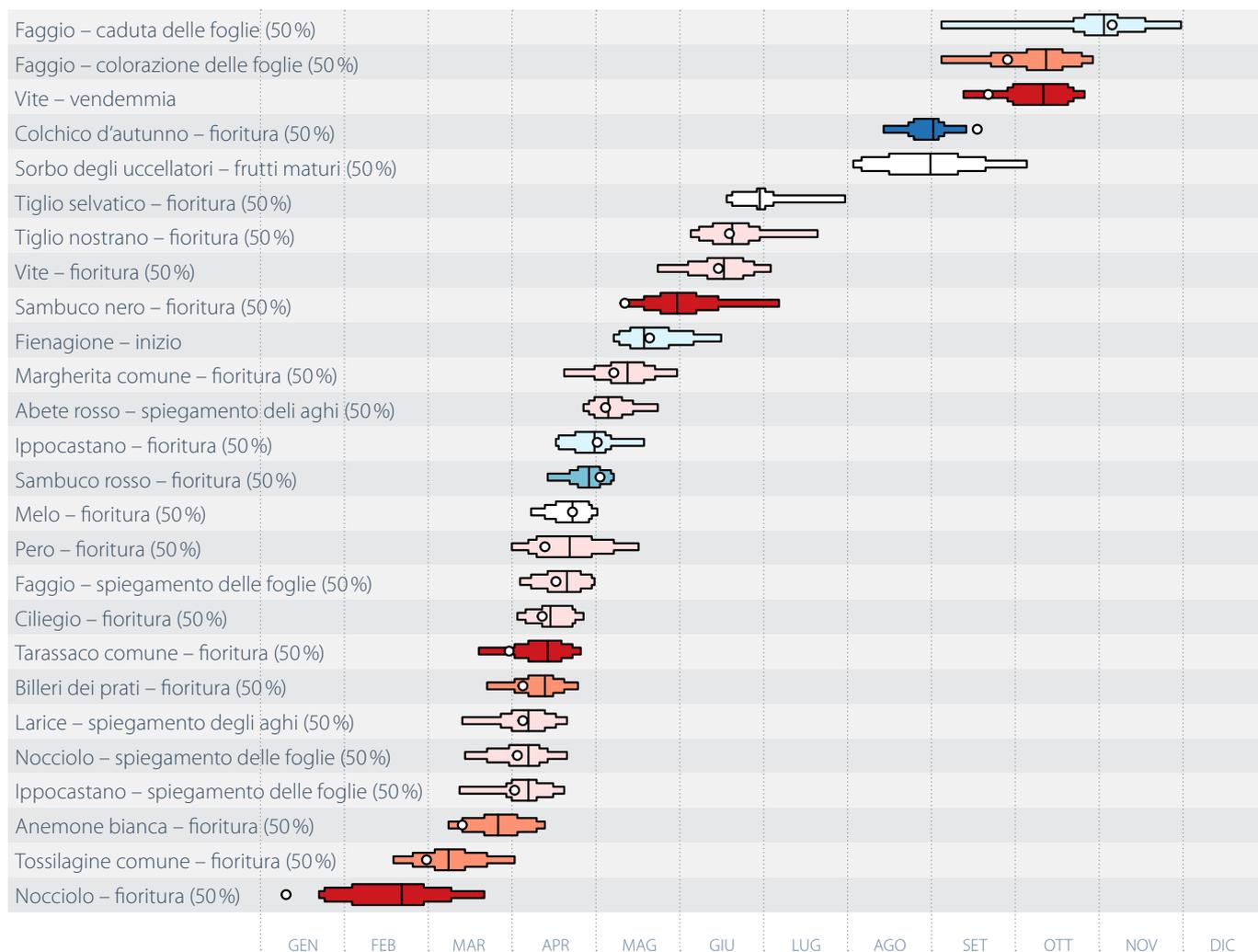
La colorazione delle foglie della betulla bianca, dell'acero montano e dei tigli è iniziata solo all'inizio di ottobre. Quella dei faggi prevalentemente tra la metà e la fine di ottobre. Alle basse quote è stata osservata anche solo durante la prima metà di novembre. Soprattutto nei tigli una colorazione delle foglie così tardiva in novembre è osservata spesso.

Anche la colorazione dei larici si è verificata con un ritardo di circa dieci giorni rispetto alla media, che corrisponde al ritardo più lungo dall'inizio delle osservazioni nel 1996. La loro colorazione è iniziata in alcuni esemplari a metà ottobre in montagna e più diffusamente a partire dal 20 ottobre, come ad esempio in Engadina. In pianura si è verificata solo in novembre, con un massimo attorno alla metà del mese.

In alcune stazioni di osservazione la caduta delle foglie è iniziata a metà ottobre e si è rafforzata a partire dalla fine di ottobre. Durante le tempeste autunnali all'inizio di novembre e di nuovo a metà mese, molti alberi hanno perso le foglie, con un ritardo compreso tra cinque e otto giorni rispetto alla media. La caduta degli aghi dei larici è cominciata alla fine di ottobre, all'inizio di novembre in montagna e a metà novembre alle quote più basse, dove è durata fino a metà dicembre. Nel complesso è avvenuta nove giorni più tardi rispetto alla media e si è trattato della caduta degli aghi più tardiva dall'inizio delle osservazioni.

Figura 2.15

Il calendario fenologico 2023 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 2023. Se per il 2023 manca l’osservazione o essa coincide esattamente con la mediana, il periodo di riferimento rimane bianco.



Stagione pollinica

La stagione pollinica 2023 è iniziata alla fine di dicembre con la fioritura dei noccioli, con un largo anticipo di 3–4 settimane rispetto alla media del periodo 1991–2020. In primavera l'anticipo del polline del frassino, della betulla e delle graminacee è stato di pochi giorni. Un'eccezione è stato l'inizio precoce della stagione pollinica delle graminacee alla fine di marzo in Ticino, che è risultata particolarmente intensa: dal 21 maggio alla fine di giugno le concentrazioni sono state quasi sempre elevate. Durante la tarda estate la concentrazione di polline dell'artemisia è stata piuttosto debole, mentre nella Svizzera occidentale è stata misurata una concentrazione di polline di ambrosia significativamente più alta rispetto alla media. Tuttavia, la maggior parte di questo polline era di provenienza dalla Francia. Di seguito la stagione pollinica 2023 è confrontata con la media del periodo trentennale 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.

 meteosvizzera.admin.ch/servizi-e-pubblicazioni/applicazioni/ext/climate-poll-seasonclim.html

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

La fioritura dei noccioli è iniziata al Nord delle Alpi a partire dalla fine di dicembre con un anticipo di 3–4 settimane rispetto alla media del periodo 1991–2020, risultando tra le più precoci dell'intera serie di misure delle concentrazioni di polline. L'eccezione rispetto agli anni precedenti, è stata la presenza di concentrazioni da moderate a forti di polline di nocciolo durante tutta la prima metà di gennaio. La fioritura molto precoce del nocciolo era dovuta alle temperature molto miti dal 20 dicembre al 15 gennaio. In Ticino lo scarto positivo delle temperature in dicembre non è stato così grande come al Nord delle Alpi, per cui, per una volta, in Ticino la fioritura del nocciolo è iniziata leggermente più tardi rispetto al Nord delle Alpi. A partire dalla metà di gennaio la stagione pollinica del nocciolo è stata interrotta soprattutto a nord delle Alpi a seguito di un marcato abbassamento delle temperature con neve fino alle basse quote. Solo a partire da metà febbraio si è verificata una seconda fase con forti concentrazioni di polline di nocciolo, che è durata fino alla fine di febbraio circa. Durante questa fase i noccioli sono fioriti dalla pianura fino a una quota di oltre 1000 m e le concentrazioni sono state nettamente più alte di quelle rilevate durante la prima metà di gennaio.

A nord delle Alpi il primo polline di ontano è stato registrato contemporaneamente a quello di nocciolo alla fine di dicembre. Il primo giorno con forti concentrazioni di polline di ontano è stato registrato solo il 3 febbraio in Ticino e il 18 febbraio a nord delle Alpi, poco dopo che la temperatura massima giornaliera ha superato i 10°C.

In Ticino questa data si situa quasi una settimana prima della media del periodo di riferimento trentennale, a nord delle Alpi è invece stata in linea con la media. La stagione principale si è concentrata nelle giornate miti della seconda metà di febbraio. All'inizio di marzo solo in poche stazioni di misura sono ancora stati registrati singoli giorni con forti concentrazioni di polline di ontano.

Stagione pollinica del frassino e della betulla

La stagione pollinica della betulla è iniziata con un anticipo di pochi giorni rispetto alla media. In Ticino è iniziata tra il 20 e il 23 marzo con un rapido aumento a forti concentrazioni e al Nord delle Alpi tra il 25 e il 30 marzo, anche se i primi giorni con forti concentrazioni sono stati registrati a partire dalla fine di marzo. Il tempo fresco e piovoso di aprile è indubbiamente stato apprezzato dalle persone che soffrono di un'allergia ai pollini. Al Nord delle Alpi il polline di betulla è stato regolarmente dilavato dalle precipitazioni: dopo due o tre giorni con forti concentrazioni di polline, esse sono di nuovo scese a valori da deboli a moderati. Sono inoltre stati misurati solo pochi giorni con concentrazioni molto forti. A sud delle Alpi e in Vallese, invece, il carico di polline di betulla è stato spesso elevato fino alla fine di aprile circa. Giorni con una forte concentrazione di polline sono stati misurati fino alla fine di aprile e l'inizio di maggio. La somma stagionale delle concentrazioni giornaliere di polline è stata più bassa della norma. Questo era previsto in quanto, dopo la fioritura molto intensa dell'anno precedente, gli alberi hanno sviluppato un numero di amenti nettamente inferiore.

In Ticino la stagione pollinica del frassino è iniziata tra il 10 e il 12 marzo, pochi giorni prima della data media del periodo normale 1991–2020, e al Nord delle Alpi tra il 17 e il 23 marzo, a seconda della stazione di misura con un anticipo da tre a nove giorni rispetto alla media. L'inizio della stagione è coinciso con una fase mite e per lo più asciutta in marzo. Prima della fioritura dei frassini locali sono stati registrati singoli giorni con concentrazioni deboli e in parte moderate di polline di frassino, che è stato trasportato fino in Svizzera su lunghe distanze dai venti sud-occidentali. La stagione pollinica del frassino è stata un po' più debole della media. Al Nord delle Alpi il carico di polline è stato ripetutamente interrotto dalle precipitazioni. La più forte concentrazione di polline risale alla fine di marzo e ai giorni di Pasqua dal 9 all'11 aprile.

Stagione pollinica delle graminacee

La stagione pollinica delle graminacee è iniziata già alla fine di marzo in Ticino. Negli ultimi anni è stato osservato più spesso un inizio precoce con un anticipo di 2–3 settimane rispetto alla media. A partire dalla seconda metà di aprile in Ticino la concentrazione di polline ha raggiunto valori elevati. Al Nord delle Alpi il polline delle graminacee è stato rilevato regolarmente verso la fine di aprile, con solo pochi giorni di anticipo rispetto alla media. Poiché in maggio è piovuto spesso, fino a metà mese le concentrazioni sono rimaste moderate, salvo qualche eccezione.

Con l'aumento delle temperature e molte giornate soleggiate, a partire dal 21 maggio le concentrazioni di polline delle graminacee sono esplose. I prati erano ben sviluppati grazie alla sufficiente umidità del suolo ed erano ovunque in piena fioritura. A causa del tempo piovoso non avevano potuto essere falciati prima. Inoltre, la bise ha contribuito a disperdere efficacemente il polline. È iniziata una fase molto lunga fino alla fine di giugno con concentrazioni forti e molto forti quasi costantemente, che hanno causato reazioni allergiche estremamente forti nelle persone toccate da questo problema. La maggior parte delle stazioni di misura al Nord delle Alpi ha registrato un numero molto elevato di giorni con una forte concentrazione di polline.

A partire dal mese di luglio le concentrazioni di polline sono diminuite, anche se i valori soglia per una concentrazione forte sono ancora stati superati in singoli giorni fino alla fine del mese. Anche se non è possibile confrontare in modo univoco l'intensità della stagione pollinica con le misure manuali, ci sono indicazioni che al Nord delle Alpi la stagione pollinica delle graminacee sia stata tra le più intense mai registrate.

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 è stata effettuata con i dati della misurazione manuale, che nel 2023 è stata fatta parallelamente a quella automatica.

Nella stazione di misura di Visp dal 24 luglio al 4 settembre sono stati misurati complessivamente 19 giorni con una forte concentrazione di polline di artemisia, sei giorni in meno rispetto alla media del periodo di riferimento 1991–2020. In tutte le altre stazioni di misura sono state rilevate al massimo tre giorni con concentrazioni moderate di polline. La concentrazione è stata pertanto più debole della norma soprattutto nella Svizzera occidentale e in Ticino. Nella Svizzera tedesca la concentrazione di polline è risultata da molto debole a normale.

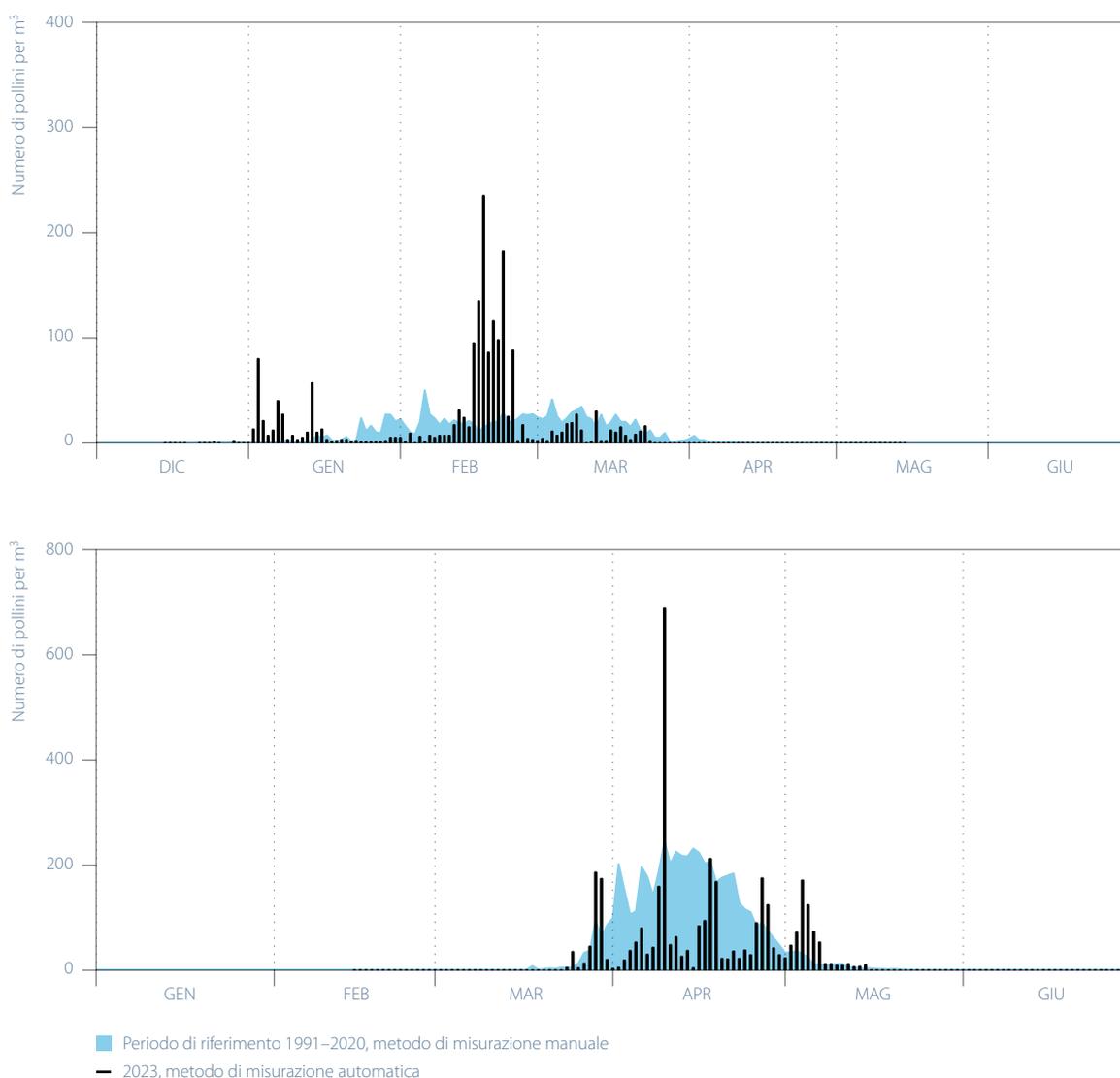
Nella Svizzera occidentale la concentrazione di polline dell'ambrosia è stata più forte rispetto alla media del periodo di riferimento trentennale 1991–2020. A Ginevra sono stati misurati 12 giorni con una concentrazione forte (sette giorni in più della media), a Losanna e a Neuchâtel tre giorni e nella stazione supplementare di Meyrin dieci giorni. Nella maggior parte dei casi si è trattato di polline di ambrosia proveniente dalla Francia, che è stato trasportato verso la Svizzera dai venti sud-occidentali. Ciò è evidente analizzando i dati di La Chaux-de-Fonds, dove le piante di ambrosia non crescono in virtù dell'altitudine e tutti i pollini rilevati sono pertanto portati dal vento. A La Chaux-de-Fonds sono stati registrati sei giorni con una forte concentrazione di pollini, cinque in più rispetto alla media. Qui la somma stagionale delle concentrazioni giornaliere di polline (Saisonale Pollenintegral, SPI) è stata di 159 ed è stata la più alta dall'inizio delle misure nel 1987. A Ginevra la SPI è stata, con 348, la terza più alta dall'inizio delle misure nel 1979, come pure a Meyrin, con 378, dove le misure sono iniziate nel 2001. Benché la maggior parte dei pollini provenisse dalla Francia, non è possibile escludere che anche le piante della regione di Ginevra abbiano contribuito a questa concentrazione.

Nella Svizzera tedesca le concentrazioni sono state nettamente inferiori. Diverse stazioni hanno rilevato solo un giorno con una forte concentrazione di pollini, il 12 settembre, giorno in cui le temperature erano elevate e soffiava un vento da sud-ovest. A nord delle Alpi le maggiori concentrazioni di polline di ambrosia sono state registrate dal 14 agosto al 12 settembre.

