

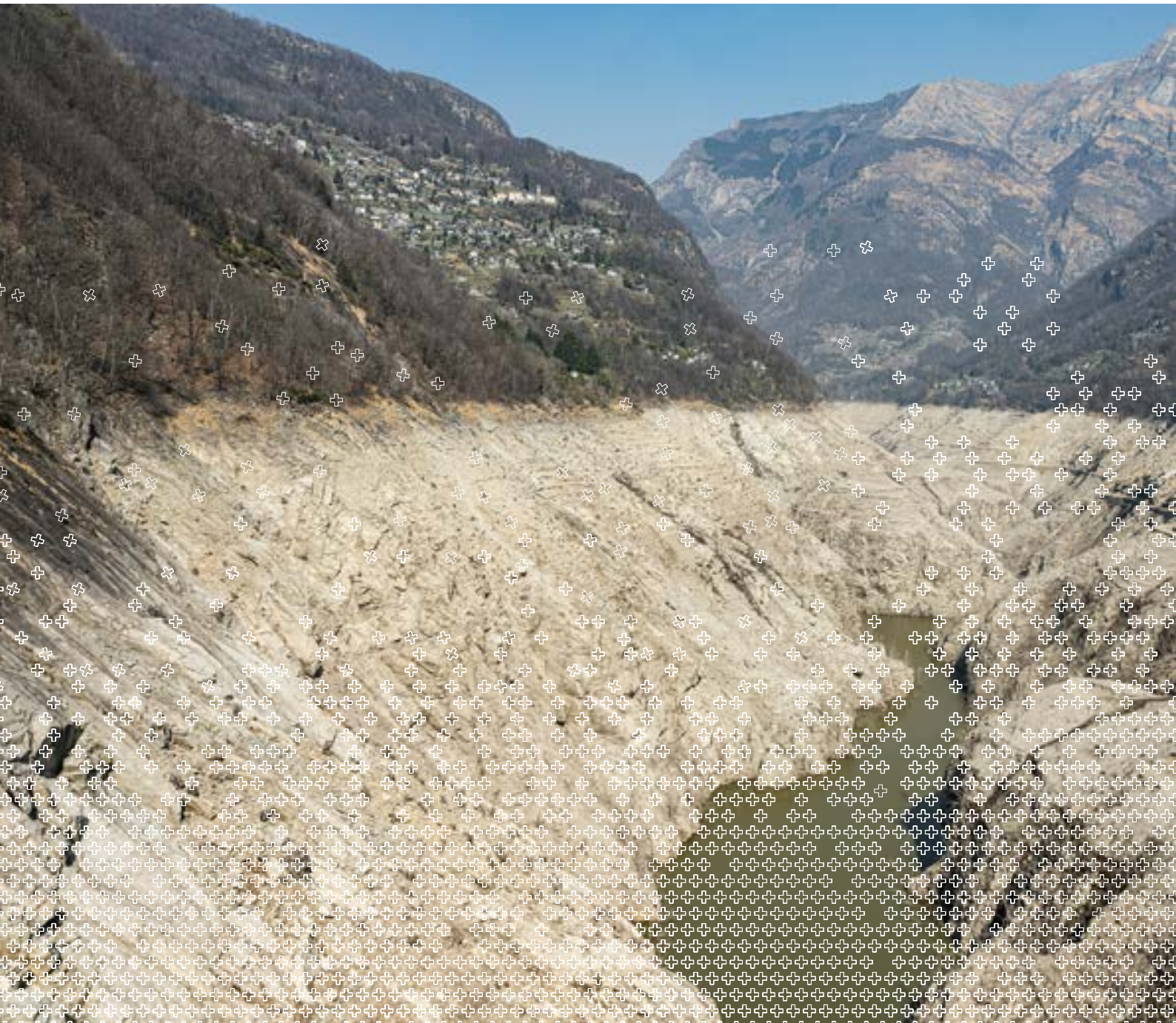


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

MeteoSvizzera

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

Rapporto sul clima 2022



Rapporto sul clima 2022

Editore

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

servizioclienti@meteosvizzera.ch
www.meteosvizzera.admin.ch

Redazione

Elias Zubler, Stephan Bader, Thomas Schlegel

Autori

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

Immagini

Foto di copertina: serbatoio svuotato in Valle Verzasca,
Ticino; contenuto con immagini della produzione di
energia da vento, sole e acqua.

Distribuzione

Pubblicazioni federali UFCL, CH 3003 Berna
www.bundespublikationen.admin.ch
Numero d'articolo 313.011.i
ISSN: 2296-1526

Citazione del presente rapporto:

MeteoSvizzera 2023: Rapporto sul clima 2022.
Ufficio federale di meteorologia e climatologia
MeteoSvizzera, Zurigo. 104 pagine.

Indice

	Riassunto	4
	Summary	7
1	Andamento del tempo nel 2022	8
2	Diagrammi dell'andamento annuale	18
	Temperatura, soleggiamento e precipitazioni	18
	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
	Stagione pollinica	36
3	Particolarità del 2022	42
3.1	Nel 2022 caldo record	42
3.2	Caldo estivo	44
3.3	Record di soleggiamento	46
4	Andamento meteorologico e climatico globale	50
4.1	Anno caldo in Europa e in Asia	50
4.2	El Niño e La Niña	52
4.3	Eventi particolari globali	53
5	Monitoraggio climatico	58
5.1	Atmosfera	60
5.1.1	Osservazioni al suolo	60
	Temperatura	60
	Giorni di gelo	64
	Giorni estivi	65
	Precipitazioni	66
	Giorni con precipitazioni moderate	70
	Precipitazioni nei giorni molto piovosi	71
	Periodi asciutti	72
	Indice di siccità	73
5.1.2	Atmosfera libera	76
	Quota dell'isoterma di zero gradi	76
	Altitudine della tropopausa	78
	Tendenza della temperatura a diversi livelli di pressione	80
5.1.3	Composizione dell'atmosfera	82
	Quota dell'isoterma di zero gradi	82
	Misurazioni dell'ozono a Payerne	83
	Concentrazione dei pollini	86
5.2	Suolo	88
	Quantitativi di neve fresca	88
	Giorni con neve fresca	89
	Indice di primavera	90
	Fioritura del ciliegio a Liestal e spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra	91
5.3	Base dei dati e dei metodi	94
	Bibliografia	98

Riassunto

4

In Svizzera la temperatura media dell'anno 2022 è stata pari a 7,4°C (cioè superiore alla norma 1991–2020 di 1,6°C), di gran lunga il valore più alto mai registrato dall'inizio delle misure nel 1864. Nel 2022 è quindi continuata la chiara tendenza al riscaldamento degli ultimi decenni.

A sud delle Alpi si è trattato localmente del secondo inverno più mite mai registrato e di quello più soleggiato degli ultimi 60 anni. Tutti e tre i mesi invernali sono stati caratterizzati anche da precipitazioni molto scarse.

All'inverno mite è seguita la quarta primavera più mite a livello nazionale dall'inizio delle misure nel 1864. Il mese di maggio è risultato particolarmente caldo: le quattro stazioni di misura di Basilea, Berna e Zurigo – che dispongono di serie di misura molto lunghe – hanno registrato la quarta primavera più soleggiata dall'inizio delle misure. Le precipitazioni primaverili sono state di molto inferiori alla norma 1991–2020. Per il versante nordalpino si è localmente trattato della primavera più asciutta da oltre 70 anni. La poca pioggia caduta è stata registrata soprattutto nei mesi di marzo e maggio.

Il periodo caldo è continuato con la seconda estate più calda a livello nazionale dall'inizio delle misure nel 1864. Solamente la leggendaria estate del 2003 era stata ancora più calda. Il mese di giugno è risultato il secondo, luglio il quarto, agosto il terzo più caldo dall'inizio delle misure. In tutti e tre i mesi estivi sono stati registrati periodi caldi con temperature massime superiori a 36°C. Il tempo quasi sempre soleggiato ha reso il semestre estivo 2023 il più soleggiato dall'inizio delle misure per svariate stazioni di misura. La scarsità di precipitazioni e l'elevata evaporazione hanno determinato un'importante siccità in molte regioni del Paese.

Le temperature superiori alle medie sono continuate anche in autunno. Il mese di ottobre è stato da primato e anche in novembre sono state misurate temperature elevate. L'autunno è così risultato il terzo più caldo dall'inizio delle misure nel 1864. A nord delle Alpi in autunno le precipitazioni sono state superiori alla media, soprattutto a causa del mese di settembre molto piovoso. A sud delle Alpi e nelle regioni limitrofe, invece, esse sono risultate inferiori alla norma.

Con una temperatura media superiore alla norma 1961–1990 di 0,8°C (+0,26°C rispetto alla norma 1991–2020), a livello globale l'anno 2022 è risultato il sesto più caldo a partire dal 1850. Durante tutto il corso dell'anno La Niña ha dominato sul Pacifico tropicale. Le temperature sono risultate elevate in tutti i continenti, ma soprattutto in

Siberia, in Europa, nell'Asia centrale e in Cina. Gli ultimi otto anni a partire dal 2015 sono stati i più caldi dall'inizio delle misure.

Nella tendenza a lungo termine della temperatura svizzera 1864–2022, l'anno 2022 è stato ancora una volta chiaramente contrassegnato dal cambiamento climatico a lungo termine. In Svizzera l'aumento delle temperature sul lungo periodo è evidente e riguarda tutte le stagioni: la media degli ultimi dieci anni è la più alta da quando sono iniziate le misurazioni sistematiche e risulta di 2,5°C superiore al periodo di riferimento preindustriale 1871–1900, mentre a livello globale il riscaldamento corrisponde a 1,1°C. 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; si osserva anche un aumento della quota dell'isoterma di zero gradi. Il riscaldamento generale si esprime anche in uno sviluppo più precoce della vegetazione.

L'andamento delle precipitazioni nel periodo 1864–2022 è caratterizzato da grandi oscillazioni annuali sia sull'Altopiano sia a sud delle Alpi. In inverno si osserva un aumento delle precipitazioni sul lungo periodo, mentre nelle altre stagioni non è possibile individuare una tendenza. Gli studi mostrano anche che a partire dal 1901 la frequenza e l'intensità delle piogge intense giornaliere sono aumentate nella maggior parte delle 185 stazioni di misura. Considerando gli ultimi 40 anni, le estati sono diventate mediamente più asciutte. Accanto alla debole diminuzione delle precipitazioni, l'aumentata evaporazione ha contribuito a causare condizioni più secche.

Per quanto riguarda la neve fresca e l'altezza della neve totale, negli ultimi 50–60 anni nelle Alpi è stata osservata un'importante riduzione.

La situazione dell'ozono in alta atmosfera sopra la Svizzera è rimasta stabile negli ultimi anni. Questo dopo che fra il 1970 e il 1995 era stata osservata una riduzione dell'ozono totale di circa il 6%.





Summary

Switzerland's annual mean temperature in 2022 reached 7,4°C (1.6°C above the norm 1991–2020), by far the highest value since measurements began in 1864. The year 2022 thus continues the clear warming trend of recent decades.

The second mildest winter was recorded locally on the southern side of the Alps. The southern side of the Alps experienced the sunniest winter of the last 60 years. Accordingly, all three winter months brought very little precipitation.

The mild winter was followed by the fourth warmest spring nationwide since measurements began in 1864. May was particularly warm. The four measurement sites in Basel, Bern, Geneva and Zurich with long measurement series recorded the fourth sunniest spring since measurements began. Precipitation levels remained well below the 1991–2020 norm across the board. On the northern side of the Alps, it was locally the spring with the least precipitation for more than 70 years. Little precipitation fell, especially in March and May.

The warmth continued with the second warmest summer nationwide since measurements began in 1864. Only the legendary hot summer of 2003 brought more warmth. In the national average it was the second hottest June, the fourth hottest July and finally the third hottest August since measurements began. All three summer months gave Switzerland a period of heat with maximum values above 36°C. The weather was persistently sunny. This led to the sunniest summer half-year since measurements began at several measurement sites. The lack of rain, which lasted for months and was accompanied by high evaporation, led to a pronounced drought in large parts of the country during the summer.

The above-average warmth also continued in autumn. The record-warm October and the far above-average November warmth led to the third warmest autumn since measurements began in 1864. North of the Alps, the autumn brought above-average precipitation overall. September was particularly wet. In contrast, the southern side of the Alps and neighbouring areas received below-average precipitation.

Worldwide, the year 2022 was the sixth warmest since measurements began in 1850. It was 0,8°C above the 1961–1990 norm (+0,26°C compared to the 1991–2020 norm). La Niña conditions prevailed in the tropical Pacific throughout the year. Warmth dominated on all continents, but especially in Siberia, Europe Central Asia and China. The last eight years since 2015 have been the warmest since measurements began.

In the long-term Swiss temperature trend 1864–2022, the year 2022 is yet another representation of the long-term climate change in Switzerland. The long-term temperature increase in Switzerland is clear and affects all seasons. The average over the last ten years is the highest since systematic records began. It is 2,5°C above the pre-industrial reference period 1871–1900 (global warming: 1,1°C). In line with the general temperature increase in Switzerland, the number of summer days has increased significantly, while the number of frost days has decreased. Likewise, an increase in the zero degree level can be observed. The general warming is also expressed in an earlier vegetation development.

The precipitation development in the period 1864–2022 is dominated by decadal and year-to-year fluctuations both on the Central Plateau and on the southern side of the Alps. In winter, a slight increase can be observed on the Central Plateau. The other seasons show no long-term change in precipitation totals. However, studies show that the frequency and intensity of daily heavy precipitation has increased at the vast majority of 185 measuring stations since 1901. When considering 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 significant decrease in new snow 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 2022

In Svizzera l'anno 2022 è risultato di gran lunga il più caldo e localmente anche il più soleggiato dall'inizio delle misure nel 1864. L'anno è stato infatti caratterizzato da molti periodi con temperature superiori alla media, soleggiamento abbondante e precipitazioni scarse. Durante l'estate si sono verificate tre ondate di caldo e in alcune regioni svizzere una forte siccità.

Caldo record

La temperatura media nazionale del 2022 è risultata pari a 7,4 °C (superiore alla norma 1991–2020 di 1,6 °C), valore più elevato dall'inizio delle misure nel 1864. La forte tendenza al riscaldamento registrata negli ultimi anni è quindi continuata.

L'anno 2022 è stato caratterizzato da periodi e mesi molto caldi. Solamente il mese di settembre ha fatto registrare una temperatura media inferiore alla norma 1991–2020.

I sette anni più caldi dal 1864 si sono verificati tutti dopo il 2010, con valori di temperatura di almeno 1 °C superiori a quelli degli anni più caldi precedenti al 1980. Il marcato rialzo delle temperature osservato a partire dal 2010 è il secondo degli ultimi trent'anni, dopo quello degli anni Novanta. Fra il periodo preindustriale 1871–1900 e l'ultimo trentennio 1993–2022 la temperatura media annuale in Svizzera è aumentata di circa 2 °C.

Inverno e primavera miti

A sud delle Alpi l'inverno 2021/22 è stato localmente il secondo più mite dall'inizio delle misure. Si è poi verificata la quarta primavera più calda a livello nazionale, caratterizzata da un mese di maggio risultato anch'esso il secondo più caldo. Molte stazioni di misura hanno registrato perfino il mese di maggio più caldo dall'inizio delle misure.

Estate molto calda

Il periodo caldo è continuato con la seconda estate più calda a livello nazionale dall'inizio delle misure nel 1864. Solamente la leggendaria estate del 2003 era stata ancora più calda. Il caldo estivo ha interessato tutti e tre i mesi estivi. Su scala nazionale è stato registrato il secondo giugno, il quarto luglio e il terzo agosto più caldo dall'inizio delle misure nel 1864.

In tutti i mesi estivi si è manifestato un periodo molto caldo con temperature massime anche superiori a 36 °C. Il 4 agosto a Ginevra sono stati misurati 38,3 °C, la temperatura più elevata dell'estate 2022. In luglio a Lugano si sono verificate 14 giornate consecutive con temperatura massima di almeno 30 °C, il periodo caldo più lungo mai registrato dall'inizio delle misure nel 1864.

Caldo record in ottobre

Anche in autunno sono state registrate temperature più elevate della media. Il caldo record di ottobre e un mese di novembre caratterizzato da temperature molto elevate hanno fatto sì che l'autunno sia risultato il terzo più mite dall'inizio delle misure, con temperature simili a quelle dell'autunno 2014. Solamente l'autunno del 2006 era stato molto più mite.

Anno più soleggiato dall'inizio delle misure

Il soleggiamento è stato abbondante durante tutto l'anno. Tre delle quattro stazioni di misura le cui serie storiche omogenee sono lunghe più di 120 anni – Ginevra, Basilea e Zurigo – hanno registrato l'anno più soleggiato dall'inizio delle misure. Anche diversi siti di misurazione con dati omogenei dal 1961 ad oggi riportano il primo posto. Il 2022 è stato particolarmente ricco di sole a Ginevra, dove il primato precedente è stato superato di più di 150 ore.

Al Sud l'inverno più soleggiato

A livello locale per il sud delle Alpi si è trattato dell'inverno più soleggiato del periodo con dati omogenei, vale a dire più di 60 anni. Localmente il mese di gennaio è risultato il più soleggiato, il mese di febbraio il secondo o terzo più soleggiato. A nord delle Alpi è stato invece localmente il quarto o quinto inverno più soleggiato dall'inizio delle misure più di 120 anni fa (Ginevra, Berna). Il numero di ore di sole del mese di gennaio è stato particolarmente elevato: per Ginevra, Berna e Zurigo si è trattato del secondo mese di gennaio più soleggiato dietro a gennaio 2020.

Primavera soleggiata

A Basilea, Berna, Ginevra e Zurigo la primavera del 2022 è risultata la quarta più soleggiata dall'inizio delle misure più di 120 anni fa. Il soleggiamento è stato abbondante soprattutto in marzo: per Zurigo si è trattato del mese di marzo più soleggiato dall'inizio dei rilevamenti, per Basilea e Berna del quinto. A Ginevra il mese di maggio è stato il quinto più soleggiato dall'inizio delle misure.

In estate soleggiamento da primato

Ginevra e Basilea hanno registrato l'estate più soleggiata, Zurigo la seconda più soleggiata dall'inizio delle misure più di 120 anni fa. Anche le stazioni di misura le cui serie storiche sono cominciate poco più di 60 anni fa hanno registrato un'estate fra le più soleggiate mai misurate. Per Lugano, la Chaux-de-Fonds, Neuchâtel e Altdorf si è trattato dell'estate più soleggiata, per Locarno Monti, Sion, San Gallo e Lucerna della seconda più soleggiata. A Samedan, a Davos e sul Säntis la stagione estiva è stata invece la terza più soleggiata.

Il tempo costantemente molto soleggiato ha determinato il semestre estivo (aprile–settembre) più soleggiato dall'inizio delle misure.

Siccità importante

A sud delle Alpi in tutte le stagioni le precipitazioni sono risultate inferiori alla media. La primavera e l'estate sono risultate scarse di piogge in tutto il Paese, mentre in autunno sulla Svizzera occidentale esse sono state abbondanti. Su scala nazionale l'anno 2022 appartiene ai dieci più poveri di precipitazioni dall'inizio delle misure nel 1864.

Come conseguenza della siccità persistente iniziata in inverno, durante i mesi primaverili si sono sviluppati alcuni incendi nei cantoni Berna, Ticino e Vallese. L'incendio più grande si è verificato fra il 23 e il 25 marzo nelle Centovalli in Ticino, causando la chiusura temporanea della linea ferroviaria e delle strade.

Verso la fine dell'estate la mancanza di pioggia, che si è protratta per mesi ed è stata accompagnata da un'elevata evaporazione a causa delle temperature quasi sempre elevate, ha causato una importante siccità nella Svizzera occidentale e sul versante sudalpino.

Al Sud siccità invernale estrema

A sud delle Alpi tutti e tre i mesi invernali sono stati caratterizzati da precipitazioni molto scarse. Per Locarno Monti, ad esempio, si è trattato del secondo inverno più asciutto dall'inizio delle misure nel 1884. Nel resto del Paese le precipitazioni invernali sono rientrate nella norma 1991–2020.

Poca pioggia primaverile

I quantitativi di precipitazione della primavera sono risultati in modo esteso inferiori alla norma. A nord delle Alpi a livello locale si è verificata la primavera più asciutta da più di 70 anni, a sud di esse da più di 60 anni.

Le precipitazioni sono risultate scarse soprattutto in marzo e in maggio. Localmente il mese di marzo è stato il più asciutto o il secondo più asciutto dall'inizio delle misure, mentre in maggio le precipitazioni sono state inferiori alla norma in modo esteso. Molti siti di misura della Svizzera occidentale hanno registrato il mese di maggio più asciutto dall'inizio delle misure più di 60 anni fa. Per La Chaux-de-Fonds si è trattato del mese di maggio più asciutto da più di 120 anni.

Luglio molto asciutto a livello regionale

In alcune regioni le precipitazioni di giugno sono risultate attorno alla media o superiori ad essa; alcune stazioni di misura hanno registrato uno dei mesi di giugno più ricchi di precipitazioni dall'inizio delle misure. Luglio, invece, è stato scarso di precipitazioni: a livello regionale è caduta meno del 30%, localmente anche meno del 10%, della precipitazione media mensile. Per la Svizzera sudoccidentale si è trattato del mese di luglio meno piovoso da più di 50 anni. Assieme alle temperature elevate e alla conseguente evaporazione, la scarsità di precipitazioni dei mesi precedenti ha causato per questa regione un'importante siccità.

All'Ovest autunno piovoso

A nord delle Alpi, l'autunno ha fatto registrare precipitazioni diffusamente superiori alla media. L'autunno è stato particolarmente piovoso nella Svizzera occidentale e localmente sull'Altopiano centrale, con quantitativi di precipitazione superiori al 130% della norma 1991–2020. Nelle Alpi, i valori sono stati compresi in molte località tra l'80 e il 120% della norma.

A sud delle Alpi e nelle regioni limitrofe la somma stagionale delle precipitazioni è stata invece compresa fra il 60 e il 90% della norma, ma localmente essa non ha raggiunto il 50% di essa. Dato che la media delle precipitazioni autunnali è più elevata al Sud rispetto al Nord, i quantitativi di pioggia misurati a sud della cresta alpina sono risultati comunque più elevati di quelli registrati a nord di essa. Per esempio a Stabio sono caduti 391 mm (che corrispondono al 75% della norma), a Neuchâtel 339 mm (pari al 141% della norma).

Fine anno estremamente mite

La prima metà del mese di dicembre è risultata fresca con ripetute nevicate fino a basse quote. In seguito un'importante riscaldamento ha determinato un rialzo del limite delle nevicate fino a oltre 2000 metri.

Il 31 dicembre l'aria calda di origine subtropicale ha innalzato le temperature a nord delle Alpi fino a 14–16 °C, mentre nelle vallate nordalpine interessate dal favonio e nella Svizzera nordoccidentale sono stati superati i 17 °C. I valori di temperatura più elevati misurati dalla rete di stazioni di MeteoSvizzera sono stati quelli di Delémont (20,9 °C) e Vaduz (19,3 °C). Numerosi siti di misura hanno registrato nuovi primati per quanto riguarda le temperature dell'ultima decade del mese. Per Delémont si è trattato del secondo valore più alto dall'inizio delle misure nel 1959. Ad Elm sono stati invece raggiunti i 18 °C, valore più alto per dicembre della serie storica iniziata 50 anni fa.

Bilancio dell'anno

In molte regioni svizzere la temperatura media annuale è risultata da 1,3–1,8 °C superiore alla norma 1991–2020. Nella Svizzera occidentale e in Vallese l'anomalia positiva ha raggiunto 1,9–2,1 °C, mentre in Engadina essa non ha superato 1–1,5 °C. Su scala nazionale essa è risultata pari a 1,6 °C, di gran lunga il valore più elevato dall'inizio delle misure nel 1864.

La somma annuale delle precipitazioni è stata compresa in modo esteso fra il 70 e il 90% della norma 1991–2020. A Sud delle Alpi, tuttavia, essa non ha superato il 50–75 % della media. Molte stazioni di misura le cui serie storiche sono iniziate più di 60 anni fa hanno registrato uno dei dieci anni più poveri di precipitazioni, in alcuni casi anche il più povero. Per il versante sudalpino si è trattato in modo esteso dell'anno più asciutto o del secondo anno più asciutto dall'inizio delle misure, anche per alcune stazioni che misurano da più di 100 anni.

A nord delle Alpi la somma annuale del soleggiamento è stata compresa fra il 120 e il 130% della norma 1991–2020, altrove fra il 110 e il 120% di essa. Molti siti di misura hanno registrato l'anno più soleggiato dall'inizio delle misurazioni.

Stazione	Quota	Temperatura [°C]			Durata del soleggiamento [h]			Precipitazioni [mm]		
	m s.l.m.	Media	Norma	Deviaz.	Totale	Norma	%	Totale	Norma	%
Berna	553	11.0	9.3	1.7	2143	1797	119	895	1022	88
Zurigo	556	11.5	9.8	1.7	2149	1694	127	872	1108	79
Ginevra	420	12.8	11.0	1.8	2342	1887	124	694	946	73
Basilea	316	12.6	11.0	1.6	2119	1687	126	795	842	94
Engelberg	1036	8.4	6.8	1.6	1608	1380	117	1271	1568	81
Sion	482	12.2	10.7	1.5	2400	2158	111	486	583	83
Lugano	273	14.4	13.0	1.4	2514	2120	119	1096	1567	70
Samedan	1709	3.5	2.4	1.1	1998	1767	113	571	710	80

Norma Media pluriennale 1991–2020
 Deviaz. Deviazione della temperatura dalla norma 1991–2020
 % Percentuale rispetto alla norma 1991–2020 (norma = 100%)

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

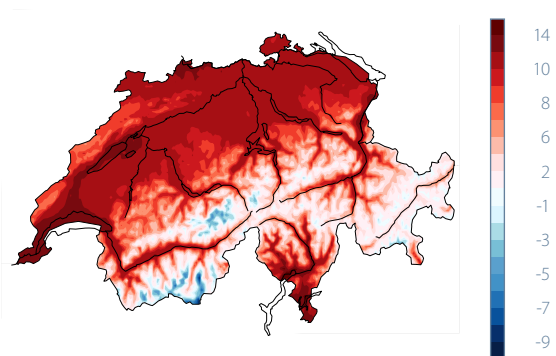


Tutti i rapporti mensili e stagionali del 2022 (bollettini mensili e stagionali) sono disponibili al seguente link:
www.meteosvizzera.admin.ch/servizi-e-pubblicazioni

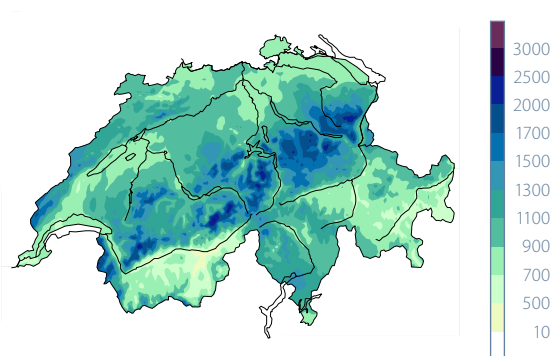
Temperatura, precipitazioni e soleggiamento nell'anno 2022

Valori rilevati 2022

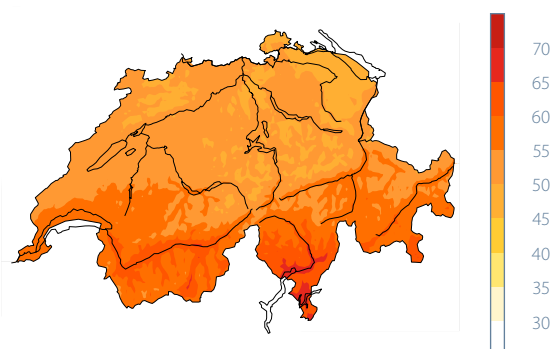
Temperatura media annuale in °C



Precipitazioni annuali in mm

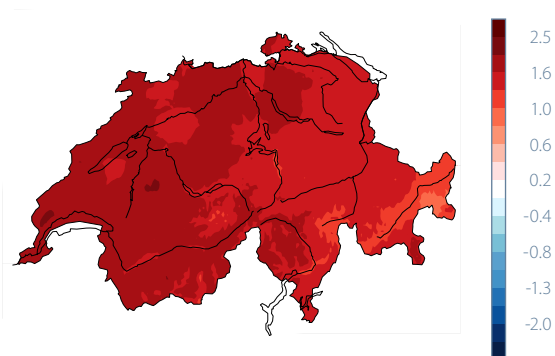


% del soleggiamento annuale possibile

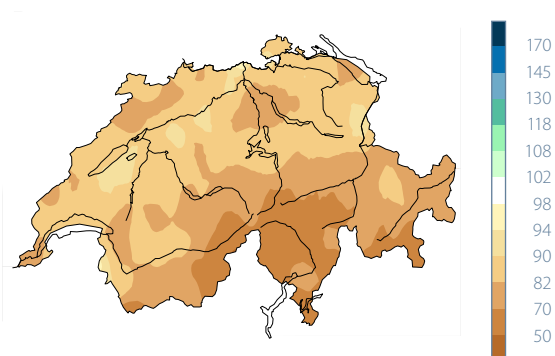


Deviazione dalla norma 1991-2020

Deviazione della temperatura annuale dalla norma in °C



Precipitazioni annuali in % della norma



Soleggiamento annuale in % della norma

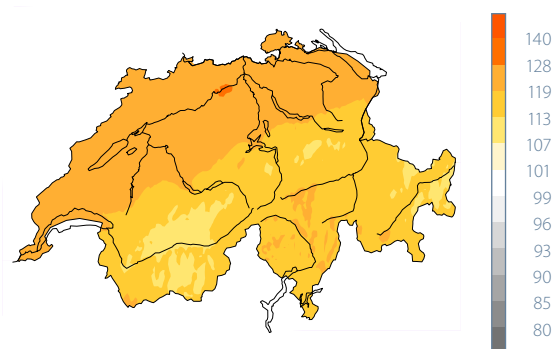
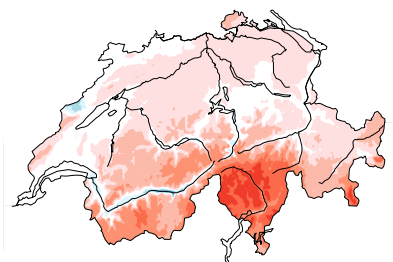


Figura 1.1

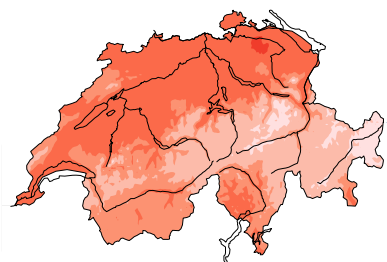
Distribuzione della temperatura, precipitazioni e soleggiamento nell'anno 2022. Sono riportati i valori rilevati (a sinistra) e le rispettive deviazioni dalla norma 1991-2020 (a destra).