Dal 2013 nell'Italia settentrionale e in Ticino il carico di polline è diminuito notevolmente a causa della presenza di un coleottero (*Ophraella communa*) che causa gravi danni alle piante di ambrosia. A Lugano e Locarno nel 2023 sono stati registrati cinque giorni con una forte concentrazione di polline di ambrosia. Il carico di polline è pertanto risultato più debole rispetto alla media pluriennale, ma paragonabile alle concentrazioni rilevate dal 2013. Presso la stazione specializzata nel monitoraggio del polline di ambrosia di Mezzana, nel Ticino meridionale, sono stati registrati 18 giorni con una forte concentrazione di polline di ambrosia, per lo più trasportato dall'Italia. Tuttavia, il valore soglia per considerare la concentrazione elevata è stato superato solo da pochi pollini e raramente sono state raggiunte concentrazioni molto elevate.

Figura 2.16

Andamento delle misure automatiche nel 2023 del polline di nocciolo a Buchs SG (in alto) e del polline di betulla a Losanna (in basso) rispetto alla media trentennale 1991–2020 della misurazione manuale (in turchese). A Buchs SG le concentrazioni di polline di nocciolo sono state da moderate a forti durante la prima metà di gennaio. Dopo l'abbassamento delle temperature, a partire da metà febbraio si è verificata una seconda fase con la presenza di pollini di nocciolo. A Losanna i dati mostrano chiaramente che la stagione pollinica della betulla è stata ripetutamente interrotta da tempo fresco e piovoso. Perciò la concentrazione di polline di betulla è stata inferiore alla media. 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 2023

42



Figura 3.1

Traliccio elettrico a La Chaux-de-Fonds spezzato dal temporale.

3.1 Temporale estremo nel Giura

Il 24 luglio verso mezzogiorno, in corrispondenza con il passaggio di un forte temporale, a La Chaux-de-Fonds sono state registrate raffiche di vento estreme. La stazione di misura di MeteoSvizzera presso l'aeroporto ha misurato una raffica su 1 secondo di 217 km/h. Un'altra stazione di misura al di fuori della città (Mont Cornu), gestita dall'aeroporto, ha misurato 165 km/h come raffica su 3 secondi.

Danni ingenti

La tempesta, presumibilmente un cosiddetto «downburst», ha provocato una vittima e 40 feriti. Numerosi edifici sono stati danneggiati, alcuni anche in modo grave. Gli alberi si sono spezzati o sono stati sradicati. Molti veicoli sono stati danneggiati dalla caduta di alberi o parti di edifici. La tempesta ha fatto cadere una gru edile e ha spezzato il pilone di una linea elettrica ad alta tensione (Figura 3.1). Anche l'infrastruttura ferroviaria è stata gravemente colpita. I collegamenti ferroviari sono stati interrotti.

Valutazione delle raffiche estreme

Con il valore misurato di 217 km/h è stato superato di poco il limite di applicazione indicato dal produttore dello strumento di misura. Tuttavia, il quadro generale della situazione meteorologica, la sequenza degli eventi, l'installazione e la manutenzione della stazione di misura, il controllo della qualità dei dati operativi, nonché il confronto con le misurazioni effettuate nelle vicinanze dell'aeroporto e l'aspetto dei danni sul posto fanno apparire plausibile il valore misurato.

A causa della progettazione tecnica dello strumento di misura, tuttavia, il valore misurato è associato a un'incertezza che probabilmente è almeno dell'ordine del 10%. Secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM), tale incertezza nella misura delle raffiche di vento rientra nella «achievable measurement uncertainty».

Così forte non per la prima volta

Nel pomeriggio del 12 giugno 1926, un temporale estremamente violento passò non lontano dalla città di La Chaux-de-Fonds. Il suo percorso mostrava un caratteristico orientamento quasi rettilineo SW-NE, che faceva pensare a un tornado, che coprì una distanza di 22 chilometri. Un bambino di otto anni, che viaggiava con la madre, è stato scaraventato in aria dalla tempesta con tale violenza da soccombere per le ferite riportate. Sua madre e diverse altre persone sono rimaste gravemente ferite. La tempesta ha lasciato dietro di sé case distrutte e aree forestali disboscate.

Il Giura è stato colpito più volte da tornado di grandi dimensioni. Probabilmente l'evento più documentato è stato quello del 26 agosto 1971 nella Vallée de Joux [5]. Il tornado ha lasciato nella foresta una traccia praticamente ininterrotta di circa 20 chilometri. Le fotografie aeree dei danni mostrano chiaramente i tronchi d'albero che giacciono al suolo in una disposizione vorticoso. Il tornado ha colpito un totale di 79 edifici, 18 dei quali in modo grave; alcuni di essi sono stati completamente distrutti. Mentre attraversava un campeggio, il tornado ha scagliato una roulotte sopra le cime di abeti a 30 metri di distanza. Diverse auto che si trovavano sul suo percorso sono state schiacciate e parzialmente distrutte. Esistono immagini impressionanti dell'evento.

Con il tornado del 1971, si è ripetuto in modo praticamente identico l'evento del 19 agosto 1890. Entrambi i tornado hanno seguito lo stesso percorso. Le fotografie degli edifici e delle foreste distrutte nel 1890 documentano che la Vallée de Joux è stata colpita più o meno con la stessa forza sia nel 1890 sia nel 1971.

3.2 Ondata di caldo in agosto

Con il passaggio a un periodo soleggiato caratterizzato da un'alta pressione, a partire dall'11 agosto 2023 le massime giornaliere su entrambi i versanti delle Alpi sono salite inizialmente a 30°C e in alcune zone anche oltre. Dal 14 agosto la soglia dei 30°C è stata ampiamente raggiunta o superata. Dal 19 al 23 agosto in alcune regioni sono state registrate massime giornaliere di 35–37°C su entrambi i versanti delle Alpi. La Svizzera non ha mai vissuto un periodo di caldo così lungo e intenso in questo periodo dell'anno, né sul versante nord delle Alpi né su quello sud.

Apice del caldo

Il caldo ha raggiunto il suo apice il 24 agosto. Le massime giornaliere hanno raggiunto 35°C o più in molte località, raggiungendo localmente 38 e oltre 39°C nella Svizzera occidentale. In 27 località con serie di misurazioni lunghe sono stati stabiliti nuovi record per il mese di agosto. In otto stazioni è stata registrata la temperatura più alta in assoluto dall'inizio delle misurazioni.

La temperatura più alta è stata registrata a Ginevra-Cointrin con 39,3°C. Si tratta della temperatura più alta mai misurata in agosto sul versante nord delle Alpi e nel Vallese. Il 7 luglio 2015 il sito di misurazione di Ginevra-Cointrin aveva registrato 39,7°C, solo pochi decimi di grado in più. Si è trattato della seconda temperatura più alta della Svizzera. Il record svizzero è detenuto da Grono con 40,5°C misurati l'11 agosto 2003.

Periodo caldo estremo di 14 giorni

Ginevra e Sion hanno vissuto il secondo periodo caldo di 14 giorni più intenso (Figura 3.2). A Ginevra la temperatura massima giornaliera mediata su 14 giorni ha raggiunto 34,8°C, a Sion 34,1°C. In entrambe queste località solamente nella leggendaria estate del 2003 ci fu ancora più caldo per 14 giorni consecutivi, con 35,2°C a Ginevra e 35,0 a Sion.

Giornate tropicali in montagna

L'ondata di caldo ha provocato giornate tropicali con 30°C o più fino ad altitudini di media montagna. Disentis, nel Cantone dei Grigioni, ad un'altitudine di 1197 metri, ha registrato 5 giornate tropicali consecutive. Il 24 agosto, la massima giornaliera ha raggiunto i 33,5°C, valore più elevato dall'inizio delle misurazioni nel 1959.

Montana, in Vallese ad una quota di 1423 m, il 24 agosto ha raggiunto i 31,5°C, superando di 0,3 decimi di grado il primato precedente registrato solamente nel precedente mese di luglio.

Figura 3.2
I periodi caldi di 14 giorni più intensi (media delle temperature massime giornaliere) per ogni anno a Ginevra dall'inizio delle misure nel 1864. Il periodo caldo di 14 giorni di agosto 2023 ha raggiunto 34,8°C (secondo valore più elevato).

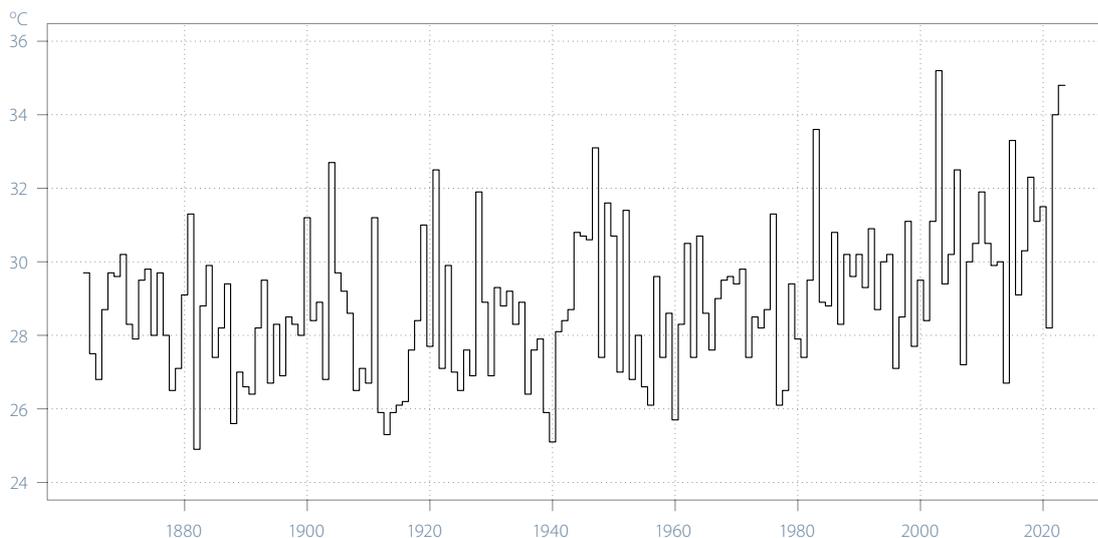




Figura 3.3

Livello elevato delle acque a Domat/Ems il 27 agosto 2023.

Foto segnalazione app MeteoSvizzera.

Nei mesi di agosto, settembre e dicembre si sono verificati tre eventi di precipitazioni intense con notevoli accumuli di pioggia su 1–3 giorni. In agosto e in settembre le regioni più colpite sono state la Svizzera orientale e i cantoni Grigioni e Ticino. In dicembre, invece, ad esse più colpita è stata la Svizzera centro-occidentale.

In agosto numerosi record

Dopo l'ondata di caldo tardiva (19–24 agosto), a partire dal 25 agosto aria umida, mite e instabile è affluita da sudovest verso la Svizzera, provocando forti temporali soprattutto a sud delle Alpi. Il 25 agosto un forte temporale ha causato una grandinata eccezionale sul Locarnese, lasciando dietro a sé molti danni. Fra il 26 e il 29 agosto dapprima in Ticino, poi anche nei Grigioni e sulla Svizzera orientale sono cadute piogge abbondanti (figura 3.3). La somma delle precipitazioni su 3 giorni ha raggiunto in modo esteso più di 200 mm. A Biasca, Safien-Platz, Innerferera, Brülisau ed Eggersriet precipitazioni così abbondanti sono attese in media una o due volte ogni 100 anni, A Vaduz e Kronberg addirittura meno di una volta ogni 100 anni.

Settembre piovoso a sud delle Alpi e nella Svizzera orientale

Nella seconda metà del mese il Ticino, i Grigioni e la bassa valle del Reno sono stati interessati da precipitazioni abbondanti. Tra il 21 e il 22 settembre, una linea stazionaria di forti precipitazioni tra le Centovalli e la Leventina ha portato a totali giornalieri di 150–250 mm, con picchi

su 12 ore di 300–350 mm misurati a livello locale. Nei vicini Grigioni, e successivamente anche nella regione dell'Alpstein, sono caduti 70–100 mm su un'ampia area, soprattutto il 22 settembre. In molte stazioni i periodi di ritorno di queste precipitazioni sono stati di 3–8 anni e localmente di 8–15 anni.

In dicembre piogge soprattutto all'Ovest

A dicembre si sono verificati due periodi di forti precipitazioni. Il primo evento di precipitazioni intense si è verificato tra l'8 e il 15 dicembre. La Svizzera è stata interessata da una corrente da ovest a nord-ovest, che ha favorito un continuo apporto di masse d'aria miti e umide. Questo ha portato a grandi quantità di precipitazioni nella Svizzera occidentale e centrale, cadute tra il 9 e il 13 dicembre. In questi 4 giorni sono stati misurati totali di precipitazioni compresi tra 100 e 120 mm. In molte stazioni, i totali dei 4 giorni hanno raggiunto valori che statisticamente si raggiungono solo ogni 5–10 anni. Ad Adelboden sono stati misurati 120,7 mm, che corrispondono a un evento atteso solo ogni 10–25 anni.

Tra il 21 e il 23 dicembre, una forte corrente da nord ha causato grandi quantità di precipitazioni, soprattutto nella Svizzera orientale e nel nord dei Grigioni. Tuttavia, più di 50 mm sono stati misurati solo localmente, il che significa che le quantità di precipitazioni non possono essere descritte come statisticamente eccezionali.

3.4 Nubi stratosferiche polari sulla Svizzera meridionale

Tra il 21 e il 23 dicembre, il flusso prevalente da nord-ovest sopra menzionato ha causato non solo precipitazioni a nord della dorsale alpina principale, ma anche onde orografiche sopra e a sud delle Alpi. Insieme a una parte inferiore della stratosfera significativamente più fredda del solito, questo ha portato a un fenomeno piuttosto raro alle nostre latitudini.

Bassa stratosfera fredda

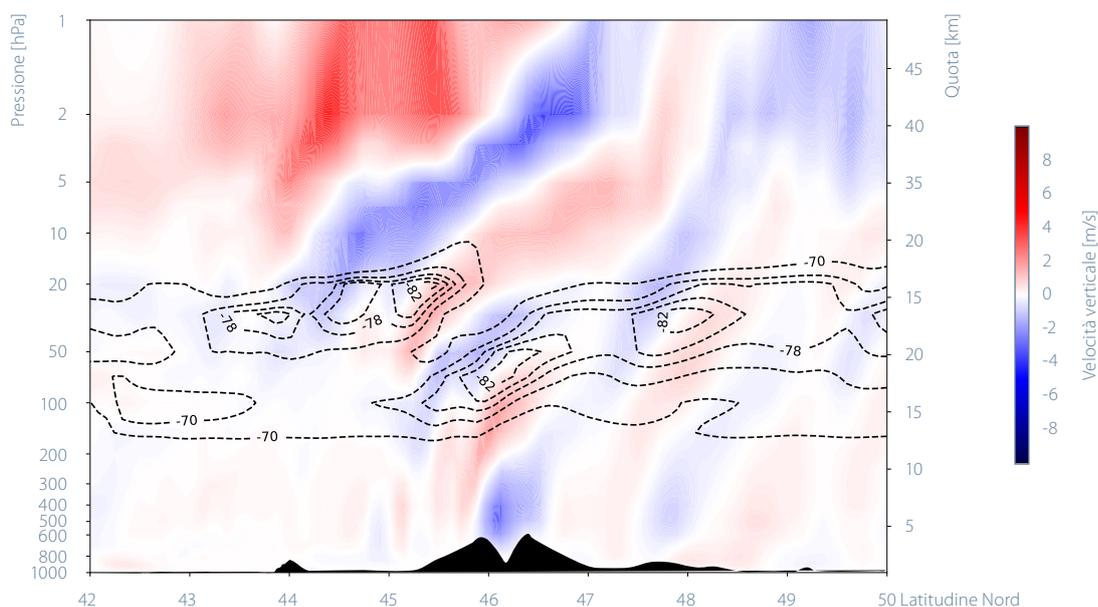
In inverno, nella stratosfera si forma una zona con vento permanente da ovest: il vortice polare. Nella media invernale a lungo termine, questo vortice è solitamente centrato sul Polo Nord e quindi impedisce il mescolamento delle masse d'aria fredda artica con quelle più calde che si troverebbero più a sud. Nel dicembre del 2023, tuttavia, il vortice era più asimmetrico del solito: esso era più debole sulla Siberia orientale e sull'Alaska occidentale rispetto al Nord Atlantico e alla Scandinavia [6]. Ciò è stato associato a una forte anomalia di temperatura: tra l'8 e il 22 dicembre, essa è stata in media di 11–13 °C più elevata della media a lungo termine (1991–2020) a un'altitudine di circa 24 km (30 hPa) sul Mare di Beaufort, mentre 9–11 °C in meno sono stati registrati sul Nord Atlantico. Questa anomalia termica negativa ha raggiunto il picco il 22 dicembre su un'area che si estende dall'Islanda alla Bretagna, con valori inferiori di quasi 20 °C rispetto alla media a lungo termine.

Il favonio da nord e la corrente a getto provocano la formazione di onde

In quel momento, a più di 10 chilometri di altezza nella nostra atmosfera, la posizione della corrente a getto, che soffiava quasi perpendicolarmente sull'arco alpino, e un forte gradiente di pressione nord-sud hanno creato una situazione meteorologica di favonio da nord. Come spesso osservato in altri giornate favoniche, anche il 22 dicembre in Ticino si sono formate nubi lenticolari a causa delle onde orografiche. Queste erano particolarmente visibili durante il giorno per il loro aspetto cangiante (Figura 3.5). Dopo il tramonto, tuttavia, alcune nubi orografiche sono rimaste visibili più a lungo, il che ha fatto supporre che le nubi potessero formarsi localmente anche a quote molto più elevate.

Il 22 dicembre, a causa di vari fattori, le onde orografiche si sono estese molto nella stratosfera. In concomitanza con l'anomalia di temperatura negativa descritta in precedenza, si sono formate delle "lenti d'aria fredda" localizzate nelle zone ascendenti delle onde, illustrate nella Figura 3.4. Queste sono state causate dal fatto che le masse d'aria già molto fredde nelle zone sopravento (aree evidenziate in blu) sono state ulteriormente raffreddate diabaticamente, raggiungendo così temperature ben inferiori a -80 °C nelle analisi del modello. Ciò è stato confermato anche dalla sonda di temperatura di Payerne il 22 dicembre alle 23.00 UTC, che ha registrato valori inferiori a -88 °C a 24 km di altitudine (a causa del flusso nord-occidentale, questi valori sono stati misurati nella zona di Milano).

Figura 3.4
Profilo verticale lungo l'ottavo meridiano, analisi del modello ECMWF per il 22 dicembre 2023 alle 18 UTC fra 42 °N e 50 °N. Rosso/blu: vento verticale. Linee tratteggiate: temperatura in °C. In basso viene rappresentata anche l'orografia lungo la sezione verticale.



Stratosfera secca

Per varie ragioni, il contenuto di vapore acqueo nella stratosfera è estremamente basso, il che significa che la formazione di nubi a queste altitudini è possibile solo in condizioni molto particolari. A temperature sufficientemente basse, non si condensa solo il poco vapore acqueo, ma anche una serie di altre sostanze normalmente presenti nella stratosfera in forma gassosa. Tra queste, ad esempio, l'acido nitrico. A temperature inferiori a -78°C , una molecola di acido nitrico cristallizza con tre molecole d'acqua per formare il cosiddetto acido nitrico triidrato, o «NAT». Con il passare del tempo, si forma una quantità sempre maggiore di NAT, che porta alla formazione di nubi stratosferiche polari simili a veli. Se la temperatura sale nuovamente sopra i -78°C , queste nubi stratosferiche si dissipano rapidamente. Tuttavia, se la temperatura scende ulteriormente e raggiunge valori inferiori a -85°C , si possono formare anche nubi di cristalli di ghiaccio puro [7]. Essendo costituite da cristalli di ghiaccio sferici relativamente grandi (circa 10 milionesimi di metro), esse rifrangono la luce solare incidente, dando luogo a uno spettacolare bagliore madreperlaceo. Tali nubi stratosferiche polari sono particolarmente visibili nelle prime ore del mattino e della sera.

Avvistamenti straordinari

A causa delle condizioni estreme necessarie per la formazione delle nubi stratosferiche polari, la loro osservazione alle medie latitudini è rara anche in inverno ([8], [9]). Tuttavia, le temperature significativamente inferiori alla media nella bassa stratosfera, le strutture ad onde orografiche stratosferiche fortemente pronunciate e l'apporto di vapore acqueo stratosferico dovuto all'eruzione del vulcano Hunga Tonga-Hunga Ha'apai nel gennaio 2022 [10] hanno fornito condizioni potenzialmente ottimali per la loro formazione sull'Italia settentrionale. L'analisi dei dati modellistici (Figura 3.4), i rilevamenti con palloni aerostatici e i calcoli di triangolazione basati sulle immagini delle webcam suggeriscono quindi che le osservazioni nel Piemonte nord-occidentale erano in realtà nubi stratosferiche polari.



Figura 3.5

Nubi iridescenti al tramonto il 23 dicembre in Ticino.

4 Andamento meteorologico e climatico globale

Su scala globale il 2023 è stato di gran lunga l'anno più caldo dall'inizio delle misure nel 1850. Con una deviazione di +1,1 °C rispetto alla norma del periodo 1961–1990, nel set di dati HadCRUT5 il 2023 è stato più caldo di quasi 0,2 °C rispetto al precedente anno record risalente al 2016. Dopo che nei due anni precedenti 2021 e 2022 aveva predominato un'intensa situazione La Niña, nel corso del 2023 sopra il Pacifico equatoriale la situazione si è capovolta. Le alte temperature degli oceani hanno contribuito anche alle alte temperature dell'aria a livello globale. La sintesi riportata di seguito si basa principalmente sul rapporto annuale sullo stato del clima dell'Organizzazione meteorologica mondiale (OMM) [11], sul Global Climate Highlights 2023 di Copernicus/ECMWF [12] e sul Global Climate Report della National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA) [13] e sulle fonti in essi contenute.

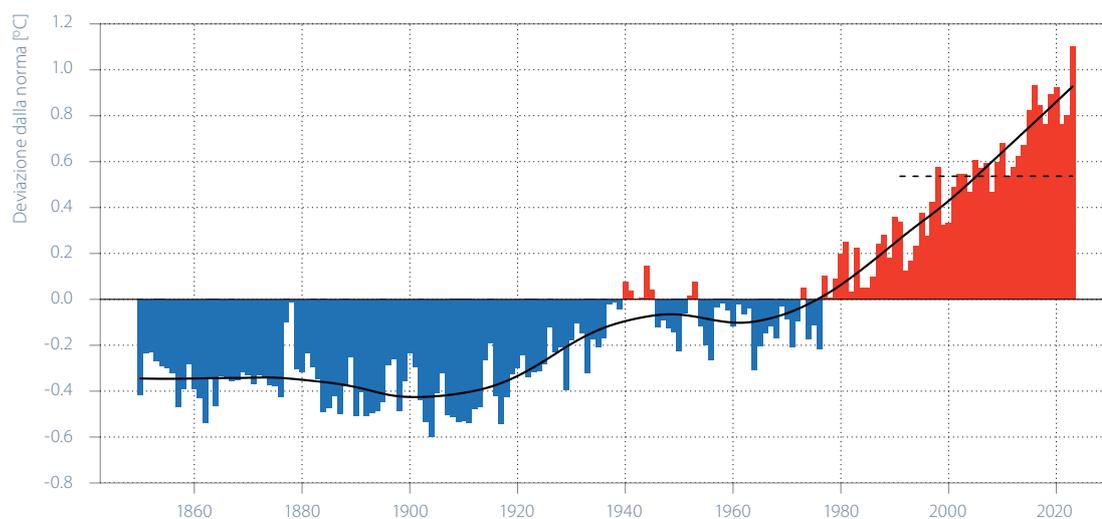
4.1 Anno eccezionalmente caldo in tutto il mondo

In base al set di dati HadCRUT5 della University of East Anglia (GB), la temperatura media annuale globale del 2023 ha mostrato una deviazione di +1,1 °C rispetto alla norma del periodo 1961–1990 (+0,6 °C rispetto alla norma 1991–2020) e ha pertanto raggiunto un valore massimo mai registrato dal 1850 (Figura 4.1). Gli ultimi nove anni dal 2015 sono stati i più caldi dall'inizio delle misure.

Quasi in tutto il mondo sono state registrate temperature ben oltre la media del periodo 1961–1990. In Nordamerica il 2023 è stato l'anno più caldo dall'inizio delle misure. Nella parte occidentale degli Stati Uniti sono state raggiunte deviazioni di 1,5–3 °C rispetto alla norma 1961–1990, nelle regioni meridionali del Canada in modo esteso di 2–3 °C, in quelle settentrionali di oltre 3 °C. Anche in Sudamerica e in Africa è stato l'anno più caldo mai rilevato.

Particolarmente caldo è stato altresì nell'Europa Centrale e in molte zone dell'Asia il 2023, con deviazioni di 2–3 °C nella maggior parte delle regioni, nella Siberia settentrionale addirittura di oltre 3 °C. In entrambi questi continenti si è trattato del secondo anno più caldo dall'inizio delle misure. Un po' meno estreme, ma comunque superiori alla media, sono state le temperature annue in Oceania e in Antartide. Temperature leggermente inferiori alla media sono state misurate solo nella Terra del Fuoco e a ovest di essa nel Pacifico meridionale, sulle coste occidentali e meridionali dell'Australia e in alcune zone dell'Antartide.

In base al set di dati della University of East Anglia [14], 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 °C ed è quindi solo di due decimi di grado inferiore all'obiettivo climatico dell'Accordo di Parigi del 2015. Secondo l'OMM, in sei set di dati globali la temperatura media della scorsa decade 2014–2023 è di 1,2 °C superiore alla media del 1850–1900. 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).



Set di dati: University of East Anglia, [14], HadCRUT5.

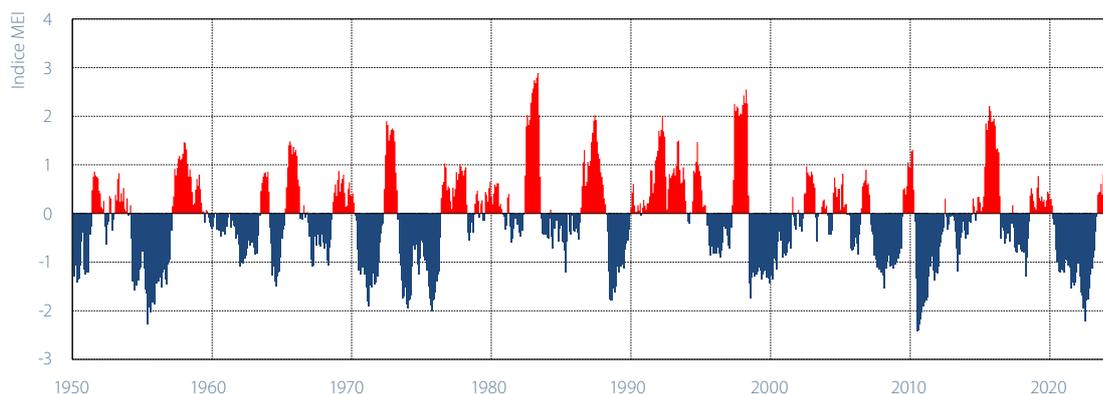
Figura 4.1

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.

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 più verificate fasi di El Niño particolarmente marcate. Negli anni 2020–2022 ha invece dominato un'intensa situazione La Niña. Nel 2023 le condizioni nel Pacifico meridionale equatoriale hanno iniziato lentamente ad evolvere in una fase El Niño. A partire da aprile i valori dell'indice MEI sono risultati positivi. Questo cambiamento spiega sicuramente in parte le elevate temperature globali degli oceani e dell'aria nel 2023.



I dati sono disponibili in [15].

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.

Caldo e siccità

Una delle ondate di caldo più marcate si è verificata durante la seconda metà di luglio nelle regioni attorno al Mediterraneo. Il 24 luglio 2023 in Sardegna è stata raggiunta una temperatura di 48,2°C. Questo valore è solo di 0,6°C inferiore al record europeo registrato in Sicilia del 2021. Nello stesso periodo ad Algeri (Algeria) sono stati registrati 49,2°C, a Tunisi (Tunisia) 49,0°C, ad Agadir (Marocco) 50,4°C e a Tirana (Albania) 43,0°C. In agosto ci sono state altre ondate di caldo interregionali nell'Europa sud-orientale e nell'Europa occidentale e centrale.

In Grecia tra la fine di agosto e l'inizio di settembre sono scoppiati incendi di bosco che in seguito si sono rivelati ricoprire la più vasta area dell'UE interessata da un incendio dall'inizio delle registrazioni. Anche in Canada la stagione degli incendi di bosco è stata di gran lunga più violenta delle precedenti. È iniziata in aprile ed è durata fino all'inizio dell'autunno. La superficie bruciata è di sei volte superiore alla superficie media del periodo decennale del periodo 2013–2022. In giugno gli incendi canadesi hanno causato anche un grave inquinamento atmosferico fino agli Stati nord-orientali degli Stati Uniti d'America. Il maggior numero di vittime è stato causato da un violento incendio alle Hawaii.

Nell'Africa nord-occidentale, nella penisola iberica e in alcune zone dell'Asia centrale e sud-occidentale, la siccità che perdurava da molto tempo è continuata anche nel 2023. Nell'America centrale, nelle regioni settentrionali del Sudamerica e in quelle meridionali dell'America settentrionale la siccità si è addirittura intensificata in determinate zone. Nella parte subtropicale le precipitazioni da gennaio ad agosto sono state in alcune regioni dal 20 al 50% inferiori alla media e in alcune regioni il 2023 è stato il quarto anno consecutivo con quantitativi di precipitazione nettamente inferiori alla media.

In tutto il Corno d'Africa la siccità e le successive precipitazioni intense durante la stagione delle piogge hanno costretto milioni di persone a lasciare le loro case. La siccità ha ridotto la capacità del terreno di assorbire l'acqua, aumentando il pericolo di inondazioni con l'arrivo delle piogge in aprile e in maggio. La regione maggiormente toccata si estende dalla Somalia all'Etiopia al Kenya. Durante la stagione delle piogge (ottobre e novembre) in queste regioni sono caduti quantitativi compresi tra 100 e 200 mm, che sono di gran lunga superiori alle medie pluriennali. Di conseguenza nei tre Paesi ci sono state diverse centinaia di vittime.

Precipitazioni intense e inondazioni

Una tempesta particolarmente violenta in termini di numero di vittime si è abbattuta sulle regioni attorno al Mediterraneo nel settembre 2023. Un ciclone tropicale mediterraneo (denominato medicane) ha causato precipitazioni estreme in Grecia, nella Bulgaria meridionale e in alcune regioni della Turchia. A nord di Atene, presso la stazione di misura di Zagora Pelion, il 5 settembre è stato registrato un quantitativo di precipitazione giornaliero di 759,6 mm e nei cinque giorni dal 4 all'8 settembre complessivamente 1096,2 mm. In seguito il medicane si è spostato lentamente verso la Libia e dal 10 all'11 settembre ha portato un quantitativo di precipitazione complessivo di 414,1 mm in 24 ore. Le precipitazioni intense hanno provocato inondazioni estreme e migliaia di vittime.

Nel 2023 anche alcuni cicloni tropicali hanno causato ingenti danni. Il ciclone tropicale Freddy è stato uno dei cicloni più longevi dall'inizio delle osservazioni. Si è sviluppato il 6 febbraio al largo della costa occidentale dell'Australia e ha colpito il Mozambico l'11 marzo. In Malawi e Mozambico le precipitazioni estreme hanno causato numerosi sfollati e vittime.

Un violento ciclone tropicale ha colpito il Bangladesh e il Myanmar. Anche la Nuova Zelanda è stata interessata da precipitazioni intense con quantitativi di 500 mm a seguito di una tempesta.

Temperature marine elevate

Durante tutto il 2023 le temperature della superficie del mare sono state eccezionalmente elevate e a partire dall'aprile 2023 – con l'inizio della fase El Niño nel Pacifico tropicale – sono aumentate ulteriormente ogni mese. Le elevate temperature nella maggior parte dei mari, in particolare nell'Atlantico settentrionale, hanno giocato un ruolo importante per le temperature da record a livello globale della superficie del mare. I valori senza precedenti erano legati a ondate di caldo in tutto il mondo, come in alcune zone del Mediterraneo, nel Golfo del Messico e nei Caraibi, nell'Oceano indiano e nel Pacifico settentrionale, come pure in vaste zone dell'Atlantico settentrionale.

Banchisa

I satelliti rilevano una continua diminuzione dell'estensione della banchisa artica dal 1979. Nell'ambito della serie di misure di 45 anni l'estensione massima annuale è la quinta più ridotta, con una superficie pari a 14,62 mio. km² il 6 marzo 2023. L'estensione minima annuale di 4,23 mio. km² è stata raggiunta il 19 settembre e corrisponde alla sesta più ridotta dall'inizio delle misurazioni satellitari.

Il 21 febbraio 2023 la banchisa antartica ha raggiunto di nuovo, con 1,79 mio. km², un minimo storico, dopo il record del 2022. All'inizio della stagione di crescita l'estensione della banchisa era inferiore alla media e in maggio ha raggiunto il minimo assoluto. La crescita lenta è proseguita con estensioni eccezionalmente ridotte tra luglio e ottobre. L'estensione massima del 2023 è stata raggiunta il 10 settembre ed è pari a 16,96 mio. km², circa 1 mio. km² inferiore al record minimo del 1986.



5 Monitoraggio climatico

54

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 [16]. Vengono trattati i settori atmosfera e terre emerse, concentrandosi sulle osservazioni al suolo (Tabella 5.1). Si tratta delle classiche serie di misura della tempera-

tura, 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 [16], 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 [17]. 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 [18], [19].

Tabella 5.2

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 [20].
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 [21])	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 [20].
Giorni con forti precipitazioni (OMM)	Numero dei giorni dell'anno civile con precipitazione giornaliera $P \geq 20$ 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 $P < 1$ 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 [22], [23], [24], [25].
Giorni di neve fresca	Numero di giorni con neve fresca misurabile nei mesi da ottobre a marzo (semestre invernale)	

Indicatori climatici utilizzati per i settori presi in esame dell'atmosfera e delle terre emerse. Gli indicatori WMO sono definiti in WMO/ETCCDI [17].

5.1 Atmosfera

5.1.1 Osservazioni al suolo

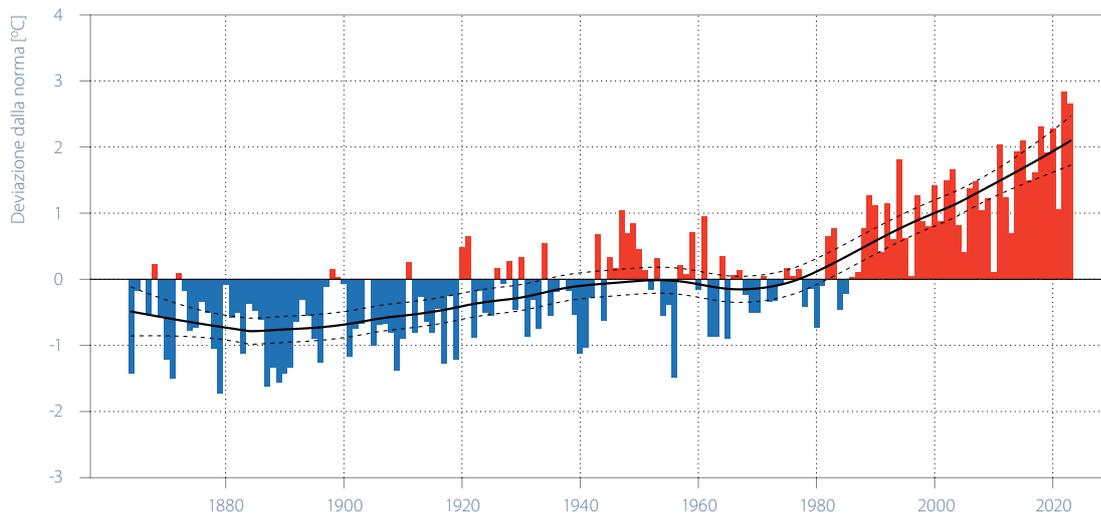
Gli indicatori climatici qui rappresentati seguendo le indicazioni dell'OMM (Tabella 5.2) fanno riferimento alle serie di misura di quattro stazioni scelte per la loro rappresentatività di quattro aree svizzere: Berna (pianura nordalpina), Sion (valle intralpina), Davos (ubicazione alpina) e Lugano (Sud 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).