Temperature mensili nel 2022 scarto dalla norma 1991–2020

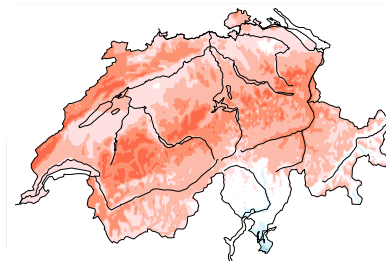
Gennaio 2022



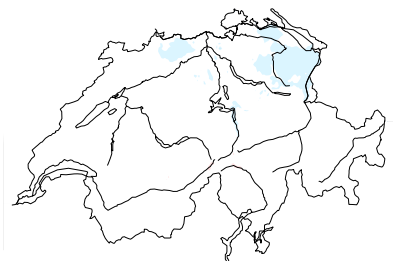
Febbraio 2022



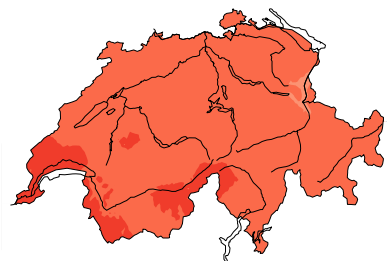
Marzo 2022



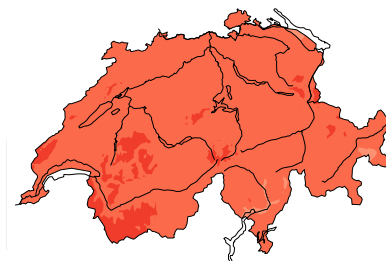
Aprile 2022



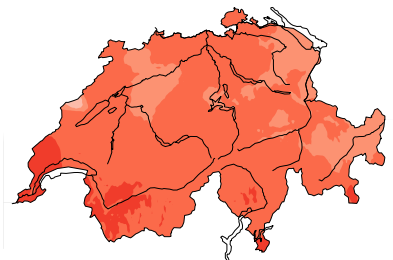
Maggio 2022



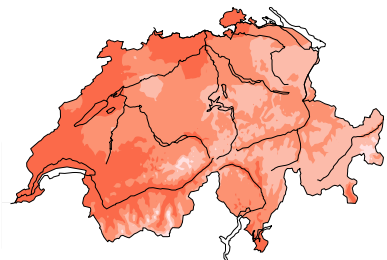
Giugno 2022



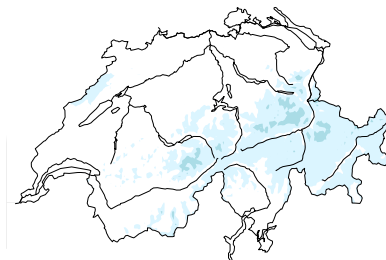
Luglio 2022



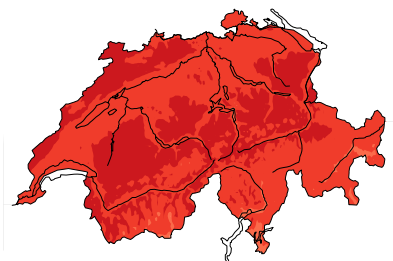
Agosto 2022



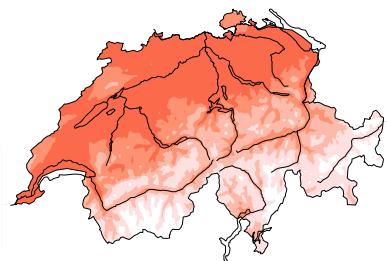
Settembre 2022



Ottobre 2022



Novembre 2022



Dicembre 2022

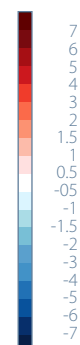
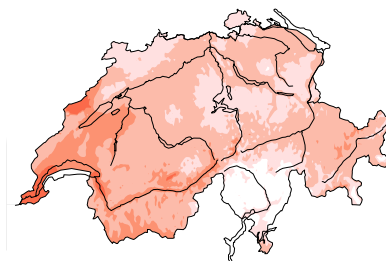
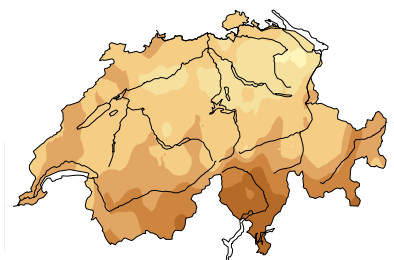


Figura 1.2

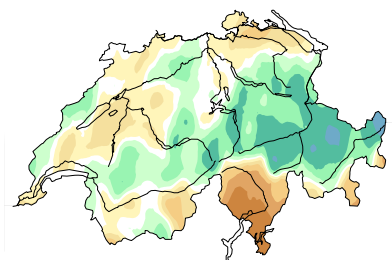
Distribuzione spaziale dello scarto delle temperature mensili in gradi [°C] rispetto alla norma 1991–2020 in °C.

Precipitazioni mensili nel 2022 in percento rispetto alla norma 1991–2020

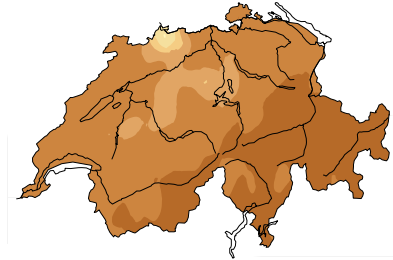
Gennaio 2022



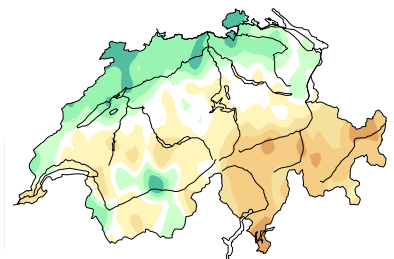
Febbraio 2022



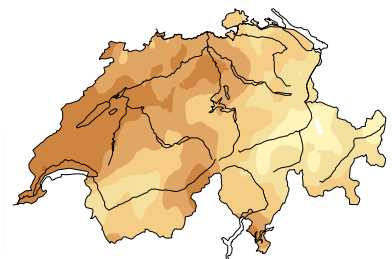
Marzo 2022



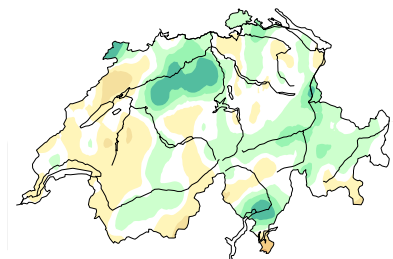
Aprile 2022



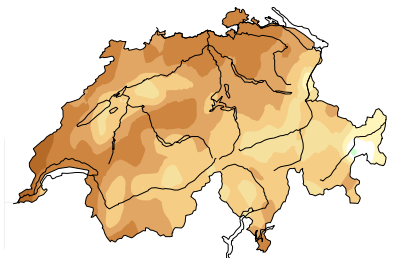
Maggio 2022



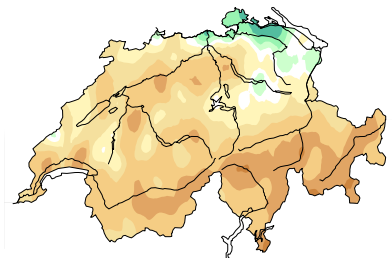
Giugno 2022



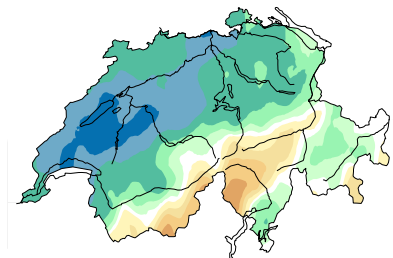
Luglio 2022



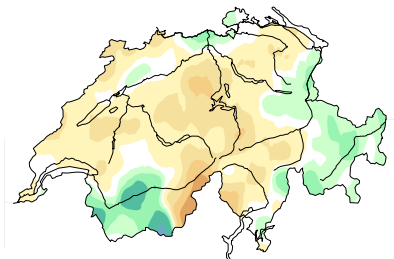
Agosto 2022



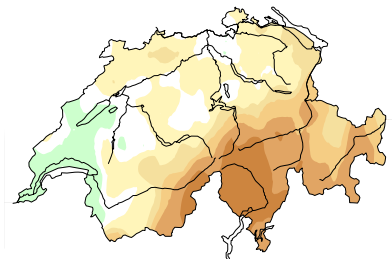
Settembre 2022



Ottobre 2022



Novembre 2022



Dicembre 2022

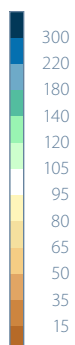
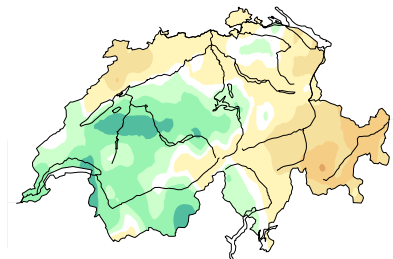


Figura 1.3

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

Soleggiamento mensile nel 2022 in percento rispetto alla norma 1991–2020

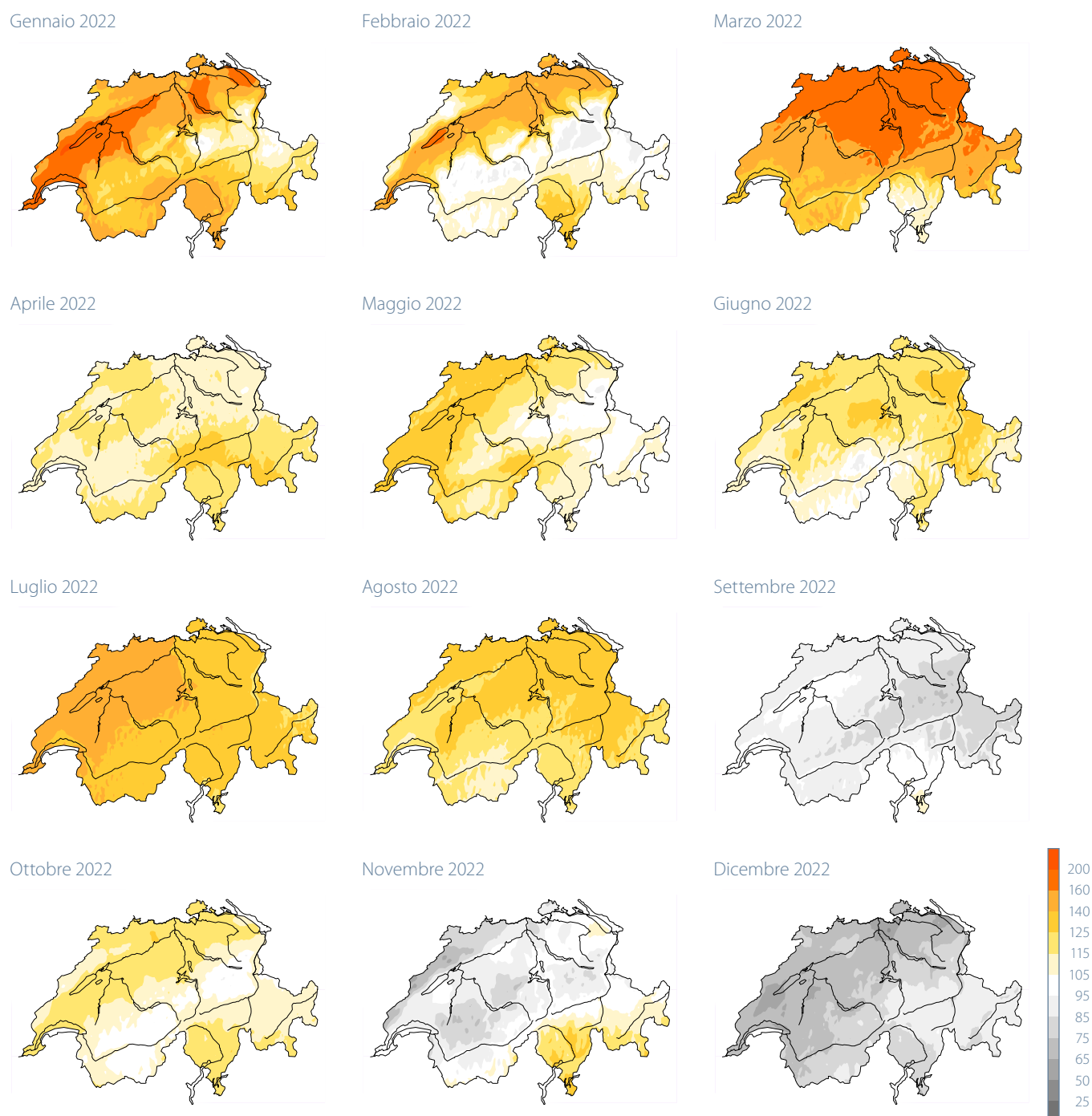


Figura 1.4

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





2 | Diagrammi dell'andamento annuale

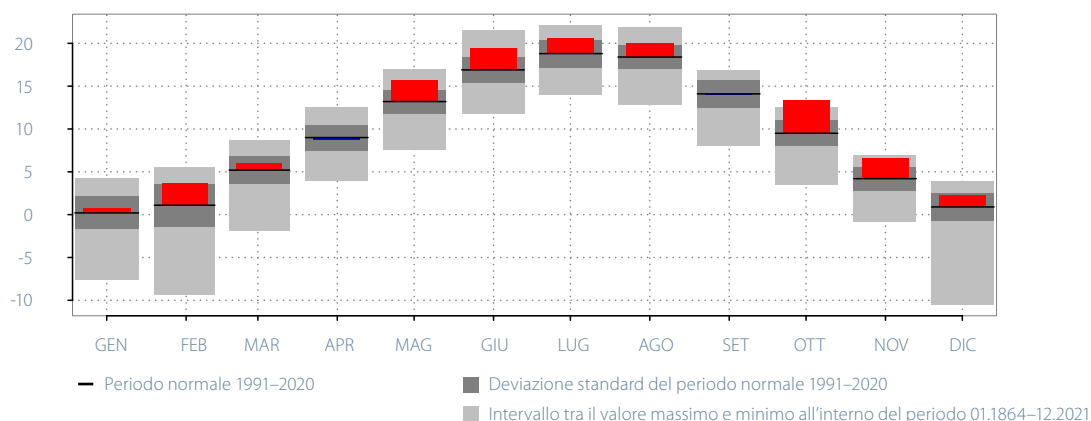
18

Temperatura, soleggiamento e precipitazioni

Berna-Zollikofen (553 m) 1.1.-31.12.2022

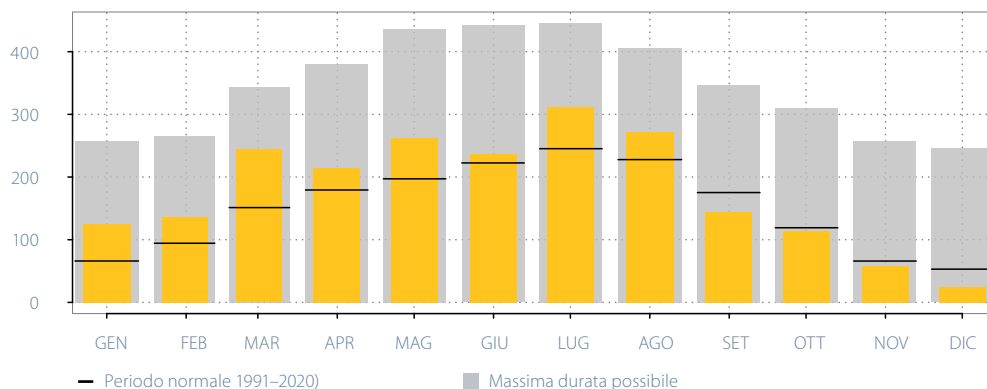
Temperatura media mensile in °C

Media: 10,9; norma: 9,3



Durata del soleggiamento mensile in ore

Somma: 2143,0; norma: 1797,1



Precipitazione mensile in mm

Somma: 895,1; norma: 1021,8

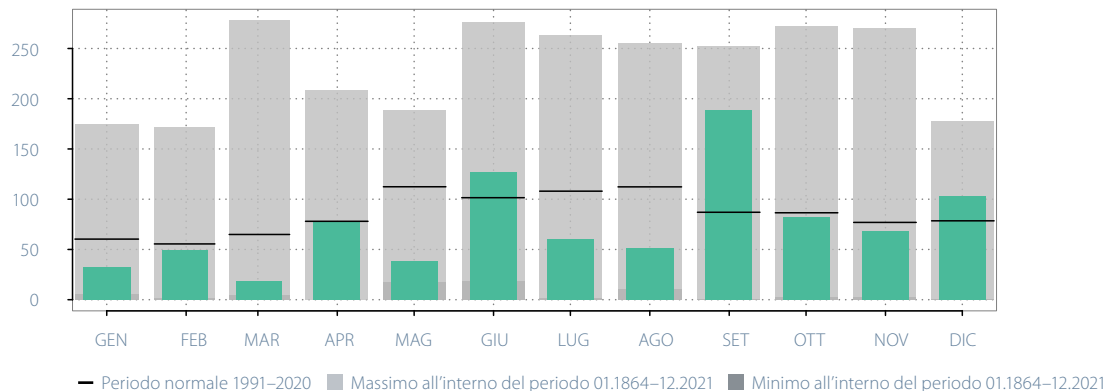


Figura 2.1

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

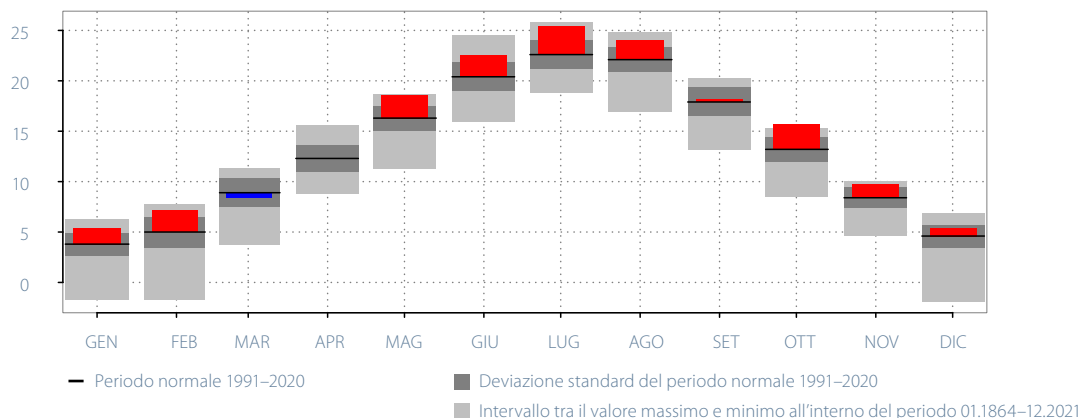
I diagrammi sull'andamento annuale di tutte le stazioni della rete climatica svizzera [1] sono disponibili al seguente indirizzo internet.

www.meteosvizzera.admin.ch/clima/il-clima-della-svizzera/andamento-annuale-della-temperatura-delle-precipitazioni-e-del-soleggiamento.html 

Lugano (273 m) 1.1.–31.12.2022

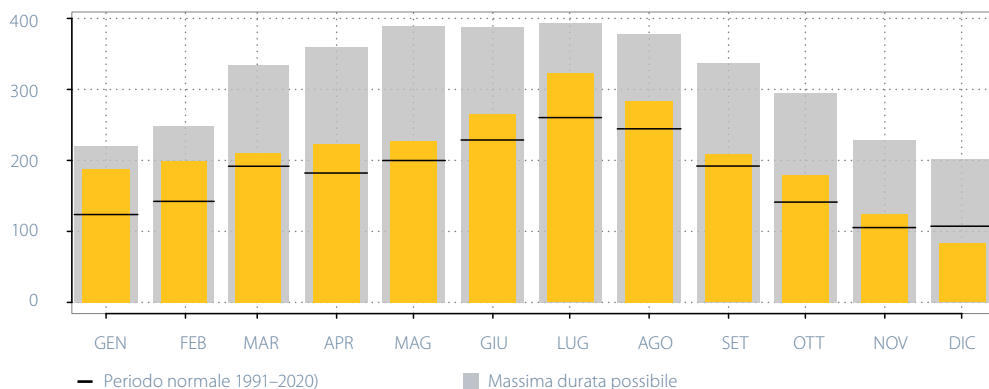
Temperatura media mensile in °C

Media: 14,4; norma: 13,0



Durata del soleggiamento mensile in ore

Somma: 2513,6; norma: 2119,8



Precipitazione mensile in mm

Somma: 1096,4; norma: 1566,6

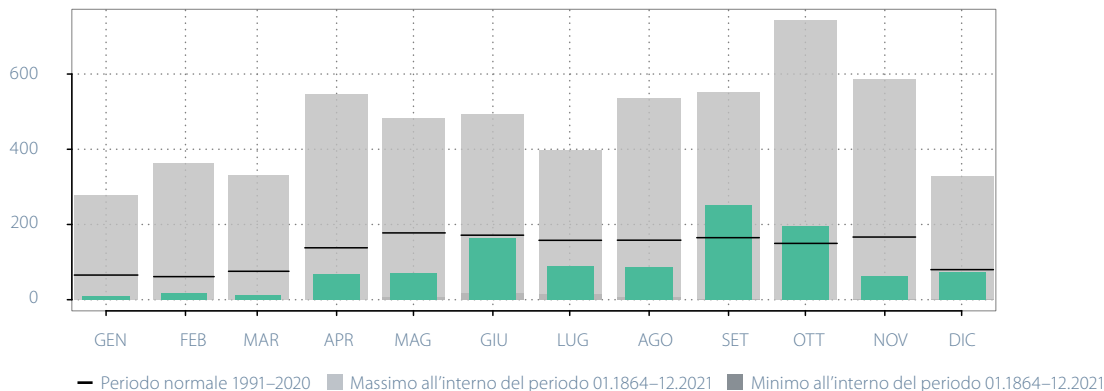


Figura 2.2

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

Il 2022 è stato l'anno con la maggiore radiazione globale dall'inizio delle misure satellitari nel 2004. In quasi tutte le regioni della Svizzera i valori della radiazione globale sono risultati superiori di oltre 10 W/m² rispetto alla media del periodo 2004–2021. Questo è dovuto a un'estate particolarmente soleggiata. I valori sono nella norma unicamente in piccole zone delle Alpi settentrionali e in alcune regioni del Vallese meridionale.

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

Il 2022 è stato caratterizzato da tempo estremamente variabile. In tutta la Svizzera gennaio e febbraio sono risultati nella norma con periodi soleggiati alternati a periodi nuvolosi. Marzo è stato molto soleggiato soprattutto in Ticino, aprile molto grigio in montagna. In maggio la radiazione globale è risultata nettamente superiore alla media in particolare sull'Altopiano. Da metà giugno a metà di agosto in Svizzera il tempo è stato eccezionalmente soleggiato, quasi ininterrottamente (Figura 1.4). In luglio in

tutta la Svizzera la radiazione globale è risultata di 50 W/m² nettamente superiore alla norma. Anche in agosto essa è stata di 20 W/m² ancora superiore alla norma. Settembre è stato caratterizzato da un lungo periodo con giornate molto nuvolose e anche in ottobre, novembre e dicembre si sono verificati molti periodi nuvolosi. Soprattutto in novembre i valori della radiazione globale sono risultati nettamente inferiori alla norma in tutta la Svizzera.

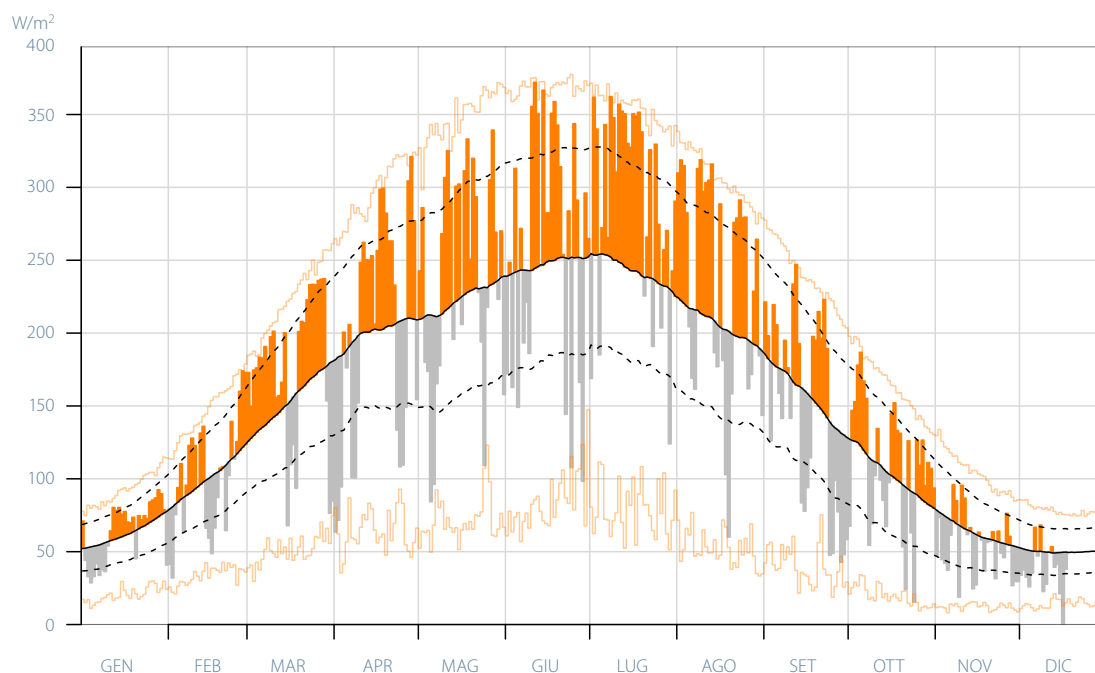


Figura 2.4
Radiazione globale media giornaliera mediata su tutta la Svizzera nel corso dell'anno 2022.
 Le colonne in arancione indicano una radiazione superiore al periodo di confronto 2004–2021, quelle in grigio valori al di sotto della media.

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 00 e alle 12 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.