Temperatura

Nel 2023 la temperatura media svizzera ha raggiunto il secondo valore più alto dall'inizio delle misure nel 1864, pari a 7,2°C, ovvero 2,7°C in più rispetto alla norma del periodo 1961–1990 e 3,4°C in più rispetto al periodo preindustriale 1871–1900. Solo il 2022 è stato leggermente più caldo con una temperatura media svizzera di 7,4°C. Il 2023 conferma pertanto la forte tendenza al riscaldamento degli ultimi anni in Svizzera. Dal periodo preindustriale 1871–1900 fino a oggi la temperatura annuale in Svizzera è aumentata di 2,8°C (cfr. [26]). 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.

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 [26]). Le linee tratteggiate indicano la fascia di incertezza di questa media (intervallo di confidenza 95%).



Ulteriori informazioni sugli indicatori climatici:

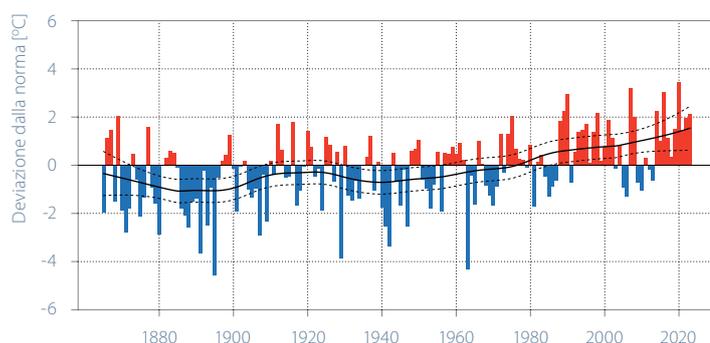
www.meteosvizzera.admin.ch/clima/i-cambiamenti-climatici/periodi-con-elevate-temperature-siccita-freddo-e-neve/indicatori-climatici.html

Con uno scarto di $+2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto alla norma 1961–1990, l'inverno 2022/2023 si colloca all'ottavo posto dall'inizio delle misure nel 1864. Con $+1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto alla norma 1961–1990, la primavera 2023 è quasi tra le venti più calde della serie temporale di 160 anni della temperatura media della Svizzera. A una primavera leggermente più mite in confronto all'attuale media climatica è seguita un'estate un po' più calda. La temperatura media nazionale in estate è stata la quinta più calda dall'inizio delle misure con uno scarto di $+3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto alla norma 1961–1990. Poiché le temperature di settembre e ottobre sono state ampiamente superiori alla media, l'autunno 2023 è risultato, con $+2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto alla norma del periodo 1961–1990, il

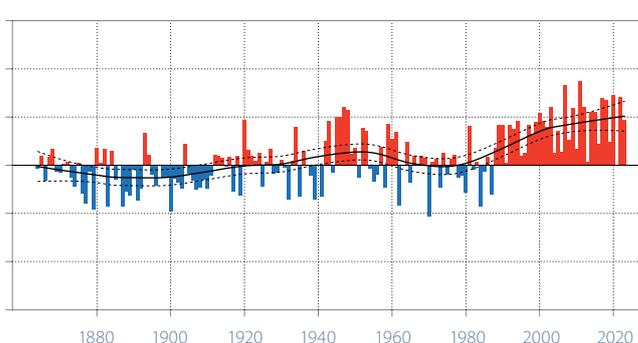
secondo più caldo dall'inizio dei rilevamenti sistematici. L'autunno più caldo con una deviazione di $+3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ dalla norma 1961–1990 risale al 2006.

La tendenza al riscaldamento è significativa in tutte le stagioni. Nell'attuale media climatica della rispettiva stagione, l'inverno e la primavera sono più caldi di $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto al periodo di riferimento preindustriale 1871–1900. Nei mesi estivi (giugno, luglio e agosto) si osserva in media uno scarto di $+3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. In autunno il riscaldamento è attualmente identico all'evoluzione della media annuale ($+2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto al periodo preindustriale).

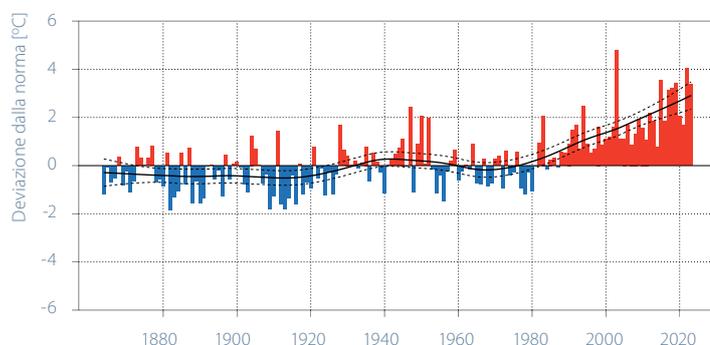
Inverno (DIC, GEN, FEB) 1864/1865–2022/2023



Primavera (MAR, APR, MAG) 1864–2023



Estate (GIU, LUG, AGO) 1864–2023



Autunno (SET, OTT, NOV) 1864–2023

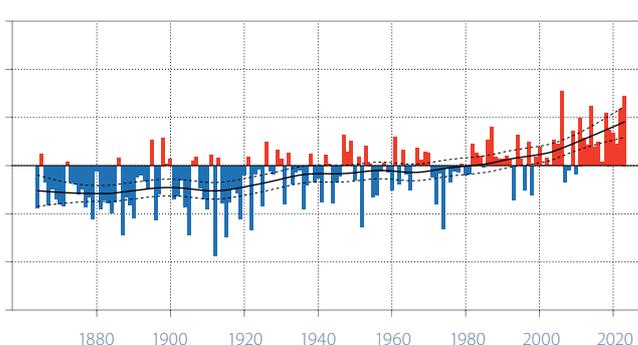


Figura 5.2

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%).

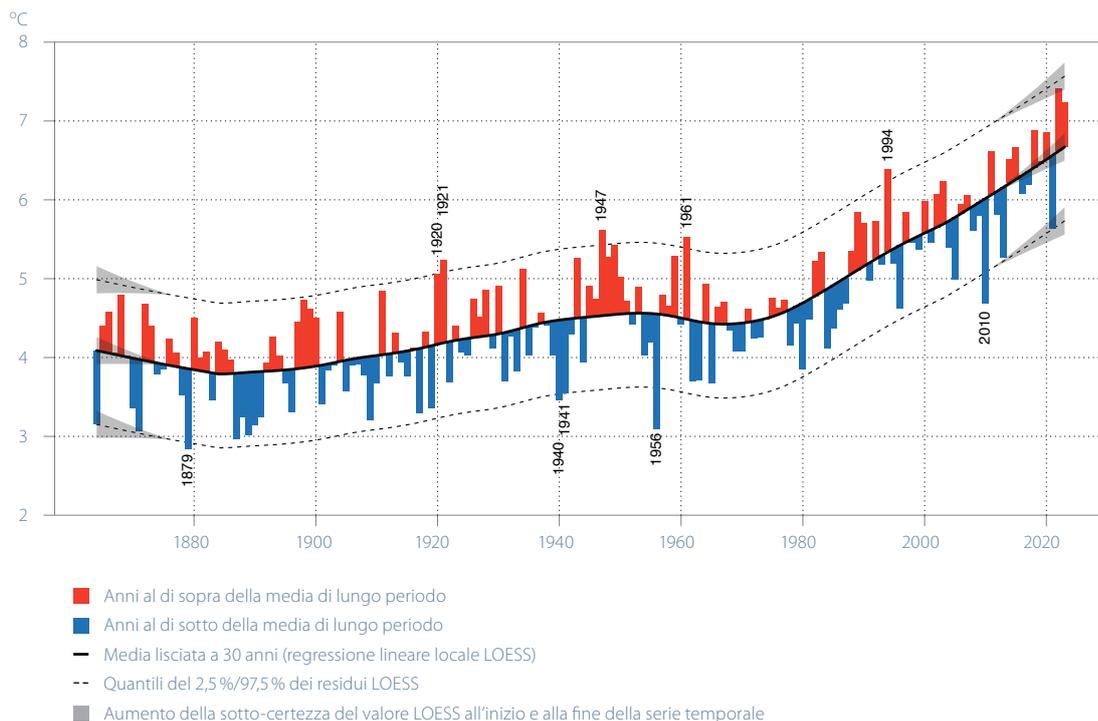
La media climatica attuale per l'anno civile 2023 ammonta a 6,7 °C ed è quindi di 2,1 °C (+/- 0,4 °C) superiore alla norma 1961–1990. Il riscaldamento del clima in Svizzera ha subito una forte accelerazione a partire circa dal 1970 (Figura 5.3). Il 2023 si situa 0,5 °C sopra la linea della tendenza climatica, che indica la rispettiva media climatica attuale per ogni anno, ed è quindi più caldo di quanto ci si aspetterebbe nel clima attuale. La stessa cosa vale per il 2022. 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 di allora. Gli anni particolarmente freddi per le condizioni climatiche prevalenti sono il 2010, 1956, 1940 e 1941, 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 2023 rispetto a tutto il periodo di misura (2° 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 nell'ultimo decennio. Gli anni 2022 e 2023 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. Gli otto più caldi si sono verificati tutti dopo il 2010 (Figura 5.4). Degli ultimi dieci anni, solo il 2010 e il 2013 non appartengono ai trenta più caldi. Il 2022 è stato di gran lunga il più caldo dal 1864. 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 [27].

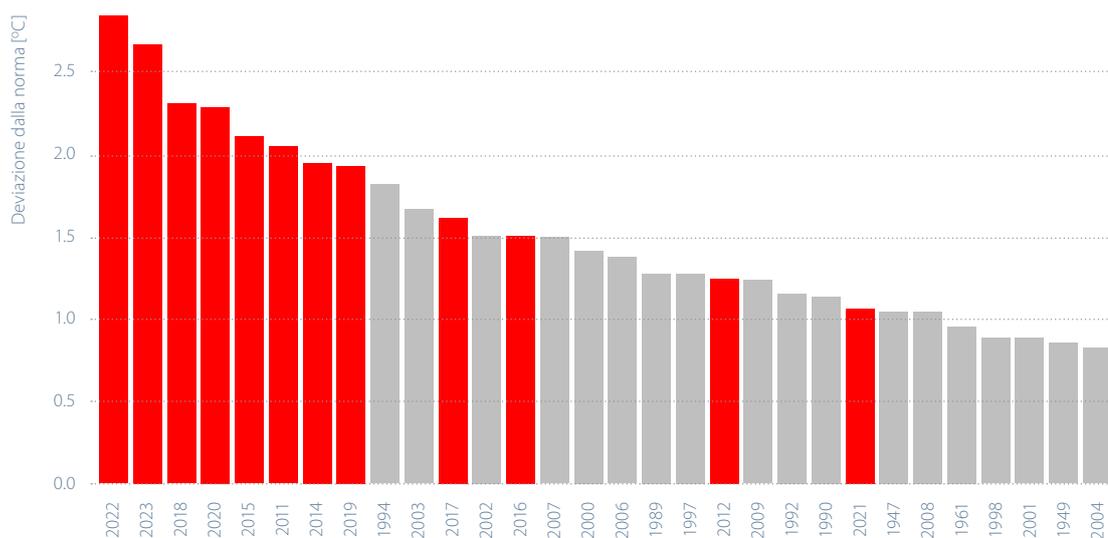


Figura 5.4

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.

Ulteriori informazioni sullo sviluppo della temperatura in Svizzera:

www.meteosvizzera.admin.ch/clima/i-cambiamenti-climatici/evoluzione-della-temperatura-delle-precipitazioni-e-del-soleggiamento.html

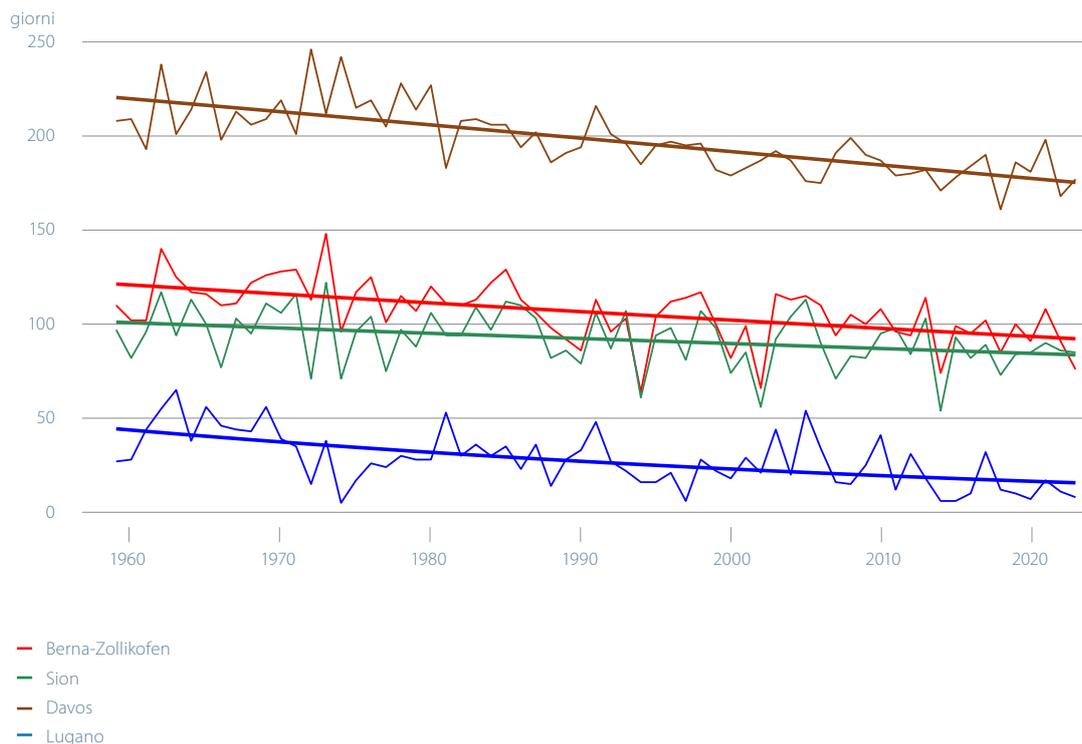
www.meteosvizzera.admin.ch/clima/i-cambiamenti-climatici/scenari-climatici-svizzeri.html

Giorni di gelo

A causa delle temperature ben superiori alla media, in primavera, in autunno e in inverno nel 2023 in tutte e quattro le stazioni di misura mostrate in questa pubblicazione il numero di giorni di gelo è stato nettamente inferiore alla media del periodo 1961–1990. A Lugano i giorni con una temperatura minima inferiore a 0°C sono stati solo 8, che corrispondono a meno di un quarto del numero di giorni di gelo del periodo normale 1961–1990 (35 giorni). La stazione di Berna/Zollikofen ne ha registrati un buon terzo in meno. Qui i giorni di gelo sono stati 76 (norma 115). Presso la stazione di Davos, quella situata alla quota più alta, in tutto il 2023 sono stati contati 177 giorni di gelo, che equivalgono a circa il 15% in meno della norma 1961–1990 (210). Anche a Sion, dove il numero di giorni con una temperatura minima sotto 0°C è di 85 anziché 98, questo quantitativo è inferiore di circa il 15%.

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 due 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°C, per le stazioni di Berna-Zollikofen, Sion, Davos e Lugano.



In base ai nuovi scenari climatici CH2018 [27] 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 quinta estate più calda dall'inizio delle misure nel 1864 ha lasciato il segno anche con molti giorni con una temperatura massima superiore o uguale a 25 °C. Delle quattro stazioni di misura mostrate in questa pubblicazione, Sion ha registrato, con 103 giorni estivi, il quantitativo più alto del 2023, quasi il doppio del numero di giorni estivi della norma 1961–1990 (pari a 56). A Berna/Zollikofen le giornate estive sono state 83 e a Lugano 88. A Berna è stato eguagliato il precedente valore massimo dell'estate record del 2003. Tuttavia, la media del periodo normale 1961–1990 è di soli 31 giorni all'anno a Berna, mentre a Lugano di 50 giorni estivi all'anno. Nonostante la sua altitudine, Davos ha registrato 17 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 di 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.

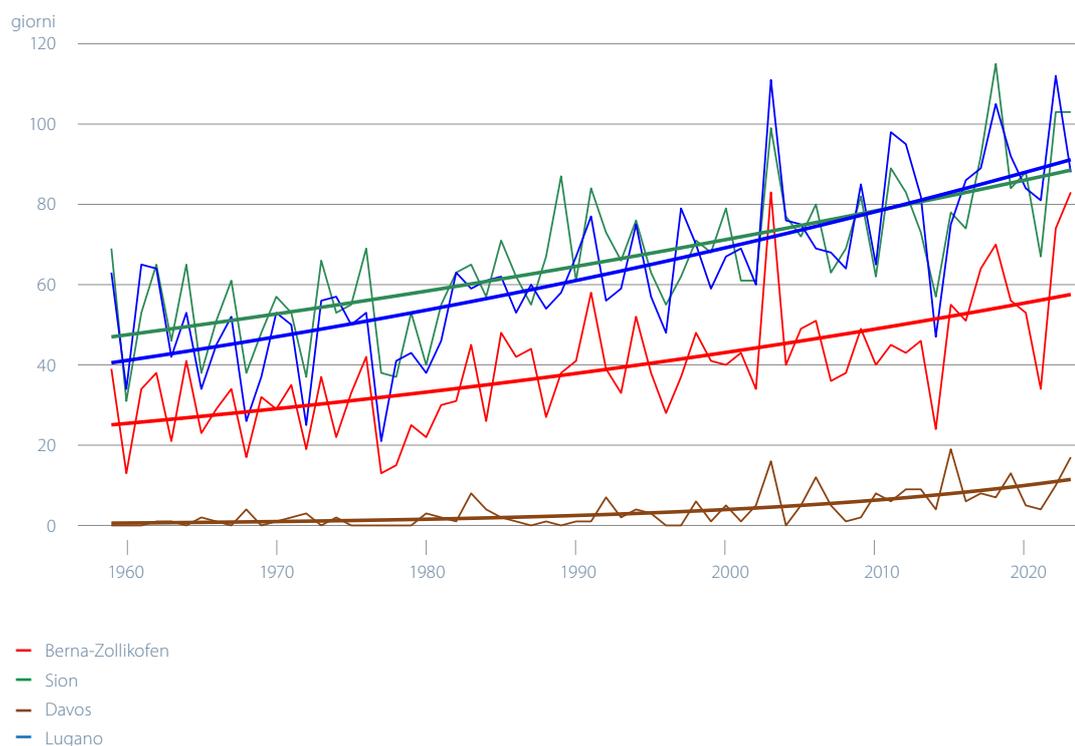


Figura 5.6

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 affetto 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 [27].

Precipitazioni

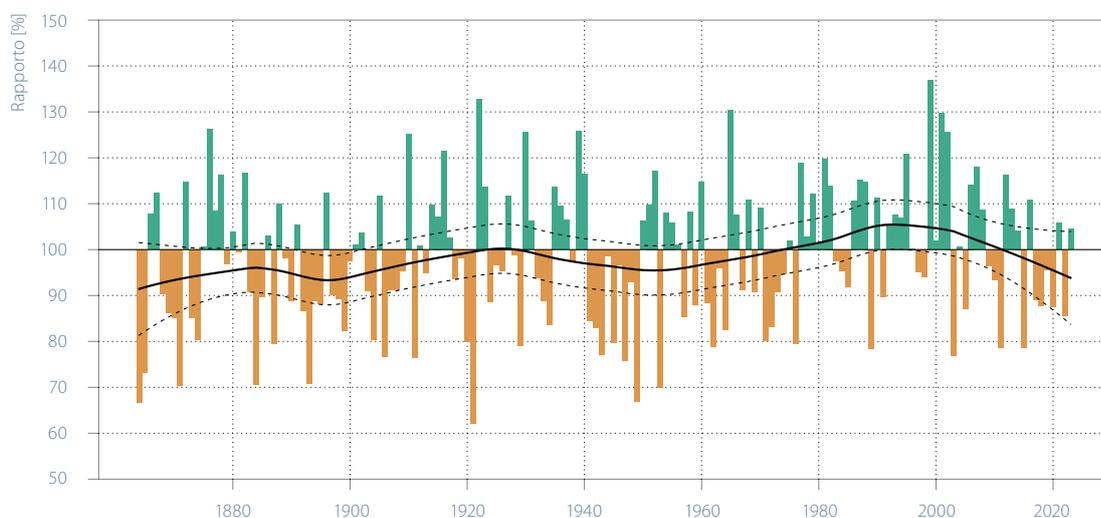
A nord delle Alpi i quantitativi di precipitazione del 2023 sono risultati il 105% della norma del periodo 1961–1990 (Figura 5.7). Tra le singole stagioni ci sono state notevoli differenze. Sull'Altopiano l'inverno è stato relativamente asciutto, con il 78% della norma (Figura 5.8). I quantitativi di precipitazione primaverili corrispondono quasi esattamente alla norma (99%), mentre l'estate è stata di nuovo, con l'81%, un po' meno piovosa della norma 1961–1990. Al Nord delle Alpi l'autunno è rientrato, con il 153% della norma, tra i 15 più piovosi dall'inizio delle misure nel 1864.

Anche a sud delle Alpi i quantitativi annuali di precipitazione sono risultati nella norma (Figura 5.9). In tutti i mesi del 2023 qui è stato raggiunto il 95% del quantitativo di precipitazione della norma 1961–1990. In inverno, con il 47%, non è caduto neanche la metà del quantitativo di

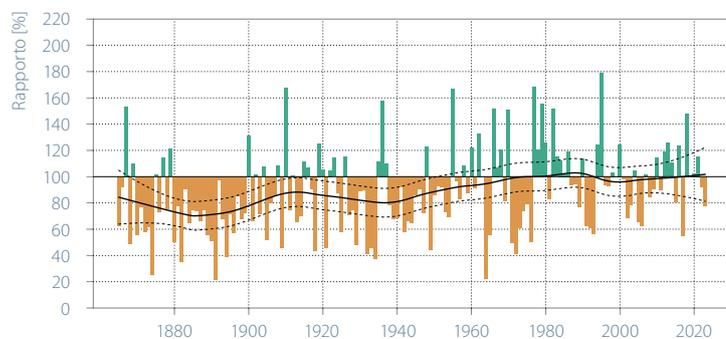
precipitazione normale del periodo 1961–1990 (Figura 5.10). A sud delle Alpi la primavera è stata un po' asciutta, con il 73% delle precipitazioni normali. In estate e in autunno le precipitazioni sono state invece leggermente superiori alla norma, pari al 116%, risp. 115%.

L'evoluzione delle precipitazioni nel periodo 1864–2023 sull'Altopiano e al Sud delle Alpi 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 si può finora osservare sull'Altopiano una tendenza significativa a un aumento di oltre il 40% rispetto al periodo di riferimento preindustriale delle precipitazioni medie. Nelle altre stagioni non si può riscontrare una chiara tendenza a un aumento o a una riduzione dei quantitativi di precipitazione.

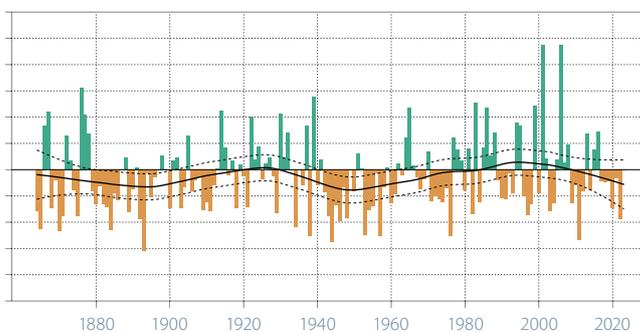
Figura 5.7
Andamento storico delle precipitazioni annuali sull'Altopiano in percentuale rispetto alla norma 1961–1990 (verde = deviazioni positive, marrone = deviazioni negative). La curva nera indica la media ponderata su 30 anni (regressione lineare locale LOESS). Le linee tratteggiate indicano la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



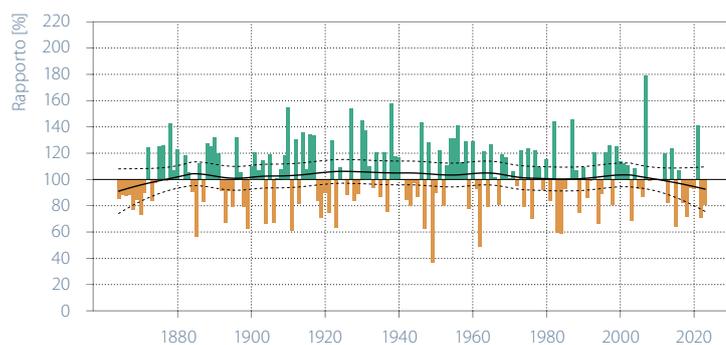
Inverno (DIC, JAN, FEB) 100% = circa 200 mm



Primavera (MAR, APR, MAG) 100% = circa 250 mm



Estate (GIU, LUG, AGO) 100% = circa 300 mm



Autunno (SET, OTT, NOV) 100% = circa 250 mm

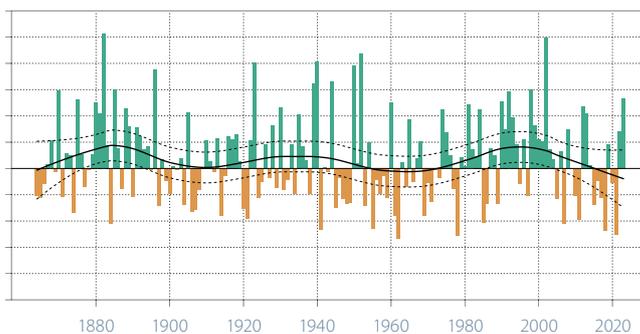
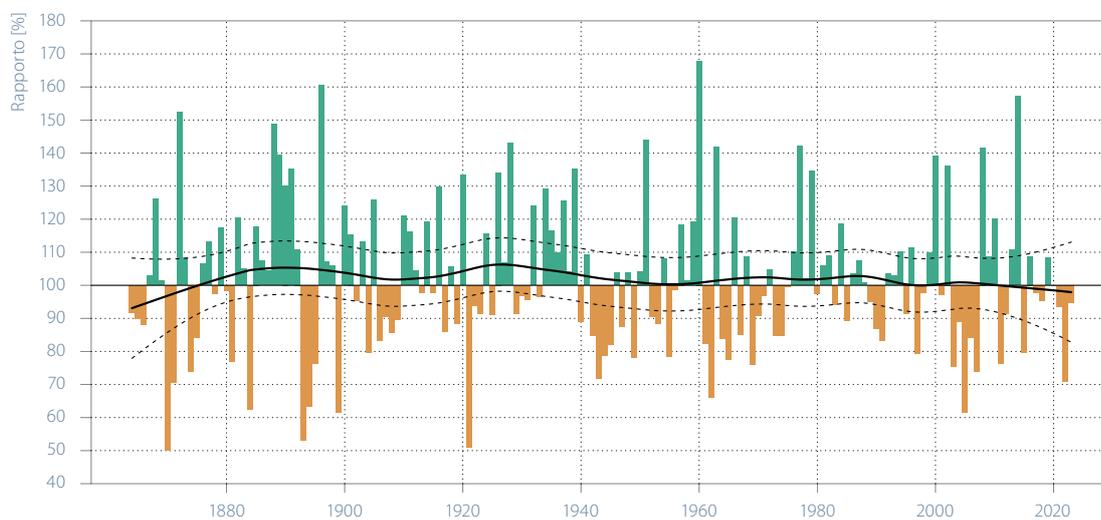


Figura 5.8

Andamento storico delle precipitazioni stagionali sull'Altopiano 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%). Da notare che nelle estati dal 2008 al 2011 le precipitazioni registrate sono state pari al 100%: per questa ragione nel grafico non figurano le corrispondenti colonne.

Figura 5.9

Andamento storico delle precipitazioni annuali al Sud delle Alpi 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%).

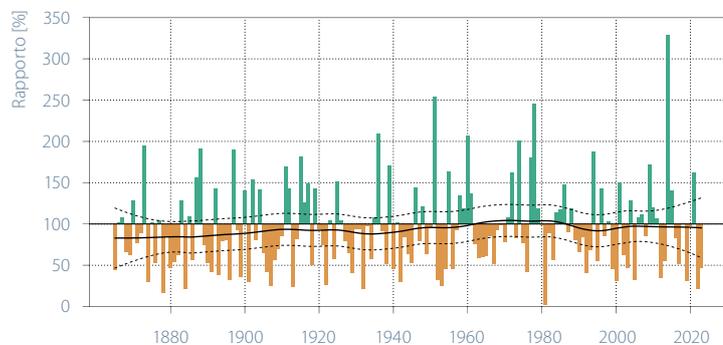


Ulteriori informazioni sull'evoluzione delle precipitazioni in Svizzera:

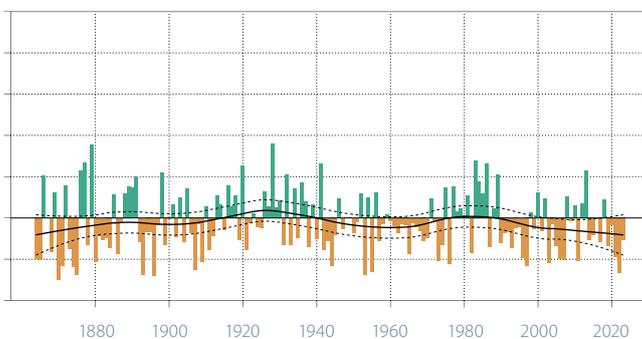
www.meteosvizzera.admin.ch/clima/i-cambiamenti-climatici/evoluzione-della-temperatura-delle-precipitazioni-e-del-soleggiamento.html

www.meteosvizzera.admin.ch/clima/i-cambiamenti-climatici/scenari-climatici-svizzeri.html

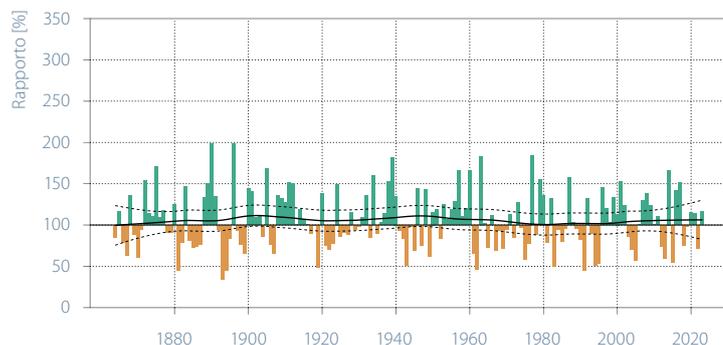
Inverno (DIC, GEN, FEB) 100% = circa 220 mm



Primavera (MAR, APR, MAG) 100% = circa 480 mm



Estate (GIU, LUG, AGO) 100% = circa 520 mm



Autunno (SET, OTT, NOV) 100% = circa 470 mm

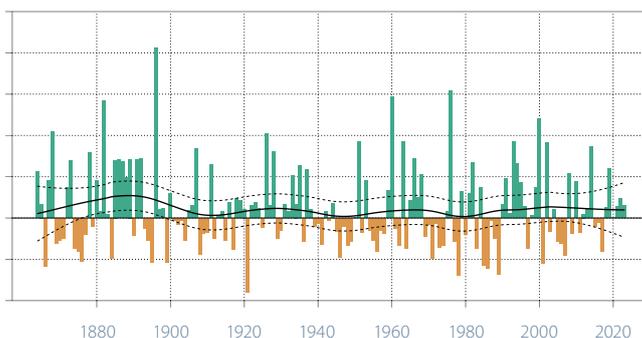


Figura 5.10

Andamento storico delle precipitazioni stagionali a sud delle Alpi 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 [27].

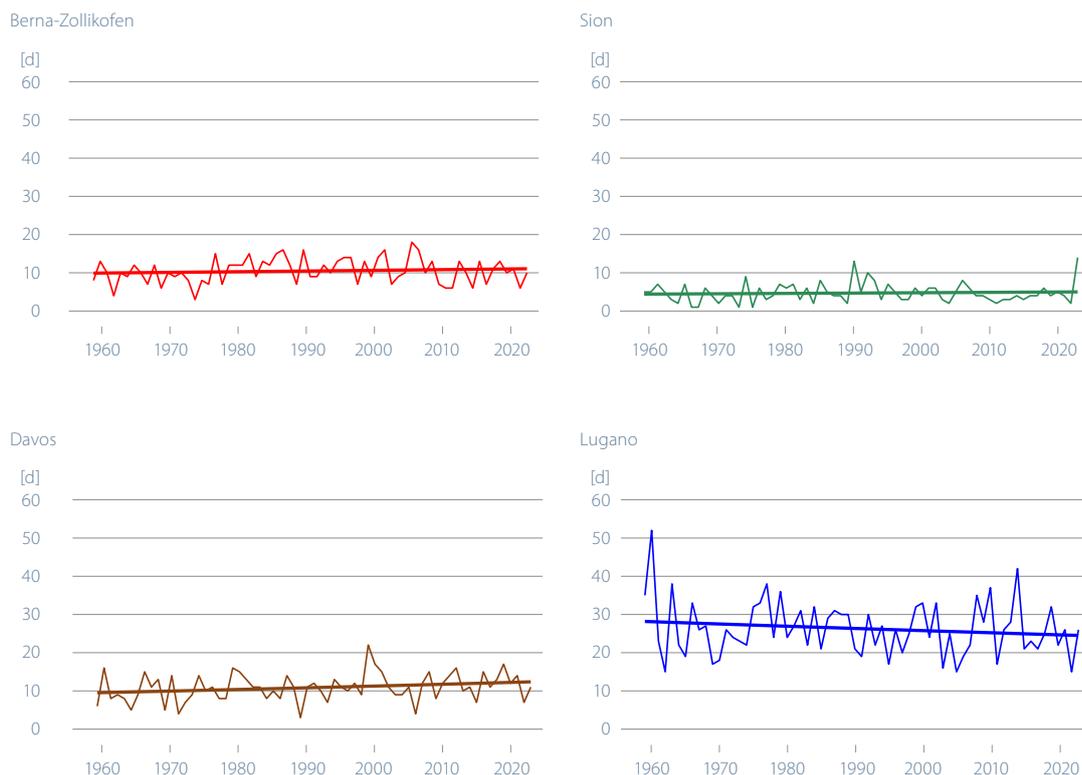
Giorni con precipitazioni moderate

Così come i quantitativi di precipitazione medi, nel 2023 anche il numero di giorni con precipitazioni moderate è risultato molto vicino o uguale alla media del periodo 1961–1990 in tre stazioni di misura su quattro (Figura 5.11). A Berna sono stati registrati 10 giorni con oltre 20 mm di precipitazione (norma 10), a Davos 11 (norma 10) e a Lugano 26 giorni (norma 26). A Sion, dove la norma è di cinque giorni, sono invece stati registrati 14 giorni con più di 20 mm di precipitazione. Dal 1959 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 nel 90% delle stazioni, di cui nel 31% in modo significativo [28].

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 [27].

Figura 5.11
Numero di giorni con precipitazioni ≥ 20 mm per anno civile nelle stazioni di Berna-Zollikofen, Sion, Davos e Lugano.



Precipitazioni nei giorni molto piovosi

In tre delle quattro stazioni di misura qui presentate i quantitativi complessivi di precipitazione nei giorni molto piovosi sono stati superiori alla norma 1961–1990 (Figura 5.12). A Lugano nel 5% dei giorni con le precipitazioni più intense sono stati misurati complessivamente 920 mm (norma 858 mm). A Davos hanno raggiunto un quantitativo di 280 mm (norma 214 mm) e a Sion 131 mm (norma 98 mm). Solo presso la stazione di misura di Berna-Zollikofen il quantitativo del 2023 è risultato inferiore alla norma 1961–1990: qui sono stati registrati 142 mm (norma 216 mm). Nell'andamento pluriennale nessuna delle stazioni qui indicate mostra una tendenza significativa.