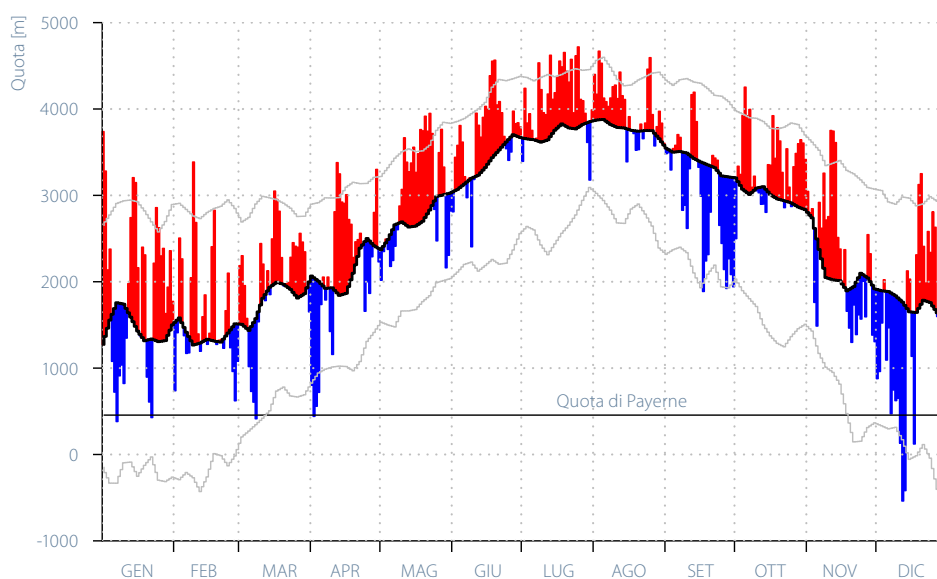
La Figura 2.5 mostra le variazioni giornaliere dell'altezza dell'isoterma di zero gradi durante l'anno 2022, in valori assoluti (altezza sul livello del mare) e rispetto ai valori di riferimento giornalieri del periodo 1991–2020 (curva nera). Le colonne blu e rosse mostrano le deviazioni dalla norma. La mediana del periodo 1991–2020 ammonta a 2605 m. Nel 2022 il valore mediano della quota dell'isoterma di zero gradi è stato di 2830 m, ovvero di 225 m più alto rispetto alla media della norma e di 150 m superiore al valore del 2021. Il tasso percentuale delle anomalie negative nel 2022 ammonta al 36,4% e pertanto nettamente inferiore al 53,7%

del 2021. Nel 2022 il tasso percentuale delle anomalie positive (in rosso) è aumentato del 46,3% rispetto al 2021, raggiungendo il 63,6%. Il valore più alto della serie annuale è stato misurato il 25 luglio 2022 con un'altezza di 4719 m slm, 19 m al di sopra del valore massimo del 2021. La quota di -539 m misurata il 12 dicembre corrisponde al minimo della serie annuale ed è 160 m più alta di quella del 2021. Valori diurni al di sotto del livello del suolo sono stati rilevati praticamente solo in dicembre. Anche la percentuale dei giorni del 2022 in cui le anomalie dell'altezza dell'isoterma di zero gradi rispetto alla norma sono risultate superiori al 95° percentile della distribuzione climatologica 1991–2020 (colonne rosse che si estendono al di sopra della linea grigia superiore) ammonta al 12,9%, rispetto al 7,12% del 2021. Solo il 2,7% delle anomalie negative è risultato inferiore al 5° percentile della distribuzione climatologica (colonne blu che si estendono al di sotto della linea grigia inferiore).

Le lunghe fasi con una quota dell'isoterma di zero gradi relativamente alta, ripetutesi nel corso del 2022 e soprattutto nel semestre estivo, sono un ulteriore indicatore del caldo eccezionale del 2022. Questo dimostra anche che gli scarti positivi delle temperature riguardano per lo più sia le basse, sia le alte quote. La mediana annuale della quota dell'isoterma di zero gradi dell'anno 2022 conferma la tendenza positiva dei valori annui in atto dalla metà degli anni Ottanta (cfr. capitolo 5.1.2).

Figura 2.5 Mediana 2022: 2830 m; norma 1991–2020: 2605 m

Quota giornaliera dell'isoterma di zero gradi nell'atmosfera libera sopra Payerne nel 2022. 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%.



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 2022. 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 slm) 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 2022 ammonta a 11'658 m ed è pertanto di 403 m più alta della mediana di riferimento, pari a 11'255 m. Solo il 38,6% di tutti i valori giornalieri è inferiore alla norma. Nel 61,4% dei giorni del 2022 i valori hanno invece superato la norma. Tra maggio e agosto le misure sono risultate quasi continuamente al di sopra del valore di riferimento, con solo pochi valori estremi verso il basso. Solo verso la fine dell'anno, nelle prime due settimane di dicembre, c'è stata una fase più lunga con deviazioni negative estreme.

Rispetto al più fresco 2021, nel 2022 i valori di caldo estremo sono stati più frequenti. Nel complesso l'8,5% delle deviazioni positive dalla norma ha superato il 95° percentile e solo l'1,6% delle anomalie negative è rimasto al di sotto del 5° percentile. L'altitudine più alta della tropopausa del 2022, pari a 15'592 m, è stata misurata il 25 luglio e supera di 1102 m quella del 2021. Il valore minimo di 6364 m è stato registrato l'11 dicembre.

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

Mediana 2022: 11'658 m; norma 1991–2020: 11'255 m

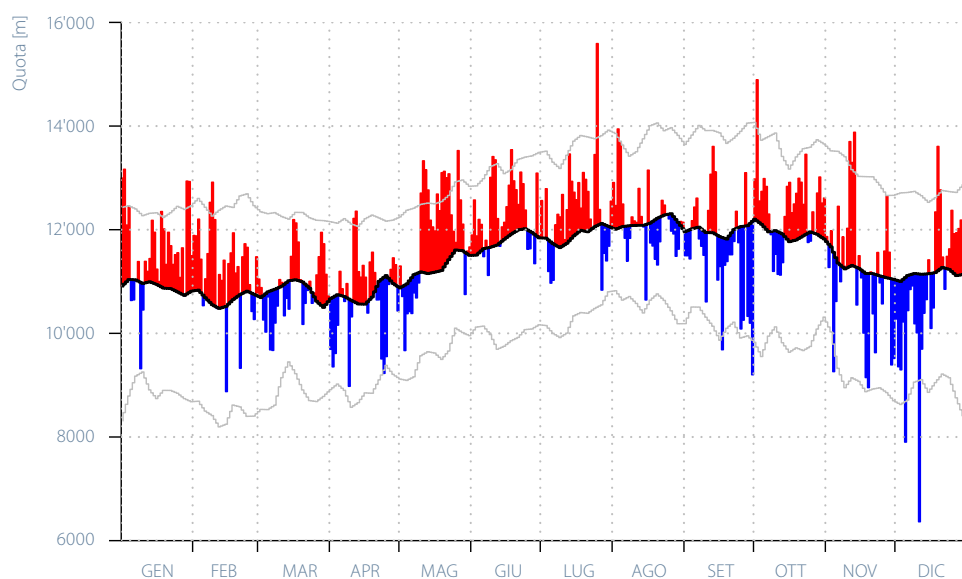


Figura 2.6
Quota giornaliera della tropopausa sopra Payerne nel 2022, in base ai radiosondaggi delle ore 11 UTC e 23 UTC. Il valore mediano (periodo di riferimento 1991–2020) è calcolato con dati omogenei e liscio con un filtro numerico. Il 90% dei valori medi giornalieri viene a trovarsi nella fascia tra i percentili del 5% e del 95%.

Precipitazioni intense eccezionali

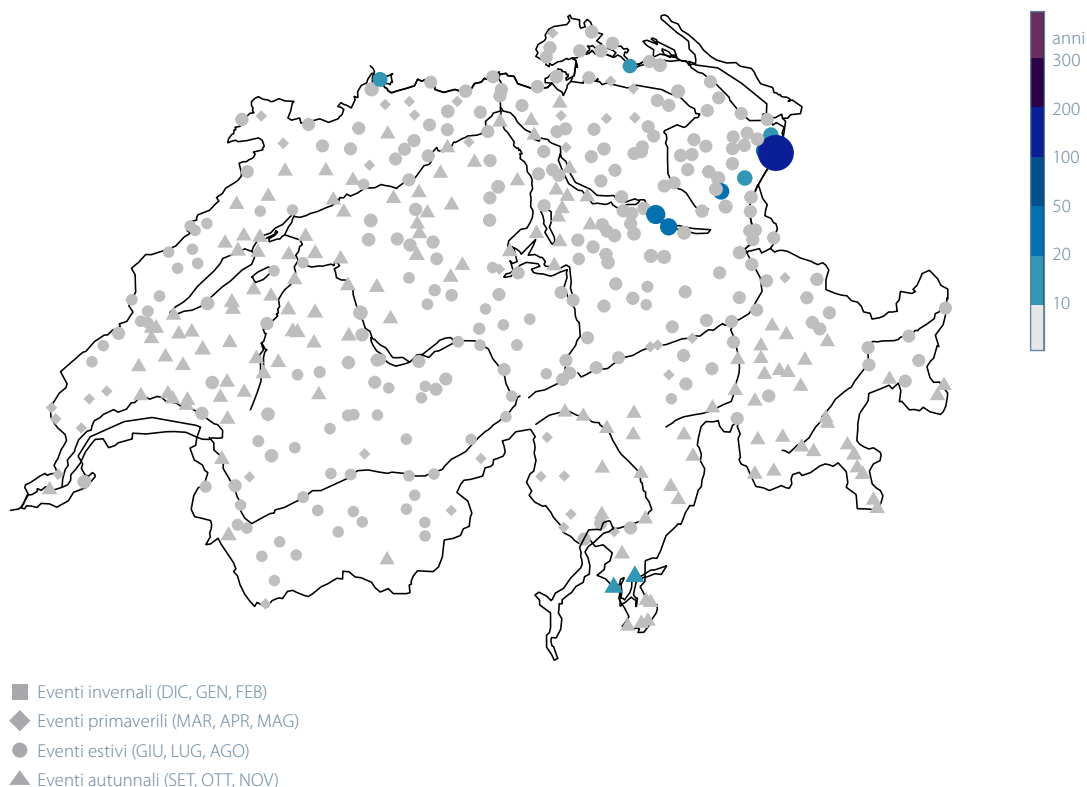
Per valutare se si è in presenza di un evento meteorologico straordinario o meno, si eseguono delle analisi sulle frequenze (o analisi sui valori estremi), per sapere con quale frequenza media su un periodo lungo molti anni l'evento considerato potrebbe verificarsi, per esempio ogni 10 o 20 anni. Questo 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. Nel 2022 le precipitazioni giornaliere più estreme si sono verificate il 19 agosto. A partire dal 17 agosto una depressione sul vicino Atlantico ha convogliato aria molto umida verso la Svizzera. Il 19 agosto questa massa d'aria umida è stata sospinta verso le Alpi da una corrente in quota proveniente da nord. Questo ha provocato precipitazioni intense e continue soprattutto lungo le Prealpi orientali e nella Valle del Reno sangallese. A Oberriet (SG) quel giorno sono stati misurati 144,7 mm di precipitazioni, che in questa stazione corrispondono a un periodo di ritorno

di 140 anni. A Schänis il quantitativo giornaliero registrato il 19 agosto (120,3 mm) si verifica ogni 38 anni, quello di Altstätten (121,9 mm) viene superato ogni 27 anni circa. Anche a Weesen, sul Walensee, lo stesso giorno sono caduti 119,9 mm di precipitazione (periodo di ritorno di 26,5 anni). Sul Säntis sono stati rilevati addirittura 145,6 mm (periodo di ritorno di 21,5 anni).

Il 7 settembre una situazione con vento da sud-ovest con centro delle precipitazioni sul Ticino meridionale ha provocato precipitazioni estreme. In 24 ore a Lugano sono caduti 156,1 mm di precipitazioni, quantitativo che viene superato ogni 18 anni circa. Lo stesso giorno a Ponte Tresa sono stati misurati 179,5 mm (periodo di ritorno di 15,6 anni).

Figura 2.7
**Periodi di ritorno in
 anni dei massimi
 quantitativi delle
 precipitazioni su
 1 giorno (ore 06 fino
 alle ore 06 del giorno
 seguente) nel 2022,
 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 2022 la media mobile mensile della radiazione UV è stata sensibilmente superiore in gran parte dell'anno in tutte le stazioni di misura. A Locarno-Monti l'andamento medio della radiazione UV è stato superato tutto l'anno, sullo Jungfrauoch e a Payerne dalla fine di aprile all'inizio di settembre e a Davos da giugno all'inizio di settembre.

I principali fattori che incidono sull'intensità della radiazione UV sono la posizione del sole nel cielo e l'altitudine della stazione di misura, che non cambiano di anno in anno. Inoltre rivestono un ruolo importante la nuvolosità e il quantitativo di ozono nell'atmosfera (principalmente nello strato di ozono). Poiché quest'ultimo è stato in media simile a quello degli anni precedenti (cfr. «Serie di misurazioni dell'ozono ad Arosa e Davos», Figura 2.9), l'intensità della radiazione UV nel 2022 non è da ricondurre a una mancanza di ozono. Gli elevati valori della radiazione UV sono quindi chiaramente da attribuire al forte soleggiamento verificatosi in Svizzera nel 2022 (cfr. «Andamento annuale della radiazione globale, Figura 2.4).

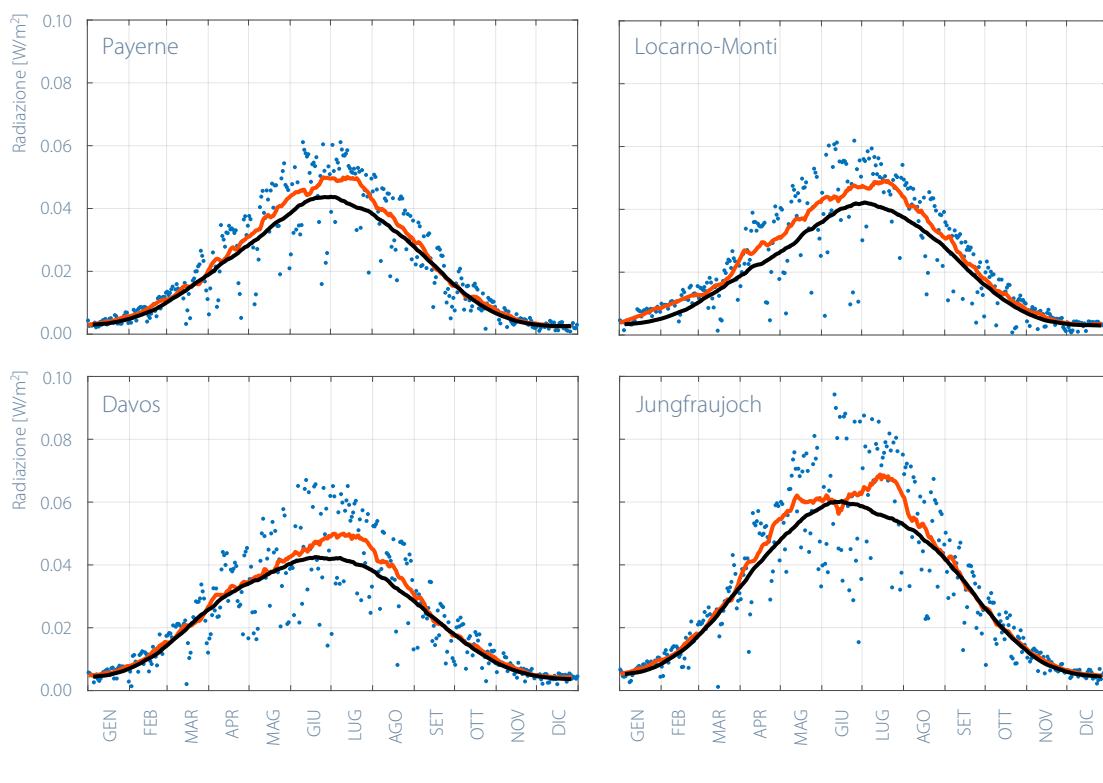


Figura 2.8
Valori medi giornalieri della radiazione ultravioletta UV-B (in W/m^2) nel 2022 (punti blu) nelle stazioni di Payerne, Locarno-Monti, Davos e dello Jungfrauoch. Linea rossa: media mobile mensile (31 giorni). Curva nera: andamento medio annuo calcolato in base ai dati 1995–2021 (Davos), 1997–2021 (Jungfrauoch), 1998–2021 (Payerne) e 2001–2021 (Locarno-Monti).

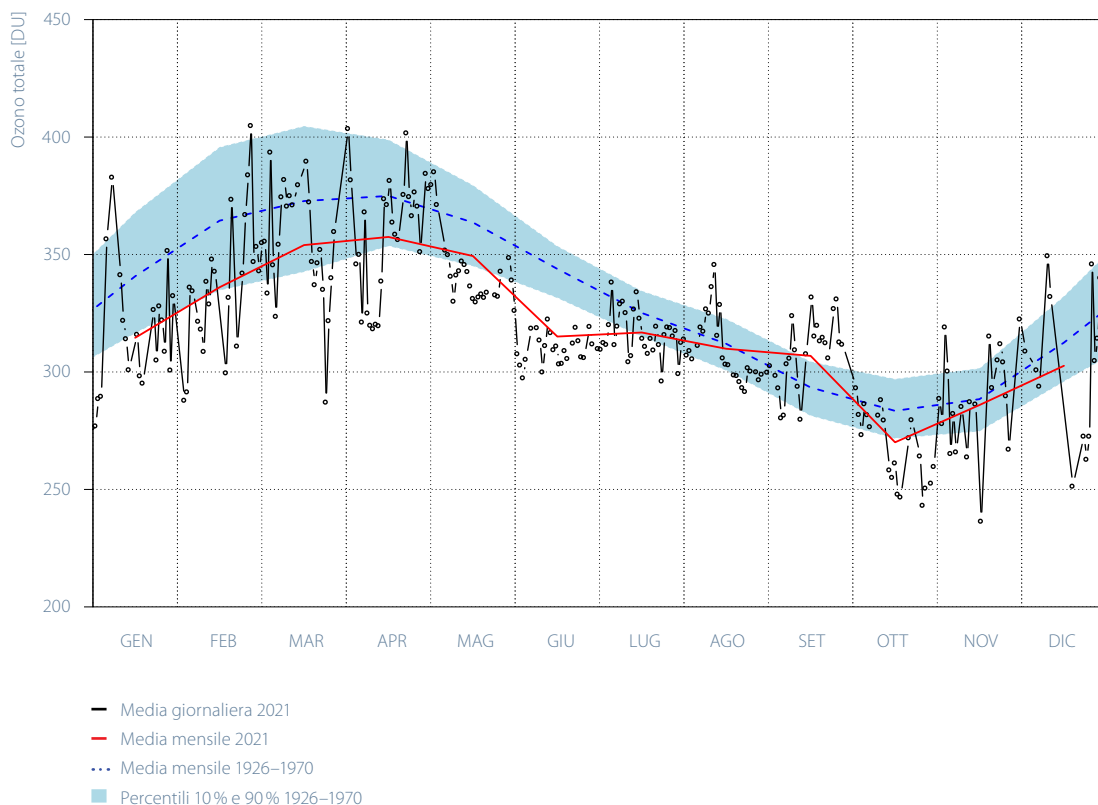
● Valore giornaliero
— Andamento mensile 2022
— Andamento climatico medio

Serie di misurazioni dell'ozono ad Arosa e Davos

Nel 2022 le misure della colonna di ozono sono state effettuate tutte a Davos. L'andamento annuale della colonna totale 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.

Il periodo di riferimento 1926–1970 corrisponde allo stato dello strato di ozono prima dell'emissione di natura antropica degli clorofluorocarburi (CFC). 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. Nel 2022, in giugno i valori di ozono misurati sono stati significativamente e durante il resto dell'anno leggermente inferiori a quelli del periodo di riferimento. In settembre sono invece stati osservati valori superiori alla media climatologica.

Figura 2.9
Andamento annuale della colonna dell'ozono totale sopra Arosa nel 2022. 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. L'80% delle fluttuazioni da un anno all'altro nel periodo 1926–1970 rientra all'interno della fascia azzurra.



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 2022 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 del 2022 non emergono eventi particolari. Tuttavia, al di sotto dei 20 km nel mese di giugno le concentrazioni di ozono sono inferiori alla media climatologica, mentre in settembre sono superiori alla media, soprattutto a una quota di 25 km.

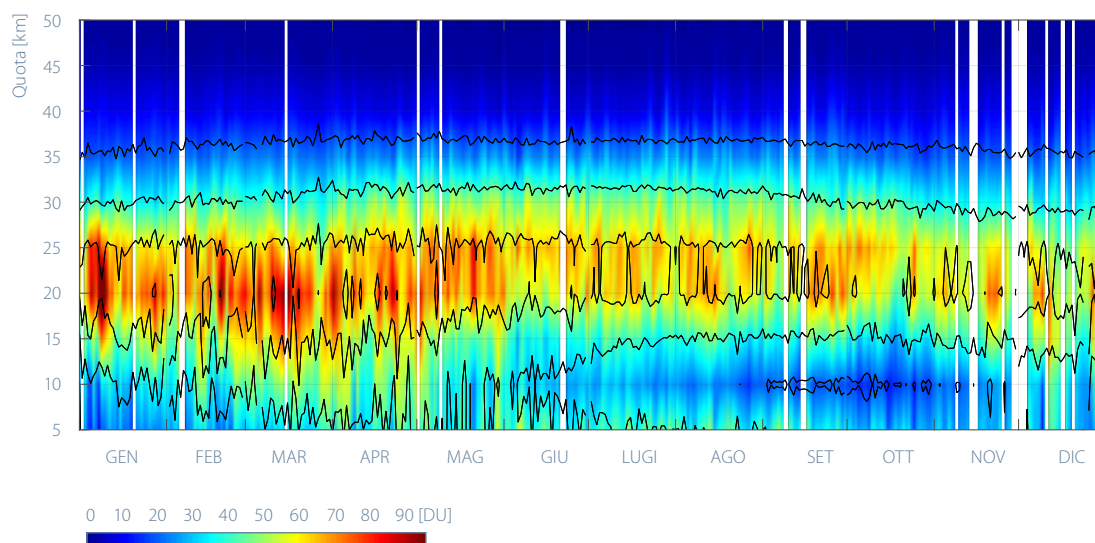
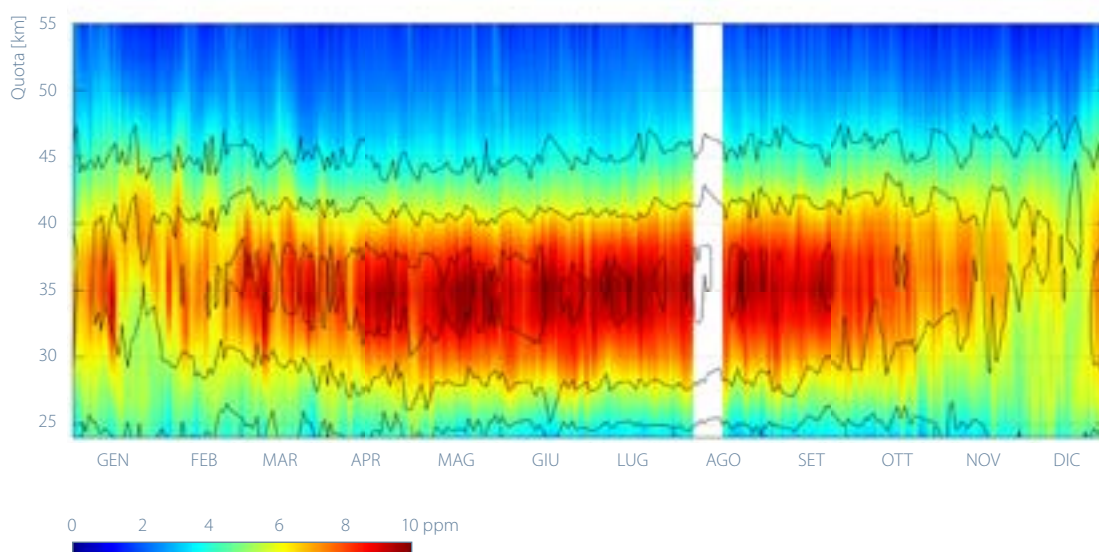


Figura 2.10
Profilo dell'ozono sopra Arosa nel 2022, rilevato dallo spettrofotometro Dobson. Il grafico mostra le concentrazioni in unità Dobson (DU), sulla scala destra, tra 0 e 90 DU. 100 DU = 1 mm di ozono puro a 1013 hPa di pressione e 0°C di temperatura.

Misurazioni dell'ozono a Payerne

A partire dal 2000 alla stazione di Payerne viene misurata la distribuzione verticale dell'ozono ogni 60 minuti grazie al radiometro a microonde SOMORA (Stratospheric Ozone Monitoring Radiometer). La Figura 2.11 mostra a colori l'andamento dell'ozono del 2022 e in nero quello del 2021 (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 2022, 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 2022 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).

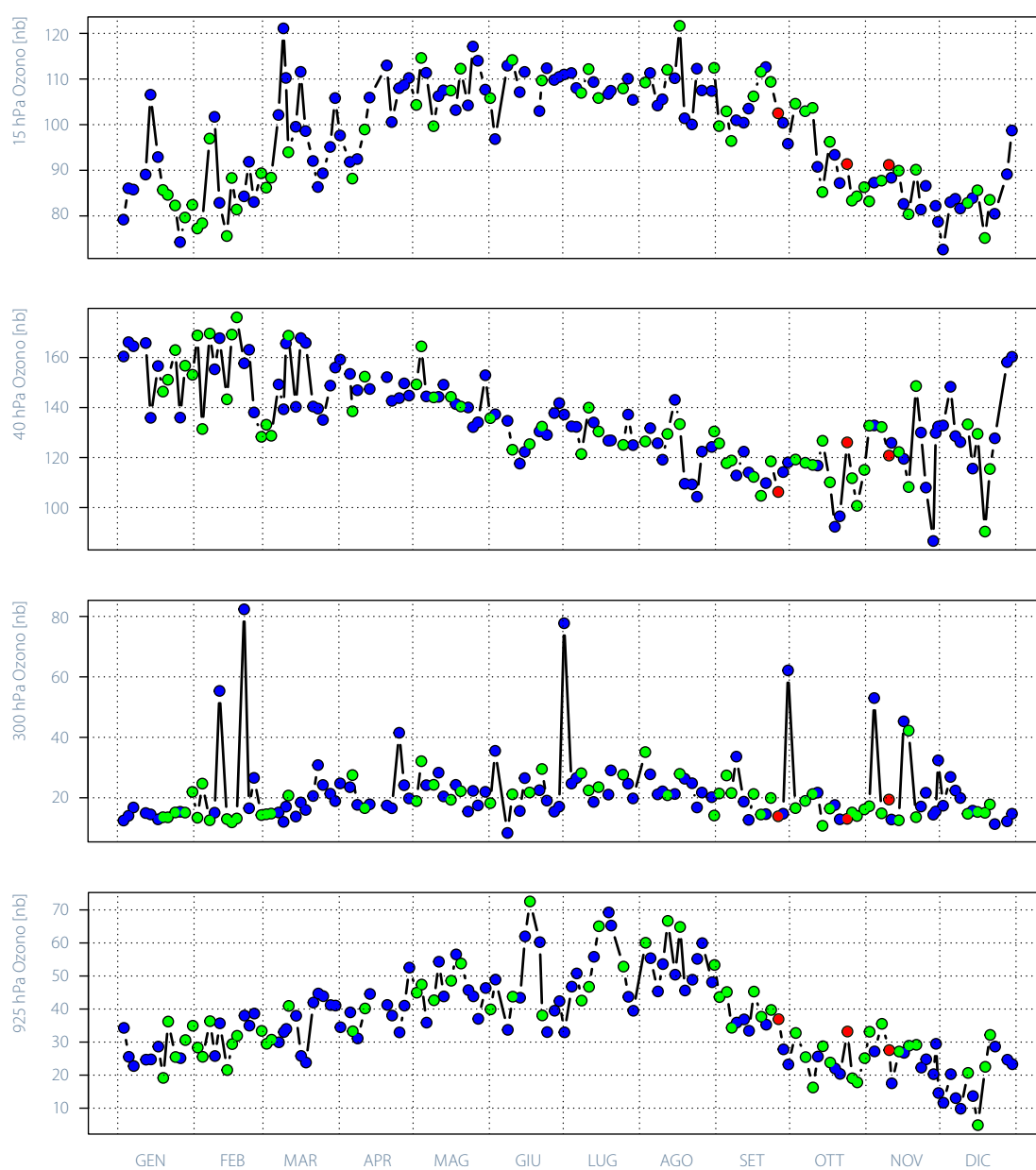


Figura 2.12
Andamento della concentrazione di ozono (pressione parziale in nanobar) nel 2022 a diverse quote dell'atmosfera (ai livelli di 15, 40, 300 e 925 hPa). I colori mostrano bene l'accordo tra i dati dei radiosondaggi e quelli della misurazione dell'ozono ad Arosa. In blu: accordo ottimo; in verde: accordo buono; in rosso: differenze significative.