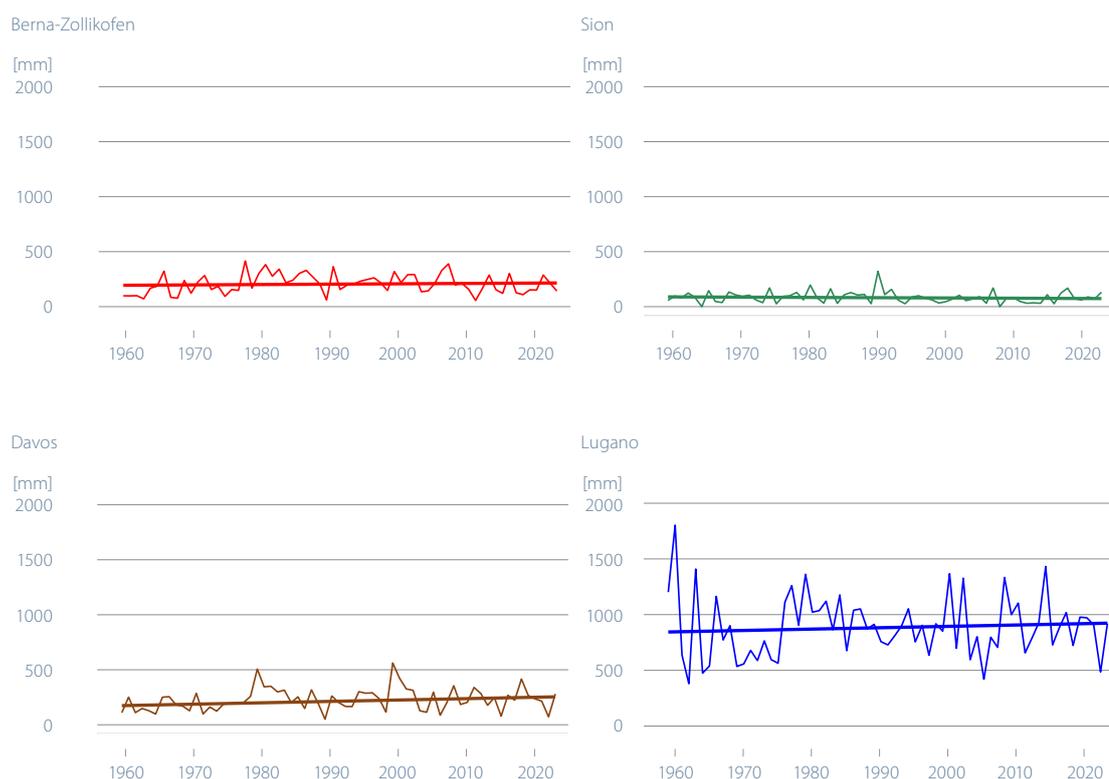


Figura 5.12

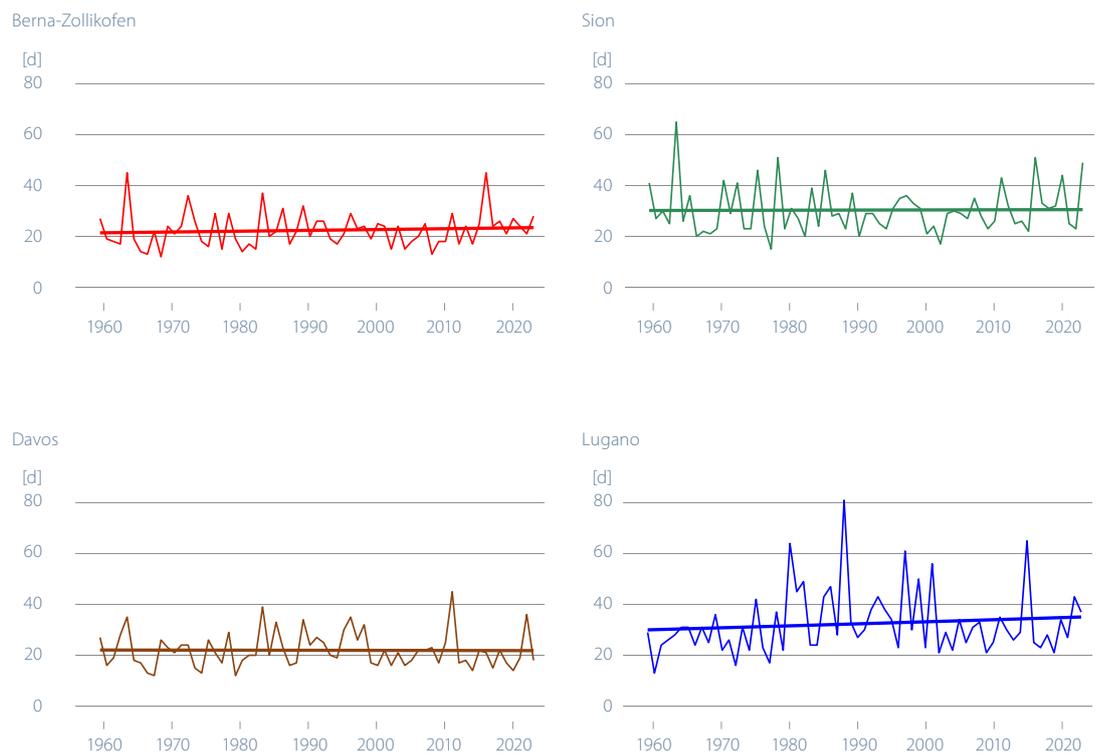
Quantitativo complessivo annuo delle precipitazioni (in mm) di tutti i giorni molto piovosi per le stazioni di Berna-Zollikofen, Sion, Davos e Lugano. Sono considerati come giorni molto piovosi quelli il cui quantitativo giornaliero rientra nel 5% delle precipitazioni massime giornaliere. Come riferimento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

Periodi asciutti

Nel 2023 periodi asciutti più lunghi della norma 1961–1990 si sono verificati a Sion con 49 giorni consecutivi senza precipitazioni (norma 30), a Berna con 28 giorni (norma 22) e a Lugano con 37 (norma 33, Figura 5.13). A Davos sono stati registrati al massimo 18 giorni ininterrotti senza precipitazioni (norma 22). 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 [27].

Figura 5.13
Durata (numero di giorni) dei periodi asciutti più lunghi per anno civile per le stazioni di Berna-Zollikofen, Sion, Davos e 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. Il semestre estivo 2023 è stato uno dei più

asciutti di questa serie, l'indice ha addirittura raggiunto un valore inferiore a quello dell'ultima estate estrema del 2018 [29] (Figura 5.14). Estati asciutte più frequenti corrispondono alle aspettative in un contesto di riscaldamento climatico con un aumento dell'evaporazione [30].

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 [31], [32].

SPEI Berna-Zollikofen

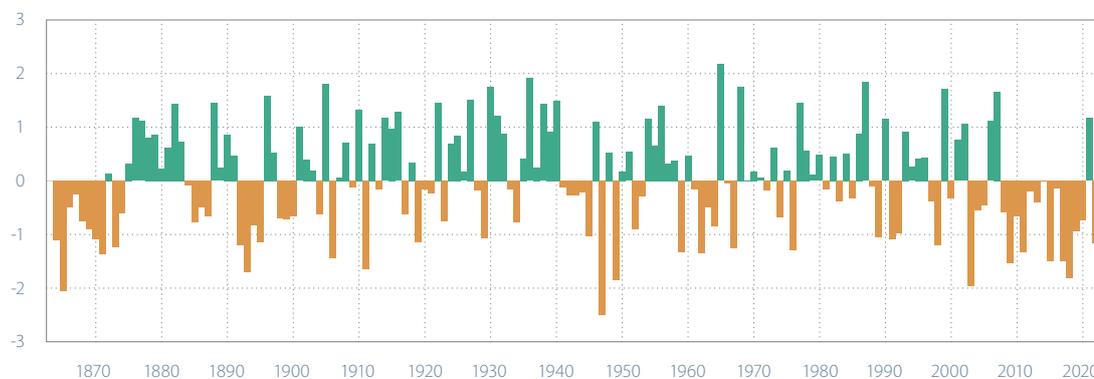


Figura 5.14

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 (1864–2023).





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 2023 è pari a 2505 m, 325 m più in basso di quella del 2022.

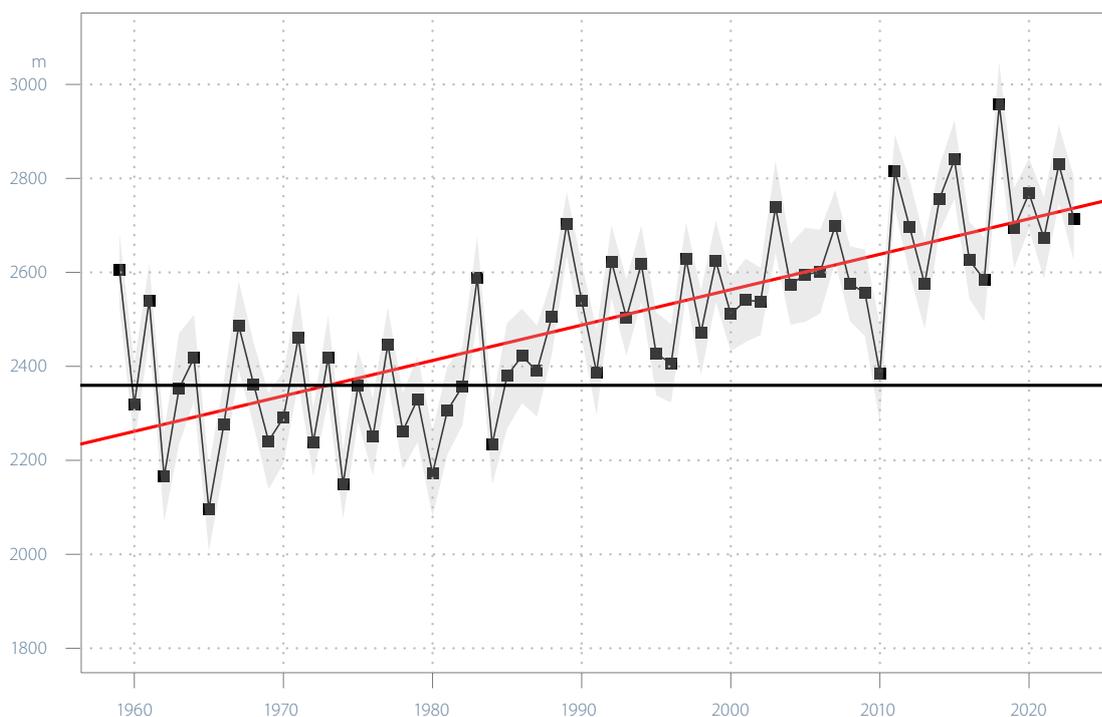
La Figura 5.15 mostra la tendenza al rialzo della quota dell'isoterma di zero gradi (linea rossa) nel periodo 1959–2023. La tendenza a lungo termine non fornisce informazioni sui cambiamenti a corto termine, che possono anche contrastare con questa evoluzione, come ad esempio nel periodo 1959–1987. Per 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 2087 m risale al 1965 ed è di 270 m inferiore al valore di riferimento.

Negli ultimi 30 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 dalla norma, 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 5.15, nel periodo 1990–2023 la mediana annuale della quota dell'isoterma di zero gradi è aumentata in modo considerevole. L'aumento viene osservato in tutte le stagioni (Figura 5.16). 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 5.15
Mediana annuale della quota dell'isoterma di zero gradi nel periodo 1959–2023, 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.



Tendenza (1959–2023) = 75 m/10 anni
 Norma (1961–1990) = 2360 m

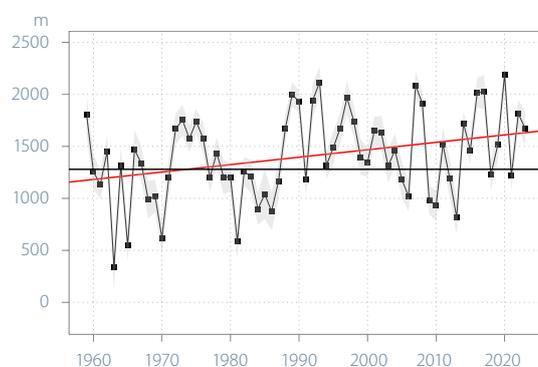
Soprattutto le stagioni calde, la primavera (84 m/10 anni) e l'estate (90 m/10 anni), mostrano un'evoluzione simile a quella dei valori annuali (75 m/10 anni) nella Figura 5.15, con l'accelerazione della tendenza a partire dal 1990 circa. Anche le tendenze a un aumento un po' meno marcato in inverno e in autunno sono significative. In inverno la quota dell'isoterma di zero gradi aumenta di circa 71 m/10 anni, mentre in autunno essa mostra il minore aumento con 52 m/10 anni.

	Inverno (DIC-FEB)	Primavera (MAR-MAG)	Estate (GIU-AGO)	Autunno (SET-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)

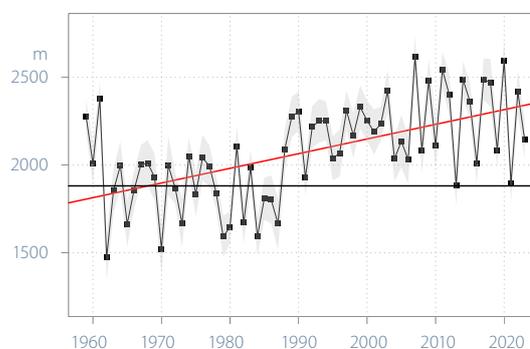
Tabella 5.3

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

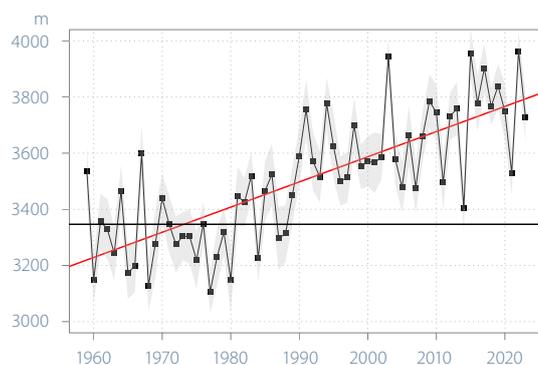
Inverno
Tendenza (1959–2023) = 71 m/10 anni
Norma (1961–1990) = 1279 m



Primavera
Tendenza (1959–2023) = 84 m/10 anni
Norma (1961–1990) = 1882 m



Estate
Tendenza (1959–2023) = 90 m/10 anni
Norma (1961–1990) = 3347 m



Autunno
Tendenza (1959–2023) = 52 m/10 anni
Norma (1961–1990) = 2860 m

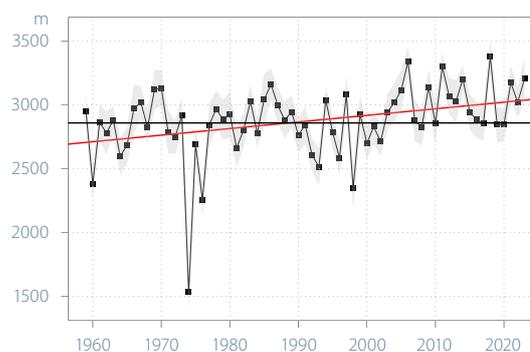


Figura 5.16

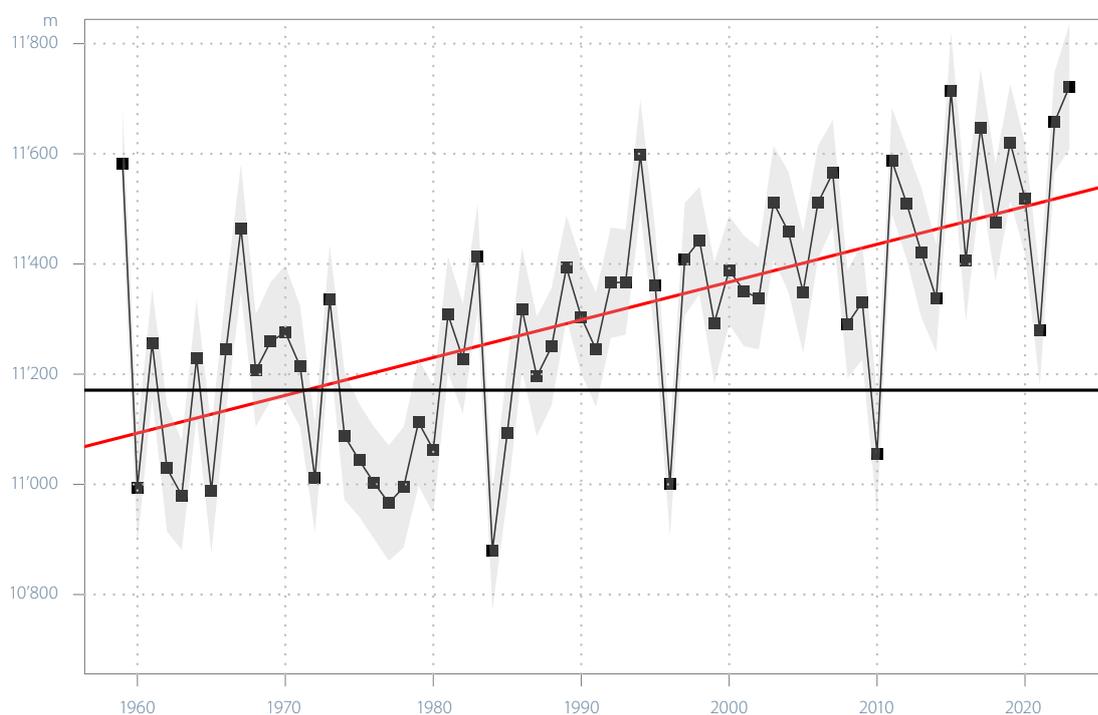
Mediana stagionale della quota dell'isoterma di zero gradi nel periodo 1959–2023. La linea nera mostra la mediana stagionale del periodo di riferimento 1961–1990, la linea rossa la tendenza lineare (significativa in tutte le stagioni), l'area grigio-chiara l'incertezza delle misure.

Altitudine della tropopausa

L'altitudine della tropopausa è stata calcolata seguendo la definizione di tropopausa termica fornita dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM, 1957) [33] basandosi sul profilo di temperatura misurato dal radio-sondaggio di Payerne. I valori annuali rappresentati nella Figura 5.17 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 1959–2023 (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 2023 la tropopausa ha raggiunto un'altitudine media di 11'722 m, valore di 551 m più alto della mediana del periodo normale (11'171 m) e di 64 m superiore al valore del 2022. L'altitudine media del 2023 segna anche il nuovo record dall'inizio della serie temporale dal 1959. Questo valore è di 8 m superiore al precedente record del 2015 (11'714 m). Dal 1959 si osserva una significativa tendenza al rialzo della quota media annuale della tropopausa da un anno all'altro (69 m per 10 anni) 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 5.15).

Figura 5.17
Mediana annuale dell'altitudine della tropopausa nel periodo 1959–2023, 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.



Tendenza (1959–2023) = 69 m/10 anni
 Norma (1961–1990) = 11'171 m

L'altitudine della tropopausa è aumentata in modo marcato soprattutto nel periodo 1990–2023. Un quadro analogo emerge anche per quel che riguarda le tendenze stagionali nella Figura 5.18, anche se le variazioni da un anno all'altro risultano nettamente più evidenti. In primavera (marzo, aprile, maggio) e in estate (giugno, luglio, agosto), a partire dal 1990 circa, i valori annuali superano quasi costantemente la mediana della norma 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 ten-

denze 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 minimi e massimi stagionali dell'altitudine della tropopausa nelle rispettive serie di dati. Tra questi vi sono anche i valori massimi più recenti della serie temporale dal 1959: il record dell'inverno 2022 e il record della primavera 2017.

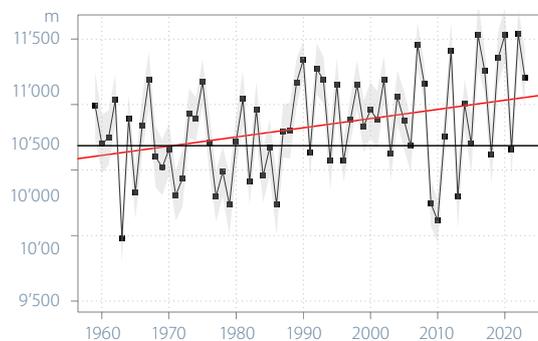
	Inverno (DIC–FEB)	Primavera (MAR–MAG)	Estate (GIU–AGO)	Autunno (SET–NOV)
Minimo in m (anno)	9982 m (1963)	10'060 m (1984)	11'178 m (1977)	10'599 m (1974)
Massimo in m (anno)	11'540 m (2022)	11'410 m (2017)	12'413 m (2003)	12'328 m (1970)

Tabella 5.4

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

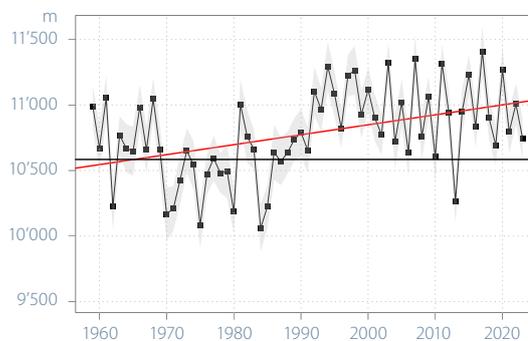
Inverno

Tendenza (1959–2023) = 70 m/10 anni
Norma (1961–1990) = 10'686 m



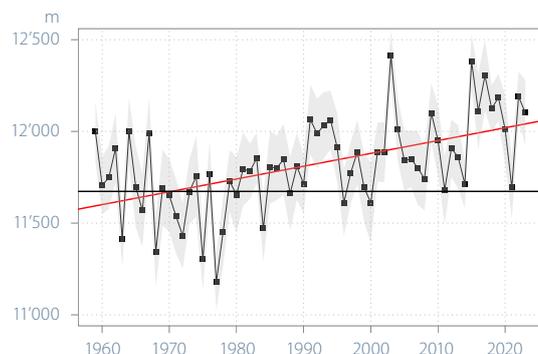
Primavera

Tendenza (1959–2023) = 76 m/10 anni
Norma (1961–1990) = 10'584 m



Estate

Tendenza (1959–2023) = 70 m/10 anni
Norma (1961–1990) = 11'673 m



Autunno

Tendenza (1959–2023) = 33 m/10 anni
Norma (1961–1990) = 11'755 m

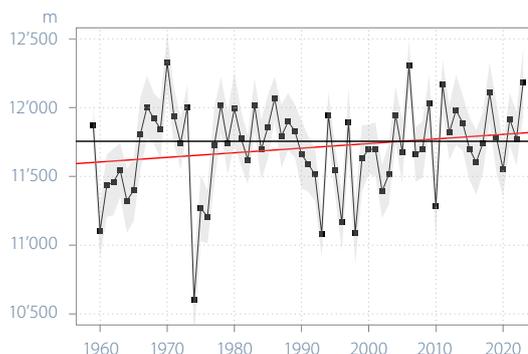


Figura 5.18

Mediana stagionale dell'altitudine della tropopausa nel periodo 1959–2023. 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.

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 [34]. 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 5.19 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 [35] avvenuto dagli anni Novanta 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 ($-0,45^\circ\text{C}$ 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 [36]: 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.

La stagnazione 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 5.19 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 1959–2023. Le deviazioni nel 2023 sono tutte in linea con la tendenza a lungo termine.

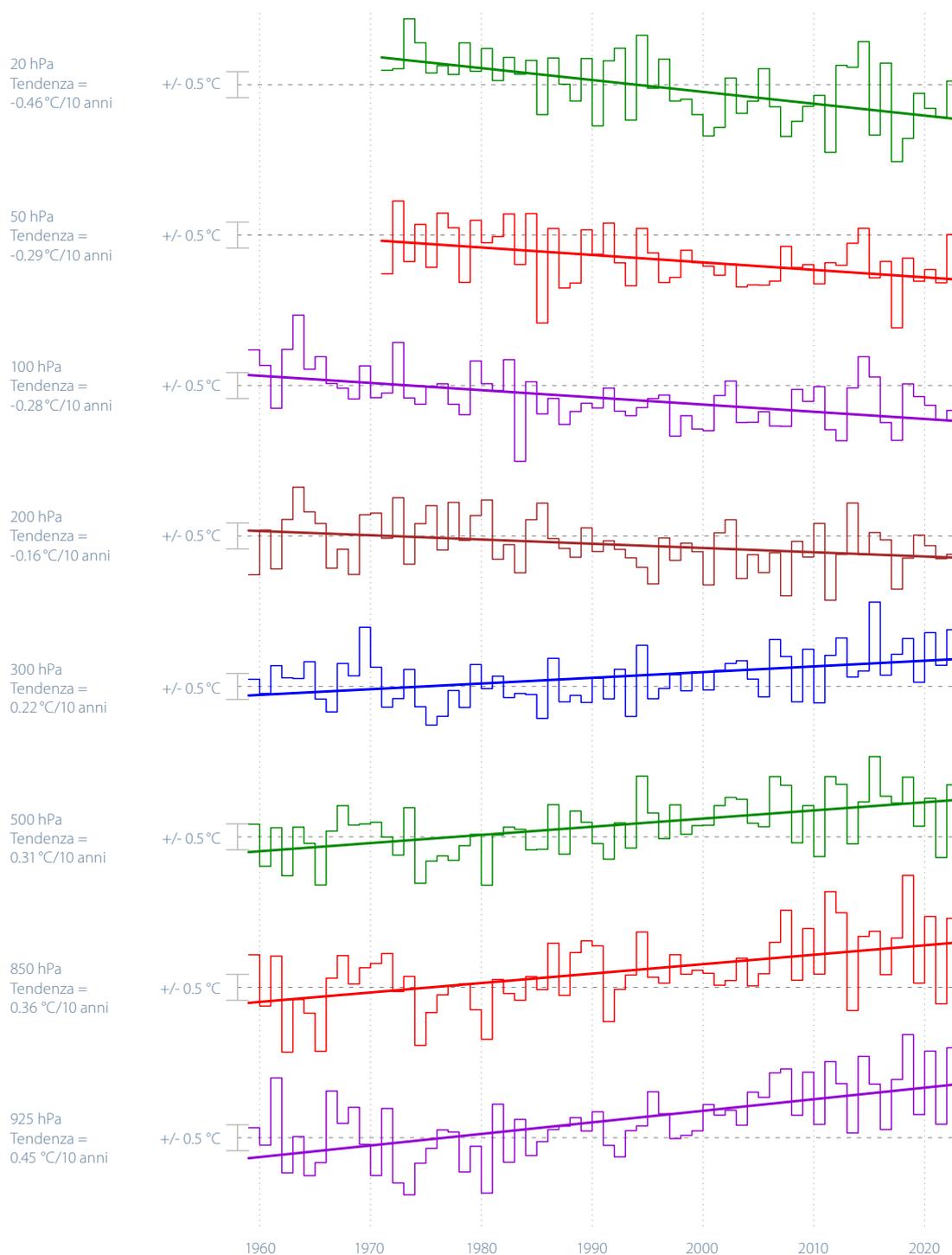


Figura 5.19

Tendenza della temperatura nel periodo 1959–2023 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.

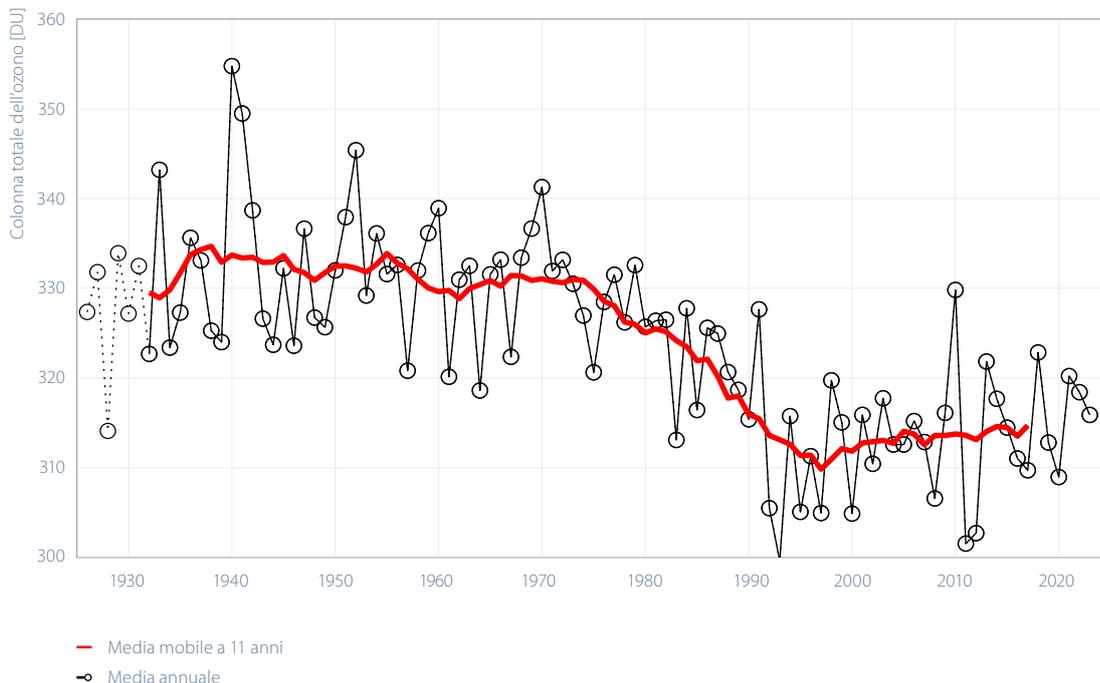
5.1.3 Composizione dell'atmosfera

Serie di misura dell'ozono ad Arosa e Davos

Con la serie di misura ad Arosa, 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 1975 circa, mostra un valore medio pluriennale di circa 330 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 2023 è di 316 DU. Anche se la tendenza non è significativa, sussistono segnali di un aumento della colonna di ozono sopra Arosa e Davos.

Figura 5.20
Colonna totale ad Arosa/Davos nel periodo 1926–2023.
 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).

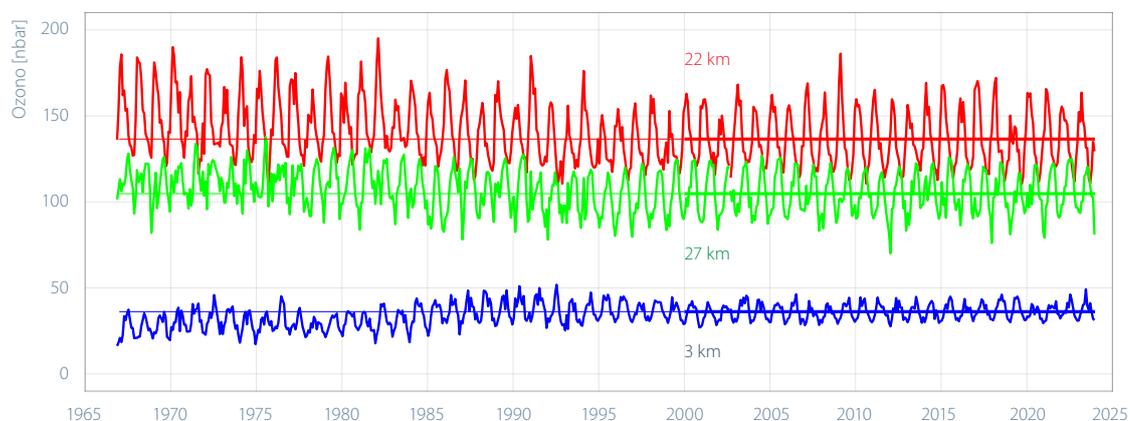


Figura 5.21

Concentrazione mensile di ozono a tre altitudini durante il periodo 1967–2023. 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.

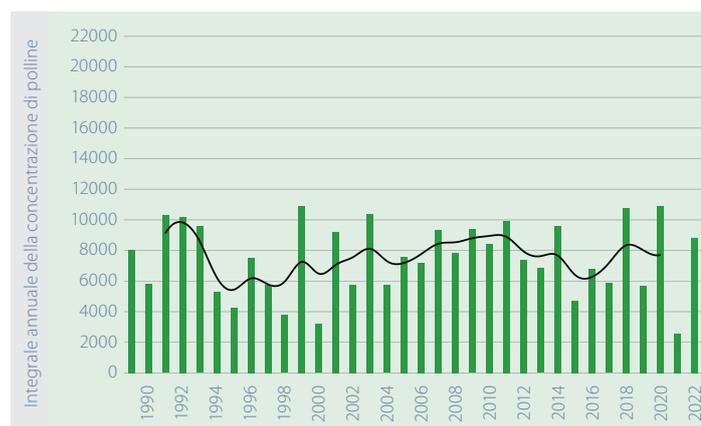


Il passaggio dalla misurazione manuale a quella automatica dal 1° gennaio 2023 ha causato differenze nei risultati delle misurazioni della concentrazione giornaliera di polline. Perciò, attualmente, il confronto dell'intensità dell'attuale stagione pollinica con gli anni precedenti può essere effettuato 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.

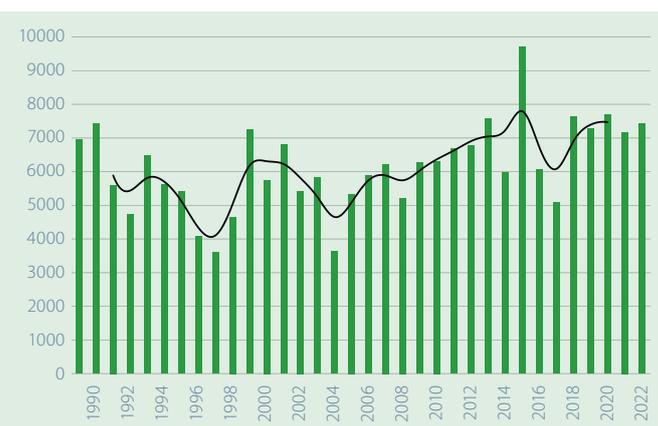
Figura 5.22

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



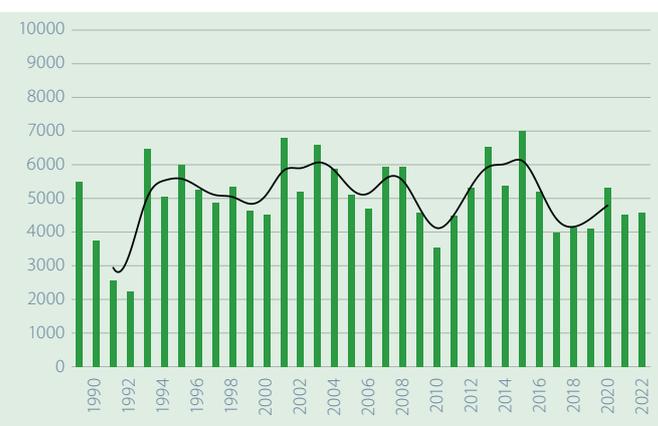
Graminacee: Svizzera centrale e orientale