Misurazione degli aerosol sullo Jungfraujoch

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

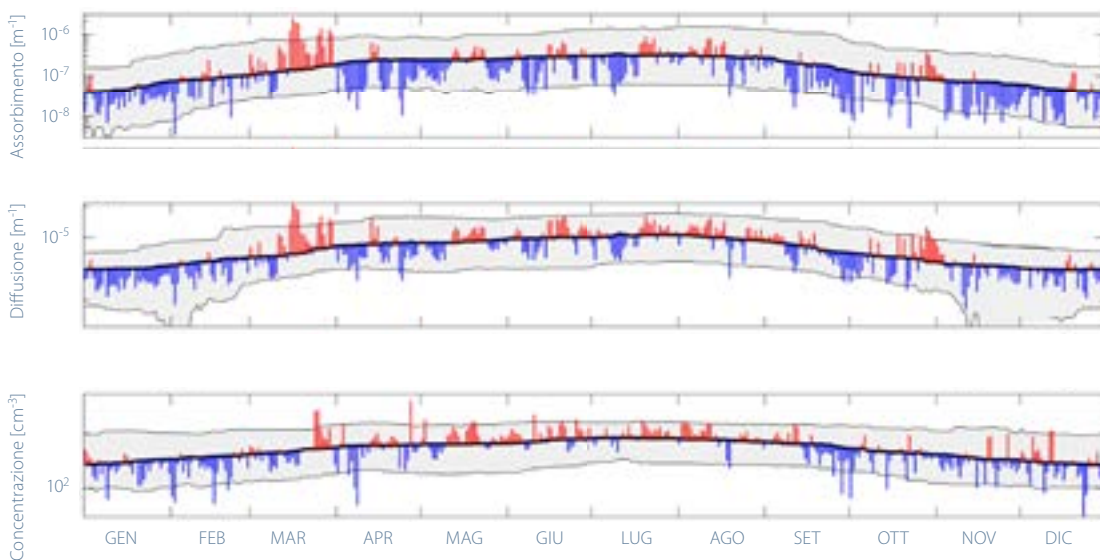
L'andamento annuale dei parametri degli aerosol sullo Jungfraujoch mostra valori massimi in estate e minimi in inverno. Gli aerosol prodotti da processi naturali e antropici si accumulano principalmente nello strato limite terrestre, lo strato più basso dell'atmosfera, che secondo la stagione presenta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

Durante l'estate, il riscaldamento del suolo provoca la formazione di correnti convettive con le quali gli aerosol vengono trasportati a quote più elevate: lo Jungfraujoch viene così a trovarsi maggiormente sotto l'influsso dello strato limite terrestre.

In inverno, per contro, lo Jungfraujoch si trova per lo più nella troposfera libera [4] e quindi in posizione ottimale per la misurazione delle proprietà ottiche dell'atmosfera e della concentrazione degli aerosol, lontano dalle fonti di emissione.

Nel 2022 è stato rilevato un forte afflusso di polvere minerale proveniente dal deserto del Sahara durante tutto il mese di marzo, in giugno e in ottobre. L'elevata concentrazione di polvere minerale risulta evidente dalle misure dei coefficienti di diffusione e assorbimento superiori alla media del periodo 1995–2021 in questi mesi. Più questi valori sono elevati, maggiore è la luce solare diffusa e assorbita dagli aerosol.

Figura 2.13
Andamento del coefficiente di assorbimento per la lunghezza d'onda di 880 nm (in alto), di diffusione per la lunghezza d'onda di 550 nm (al centro), nonché della concentrazione delle particelle di aerosol sullo Jungfraujoch nel 2022 (in basso).
 La curva nera mostra la media del periodo 1995–2020. Il 90% dei valori della media giornaliera viene a trovarsi nella fascia tra le linee grigie che indicano i percentili 5% e 95%.



Eventi di polvere sahariana

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

Avendo dati a partire dal 2001, ottenuti sempre con gli stessi strumenti di misura, disponiamo oggi di una climatologia degli eventi di polvere sahariana che copre il periodo 2001–2017. Durante questo intervallo di tempo, ogni anno sono stati identificati tra 10 e 50 eventi di polvere sahariana, che corrispondono a 200–700 ore all'anno. Tipicamente nelle Alpi la polvere minerale del Sahara con-

tribuisce 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.

Tra il 2016 e il 2018 si è reso necessario sostituire i vecchi strumenti, operazione che ha influito sulla continuità nel rilevare gli eventi di polvere del Sahara. Per questa ragione l'attuale climatologia tiene conto solo degli ultimi anni dal 2015 con una sensibilità paragonabile. Nel 2022 gli eventi di polvere sahariana sono stati particolarmente numerosi e intensi nei mesi da marzo a giugno e in ottobre. L'evento dal 15 al 18 marzo è stato molto intenso, con una concentrazione giornaliera di PM_{2.5}¹ sullo Jungfraujoch di 112 µg/m³. L'ingiallimento del cielo provocato dall'alta concentrazione di particelle di polvere in tutta la colonna atmosferica era visibile a occhio nudo in tutta la Svizzera. Tuttavia alle basse quote le concentrazioni erano significativamente più basse che alle quote più alte.

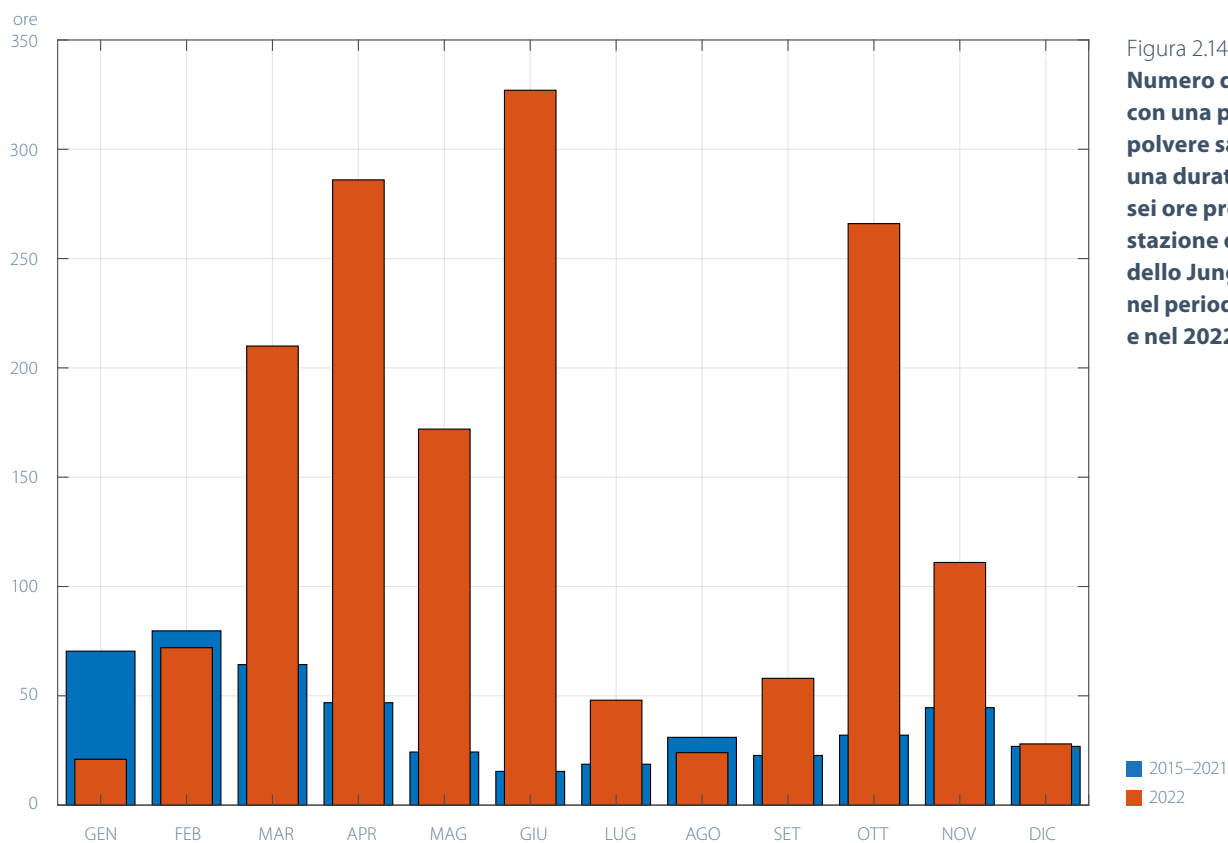


Figura 2.14
Numero di ore al mese con una presenza di polvere sahariana per una durata di almeno sei ore presso la stazione di misura dello Jungfraujoch nel periodo 2015–2020 e nel 2022.

¹ PM_{2.5}: particella di aerosol (particulate matter) con un diametro inferiore a 2,5 micrometri.

Sviluppo della vegetazione

L'anno fenologico 2022 è cominciato all'inizio di gennaio con la fioritura molto precoce del nocciolo. In primavera gli alberi da frutto e il dente di leone (tarassaco comune) sono fioriti con una settimana di anticipo. Lo spiegamento delle foglie è avvenuto con un anticipo compreso tra tre e cinque giorni, con l'eccezione del faggio, che ha spiegato le foglie praticamente come nella norma pluriennale. A partire da maggio lo sviluppo della vegetazione ha subito un'accelerazione a seguito delle elevate temperature. La fioritura del tiglio e del sambuco nero si è verificata con un anticipo di oltre una settimana. La maturazione dei frutti del sambuco rosso in luglio è stata la più precoce dall'inizio delle osservazioni nel 1996, quella del sambuco nero in agosto la seconda più precoce con un anticipo di quasi due settimane rispetto alla data media. Anche la vendemmia è stata la più precoce della rete di osservazioni fenologiche. In autunno la colorazione delle foglie è avvenuta nella norma. A beneficiare del caldo nel mese di ottobre sono stati soprattutto i larici, i cui aghi si sono colorati con alcuni giorni di ritardo rispetto alla media.

Per confrontare le date delle fasi fenologiche dell'anno 2022 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 la mediana dell'anno 2022 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 1951–1952.

Primavera

Le prime stazioni della rete di osservazioni fenologiche hanno segnalato l'inizio della fioritura dei noccioli in Ticino e al Nord delle Alpi a partire da inizio di gennaio. La fioritura molto precoce dei noccioli è stata confermata dai dati rilevati dalle stazioni della rete pollinica. A Lugano il polline di nocciolo è stato misurato già a partire dalla metà di dicembre e dal 31 dicembre la sua concentrazione è risultata da forte a molto forte. In Ticino la piena fioritura del nocciolo è avvenuta in gennaio, mentre al Nord delle Alpi i noccioli sono fioriti estesamente solo a partire dalla fine di gennaio quando la temperatura ha raggiunto i 5–8°C. In Ticino l'anticipo è stato di tre settimane rispetto alla media del periodo normale 1991–2020. Nella media di tutte le stazioni che compiono osservazioni fenologiche in Svizzera, la fioritura del nocciolo è avvenuta con un anticipo di dodici giorni. Quasi la metà delle osservazioni sono state classificate come «precoci» e «molto precoci».

A partire dal 20 febbraio è stata osservata la fioritura della tossilaggine comune e dalla fine di febbraio dell'anemone bianco. Nella media di tutte le stazioni la tossilaggine comune è fiorita il 16 marzo (con cinque giorni di anticipo rispetto alla norma) e l'anemone bianco il 25 marzo (con dieci giorni di anticipo sulla norma).

Nella Svizzera nord-occidentale i ciliegi hanno iniziato a fiorire il 21 marzo e in Ticino e alle basse quote dell'Altopiano verso la fine di marzo. La fioritura del ciliegio è proseguita con un ritardo compreso tra tre e quattro giorni ogni 100 metri di quota, che corrisponde esattamente alla media. I primi fiori dei peri si sono aperti alla fine di marzo, ma la loro piena fioritura è avvenuta solo dopo la tardiva fase invernale con neve dal 1° al 3 aprile. La nevicata non ha quasi danneggiato i fiori degli alberi da frutto. Anche dopo il gelo notturno del 4 aprile con temperature inferiori a -2°C i danni agli alberi da frutto sono stati limitati, anche perché in molti luoghi sono state utilizzate candele antigelo. La fioritura dei meli è iniziata il 10 aprile, quasi contemporaneamente in Ticino e al Nord delle Alpi. Nelle stazioni sotto i 600 m s.l.m. la data di fioritura media degli alberi da frutto è stata l'8 aprile per i ciliegi, il 12 aprile per i peri e il 19 aprile per i meli. Tutti sono fioriti con circa una settimana di anticipo rispetto alla media pluriennale. Sopra i 1000 m i ciliegi sono fioriti soprattutto alla fine di aprile e all'inizio di maggio, anche qui con una settimana di anticipo rispetto alla media.

Estate

Già pochi giorni prima della fioritura del ciliegio è iniziata quella del dente di leone (tarassaco comune) e della cardamine dei prati, altresì con un anticipo di una settimana rispetto alla norma. A partire dal 20 aprile entrambe le specie sono fiorite sopra i 1000 m.

A partire dalla fine di marzo si sono rinverdite le prime latifoglie come la betulla, l'ippocastano, il nocciolo e i primi larici hanno spiegato i loro aghi. Sopra i 1000 m lo spiegamento degli aghi dei larici è iniziato circa a metà aprile e in Engadina attorno alla metà di maggio. Lo spiegamento delle foglie e degli aghi di queste specie è avvenuto con un anticipo di tre-cinque giorni. A partire circa dalla metà di aprile è stato osservato ovunque lo spiegamento delle foglie del tiglio nostrano, del tiglio selvatico, dell'acero montano e del faggio. Le foglie del faggio si sono spiegate esattamente in linea con la data media, perché in aprile la temperatura è stata leggermente inferiore alla media del periodo 1991–2020. In media, sotto i 600 m le foglie dei faggi si sono spiegate il 24 aprile, tra 600 e 1000 m il 30 aprile e sopra i 1000 m il 7 maggio.

Le osservazioni classificate come «precoci» sono diminuite man mano che le temperature si sono normalizzate nel corso del mese di aprile e la maggior parte hanno potuto essere classificate come «normali» (cfr. Figura 1.1). Lo spiegamento degli aghi dell'abete rosso è iniziato a partire da metà aprile. Sotto i 600 m è avvenuto in media il 1° maggio e sopra i 1000 m il 18 maggio. Poiché il mese di maggio è stato il secondo più caldo dall'inizio delle misure, lo sviluppo della vegetazione ha di nuovo subito un'accelerazione. Sull'Altopiano lo spiegamento degli aghi dell'abete rosso ha avuto un anticipo di soli due giorni, mentre sopra i 1000 m ha di nuovo avuto un anticipo di sei giorni rispetto alla media.

A partire dall'ultima decade di aprile sono fiorite le margherite. Sotto i 600 m il loro anticipo è stato di otto giorni rispetto alla media, mentre sopra i 1000 m di ben 13 giorni. In media, a questa altitudine, le margherite sono fiorite il 25 maggio. In Engadina, a Lenzerheide e a Davos la fioritura precoce è stata osservata tra il 24 maggio e l'11 giugno, con un anticipo di 11–24 giorni rispetto alla media.

Il caldo è continuato per tutta l'estate. La temperatura dei singoli mesi è stata dalla seconda alla quarta più calda e l'estate nel suo complesso è stata la seconda più calda dall'inizio delle misure. L'influsso sullo sviluppo delle fasi fenologiche estive è stato significativo.

Le prime condizioni meteorologiche ideali per la fienagione si sono avute a partire dal 9 maggio fino a circa alla fine di maggio. Il fieno ha potuto essere falciato a quote comprese tra l'Altopiano e 1200 m. Dopo un intermezzo piovoso, la fienagione ha potuto essere ripresa dal 9 giugno per un lungo periodo dall'Altopiano fino in montagna. Nel complesso, la fienagione è avvenuta con un anticipo di quattro giorni rispetto alla media.

In Ticino la fioritura del sambuco nero è iniziata all'inizio di maggio e al Nord delle Alpi circa a metà maggio. In pianura la fioritura principale è avvenuta in maggio e a partire circa dai 900 m in giugno. L'anticipo rispetto alla norma è di sette giorni alle basse quote e di dieci giorni alle quote più alte. La fioritura della vite si è verificata in media il 3 giugno con un anticipo di nove giorni. I primi tigli nostrani e tigli selvatici sono fioriti a partire dalla fine di maggio e la fioritura principale è avvenuta in giugno. Nella media di tutte le stazioni la fioritura dei tigli nostrani è stata osservata l'11 giugno e quella dei tigli selvatici il 18 giugno, entrambe con un anticipo di poco più di una settimana. Il numero di osservazioni nella classe «precoce» e «molto precoce» è aumentato di nuovo al 61–68%. La maturazione delle bacche del sambuco rosso (nella media di tutte le stazioni il 1° luglio), del sorbo degli uccellatori (6 agosto) e del sambuco nero (17 agosto) ha avuto un anticipo di 8–14 giorni. La maturazione dei frutti di entrambe le specie di sambuco è osservata dal 1996. Nel 2022 quella del sambuco rosso è risultata la più precoce e quella del sambuco nero la seconda più precoce dall'inizio delle osservazioni.

Nel 2022 la vendemmia è stata osservata in 38 stazioni. In media essa è stata effettuata il 15 settembre con un anticipo di 21 giorni rispetto alla media del periodo 1991–2020. Essa è pertanto risultata ancora più precoce delle vendemmie degli anni record 2003 e 2018. Tuttavia, occorre tenere presente che la data della vendemmia dipende principalmente dalla varietà di vitigno osservato e un confronto sul lungo periodo è legato a grosse incertezze.

Un'estate canicolare con una siccità estrema come nel 2022 può causare un imbrunimento molto precoce delle latifoglie, soprattutto nelle località in cui il terreno ha poco substrato. Presso le stazioni della rete di osservazioni fenologiche le osservazioni di colorazione delle foglie molto precoce, a partire da metà settembre, sono state molto poche. Ad essere stati colpiti maggiormente sono stati i tigli. In diverse stazioni gli ippocastani si sono addirittura colorati già in agosto. Oltre alla siccità, la colorazione molto precoce delle loro foglie è dovuta principalmente all'infezione da minatrice fogliare (*Cameraria ohridella*) e da funghi. In media le foglie dell'ippocastano si sono colorate il 4 ottobre con un anticipo di cinque giorni rispetto alla media. La colorazione delle foglie del sorbo degli uccellatori è iniziata a metà settembre, come nella norma.

Su vasta scala la colorazione delle foglie è iniziata durante l'ultima settimana di settembre soprattutto alle quote più alte e a partire dall'inizio di ottobre anche in pianura. Per tutte le latifoglie la maggior parte delle osservazioni è stata classificata come «normale», particolarmente evidente per il tiglio nostrano con il 55 % e per il faggio con il 51 % di tutte le osservazioni. Il faggio mostra una tendenza a una colorazione delle foglie leggermente più precoce in montagna (2 giorni prima della media) e leggermente più tardiva in pianura (+3 giorni). Tuttavia, entrambe le deviazioni si situano temporalmente in linea con la norma.

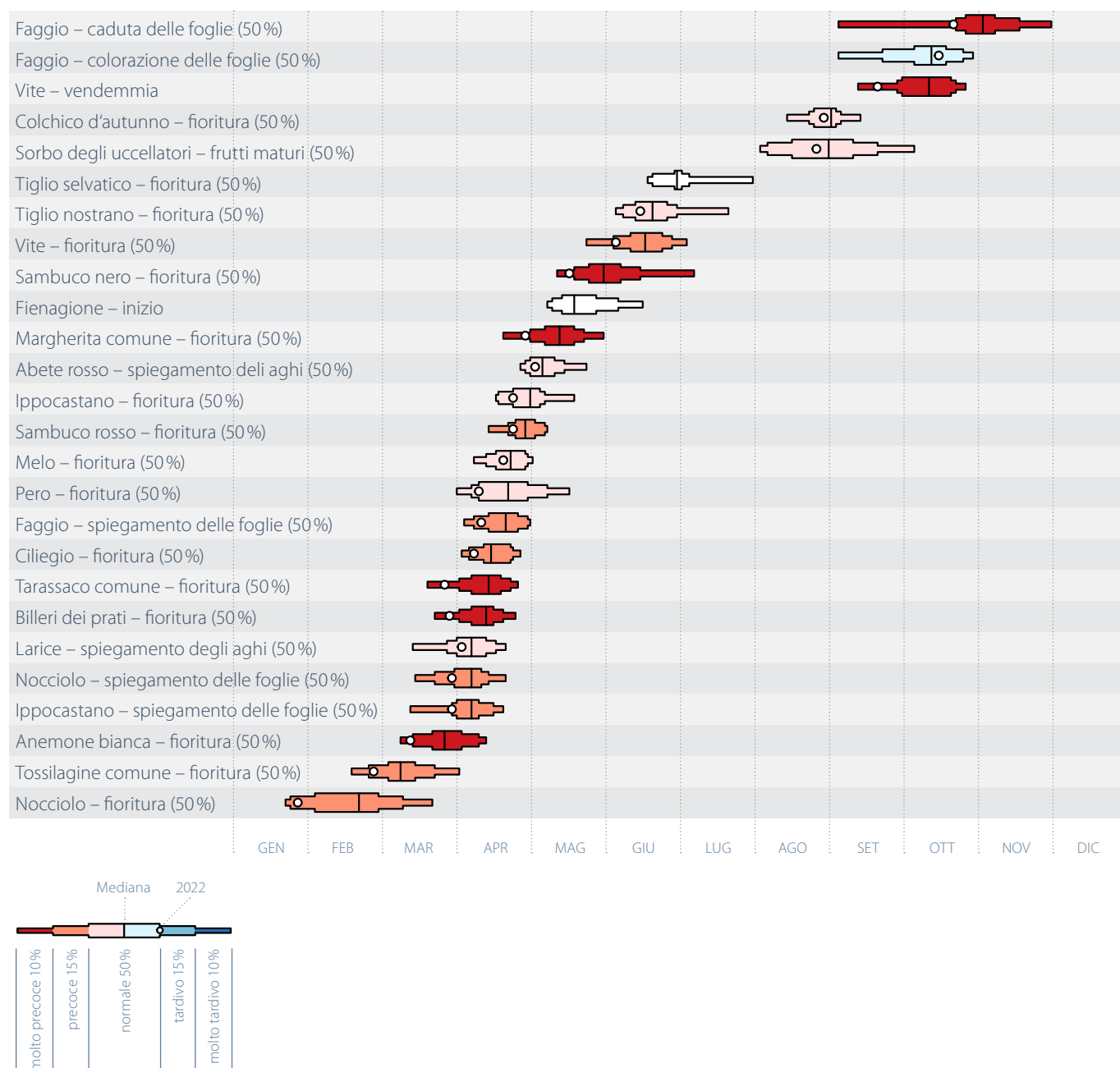
Poiché alle basse quote in ottobre gli alberi hanno beneficiato delle elevate temperature, le loro foglie si sono colorate in ritardo. Tuttavia, come ogni anno, l'estensione temporale della colorazione delle foglie è risultata grande e, a dipendenza della stazione, ci sono state osservazioni molto precoci, ma anche molto tardive.

La caduta delle foglie dei faggi è iniziata a partire da metà ottobre, generalmente in linea con il periodo normale, anche se in montagna è stata leggermente anticipata rispetto alla media, mentre in pianura è avvenuta principalmente all'inizio di novembre, con circa due giorni di ritardo sulla media. La caduta delle foglie delle betulle si è verificata poco prima della metà di ottobre, con un anticipo di circa tre giorni a tutte le quote.

Le alte temperature di ottobre hanno avuto un impatto ancora maggiore sulla colorazione e sulla caduta degli aghi dei larici. Nei Grigioni e in Vallese, sopra i 1500 m i larici si sono colorati tra il 5 e il 21 ottobre, come nella media. Al di sotto di questa quota le osservazioni sono risultate sempre più tardive e molto tardive, così che in media la loro colorazione è risultata ritardata di quattro giorni. Alle quote comprese tra 600 e 1000 m la data media si situa al 31 ottobre, sotto i 600 m al 4 novembre. In generale, la caduta degli aghi dei larici ha avuto un ritardo di sei giorni, benché anche in questo caso, soprattutto in pianura, molti larici hanno conservato i loro aghi fino a dicembre inoltrato e la caduta degli aghi si è mediamente verificata con un ritardo di circa otto giorni rispetto alla media.

Figura 2.15

Il calendario fenologico 2022 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 2022. Se per il 2022 manca l’osservazione o essa coincide esattamente con la mediana, il periodo di riferimento rimane bianco.



Stagione pollinica

La stagione pollinica 2022 è iniziata molto presto ed è stata particolarmente intensa soprattutto durante la fioritura degli alberi. I primi pollini di nocciolo sono stati misurati alla fine di dicembre in Ticino e all'inizio di gennaio al Nord delle Alpi. Le betulle e i frassini hanno iniziato a fiorire in marzo, con un anticipo di oltre una settimana rispetto alla media e anche l'aumento a forti concentrazioni di polline delle graminacee all'inizio di maggio è avvenuto con una settimana di anticipo. Le concentrazioni di polline di nocciolo, ontano, betulla e quercia sono state forti, mentre quelle di frassino e delle graminacee attorno alla norma. Molto deboli sono state le concentrazioni di polline di artemisia e in Ticino anche quelle del polline di ambrosia. Di seguito la stagione pollinica 2022 è confrontata con la media del periodo di 30 anni, dal 1991 al 2020.

Stagione pollinica del nocciolo e dell'ontano

In Ticino la stagione pollinica del nocciolo è iniziata già alla fine di dicembre e al Nord delle Alpi durante le giornate molto miti dell'inizio del 2022. Rispetto alla media del trentennio 1991–2020, l'anticipo è stato di circa 20–30 giorni. In Ticino l'inverno è stato caratterizzato da tempo molto secco e mite. Con queste condizioni meteorologiche la presenza di polline di nocciolo è stata praticamente continua e forti concentrazioni di polline sono state misurate spesso dalla fine di dicembre alla metà febbraio.

Al Nord delle Alpi in gennaio le temperature sono state più basse, per cui i fiori dei noccioli non sono per lo più sbocciati completamente. Una forte concentrazione di polline è stata misurata per la prima volta tra il 30 gennaio e il 5 febbraio con l'aumento delle temperature, con 11 giorni di anticipo rispetto alla media. Al Nord delle Alpi sono stati registrati da sei a 16 giorni con forti concentrazioni di polline di nocciolo. Nella maggior parte delle stazioni questi numeri sono superiori alla media: a Lucerna, Müns-terlingen e Buchs la stagione pollinica del nocciolo è stata addirittura tra le più intense del periodo di riferimento.

Anche gli ontani, la cui fioritura è concomitante con quella del nocciolo, hanno rilasciato molto polline. Nel caso dell'ontano ad essere elevata è stata soprattutto la somma stagionale delle concentrazioni giornaliere di polline e al Nord delle Alpi la stagione pollinica dell'ontano è stata, a dipendenza della stazione di misura, dalla più intensa alla quinta più intensa del periodo di riferimento. Questo perché in due giorni del mese di febbraio sono state misurate concentrazioni di polline particolarmente alte.

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.

www.meteosvizzera.admin.ch/servizi-e-pubblicazioni/applicazioni/ext/climate-pollen.html



Stagione pollinica del frassino e della betulla

In primavera la concentrazione di pollini è spesso stata forte poiché nel 2022 gli alberi hanno di nuovo prodotto più fiori e quindi più polline. Sull'Altopiano forti concentrazioni di polline di betulla sono state registrate in un numero di giorni compreso tra 16 e 29 (giorni con più di 70 pollini/m³) e in Ticino addirittura tra 35 e 36. Per l'Altopiano sono fino a 13 giorni in più rispetto alla media e per il Ticino fino a 16 giorni in più. A Buchs, Lucerna e in Ticino questi numeri sono tra i più elevati del periodo di riferimento 1991–2020. La concentrazione di polline di betulla è stata particolarmente forte soprattutto durante il lungo periodo senza precipitazioni di metà aprile. Anche a Davos la stagione pollinica della betulla è stata molto forte rispetto alla media: qui sono stati misurati sette giorni con forti concentrazioni e la somma stagionale delle concentrazioni giornaliere di polline è stata la più alta in assoluto. In tutta la Svizzera la stagione pollinica della betulla è iniziata tra il 23 e il 28 marzo, dopodiché le concentrazioni hanno raggiunto molto rapidamente valori elevati. Di conseguenza sull'Altopiano essa è iniziata con un anticipo di circa otto giorni e in Ticino di circa quattro giorni rispetto alla media. A causa dell'inizio molto precoce della stagione pollinica della betulla, il periodo con una forte concentrazione di polline è durato da 28 a 35 giorni, quindi quasi una settimana in più rispetto alla media.