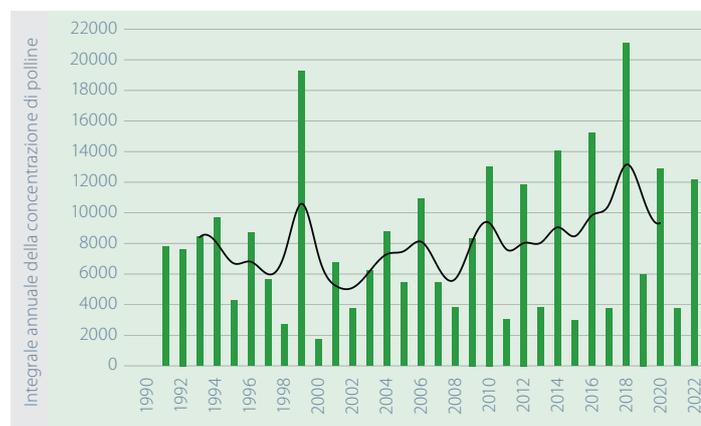
Betulla: Svizzera occidentale



Graminacee: Svizzera occidentale



Betulla: Ticino



Graminacee: Ticino



5.2 Suolo

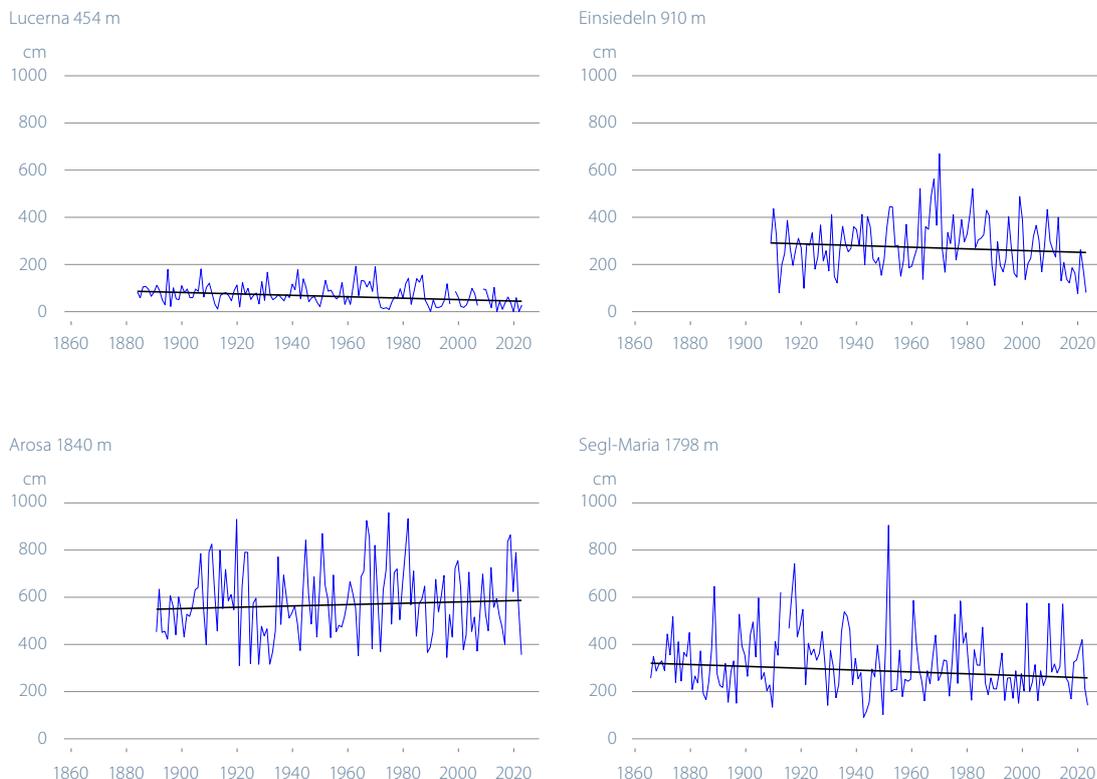
Quantitativi di neve fresca

Poiché l'inverno 2022/2023 è stato piuttosto povero di precipitazioni e con temperature molto elevate per la stagione, in tutte le stazioni di misura presentate in questa pubblicazione i quantitativi complessivi di neve fresca sono stati pochi. In termini relativi ad essere maggiormente colpite dalla mancanza di neve sono state le basse e medie quote. A Lucerna nel semestre invernale si sono accumulati complessivamente 0,28 m di neve fresca, a fronte della media del periodo 1961–1990, che è di 0,83 m. Presso la stazione di misura di Einsiedeln sono caduti 0,81 m di neve anziché, come nella media del periodo normale 1961–1990, un quantitativo di 3,41 m. Il semestre invernale 2022/2023 è pertanto stato uno dei più poveri di neve di questa stazione.

A Segl-Maria nel semestre invernale 2022/2023 è stato misurato un quantitativo di neve fresca di 1,42 m, corrispondente a poco meno della metà del valore normale di 3,12 m. In questa stazione di misura un quantitativo così basso era stato misurato per l'ultima volta negli anni Quaranta del ventesimo secolo. Ad Arosa è caduta una somma di neve fresca di 3,56 m (norma 6,31 m). Ad Arosa, così come a Segl-Maria, gli anni 2018–2022 sono tutti stati nettamente più ricchi di neve. L'ultima volta che i quantitativi di neve fresca sono stati inferiori a quelli del 2023 è stato nel 1996 ad Arosa.

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 0,3 m per decennio. Tuttavia, bisogna sottolineare che i dati giornalieri e mensili dei quantitativi di neve fresca non sono omogenei.

Figura 5.23
Quantitativi cumulati di neve fresca (in cm) nel semestre invernale dall'inizio delle misurazioni al 2023 nelle stazioni di Lucerna, Einsiedeln, Arosa e Segl-Maria.



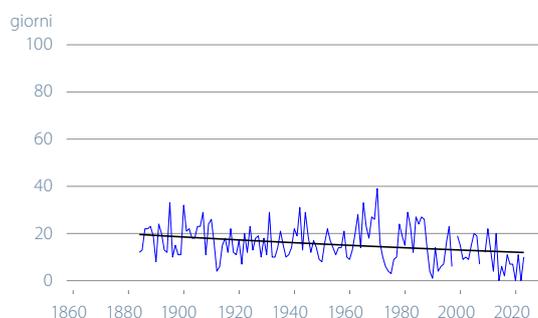
Fonte dei dati per Arosa: MeteoSvizzera / Istituto per lo Studio della Neve e delle Valanghe SLF, Davos.

Giorni con neve fresca

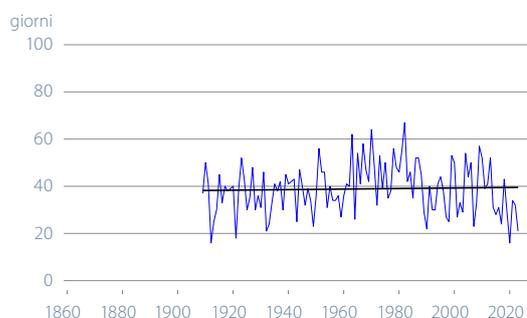
Come i quantitativi di neve fresca, anche i giorni con neve fresca sono risultati inferiori alla norma del periodo 1961–1990. Nel semestre invernale ottobre–marzo ad Arosa sono stati rilevati 61 giorni con neve fresca (norma 71 giorni). A Segl-Maria, nell'Alta Engadina, i giorni con neve fresca sono stati 29 (norma 42 giorni) e a Lucerna dieci (norma 18 giorni). In termini relativi la stazione in cui è nevicato più raramente è Einsiedeln: qui nel semestre invernale 2022/2023 la neve fresca è caduta in 21 giorni, che corrisponde a meno della metà della norma 1961–1990 (46 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.

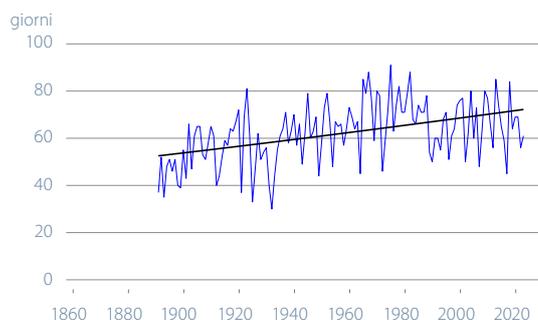
Lucerna 454 m



Einsiedeln 910 m



Arosa 1840 m



Segl-Maria 1798 m

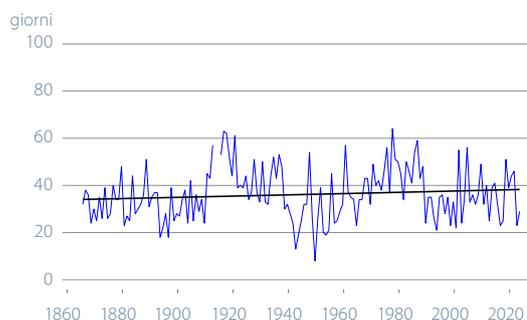


Figura 5.24

Numero di giorni con neve fresca nel semestre invernale dall'inizio delle misurazioni al 2023 nelle stazioni di Lucerna, Einsiedeln, Arosa e Segl-Maria.

Indice di primavera

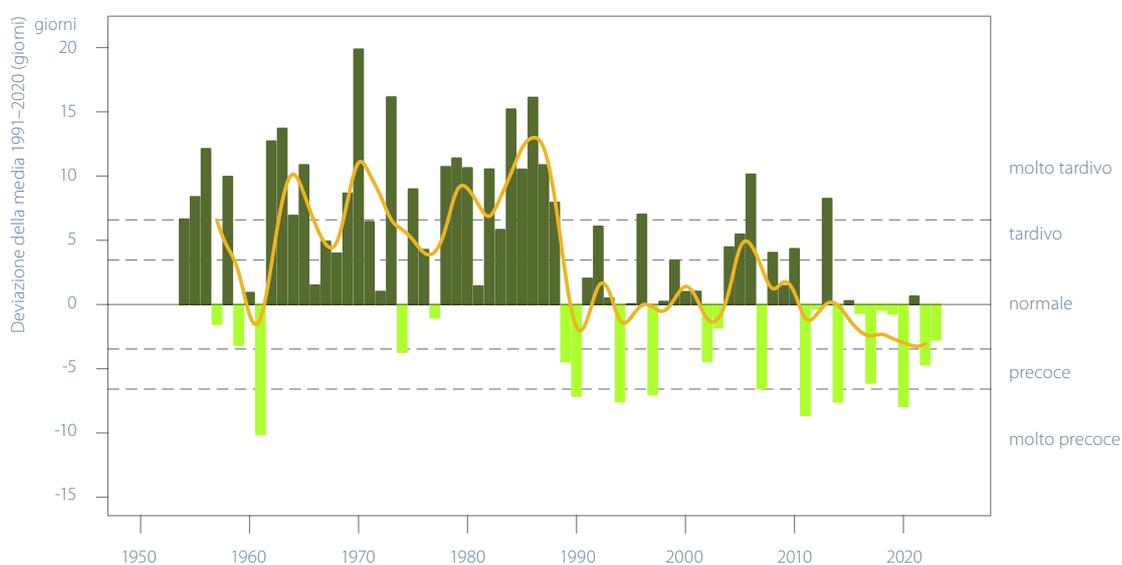
L'indice di primavera indica il momento dello sviluppo primaverile della vegetazione sotto forma di deviazione in giorni rispetto alla media del periodo 1991–2020. L'indice rilevato annualmente riassume quindi le fasi fenologiche primaverili. Lo sviluppo della vegetazione in primavera dipende principalmente dall'evoluzione della temperatura invernale e primaverile [37].

Nel 2023 la vegetazione primaverile si è sviluppata con tre giorni di anticipo rispetto alla media pluriennale del periodo 1991–2020, sviluppo che rientra nella classe «normale». La fioritura del nocciolo è cominciata all'inizio di gennaio con un anticipo di 22 giorni rispetto alla media, il più precoce dall'inizio dell'osservazione fenologica. Il dente di leone (tarassaco) e la cardamine (billeri dei prati) sono fioriti a partire dalla fine di marzo, con 3–6 giorni di anticipo. Poiché il fresco mese di aprile ha rallentato

l'ulteriore sviluppo della vegetazione, gli alberi da frutto sono fioriti all'inizio di aprile e gli alberi hanno spiegato le foglie a partire da metà aprile, approssimativamente nella 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 5.25).

Figura 5.25
Andamento annuale dello sviluppo della vegetazione (indice di primavera) 1954–2023, 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 (Figura 5.26). L'inizio della fioritura del 29 marzo 2023 si è verificato con un anticipo di cinque 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 2023 mostra un anticipo di 14 giorni rispetto alla data media ed è la diciottesima 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 2023 l'ippocastano ha spiegato le foglie il 9 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.

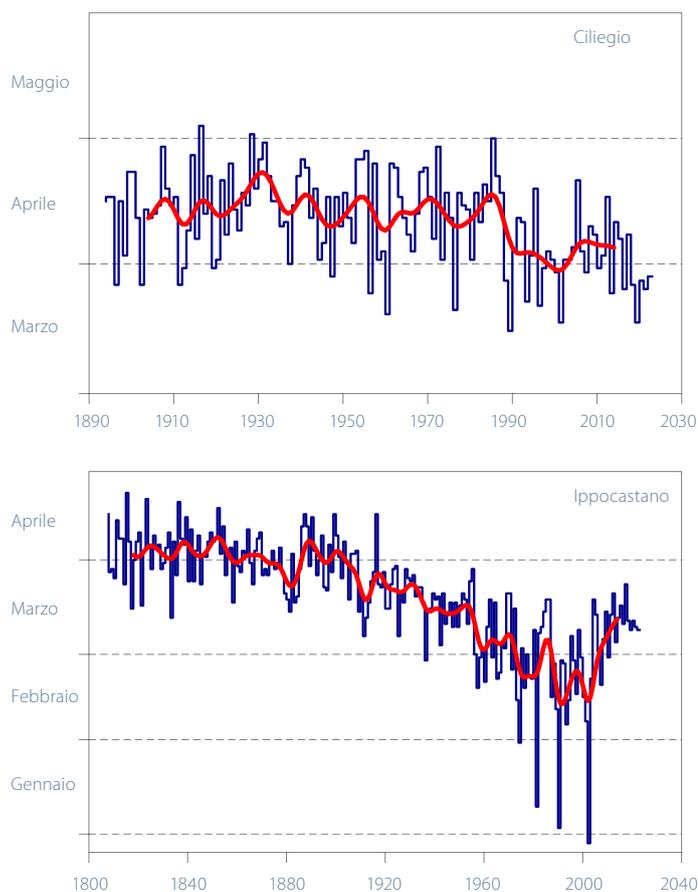


Figura 5.26

Data di fioritura del ciliegio a Liestal 1894–2023 (sopra) e data dello spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra 1808–2023 (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) [17], utilizzando come valori di partenza le serie storiche omogenizzate 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]).

 www.meteosvizzera.admin.ch/clima/i-cambiamenti-climatici/evoluzione-della-temperatura-delle-precipitazioni-e-del-soleggiamento/temperatura-media-svizzera-e-precipitazione-media-svizzera.html

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 [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 [39]. 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:

 www.meteosvizzera.admin.ch/clima/il-clima-della-svizzera/primati-ed-estremi/analisi-dei-valori-estremi.html

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, [40]) e SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, [41]) mostrano le deviazioni delle precipitazioni medie 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 [42]. 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°C ogni chilometro (cioè 0,2°C/100 m). 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 e Zurigo

Svizzera occidentale:
Berna, Ginevra, Neuchâtel

Ticino:
Locarno e 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 tossilaggine 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 [37].

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 e MeteoSvizzera.

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



Bibliografia

92

- [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.*, in review, 2020:
-  <https://doi.org/10.5194/acp-2019-1174>
- [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 Jungfrauoch analyzed by synoptic weather types. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5931-5944, doi: 10.5194/acp-11-5931-2011.
- [5] Bouët M., 1971: La tornade du 26 août 1971 à la Vallée de Joux. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*. Band (Jahr) 71 (1971–1973), Heft 337.
-  www.e-periodica.ch/cntmng?pid=bsv-002%3A1971%3A71%3A%3A187
- [6] NOAA PSL:
-  <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>
- [7] Alfred J., Fromm M., Bevilacqua R., Nedoluha G., Strawa A., Poole L., and Wickert J.: Observations and analysis of polar stratospheric clouds detected by POAM III and SAGE III during the SOLVE II/VINTERSOL campaign in the 2002/2003 Northern Hemisphere winter, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 2151-2163, 2007:
-  <https://doi.org/10.5194/acp-7-2151-2007>
- [8] Hinz C., Kärmer P., Können G. P., Polar stratospheric clouds over western Europe, *Weather* – April 2009, Vol. 64, No. 4, Royal Meteorological Society, doi: 10.1002/wea.318.
- [9] Keckhut P., David Ch., Marchand M., Bekki S., Jumelet J., Hauchecorne A. and Höpfner M.: Observation of Polar Stratospheric Clouds down to the Mediterranean coast, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 5275-5281, 2007:
-  <https://doi.org/10.5194/acp-7-5275-2007>
- [10] ACD NASA:
-  https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/qbo/qbo.html#mlsh2olat
- [11] WMO 2024: State of the Global Climate 2023, WMO-No. 1347, 53 p.:
-  <https://library.wmo.int/idurl/4/68835>

- [12] Copernicus C3S, ECMWF: Global Climate Highlights 2023:
<https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023>
- [13] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2022, published online January 2023, retrieved on January 29, 2023 from:
www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202213
- [14] 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).
- [15] MEI-Daten unter:
www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/
- [16] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.
- [17] 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
- [18] World Meteorological Organization (WMO), WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO-No. 1203:
<https://public.wmo.int/en/resources/library/wmo-guidelines-calculation-of-climate-normals>
- [19] Seiz G., Foppa N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S.:
www.meteoschweiz.admin.ch/ueber-uns/forschung-und-zusammenarbeit/internationale-zusammenarbeit/gcos/nationales-klimabeobachtungssystem.html
- [20] WMO, Essential Climate Variables:
<https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system/essential-climate-variables>
- [21] Sommertag, Deutscher Wetterdienst DWD:
www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Sommertag.html
- [22] 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.
- [23] Laternser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *International Journal of Climatology* 23: 733-750.
- [24] 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>

- [25] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit.
- [26] 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>
- [27] NCCS (Hrsg.), 2018: CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2:
 www.klimaszenarien.ch
- [28] 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>
- [29] MeteoSchweiz: 2018, Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp.
- [30] 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>
- [31] 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.
- [32] 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
- [33] WMO, 1957: Definition of the tropopause. *WMO Bull.*, 6, 136.
- [34] 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.
- [35] 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>
- [36] 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.
- [37] Studer S., Appenzeller C., Defila C., 2005: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395–414.

- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 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).
- [43] UK Met Office, Blog, 8. Januar 2013: What is a Sudden Stratospheric Warming (SSW)?
- [44] MétéoSuisse: 2024, Orage dévastateur du 24 juillet 2023 à La Chaux-de-Fonds, Rapport technique MétéoSuisse, 287, 56 pp.





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

 servizioclienti@meteosvizzera.ch

 [meteosvizzera.ch](https://www.meteosvizzera.ch)