La stagione pollinica del frassino non è stata altrettanto intensa. Al Nord delle Alpi sono stati registrati da 5 a 12 giorni con una forte concentrazione di polline di frassino, corrispondenti approssimativamente alla media. In Ticino la stagione pollinica del frassino è iniziata tra la fine di febbraio e l'inizio di marzo, con un anticipo di 12–14 giorni rispetto alla media del periodo 1991–2020. A Locarno è stato il terzo inizio più precoce. Al Nord delle Alpi il polline di frassino è stato rilevato a partire circa dalla metà di marzo, poco più di una settimana prima della media.

Anche la fioritura delle querce è stata intensa. Nella maggior parte delle stazioni le concentrazioni di polline sono state tra le cinque più forti del periodo di riferimento. In Ticino il polline di quercia è stato misurato a partire dall'inizio di aprile e al Nord delle Alpi circa dalla metà di aprile, con approssimativamente una settimana di anticipo rispetto alla norma. Per quanto riguarda il carpino e il faggio, sono state misurate solo concentrazioni di polline da deboli a moderate. È probabile che l'anno prossimo la fioritura di queste due piante sia di nuovo più intensa.

Stagione pollinica delle graminacee

Come spesso negli ultimi anni, anche nel 2022 il polline delle graminacee è stato presente regolarmente nell'aria già a partire dalla metà di aprile, anche se in concentrazioni solo deboli al Nord delle Alpi e moderate in Ticino. A Locarno deboli concentrazioni di polline delle graminacee sono state misurate regolarmente già in marzo, con circa un mese di anticipo rispetto alla media. In Ticino l'aumento a forti concentrazioni è stato registrato a partire dalla fine di aprile e al Nord delle Alpi dall'8 maggio, con un anticipo compreso tra mezza e una settimana rispetto alla media.

I mesi di maggio e giugno sono stati i secondi più caldi dall'inizio delle misure nel 1864 e complessivamente molto soleggiate. In tutte le regioni maggio è inoltre stato molto asciutto. Con queste condizioni le graminacee sono fiorite rapidamente. Le concentrazioni di polline hanno raggiunto livelli molto elevati tra l'8 e l'11 maggio, con quasi una settimana di anticipo rispetto alla media. La presenza di polline è stata intensa soprattutto in maggio e al Nord delle Alpi sono stati registrati, a seconda della stazione di misura, da 6 a 21 giorni con concentrazioni molto forti di polline, corrispondenti a poco più della media. Nella Svizzera tedesca le concentrazioni di polline sono state per lo più superiori a quelle delle stazioni di misura della Svizzera occidentale e del Vallese. In Ticino forti concentrazioni di polline delle graminacee sono state misurate dalla fine di aprile alla fine di maggio in 14–16 giorni. Tuttavia, qui sono stati registrati solo da uno a due giorni con valori molto alti. Nella Svizzera occidentale e a Basilea il periodo con forti concentrazioni di polline delle graminacee è già terminato tra il 16 e il 21 giugno, la fine più precoce dall'inizio delle misure. Un ruolo importante è stato svolto dalla siccità, che, come già nell'estate canicolare del 2003, ha causato una fine molto precoce della fioritura.

In luglio nella Svizzera tedesca sono stati misurati ancora singoli giorni con forti concentrazioni di polline delle graminacee, salvo dalle stazioni di Buchs (SG) e Lucerna, dove fino al 25 luglio si sono regolarmente verificati giorni con forti concentrazioni. In queste stazioni la stagione pollinica delle graminacee si è conclusa in linea con la media.

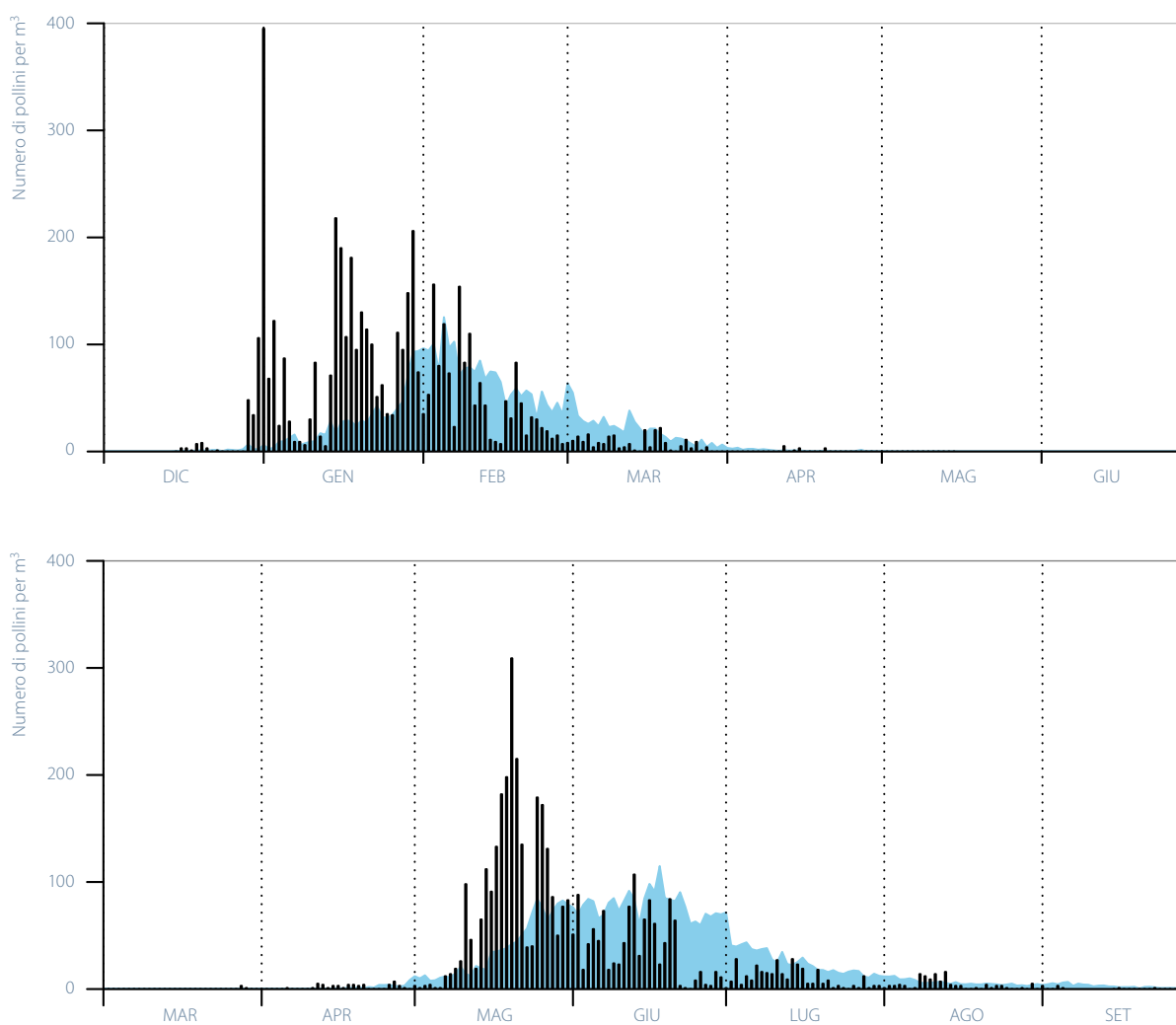
Stagione pollinica dell'artemisia e dell'ambrosia

In Svizzera la presenza del polline di artemisia è rilevante principalmente in Vallese. A Visp la somma stagionale delle concentrazioni giornaliere di polline è stata tra le più basse del periodo di riferimento 1991–2020. Tra il 28 luglio e il 31 agosto sono stati registrati 13 giorni con una forte concentrazione di polline di artemisia, 12 giorni meno della media del periodo di riferimento. In tutte le altre stazioni di misura sono state per lo più misurate concentrazioni deboli o moderate. Nella Svizzera occidentale e in Ticino le concentrazioni di polline di artemisia sono risultate nettamente più deboli della norma. A Lugano il primo giorno con una concentrazione moderata è stato il 22 settembre. Infatti l'artemisia cinese (*Artemisia verlotiorum*), una specie invasiva molto diffusa nella Svizzera meridionale e occidentale, fiorisce molto tardi.

In Ticino le concentrazioni di polline di ambrosia sono state molto deboli. A Lugano la somma stagionale delle concentrazioni giornaliere di polline è risultata la più debole e a Locarno la terza più debole del trentennio di riferimento 1991–2020. A Lugano sono stati misurati solo 2 giorni con una forte concentrazione di polline di ambrosia (media 10 giorni), mentre a Locarno neanche un giorno (media 5 giorni). 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 Ginevra e presso la stazione specializzata nel monitoraggio del polline di ambrosia di Meyrin la sua concentrazione è risultata nella norma. Sono stati registrati 5, rispettivamente 8 giorni con un forte carico. Le maggiori concentrazioni di polline di ambrosia sono per lo più state misurate nel tardo pomeriggio e durante le ore serali, a dimostrazione che si tratta di polline proveniente dalla Francia, poiché le piante di ambrosia rilasciano nell'aria il loro polline al mattino.

Figura 2.16

Andamento della stagione 2022 del polline di nocciolo a Lugano (in alto) e delle graminacee a Neuchâtel (in basso) paragonato alla media trentennale 1991–2020 (in turchese). A Lugano forti concentrazioni di polline di nocciolo sono state misurate già alla fine di dicembre, con un anticipo di quasi quattro settimane rispetto alla media. Il carico di polline è stato più intenso e la stagione è durata più a lungo della media. A Neuchâtel il periodo con forti concentrazioni di polline è già terminato il 21 giugno, 20 giorni prima della media. L'intervallo delle ordinate (concentrazione di polline) è stato limitato a 400 pollini/m³, in modo da mostrare anche i valori bassi, importanti per le persone che soffrono di allergie.







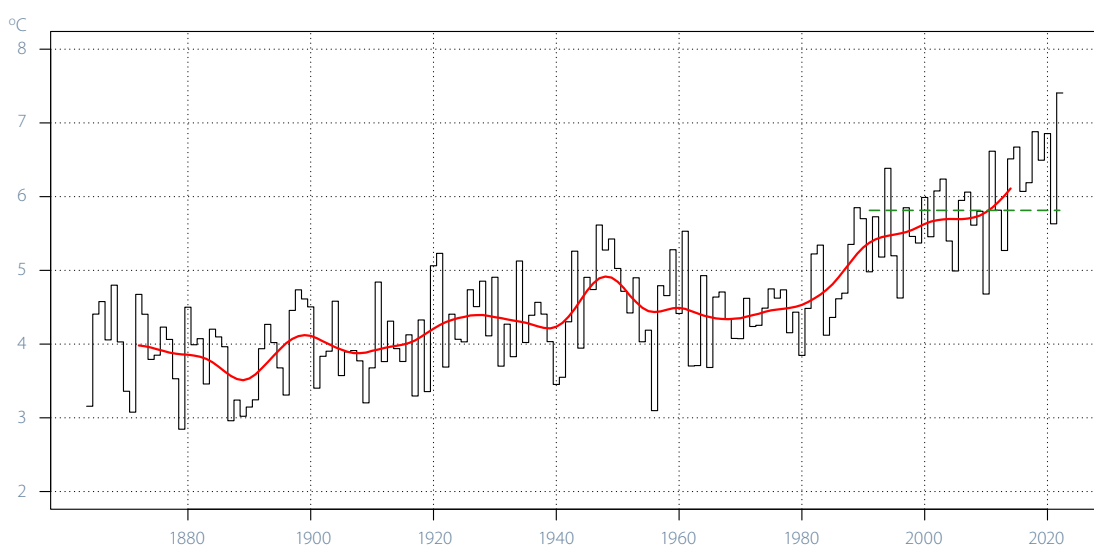
3 | Particolarità del 2022

42

3.1 Nel 2022 caldo record

La temperatura media annuale del 2022 è risultata pari a 7,4°C, di gran lunga il valore più alto dall'inizio delle misure nel 1864. Per la prima volta è stata superata la soglia dei 7°C; la soglia dei 6°C era stata superata per la prima volta dall'inizio delle misurazioni solamente circa 30 anni fa.

Figura 3.1
Media nazionale della temperatura annuale (gennaio-dicembre) dall'inizio delle misure nel 1864. Il 2022 ha fatto registrare 7,4°C. La linea verde mostra la norma 1991-2020 (5,8°C), la linea rossa la media mobile su una finestra temporale di 20 anni.



Nuova dimensione delle temperature

La media della temperatura nazionale durante il trentennio di riferimento 1991-2020 è stata di 5,8°C. Prima di quel periodo, tale valore sarebbe risultato del tutto eccezionale. Infatti fra il 1864 e il 1988 gli anni più caldi non avevano mai raggiunto questo valore. Oggi, invece, esso è diventato il valore normale.

Allo stesso tempo gli anni veramente freddi sono scomparsi dal clima attuale della Svizzera. Negli ultimi 30 anni la temperatura media nazionale degli anni più freddi è comunque risultata più elevata della norma utilizzata un tempo cioè quella relativa al trentennio 1961-1990.

Fra il periodo preindustriale 1871-1900 e l'ultimo trentennio 1993-2022 la temperatura media nazionale svizzera è aumentata di circa 2°C. L'ultima decade (2013-2022) è risultata più calda del periodo preindustriale di 2,5°C. Il marcato aumento della temperatura della norma e la scomparsa degli anni veramente freddi sono un chiaro segnale del cambiamento climatico di origine antropica in atto.

Il caldo senza fine del 2022

Nel 2022 dieci mesi su dodici hanno fatto registrare una temperatura media superiore alla norma, cinque dei quali in modo estremo. La Svizzera ha vissuto l'ottobre più caldo, il secondo maggio e giugno più caldi, il terzo agosto più caldo e il quarto luglio più caldo dall'inizio delle misure nel 1864. Il semestre estivo da aprile a settembre è risultato il terzo più caldo mentre l'anno ha fatto registrare un nuovo primato di temperatura.

2022: Anomalia della temperatura rispetto alla norma 1991–2020 in °C

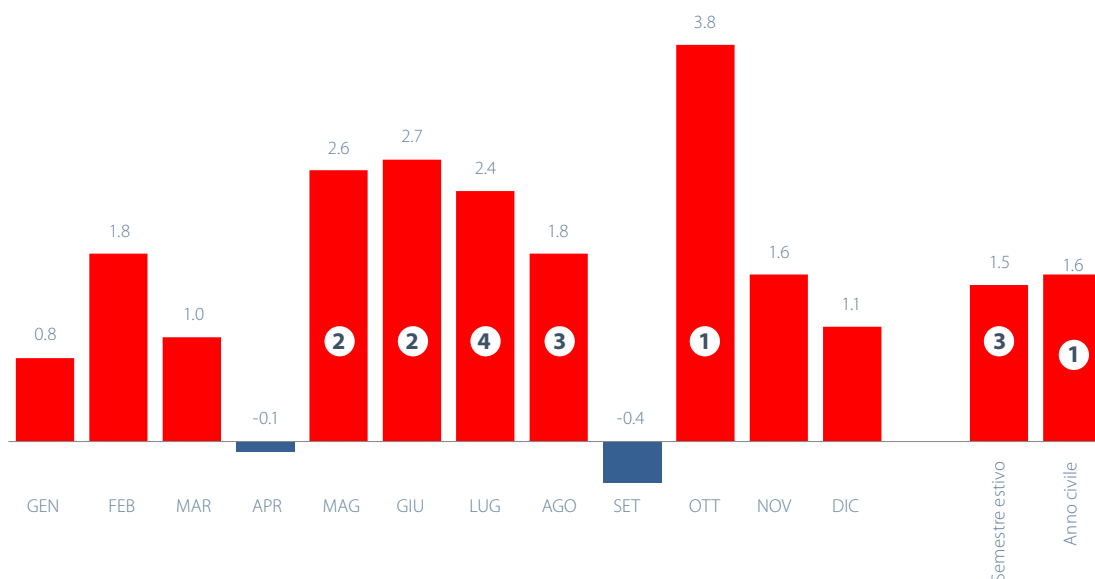


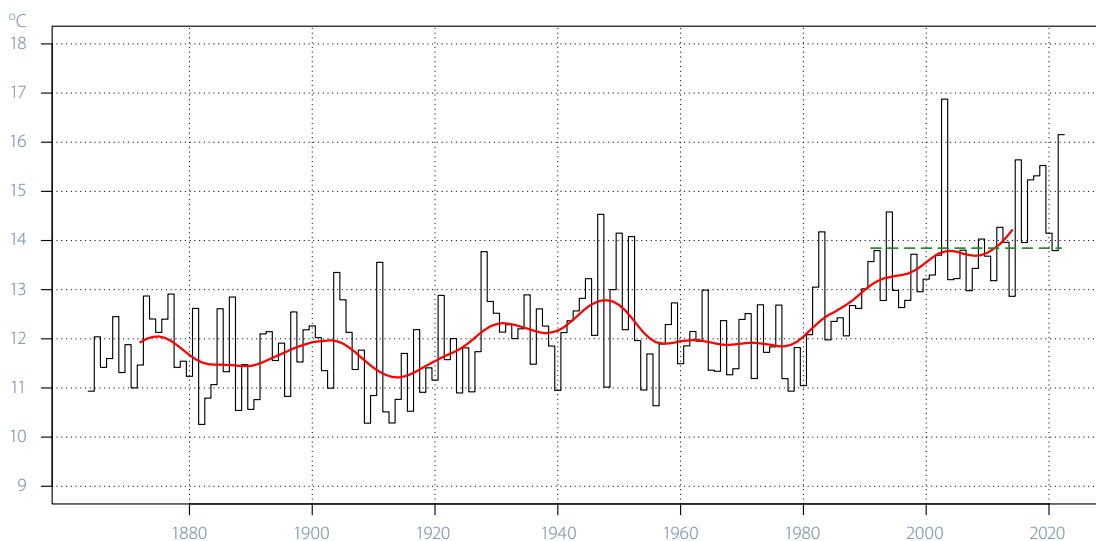
Figura 3.2

Panoramica sulle temperature del 2022: media nazionale della temperatura mensile (°C), del semestre estivo da aprile a settembre e dell'anno da gennaio a dicembre, rappresentata come anomalia rispetto alla norma 1991–2020. I numeri indicano il relativo rango (per esempio 1 = ottobre più caldo dall'inizio delle misure nel 1864).

Caldo estivo

In Svizzera quella del 2022 è stata la seconda estate più calda dall'inizio delle misurazioni nel 1864. Su scala nazionale la temperatura del trimestre giugno – agosto ha raggiunto 2,3°C più della norma 1991–2020. Solamente la leggendaria estate del 2003 con 3°C sopra la norma era stata ancora più calda. Nel 2022 la temperatura estiva è risultata la seconda più elevata in tutte le regioni della Svizzera.

Figura 3.3
Temperatura media dell'estate (media da giugno ad agosto) in Svizzera dall'inizio delle misure nel 1864. La linea verde indica la norma 1991–2020 (13,9°C), mentre la linea rossa la media mobile su una finestra temporale di 20 anni.



Tre periodi caldi

Il primo periodo caldo è cominciato attorno a metà giugno. Le temperature più elevate sono state raggiunte nella Svizzera settentrionale, nelle regioni di Neuchâtel, Sion e Biasca con oltre 36°C. A Beznau, sul confine settentrionale del Paese, sono stati misurati 36.9°C, a Biasca 36.6°C.

Neuchâtel ha sperimentato le tre giornate più calde mai misurate nel mese di giugno dall'inizio delle misure nel 1864: la media delle temperature massime giornaliere è risultata di 34.6°C. Il record precedente apparteneva al 1947 (32.9°C), seguito dal 2003 (32.8°C).

Il caldo di metà giugno è arrivato piuttosto presto. A Neuchâtel tre giornate così calde e così precoci si verificano in media ogni 25 anni o più. A parte la tempistica anticipata, tuttavia, il periodo caldo di giugno non ha rappresentato nulla di eccezionale.

Verso metà luglio il nostro Paese è stato interessato da un secondo periodo molto caldo. Per molte regioni nordalpine il 19 luglio è stato il giorno più caldo di luglio: a nord delle Alpi e in Vallese le temperature massime sono salite in molte località fino a 33–35°C, con locali punte anche superiori ai 36°C. A sud delle Alpi, invece, le massime sono state comprese fra 33 e 34,5°C.

All'inizio di agosto è cominciato il terzo periodo caldo dell'estate, anche se a sud delle Alpi il caldo era già ben presente negli ultimi giorni di luglio. In alcune località le temperature massime giornaliere hanno raggiunto i 35–37°C. Con 38,3°C, il 4 agosto a Ginevra è stata misurata la temperatura più elevata dell'estate 2022.

Lungo periodo caldo

Il periodo caldo di luglio, che è stato particolarmente intenso al Sud e all'Ovest, non è risultato eccezionale in quanto a temperature massime raggiunte. A renderlo straordinario è stata la sua durata. A Lugano per ben 14 giorni consecutivi la temperatura ha raggiunto o superato i 30°C; per questa località sudalpina si è trattato del periodo di due settimane più caldo mai misurato dall'inizio delle misure nel 1864. Durante le calde estati del 2015 e del 2003 le giornate consecutive con temperature pari o superiori a 30°C furono 13.

Molti giorni tropicali

In Svizzera già durante il mese di maggio sono state registrate alcune giornate tropicali. Fino alla fine dell'estate, il loro numero ha così raggiunto valori localmente elevati.

Durante l'estate 2022 a Ginevra e a Lugano, dove le misure sono iniziate nel 1864, sono state registrate rispettivamente 41 e 38 giornate tropicali, secondo valore più alto mai misurato. A Ginevra nel 2003 vennero registrate 50 giornate tropicali, a Lugano 47. A Sion, la cui serie di dati inizia nel 1958, le giornate tropicali sono state 49, nel 2003 furono 50.

A Stabio, nel Ticino meridionale, il record del 2003 è invece stato superato. Allora le giornate tropicali furono 57, nell'estate del 2022 sono state 63, valore più alto della serie storica iniziata tuttavia solo nel 1981. In tutti gli altri in questa località non sono mai state misurate più di 40 giornate tropicali.

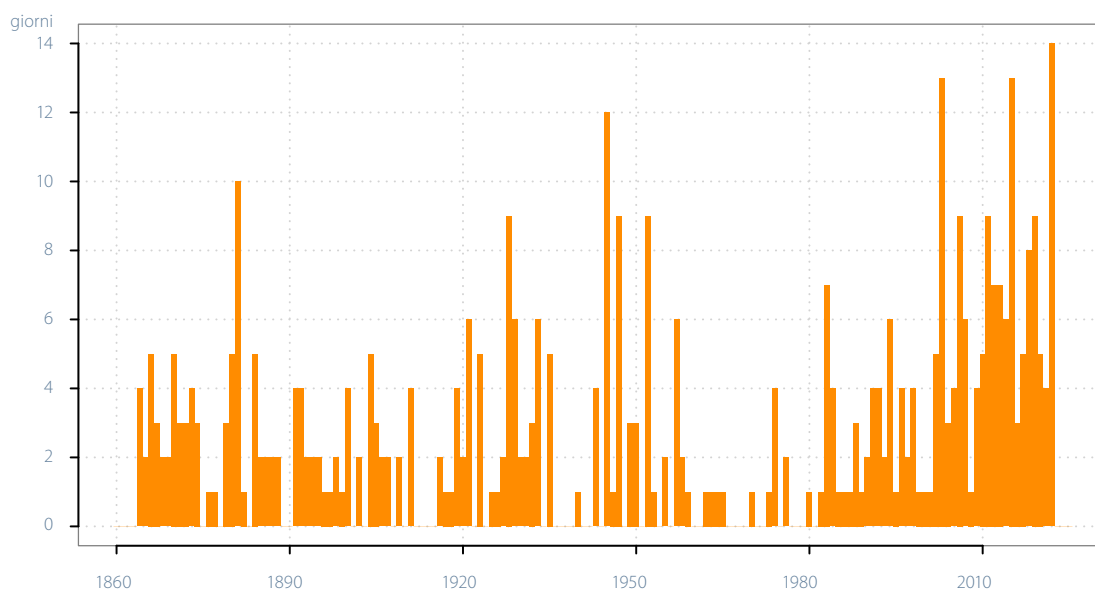


Figura 3.4
Durata del periodo caldo più lungo dell'anno con una temperatura massima giornaliera di almeno 30°C a Lugano.

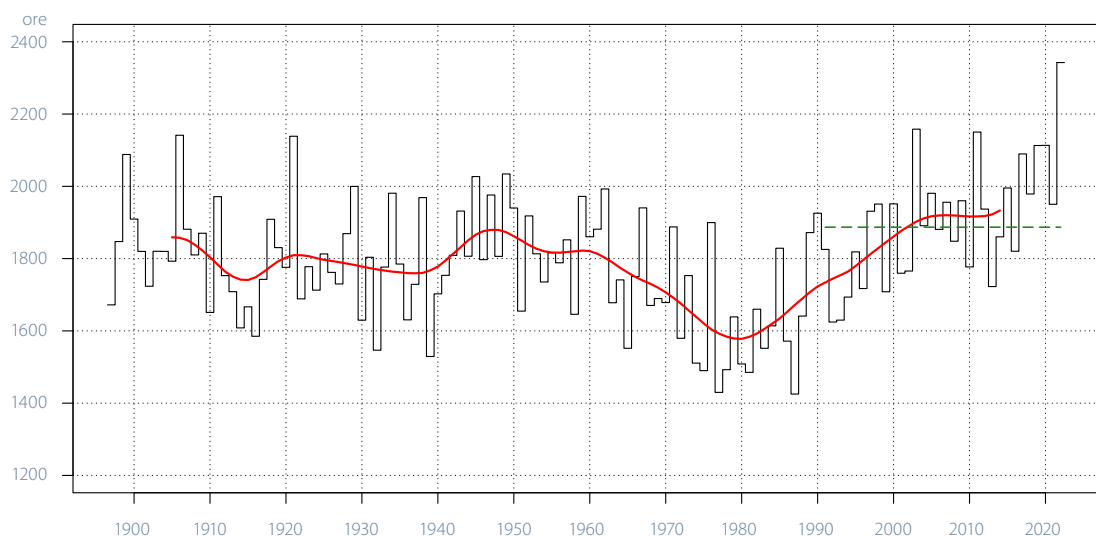
3.3 Record di soleggiamento

In Svizzera il 2022 è stato dominato da condizioni di alta pressione, situazione meteorologica che ha determinato uno degli anni più soleggiati dall'inizio delle misure.

Le stazioni di misura di Ginevra, Basilea e Zurigo, le cui serie di misura sono lunghe più di 120 anni, hanno registrato l'anno più soleggiato dall'inizio delle misure. A Ginevra sono state registrate 2343 ore di sole, a Basilea 2119 e a Zurigo 2149. Anche svariate stazioni di misura installate nel 1961 hanno registrato l'anno più soleggiato.

A Ginevra la differenza con il primato precedente è stata particolarmente elevata: il 2003 aveva infatti fatto registrare 2158 ore di sole. La differenza con il 2022, pari a 185 ore, corrisponde a circa due settimane estive di pieno sole.

Figura 3.5
Durata annuale del soleggiamento a Ginevra-Cointrin dall'inizio delle misure nel 1897. La linea verde indica la norma 1991-2020 (1887 ore), mentre la linea rossa la media mobile su una finestra temporale di 20 anni.



Estate più soleggiata a livello regionale

Con un numero di ore di sole pari al 130–150% della norma 1991–2020, Ginevra e Basilea hanno registrato l'estate più soleggiata, Zurigo la seconda più soleggiata dall'inizio delle misure più di 120 anni fa. Anche le stazioni di misura le cui serie storiche sono cominciate poco più di 60 anni fa hanno registrato un'estate fra le più soleggiate mai misurate. Per Lugano, la Chaux-de-Fonds, Neuchâtel e Altdorf si è trattato dell'estate più soleggiata, per Locarno Monti, Sion, San Gallo e Lucerna della seconda più soleggiata. A Samedan, a Davos e sul Säntis la stagione estiva è stata invece la terza più soleggiata.

Per Ginevra-Cointrin, La Chaux-de-Fonds, Lugano e Locarno Monti quello del 2022 è stato il semestre estivo più soleggiato dall'inizio delle misure, mentre a Neuchâtel è stato misurato lo stesso numero di ore di sole del semestre estivo 2003. Basilea ha registrato solamente 2 ore di sole in meno di quelle misurate nel semestre estivo 2018.





4 Andamento meteorologico e climatico globale

Con una deviazione di $+0,8^{\circ}\text{C}$ rispetto alla norma del periodo 1961–1990, nel set di dati HadCRUT5 l'anno 2022 risulta il sesto più caldo dall'inizio delle misure nel 1850. Per tutto l'anno sopra il Pacifico equatoriale ha predominato un'intensa situazione di La Niña. Nel contempo questa regione è stata l'unica con una temperatura media annuale inferiore alla media. Il caldo ha dominato in tutti i continenti, ma soprattutto in Siberia, in Europa, nell'Asia centrale e in Cina. La sintesi riportata di seguito si basa principalmente sul rapporto annuale sullo stato del clima dell'Organizzazione meteorologica mondiale (OMM) [5] e sul Global Climate Report della National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA) [6] e sulle relative fonti in essi contenute.

4.1 Anno caldo in Europa e in Asia

In base al set di dati HadCRUT5 della University of East Anglia (GB), la temperatura media annuale globale del 2022 ha mostrato una deviazione di $+0,8^{\circ}\text{C}$ rispetto alla norma del periodo 1961–1990 ($+0,26^{\circ}\text{C}$ rispetto alla norma 1991–2020). Il 2022 è quindi stato il sesto anno più caldo dall'inizio delle misure nel 1850 (Figura 4.1). Gli ultimi otto anni dal 2015 sono stati i più caldi. Il 2016 rimane l'anno finora più caldo della serie temporale globale.

Il 2022 è stato particolarmente caldo nella Siberia settentrionale, dove la norma 1961–1990 è stata superata di oltre 3°C . In Europa, nell'Africa settentrionale, nel Sinai e in parti dell'Asia centrale e della Cina è stato raggiunto uno scarto positivo di $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$. In Asia e in Europa il 2022 è stato il secondo anno più caldo dall'inizio delle misure.

Durante tutto l'anno, sopra il Pacifico equatoriale le marcate condizioni La Niña hanno causato temperature fino a -1°C inferiori alla norma 1961–1990. Anche in Patagonia, nell'Australia meridionale e in alcune parti dell'Asia centrale le temperature sono risultate vicine alla norma o leggermente al di sotto.

In base al set di dati della University of East Anglia [7], la variazione complessiva della temperatura annuale globale (terre emerse e oceani) tra i due periodi di riferimento 1850–1900 e 1991–2020 ammonta a $+0,9^{\circ}\text{C}$. Secondo l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dall'inizio dell'industrializzazione la temperatura media globale è aumentata di circa $1,1^{\circ}\text{C}$. Sulla terraferma l'incremento è stato di $+1,6^{\circ}\text{C}$ e sopra gli oceani di $+0,9^{\circ}\text{C}$. Viene così indicata la differenza tra la decade 2011–2020 e la media del periodo preindustriale. La temperatura media globale è di circa 15°C . L'andamento globale pluriennale delle temperature, con la maggior frequenza di anni molto caldi in tempi recenti, si rispecchia anche nella serie delle temperature registrate in Svizzera (Figura 5.1).

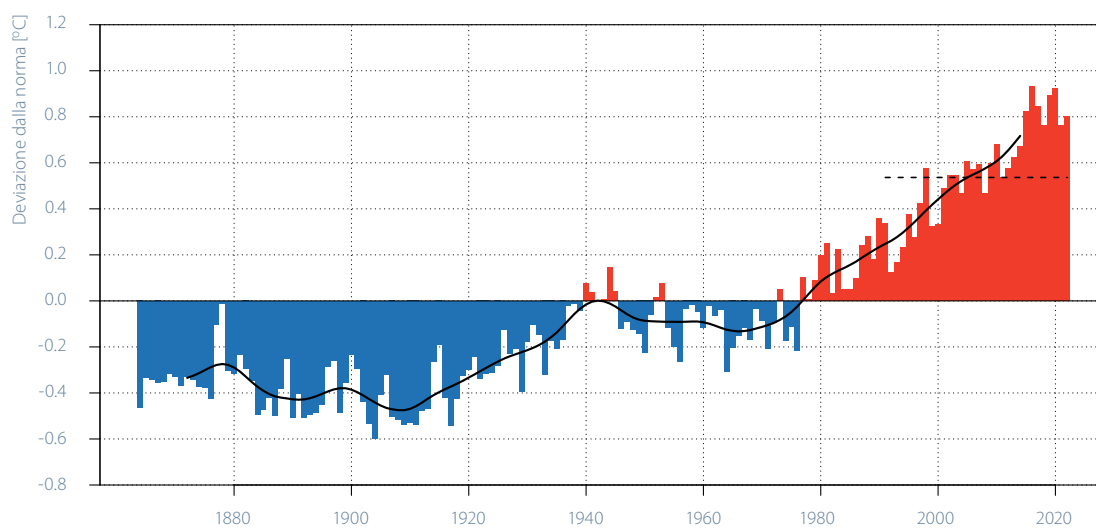


Figura 4.1
Andamento della temperatura media globale (terre emerse e oceani). È riportata la deviazione annuale della temperatura rispetto alla norma 1961–1990 (in rosso deviazione positiva, in blu negativa). La curva nera indica la media ponderata su 20 anni, la linea tratteggiata la norma 1991–2020.

Set di dati: University of East Anglia, 2022 [7], HadCRUT5

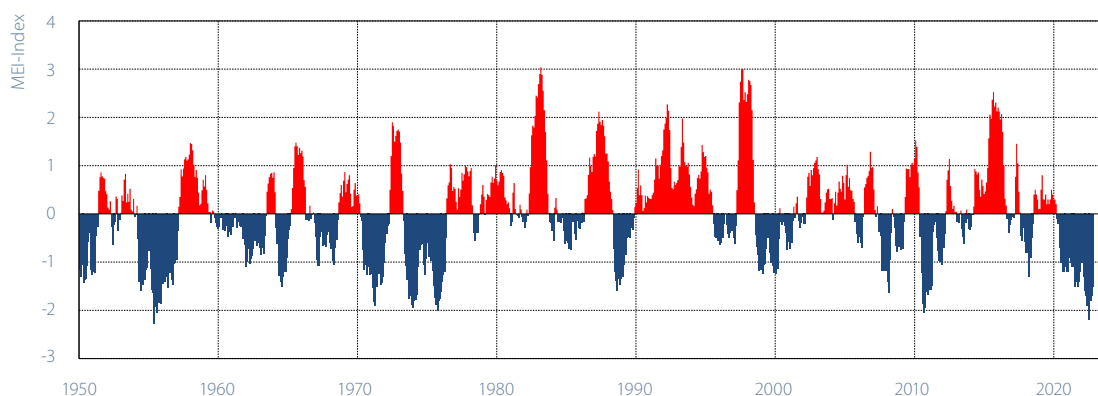
4.2 El Niño e La Niña

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.

A partire dal 2017 non si sono più verificate fasi di El Niño particolarmente marcate. Negli anni 2020–2022 ha invece dominato un'intensa situazione di La Niña. Si può pertanto presupporre che negli ultimi sei anni il riscaldamento globale è stato leggermente contrastato dalla situazione nel Pacifico tropicale. Le elevate temperature medie globali degli anni 2017–2022 sono pertanto ancora più preoccupanti. Nel 2016, anno record a livello globale, il fenomeno El Niño era molto intenso.

Figura 4.2
Multivariate El Niño Southern Oscillation Index (MEI) 1950–2022. In rosso i valori dell'indice della fase El Niño (fase calda), in blu quelli della fase La Niña (fase fredda). L'indice MEI è calcolato partendo dalla pressione al suolo, dalle componenti est-ovest e nord-sud del vento al suolo, dalla temperatura della superficie marina, dalla temperatura dell'aria a livello del mare e dal grado di copertura nuvolosa. Le misurazioni vengono effettuate nel Pacifico equatoriale.



I dati sono disponibili sotto [8].

Eventi particolari globali

Caldo e siccità

In Europa, Nordafrica e Cina, l'estate 2022 è stata eccezionalmente calda. A metà luglio l'Europa ha vissuto una forte ondata di caldo, che in Gran Bretagna ha portato per la prima volta la temperatura oltre i 40°C. Infatti il 19 luglio a Coningsby sono stati misurati 40,3°C. Il caldo torrido si è esteso fino all'estremo nord dell'Europa. Il 21 luglio a Målilla (Svezia) è stata misurata, con 37,2°C, la temperatura più alta dal 1947. Con il caldo e la siccità diffusa in Europa, in molte regioni sono scoppiati incendi di boschi, come ad esempio nella Francia sud-occidentale, in Portogallo e addirittura nei sobborghi di Londra, in Inghilterra.

In giugno e in agosto i paesi nordafricani affacciati sul Mediterraneo, come la Tunisia e l'Algeria, hanno vissuto forti ondate di caldo. In Algeria in agosto gli incendi di boschi hanno di nuovo mietuto molte vittime, come era già accaduto nel 2021. A causa della siccità, in Europa la portata di grandi fiumi come il Reno, la Loira e il Danubio era molto esigua. In alcuni paesi è stata l'estate più siccitosa dall'inizio delle misure.

L'ondata di caldo più lunga dall'inizio dei rilevamenti si è verificata nel 2022 in Cina. Si è protratta da metà giugno fino a fine agosto. Essa è stata accompagnata da una gravissima siccità. In agosto la portata del fiume Yangtse ha raggiunto il suo minimo storico.

Nel 2022 nel Corno d'Africa la siccità si è aggravata ulteriormente. Anche nei periodi marzo–maggio e ottobre–dicembre, che equivalgono solitamente ai periodi delle piogge in Kenya, Somalia ed Etiopia, le precipitazioni sono state nettamente inferiori alla media, come già nei quattro precedenti periodi delle piogge.

In novembre e dicembre anche il Cile, l'Argentina e l'Uruguay sono stati colpiti da un caldo estremo. In Rivadavia (Argentina) il 7 dicembre è stato raggiunto un nuovo record per il mese di dicembre, pari a 46,0°C.

Freddo estremo

Lo scorso anno i periodi di freddo estremo sono stati pochi. Verso la fine di dicembre il Nordamerica è stato interessato da un'ondata di freddo e da una delle tempeste di neve più estreme dall'inizio delle misure. A Buffalo in 26 ore sono caduti 132 cm di neve fresca. A Casper (Wyoming) è stato stabilito, con -41,1°C, un nuovo record locale della temperatura. Nell'Europa occidentale in aprile le temperature basse hanno causato danni soprattutto all'agricoltura.

Precipitazioni intense e inondazioni

Secondo l'European Severe Storm Laboratory, il 18 agosto 2022 una violenta tempesta su vasta scala, che si è sviluppata tra Minorca e la Corsica ed è proseguita verso l'Italia settentrionale, la Slovenia e la Repubblica Ceca, ha causato violente grandinate estreme con palle di grandine che hanno raggiunto un diametro di 11 cm e venti burrascosi [35]. L'evento ha causato diversi morti e feriti.

Le precipitazioni di luglio e agosto in Pakistan hanno superato tutti i precedenti primati nazionali. In questi due mesi le precipitazioni sono state superiori alla norma nella misura del 181%, rispettivamente del 243%. Di conseguenza si sono verificate inondazioni su larga scala nelle province di Sindh e Belucistan con conseguenze devastanti per le persone, gli animali e le infrastrutture. Anche in India la stagione dei monsoni ha portato gravi inondazioni e frane con vittime e flussi migratori.

La parte meridionale dell'Africa è stata colpita da diversi cicloni tropicali in poche settimane. Tra gennaio e febbraio ben quattro cicloni tropicali hanno colpito l'Isola del Madagascar. Sull'Isola, ma anche in Malawi e Mozambico, i cicloni hanno provocato inondazioni con un elevato numero di vittime e sfollati. In aprile la zona di bassa pressione Issa ha provocato inondazioni estreme in alcune parti del Sudafrica. L'11 e il 12 aprile i cicloni hanno portato somme di precipitazione giornaliera fino a 311 mm. A titolo di confronto: in Ticino, che è la regione più piovosa della Svizzera, un evento con quantitativi giornalieri simili si verifica circa ogni 50 anni.

Nell'Australia orientale nel corso del 2022 le inondazioni si sono ripetute. Le più gravi sono avvenute alla fine di febbraio e all'inizio di marzo nelle regioni costiere orientali nel sud-est del Queensland, nel nord del Nuovo Galles del Sud e attorno a Sydney. Le peggiori inondazioni si sono verificate nella zona di Lismore (a sud di Brisbane), dove il fiume Wilsons ha superato di circa 2 m i precedenti

livelli record allagando ampie zone del centro cittadino. A Doon Doon, a nord di Lismore, il 28 febbraio sono caduti 758 mm di pioggia in 24 ore. Questo quantitativo corrisponde circa alla media annuale delle precipitazioni in Engadina. All'inizio di luglio anche la regione di Sydney è stata colpita da gravi inondazioni. La primavera è stata la più bagnata dall'inizio delle misure sia nel Nuovo Galles del Sud, sia nello stato di Victoria. In quest'ultimo stato anche il mese di ottobre ha siglato questo primato. A Sydney nel 2022 sono caduti 2530 mm di pioggia, quantitativo sensibilmente superiore al precedente record annuale pari a 2194 mm.

Il 28 settembre il ciclone tropicale Ian si è abbattuto sulla Florida sotto forma di uragano di categoria 4, dopo che nei giorni precedenti aveva già colpito Cuba. Le conseguenti inondazioni hanno causato danni ingenti. In Florida e a Cuba le vittime sono state numerose. L'uragano ha raggiunto la Florida con venti che hanno raggiunto i 241 km/h.

Banchisa

I satelliti rilevano la diminuzione dell'estensione della banchisa artica dal 1979. Rispetto alla media pluriennale (1981–2010) l'estensione massima annuale è in continua diminuzione. Essa è misurata in marzo. Nel 2022 in questo periodo era ricoperta di ghiaccio una superficie di 14,59 mio. km², ovvero di 0,84 mio. km² (~5%) inferiore alla media pluriennale.

Nel periodo 1979–2022 l'estensione minima della banchisa artica è diminuita più rapidamente di quella massima. Nel 2022 l'estensione minima, che solitamente è raggiunta in settembre, è stata di 4,87 mio. km², di 1,54 mio. km² (~24%) inferiore della media pluriennale. Ciò nonostante, nella regione del Polo Nord la superficie di ghiaccio minima è stata superiore rispetto al precedente decennio poiché nell'estate 2022 la fusione delle masse di ghiaccio è stata moderata.

La banchisa antartica si comporta invece in modo molto diverso da quella artica. In Antartide non solo l'estensione minima è raggiunta in febbraio e quella massima in settembre, ma la banchisa è caratterizzata anche da uno sviluppo temporale diverso. Negli ultimi dieci anni sono stati rilevati sia nuovi valori massimi dell'estensione minima e massima (2014), sia nuovi valori minimi (più bassa estensione massima nel 2017, più bassa estensione minima nel 2022 con 1,92 mio. km² il 25 febbraio 2022).





5 Monitoraggio climatico

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

Il capitolo è suddiviso secondo la struttura GCOS (Global Climate Observing System) delle variabili climatiche essenziali [9]. Vengono trattati i settori atmosfera e terre emerse, concentrandosi sulle osservazioni al suolo (Tabella

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

Tabella 5.1
Variabili climatiche essenziali secondo il GCOS Second Adequacy Report [10], completate con le variabili rilevanti per la Svizzera [9].

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

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

Inoltre, vengono qui discussi altri indicatori climatici specifici per la Svizzera. In base alle raccomandazioni dell'OMM per l'analisi dell'evoluzione del clima vengono utilizzati i valori normali del periodo di riferimento 1961–1990 [11], [12].

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 [13].
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 $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$	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 [13].
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 [14], [15], [16], [17], [18].
Giorni di neve fresca	Numero di giorni con neve fresca misurabile nei mesi da ottobre a marzo (semestre invernale)	

Tabella 5.2

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

5.1 Atmosfera

5.1.1 Osservazioni al suolo

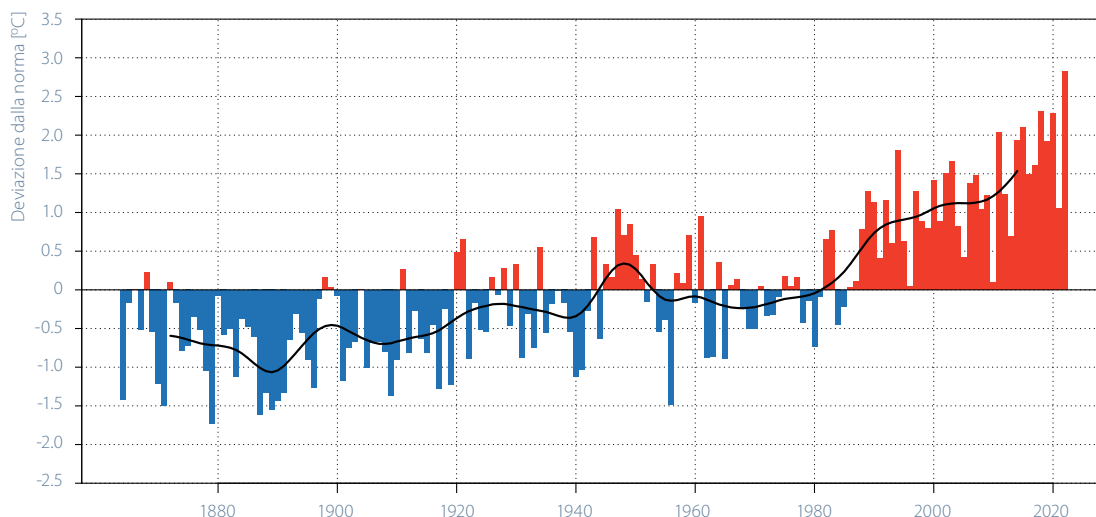
Gli indicatori climatici qui rappresentati seguendo le indicazioni dell'OMM (Tabella 5.2) fanno riferimento alle serie di misura di quattro stazioni scelte per la loro rappresentatività di quattro aree svizzere: Berna (pianura nordalpina), Sion (valle intralpina), Davos (ubicazione alpina) e Lugano (Sud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

Temperatura

Nel 2022 la temperatura media svizzera ha raggiunto un nuovo valore massimo assoluto di 7,4 °C, ovvero 2,8 °C in più rispetto alla norma del periodo 1961–1990. Tutte le stagioni dell'anno sono state sensibilmente più calde della norma. Solo le temperature mensili di aprile e settembre sono state leggermente inferiori alla media.

Con uno scarto di +2,0 °C rispetto alla norma 1961–1990, l'inverno 2021/22 non rientra, per poco, tra i dieci più caldi dall'inizio delle misure nel 1864. Con +2,8 °C rispetto alla norma 1961–1990, la temperatura media nazionale della primavera è stata la quarta più calda, mentre in estate lo scarto è stato di +4,0 °C. Dopo il caldo record del 2003, l'estate 2022 è stata la seconda più calda dall'inizio delle misure. Anche l'autunno 2022 rientra tra i più caldi: principalmente a causa delle temperature record registrate nel mese di ottobre la temperatura media stagionale ha raggiunto la terza posizione dall'inizio delle misure nel 1864 con una deviazione di +2,3 °C dalla norma 1961–1990.

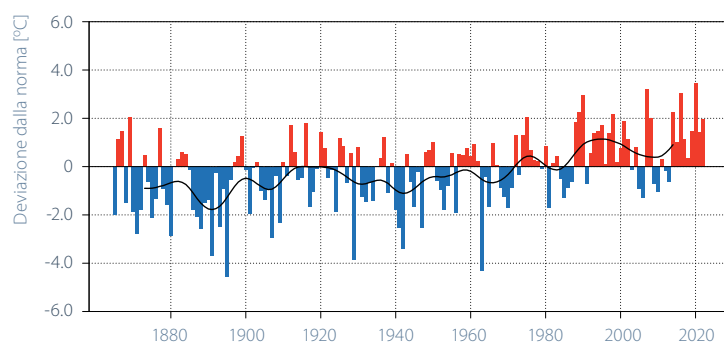
Figura 5.1
Andamento pluriennale della temperatura annuale (media di tutta la Svizzera). È riportato lo scarto annuale della temperatura rispetto alla norma 1961–1990 (rosso = scarto positivo, blu = scarto negativo). La curva nera mostra la media ponderata su 20 anni.



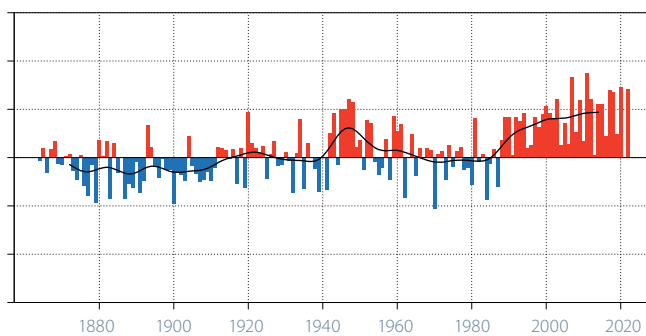
Ulteriori informazioni sugli indicatori climatici:

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

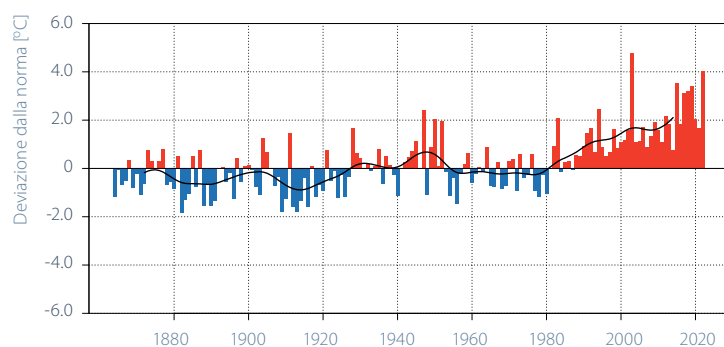
Inverno (DIC, GEN, FEB) 1864/65–2021/22



Primavera (MAR, APR, MAG) 1864–2022



Estate (GIU, LUG, AGO) 1864–2022



Autunno (SET, OTT, NOV) 1864–2022

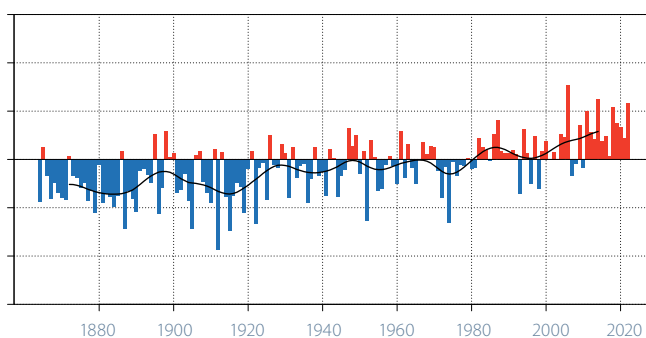
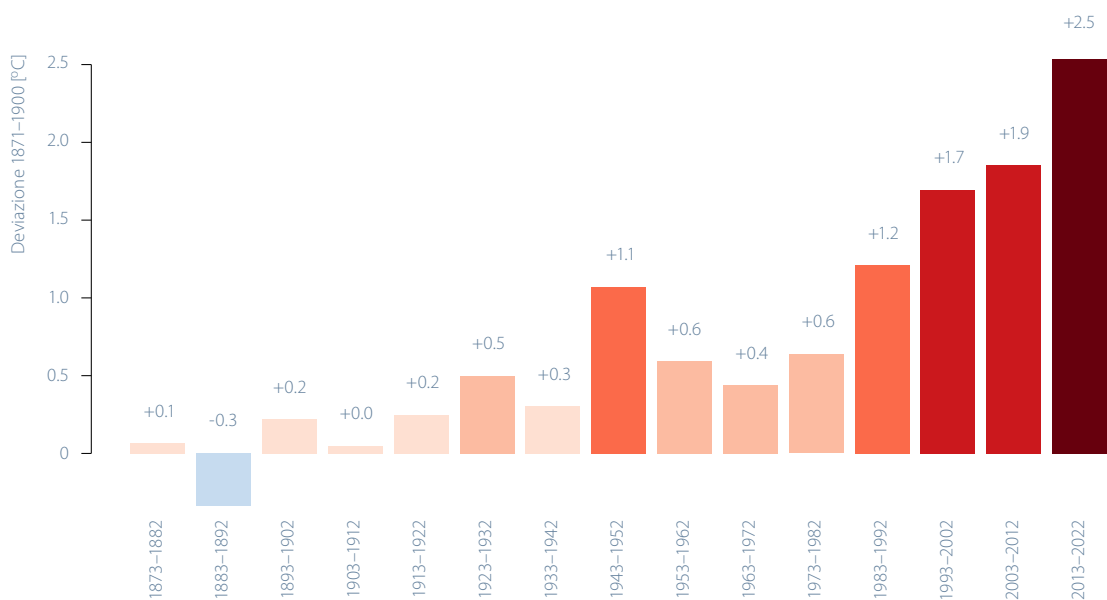


Figura 5.2

Andamento pluriennale della temperatura stagionale (media di 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 20 anni.

L'aumento della temperatura sul lungo termine in Svizzera è evidente e riguarda tutte le stagioni. La media degli ultimi dieci anni (2013–2022) è la più alta dall'inizio delle misure sistematiche. Essa supera di 2,5 °C quella del periodo di riferimento preindustriale 1871–1900 (Figura 5.3).

Figura 5.3
**Andamento temporale
della temperatura
media in Svizzera nelle
singole decadi, sotto
forma di deviazioni dal
periodo di riferimento
preindustriale
1871–1900.**



Gli anni con le temperature più elevate sono stati registrati tutti nell'ultimo decennio. Tra i trenta anni più caldi dall'inizio delle misure nel 1864, quelli precedenti al 1990 sono pochissimi. I sette 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 [19].

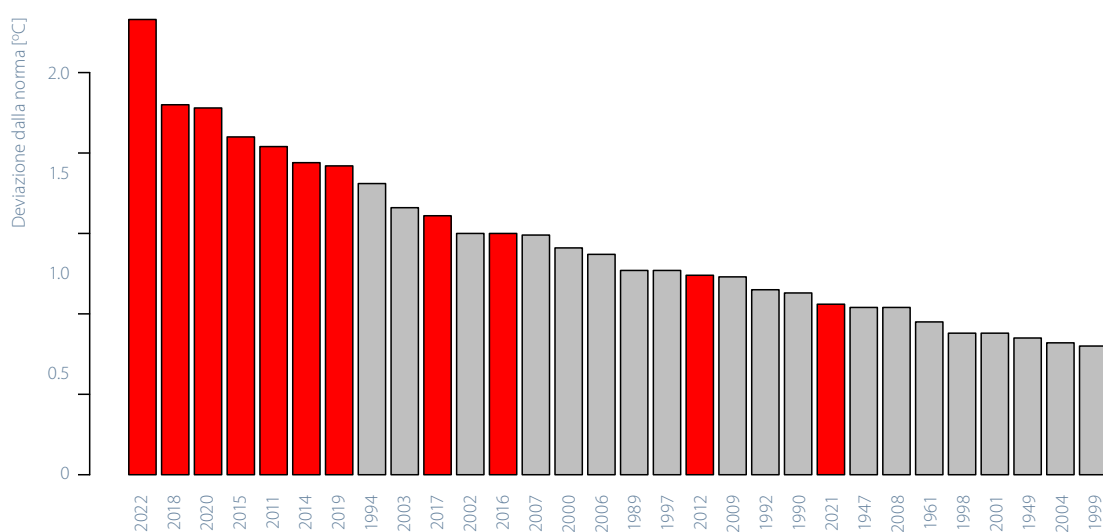


Figura 5.4
Classifica dei 30 anni più caldi dal 1864. Le colonne mostrano la deviazione della temperatura media svizzera rispetto alla norma 1961–1990. Gli anni dopo il 2010 sono rappresentati in rosso. L'anno 2022 è di gran lunga il più caldo.

Sulla pagina web di MeteoSvizzera si trovano ulteriori informazioni sull'evoluzione 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

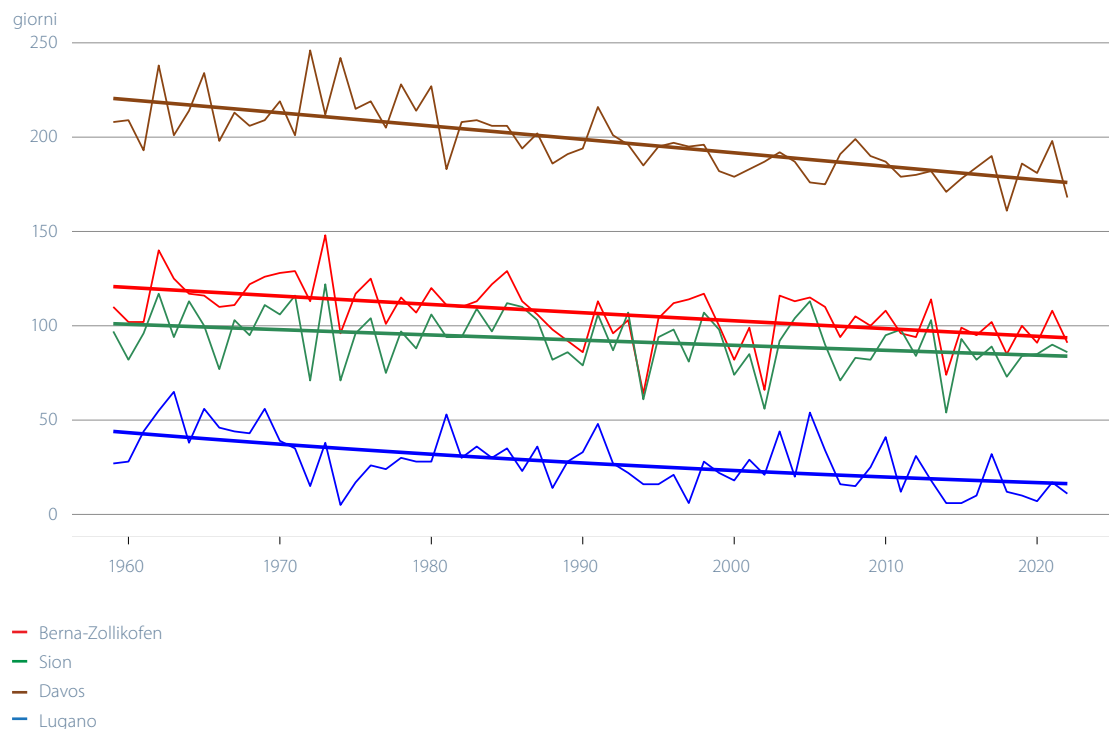


Giorni di gelo

In seguito all'inverno mite e ai mesi primaverili e autunnali molto caldi, nel 2022 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. Presso la stazione di Davos, quella situata alla quota più alta, sono stati rilevati 168 giorni di gelo, numero che equivale al 20% in meno rispetto alla norma 1961–1990 (210). Anche a Berna, dove il numero di giorni di gelo registrato è di 91 anziché i 115 della media, questo quantitativo è inferiore di circa il 20%. A Sion sono stati misurati 86 giorni di gelo (media 98). A Lugano non è stato raggiunto nemmeno un terzo del numero medio (11, media 35).

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 gradi, per le stazioni di Berna-Zollikofen, Sion, Davos e Lugano.



In base ai nuovi scenari climatici CH2018 [19], 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

Il caldo record del semestre estivo 2022 ha riservato alla Svizzera numerosi giorni estivi. A Lugano sono stati contati 112 giorni estivi (media 50), un giorno in più dell'estate da primato del 2003. Anche la stazione di misura di Sion ha registrato oltre 100 giorni estivi (103, media 56). A Berna, con 74 giorni estivi, essi sono risultati ben oltre il doppio della norma del periodo 1961–1990 (31 giorni estivi all'anno). A Davos sono stati contati dieci giorni con una temperatura superiore a 25 °C. Durante il periodo 1961–1990 in questa località veniva registrato in media un solo giorno estivo all'anno. Con il clima attuale i giorni estivi sono viepiù diffusi 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.

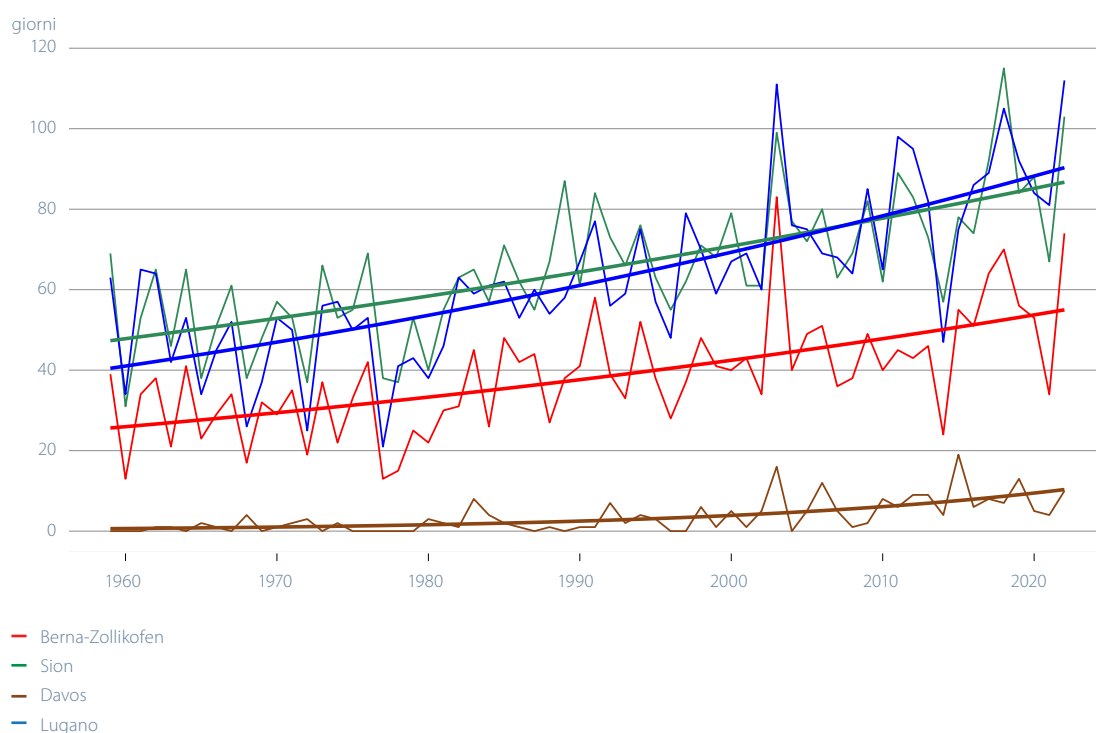


Figura 5.6
Andamento temporale del numero di giorni estivi (cioè con temperatura massima superiore o uguale a 25 °C) per le stazioni di Berna-Zollikofen, Sion, Davos e Lugano.

Se le emissioni di gas ad effetto serra dovessero continuare come fino ad oggi, attorno al 2060 a basse quote il numero di giorni estivi sarà mediamente il doppio rispetto alla norma 1961–1990.

Così, ad esempio, a Berna si verificheranno 68–90 giorni estivi e a Davos 15–40, cioè il numero di giorni estivi che si verificavano mediamente a Berna nel periodo 1961–1990 [19].

Precipitazioni

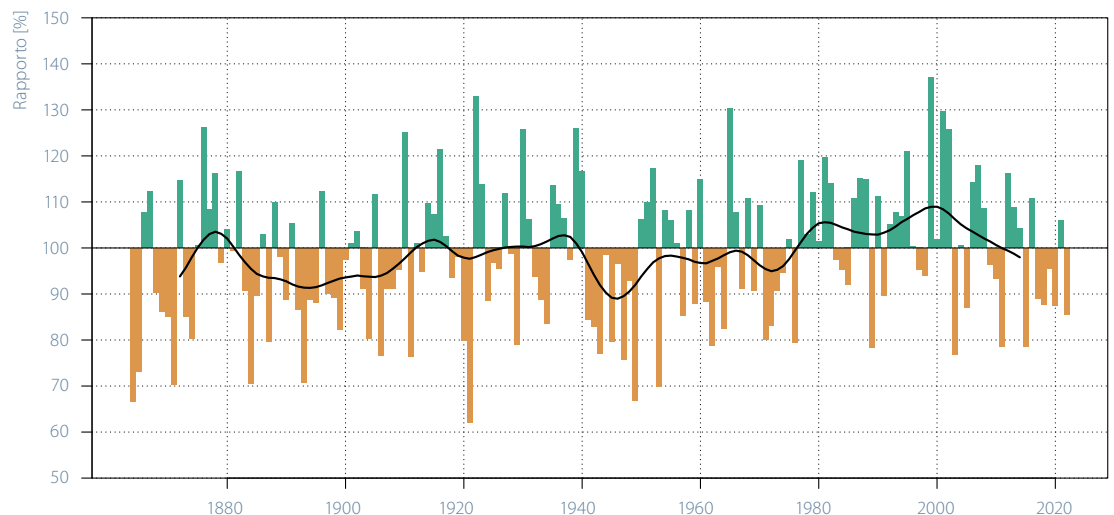
Nel 2022 i quantitativi annuali di precipitazione sono stati inferiori alla media e, con l'86% della norma, sull'Altopiano essi sono risultati simili a quelli degli anni 2020, 2018, 2017 e 2015 (Figura 5.7). Sull'Altopiano nell'inverno 2021/22 il quantitativo di precipitazione è stato leggermente inferiore alla norma nella misura del 92%. In primavera e in estate le precipitazioni sono state, con il 63%, rispettivamente il 71%, nettamente inferiori alla norma del periodo 1961–1990 (Figura 5.8). Al Nord delle Alpi solo l'autunno è stato più umido, con il 128% della norma, soprattutto a causa di un settembre piovoso.

A sud delle Alpi il 2022 è stato molto povero di precipitazioni (Figura 5.9). Qui sull'arco di tutto l'anno è stato raggiunto solamente il 71% della media pluriennale del periodo di riferimento 1961–1990. Nella Svizzera meridionale l'inverno, la primavera e l'estate hanno portato precipitazioni chiaramente inferiori, con il 22%, 33%, rispet-

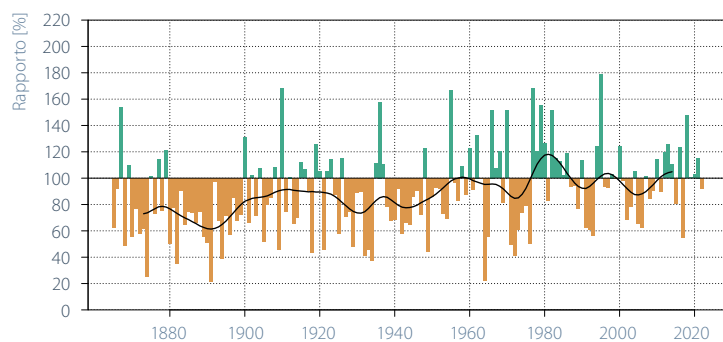
tivamente 72%, del quantitativo atteso nella stagione corrispondente (Figura 5.10). L'inverno 2021/22 è stato uno dei più asciutti dall'inizio delle misure nel 1864. Come al Nord, anche al Sud delle Alpi le precipitazioni autunnali sono state, con il 123%, leggermente al di sopra della media del periodo 1961–1990). Tuttavia, questi quantitativi non hanno colmato il deficit accumulato nei mesi precedenti.

L'evoluzione delle precipitazioni nel periodo 1864–2022 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 sull'Altopiano si può osservare una tendenza a un aumento delle precipitazioni medie in inverno. Nelle altre stagioni non si può riscontrare una chiara tendenza a un aumento o a una riduzione dei quantitativi di precipitazione.

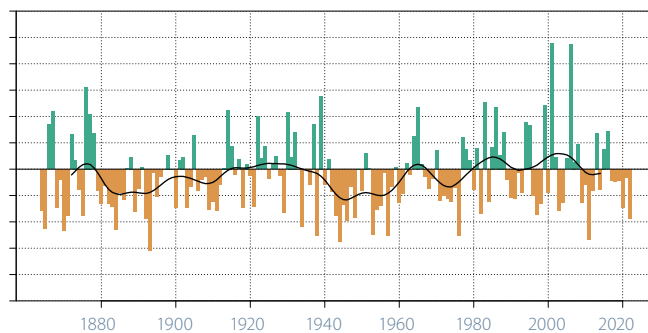
Figura 5.7
Andamento storico delle precipitazioni annuali sull'Altopiano in percentuale rispetto alla norma 1961–1990.
 Come base dei dati sono utilizzate le serie di misura omogenee di Ginevra, Basilea, Berna e Zurigo. Verde = deviazioni positive, marrone = deviazioni negative; la curva nera mostra la media ponderata su 20 anni.



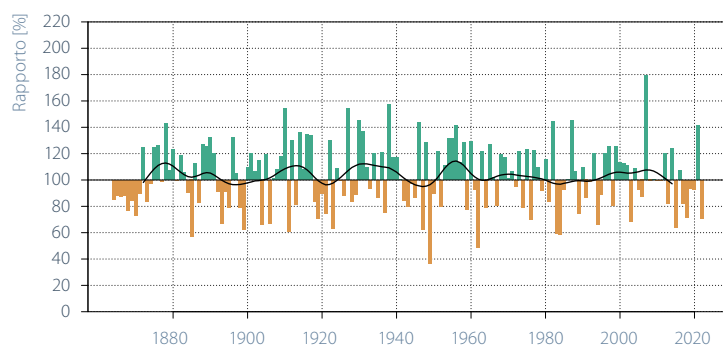
Inverno (DIC, GEN, FEB) 100% = circa 200 mm



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



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



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

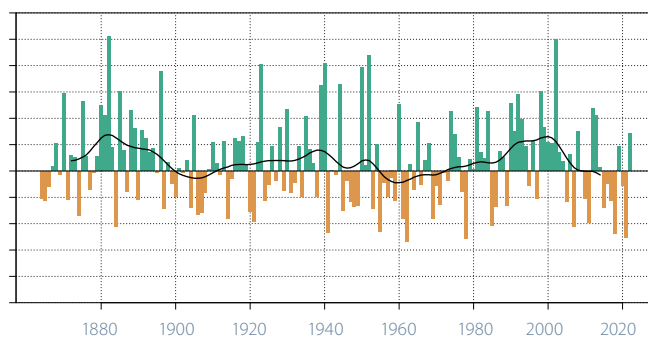
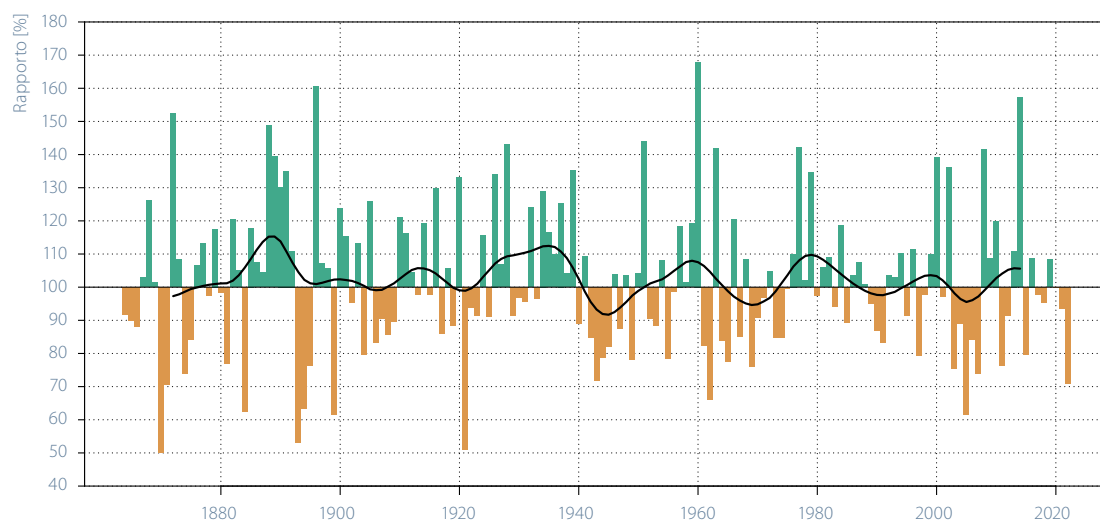


Figura 5.8

Andamento storico delle precipitazioni per stagione sull'Altopiano in percentuale rispetto alla norma 1961–1990. Come base dei dati sono utilizzate le serie di misura omogenee di Ginevra, Basilea, Berna e Zurigo. Verde = deviazioni positive, marrone = deviazioni negative; la curva nera mostra la media ponderata su 20 anni. 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.

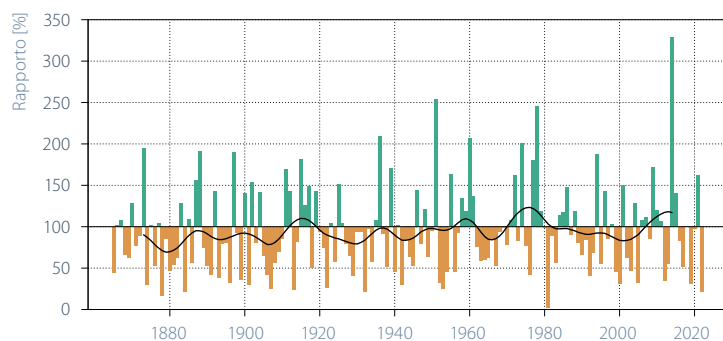
Figura 5.9
**Andamento storico
 delle precipitazioni
 annuali al Sud delle
 Alpi in percentuale
 rispetto alla norma
 1961–1990. Come base
 dei dati e utilizzata
 la serie di misura
 omogenee di Lugano.
 Verde = deviazioni
 positive, marrone =
 deviazioni negative;
 la curva nera mostra
 la media ponderata
 su 20 anni.**



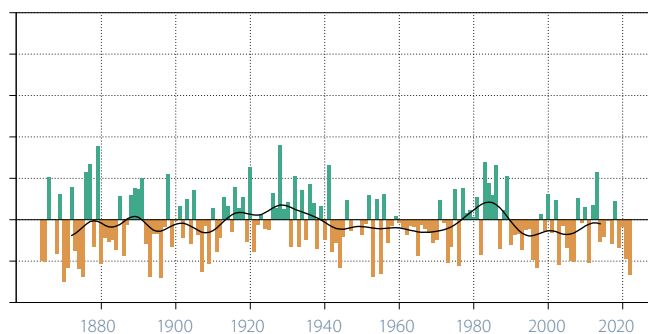
Ulteriori informazioni sull'evoluzione delle precipitazioni in Svizzera:

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

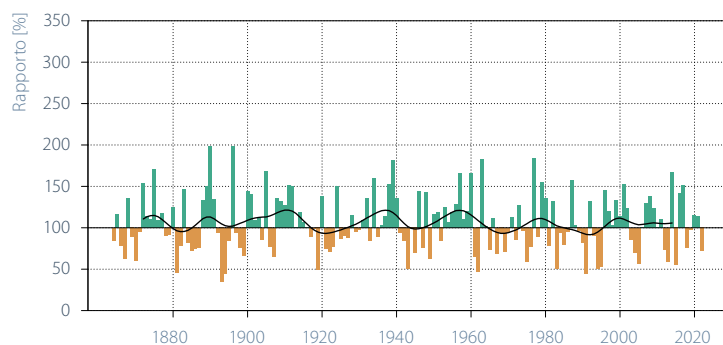
Inverno (DIC, GEN, FEB) 100% = circa 220 mm



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



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



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

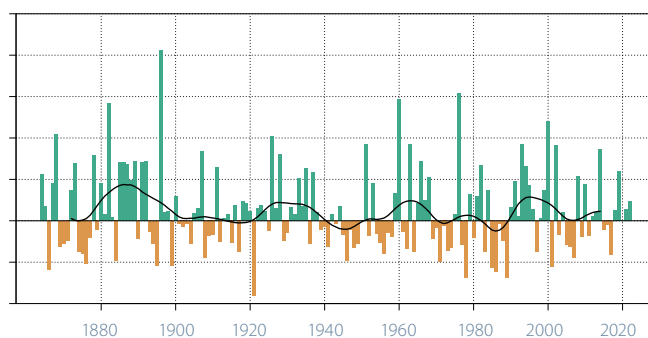


Figura 5.10

Andamento storico delle precipitazioni per stagione al Sud delle Alpi in percentuale rispetto alla norma 1961–1990. Come base dei dati è utilizzata la serie di misura omogenee di Lugano. Verde = deviazioni positive, marrone = deviazioni negative; la curva nera mostra la media ponderata su 20 anni.

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 [19].

Giorni con precipitazioni moderate

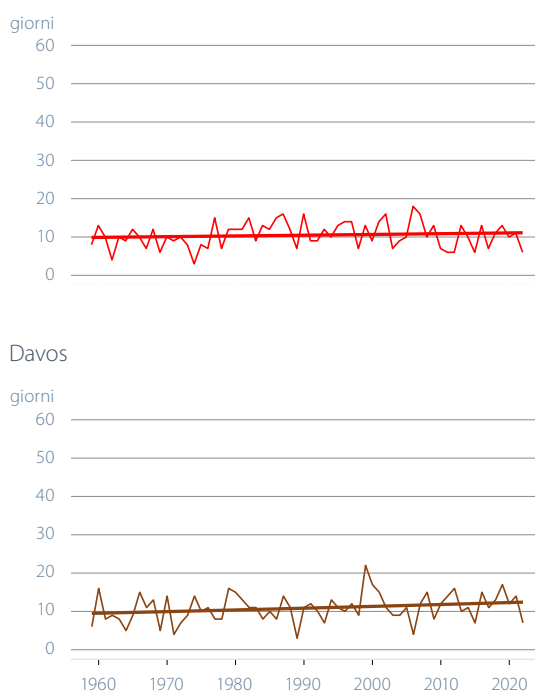
Così come i quantitativi di precipitazione medi, nel 2022 anche il numero di giorni con precipitazioni moderate è risultato inferiore alla media del periodo 1961–1990 nelle quattro stazioni di misura. A Berna sono stati registrati 6 giorni con oltre 20 mm di precipitazione (norma 10), a Davos 7 (norma 10) e a Sion 2 giorni (norma 5). A Lugano il 2022 è stato tra i pochi con soli 15 giorni (norma 26) con più di 20 mm di precipitazione. Nelle quattro stazioni presentate in questa pubblicazione non sono individuabili tendenze significative a un aumento o a una diminuzione dei giorni con precipitazioni moderate. Se si getta uno sguardo indietro fino al 1901, il 92% delle 185 serie di misurazioni

mostra un aumento e il 35% un aumento significativo della frequenza delle precipitazioni moderate. Nel 91% di tutte le serie di misurazioni si osserva un aumento e nel 31% un aumento significativo dell'intensità delle precipitazioni moderate [20]. Questa constatazione si basa sui dati fino al 2014.

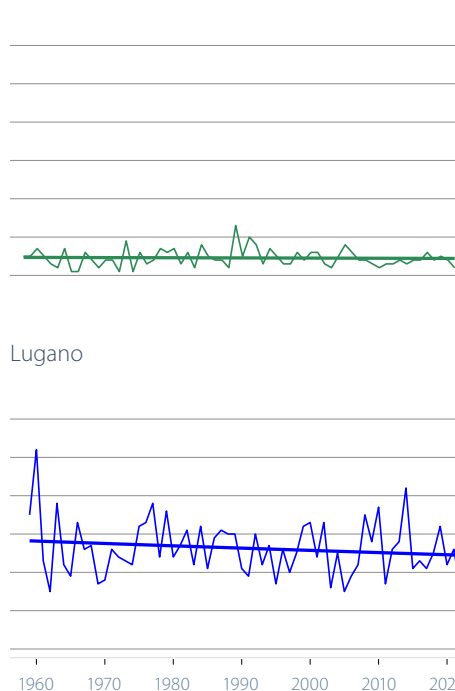
Gli scenari climatici CH2018 prospettano come in futuro le precipitazioni estreme subiranno un ulteriore aumento. Attorno all'anno 2060 la precipitazione giornaliera più elevata durante un anno potrebbe aumentare del 10% rispetto a quella del periodo 1981–2010 [19].

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

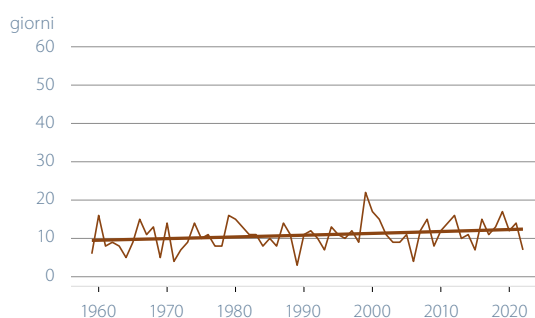
Berna-Zollikofen



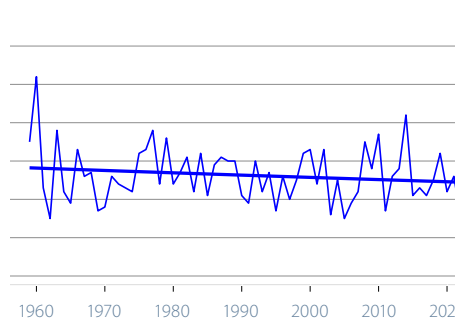
Sion



Davos



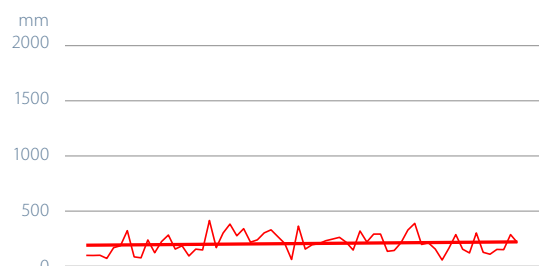
Lugano



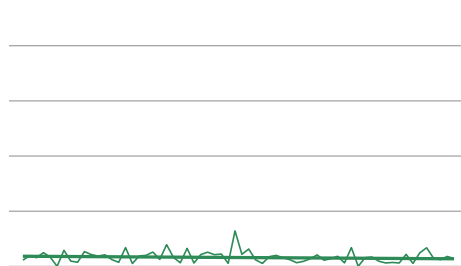
Precipitazioni nei giorni molto piovosi

Nella stazione alpina di Davos i quantitativi complessivi di precipitazione nei giorni molto piovosi sono stati, con 72 mm (norma 214 mm), nettamente inferiori alla norma del periodo 1961–1990, così come a Lugano, al Sud delle Alpi, dove sono stati registrati 486 mm (norma 858 mm). Nelle stazioni di misura di Sion e Bern i quantitativi complessivi di precipitazione nei giorni molto piovosi hanno raggiunto valori vicini alla norma (Sion 71 mm/norma/98 mm, Berna 214 mm/norma 216 mm). Nell'andamento pluriennale nessuna delle stazioni qui indicate mostra una tendenza significativa.

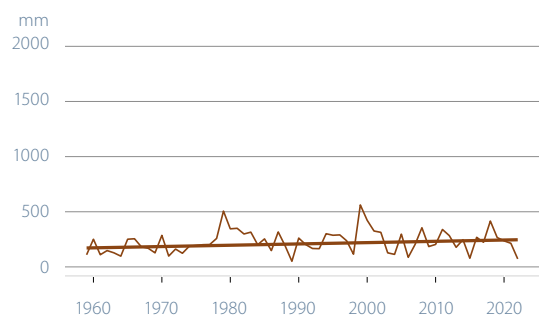
Berna-Zollikofen



Sion



Davos



Lugano

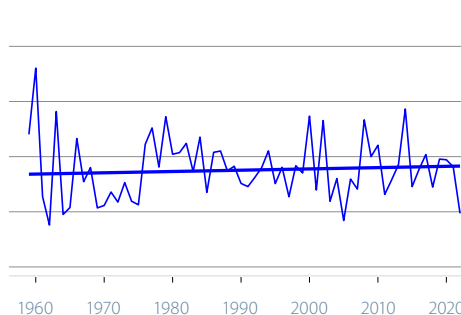


Figura 5.12

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.

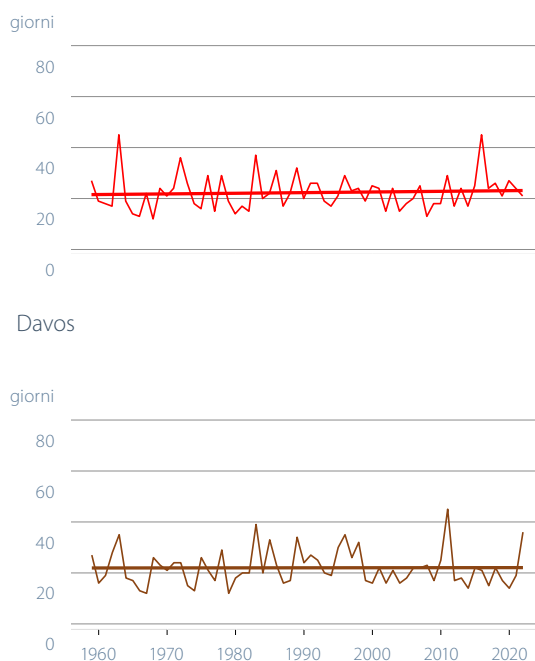
Periodi asciutti

Nel 2022 sono stati registrati periodi asciutti prolungati a Davos, con 36 giorni di seguito senza precipitazioni (media 22), e a Lugano, con 43 giorni successivi senza precipitazioni (media 33). A Bern e Sion la durata dei periodi asciutti più lunghi del 2022 è risultata leggermente più breve della media del periodo 1961–1990 (Bern 21 giorni/media 22, Sion 23 giorni/media 30). Nell'andamento pluriennale nessuna di queste serie di misurazioni mostra una tendenza significativa verso periodi asciutti più lunghi o più corti.

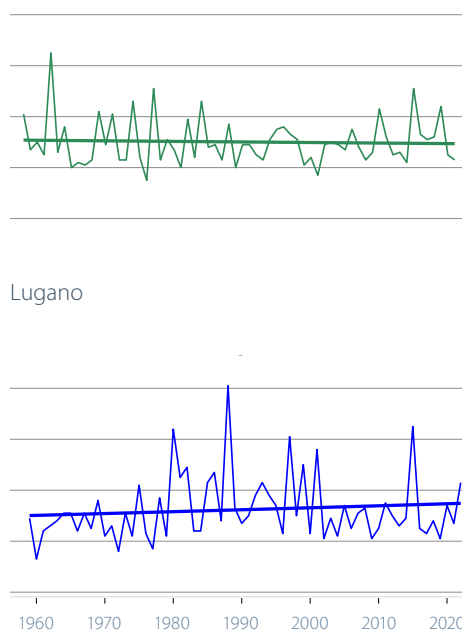
Secondo gli attuali scenari climatici la durata del periodo asciutto più lungo dell'anno aumenterà attorno al 2060 fino a nove giorni in più rispetto a oggi, se le emissioni di gas ad effetto serra non dovessero essere drasticamente ridotte [19].

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.**

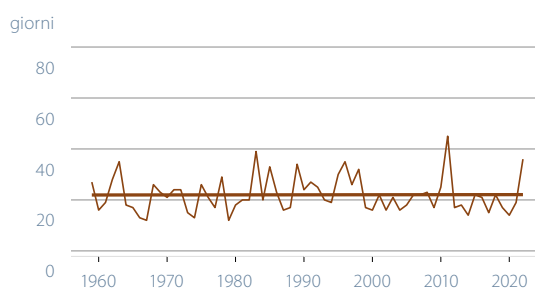
Berna-Zollikofen



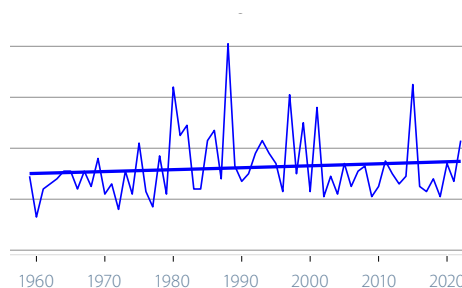
Sion



Davos



Lugano



Indice di siccità

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

Il semestre estivo (periodo vegetativo) è determinante per l'agricoltura. Le misure effettuate a Berna mostrano che, con l'eccezione del 2021, tutti gli anni più recenti hanno avuto un bilancio idrico negativo nel periodo da aprile a

settembre. Il semestre estivo 2022 prosegue questa serie, anche se in questa analisi non raggiunge completamente il valore dell'ultima estate estrema del 2018 [21]. Estati asciutte più frequenti corrispondono alle aspettative in un contesto di riscaldamento climatico con un aumento dell'evaporazione [22].

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 [23], [24].

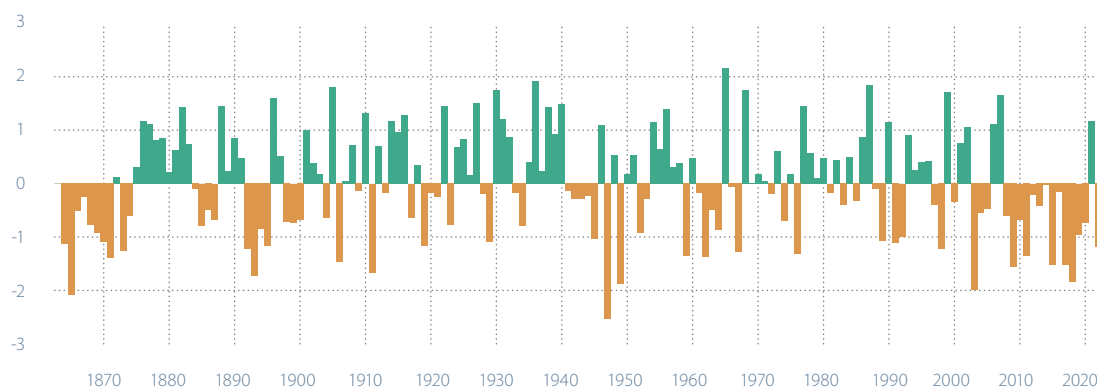


Figura 5.14
Indice SPEI del periodo vegetativo (sei mesi, aprile–settembre) per la stazione di Berna. Valori positivi significano condizioni di maggiore umidità, quelli negativi di maggiore siccità rispetto alla media (1864–2022).





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 2022 è pari a 2830 m, valore che supera di 150 m quello del 2021.

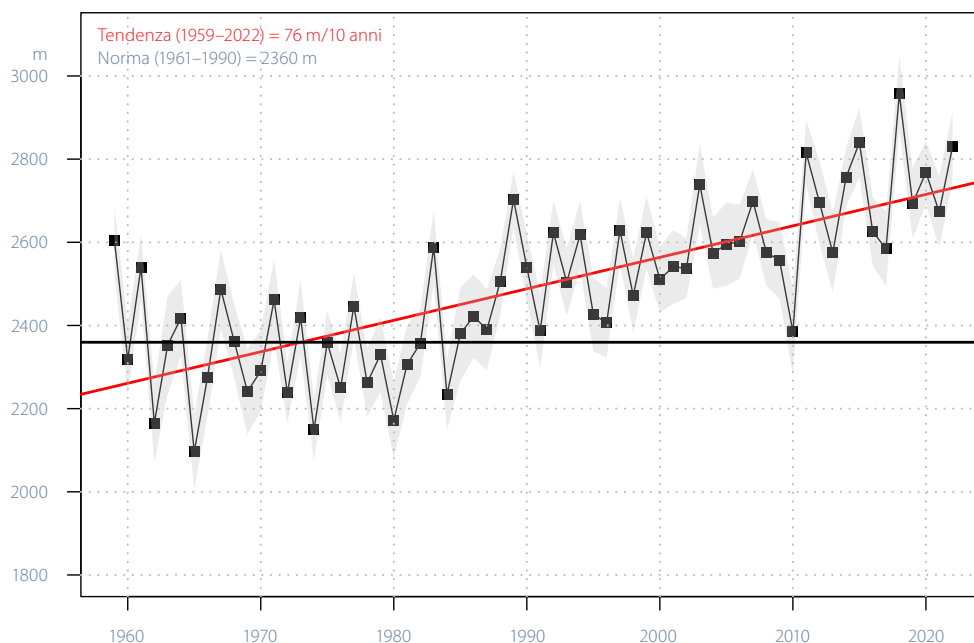
La Figura 5.15 mostra la tendenza al rialzo della quota dell'isoterma di zero gradi (linea rossa) nel periodo 1959–2022. La tendenza lineare sull'intera serie di dati indica l'andamento pluriennale, ma non fornisce informazioni sui cambiamenti a corto termine, che possono anche contrastare con questa 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, la quota dell'isoterma di zero gradi si alza in modo marcato nella seconda parte della serie temporale 1990–2022.

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 1990–2022 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 della quota dell'isoterma di zero gradi delle rispettive serie di misure e quindi anche il nuovo record assoluto dell'estate 2022 (3962 m).

Figura 5.15
Mediana annuale della quota dell'isoterma di zero gradi nel periodo 1959–2022, ricavata dalle radiosonde lanciate giornalmente a Payerne. La linea nera mostra la mediana del periodo 1961–1990 (2360 m), la linea rossa la tendenza lineare (significativa), l'area grigio-chiara l'incertezza delle misure.

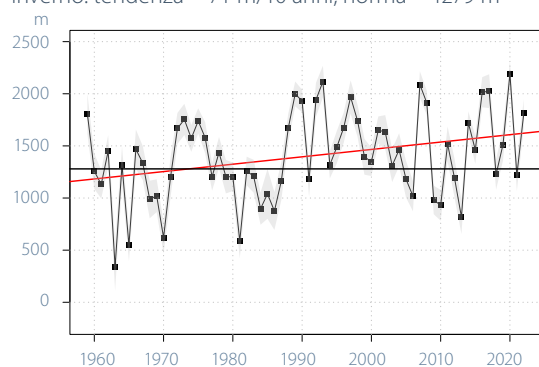


Soprattutto le stagioni calde, la primavera (87 m/10 anni) e l'estate (91 m/10 anni), mostrano un'evoluzione simile a quella dei valori annuali (76 m/10 anni) nella Figura 5.15, con l'accelerazione della tendenza a partire dal 1990 circa. Anche le tendenze a un aumento un po' meno marcato in inverno 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 49 m/10 anni.

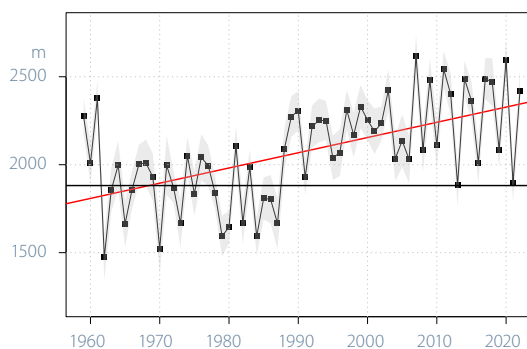
	Inverno (DIC-FEB)	Primavera (MAR-MAG)	Estate (GIU-AGO)	Autunno (SET-NOV)
Minimo in m (anno)	311 m (1963)	1472 m (1962)	3092 m (1977)	1532 m (1974)
Massimo in m (anno)	2192 m (2020)	2612 m (2007)	3955 m (2015)	3378 m (2018)

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

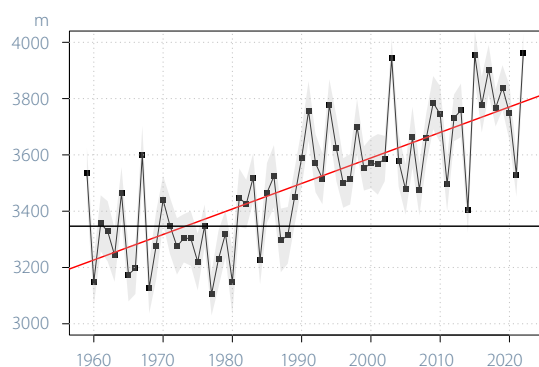
Inverno: tendenza = 71 m/10 anni, norma = 1279 m



Primavera: tendenza = 87 m/10 anni, norma = 1882 m



Estate: tendenza = 91 m/10 anni, norma = 3347 m



Autunno: tendenza = 49 m/10 anni, norma = 2860 m

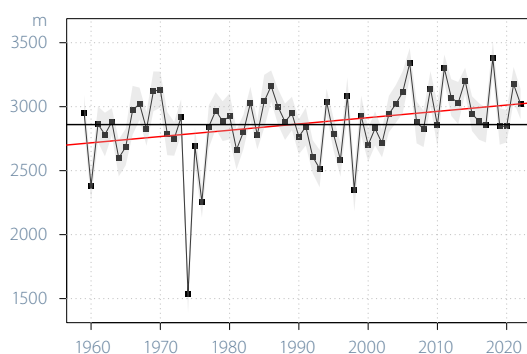


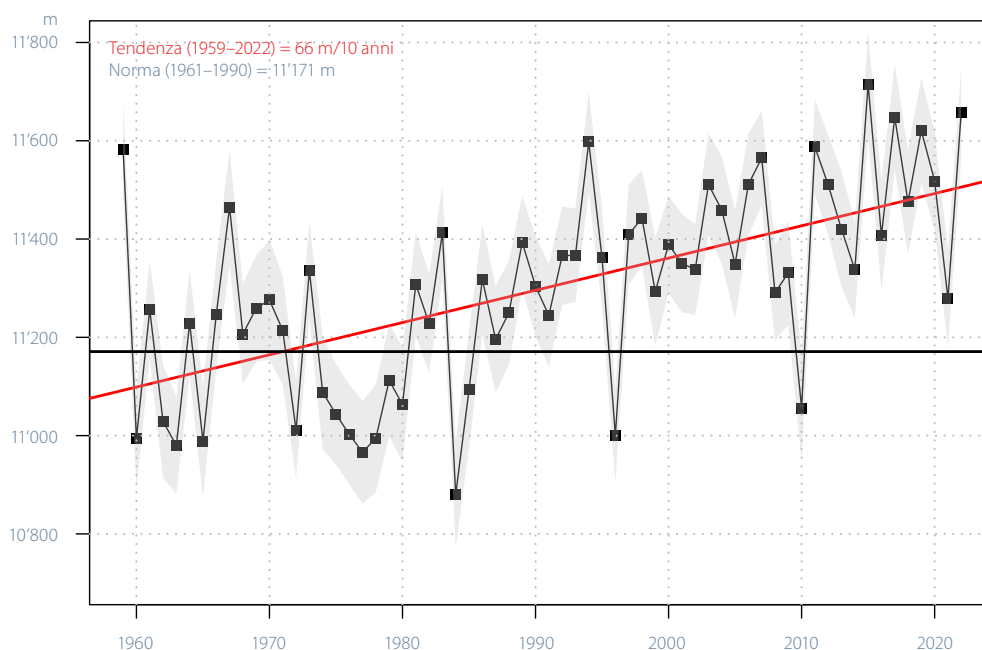
Figura 5.16
Mediana stagionale della quota dell'isoterma di zero gradi nel periodo 1959-2022. La linea nera mostra la mediana stagionale del periodo di riferimento 1961-1990, la linea rossa la tendenza lineare (significativa in tutte le stagioni), l'area grigio-chiara l'incertezza delle misure.

Altitudine della tropopausa

L'altitudine della tropopausa è stata calcolata seguendo la definizione di tropopausa termica fornita dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM, 1957) [25], basandosi sul profilo di temperatura misurato dal radiosondaggio 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 1959–2022 (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 2022 l'altitudine media della tropopausa è stata di 11'658 m, valore di 487 m più alto della mediana del periodo normale, pari a 11'171 m e di 408 m superiore al valore dell'anno precedente. Dal 1959 si osserva una significativa tendenza al rialzo della quota media annuale della tropopausa, nonostante la grande variabilità che caratterizza l'altitudine della tropopausa da un anno all'altro e i valori estremi verso il basso, come negli anni 1984 (minimo assoluto di 10'880 m), 1996 e 2010. Il valore più alto della quota media annuale è stato raggiunto nel 2015 con 11'714 m. Nel periodo 1959–2022 l'altitudine della tropopausa è salita di 66 m ogni dieci anni. 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 1959–2022, ricavata dalle radiosonde lanciate giornalmente a Payerne. La linea nera mostra la mediana del periodo 1961–1990 (11'171 m), la linea rossa la tendenza lineare, l'area grigio chiara l'incertezza delle misure.



L'altitudine della tropopausa è aumentata in modo marcato soprattutto nel periodo 1990–2022. 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 (11'171 m). Come per la quota dell'isoterma di zero gradi,

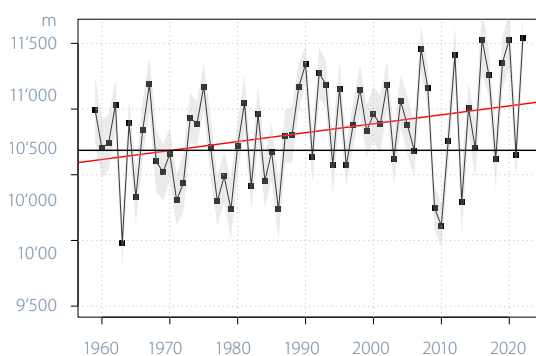
in inverno (dicembre, gennaio, febbraio) e in autunno (settembre, ottobre, novembre) anche le tendenze dell'altitudine della tropopausa sono un po' meno marcate. Ciò nonostante, in inverno l'aumento è significativo. Solo l'autunno non mostra una tendenza chiara, i valori annuali oscillano attorno alla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

	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)

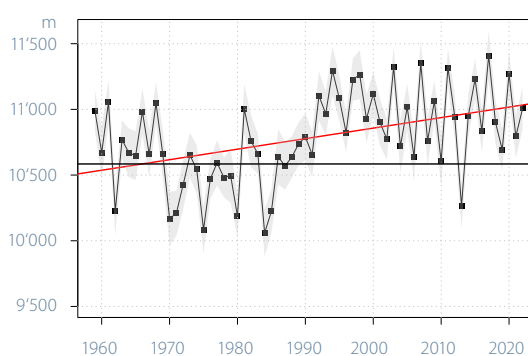
Tabella 5.4

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

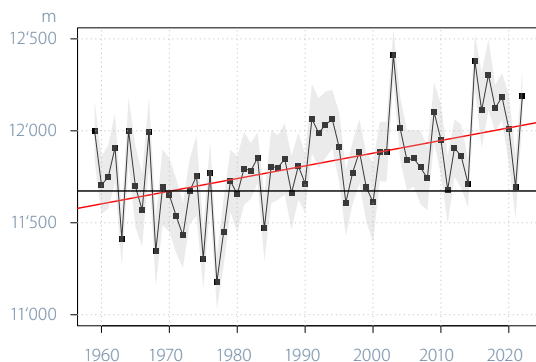
Inverno: tendenza = 68 m/10 anni, Norma = 10'686 m



Primavera: tendenza = 80 m/10 anni, norma = 10'584 m



Estate: tendenza = 69 m/10 anni, Norma = 11'673 m



Autunno: tendenza = 28 m/10 anni, norma = 11'755 m

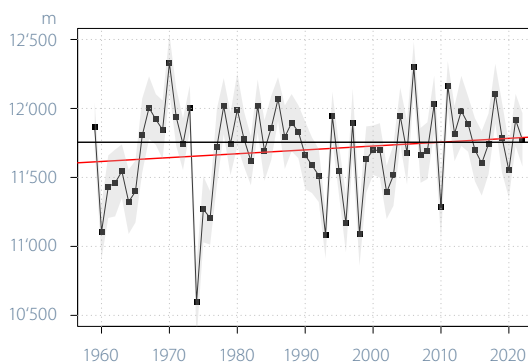


Figura 5.18

Mediana stagionale dell'altitudine della tropopausa nel periodo 1959–2022. 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 [26]. 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 [27] avvenuto dagli anni Novanta domina la tendenza generale della temperatura, causando un riscaldamento di circa $0,43^\circ\text{C}$ 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 ($-0,4^\circ\text{C}$ 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 1980–2022, 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, una minore nuvolosità, ecc.

Anche per la stratosfera possono essere individuati due periodi diversi [28]: una tendenza negativa a tutti i livelli tra il 1959 e il 1990 e un generale appiattimento a partire dagli anni Novanta, visibile soprattutto ai livelli di pressione più elevati. La tendenza negativa del periodo 1959–1990 è da attribuire principalmente alla formazione del buco dell'ozono, che provoca un raffreddamento della stratosfera.

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

La Figura 5.19 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 1959–2022. Le deviazioni nel 2022 sono tutte in linea con la tendenza a lungo termine.

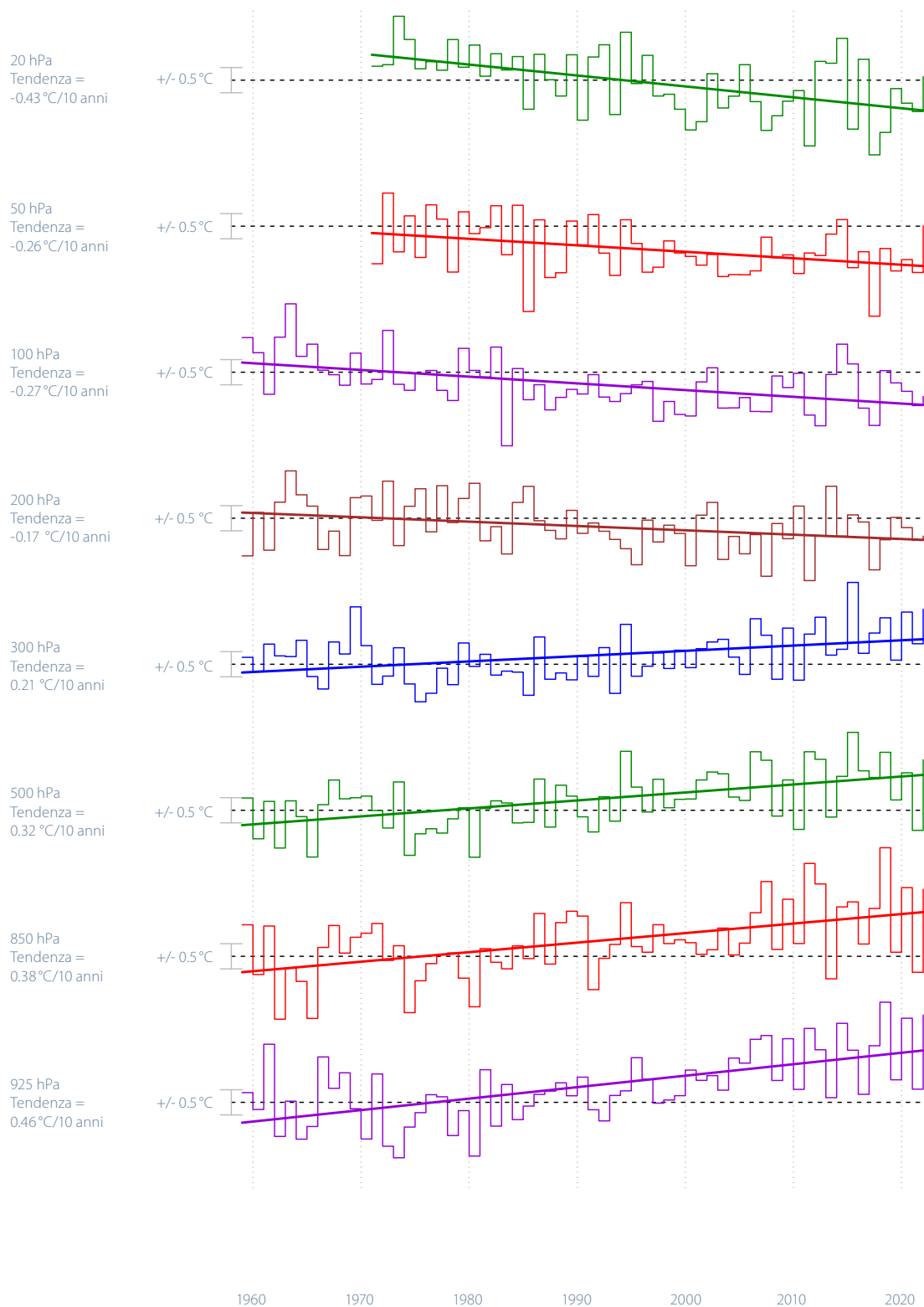


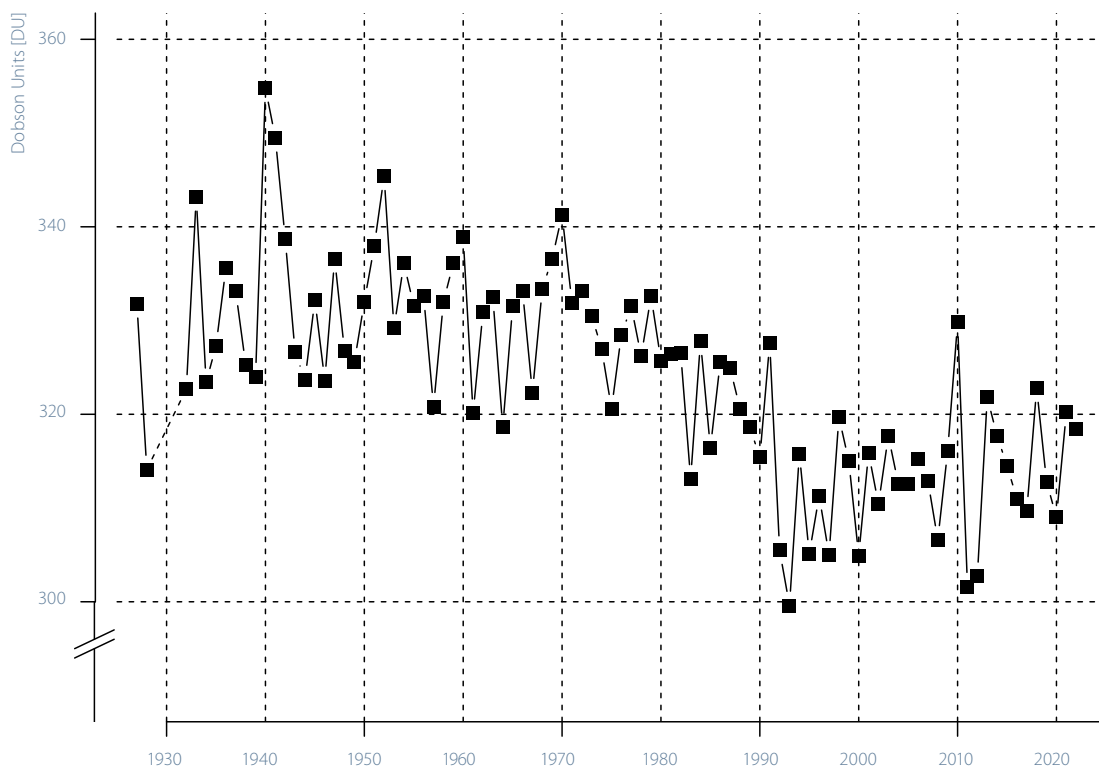
Figura 5.19
Tendenza della temperatura nel periodo 1959–2022 misurata dai radiosondaggi lanciati a Payerne per 8 livelli di pressione (4 nella troposfera e 4 nella stratosfera), espressa come deviazione dal valore medio del periodo di riferimento 1961–1990.

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 secolo scorso, 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 2022 è solo leggermente inferiore a 320 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 dell'ozono ad Arosa nel periodo 1926–2022. 100 unità Dobson (DU) corrispondono a 1 mm di ozono puro a 1013 hPa di pressione e 0°C di temperatura.



Misurazioni dell'ozono a Payerne

Dal 1968 le misurazioni dell'ozono sono effettuate anche con sonde meteorologiche alla stazione aerologica di MeteoSvizzera 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).

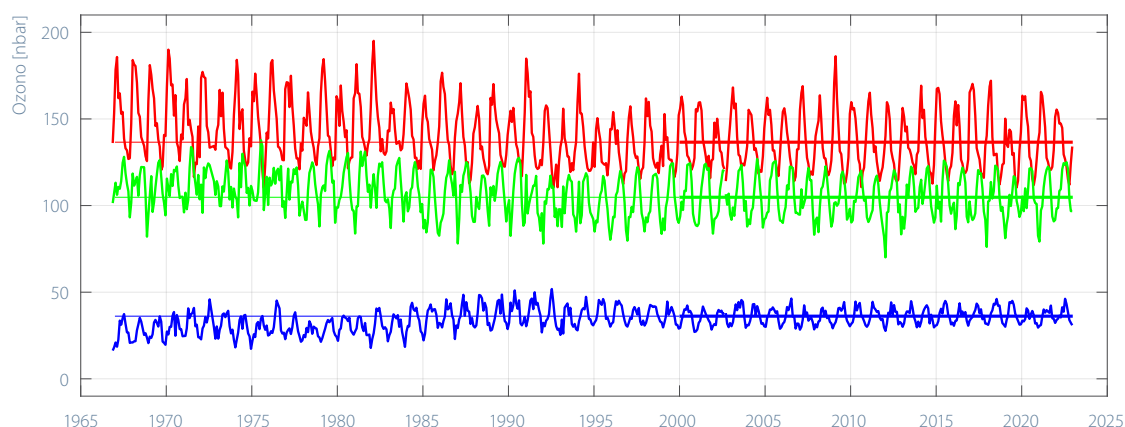


Figura 5.21
Concentrazione mensile di ozono a tre altitudini durante il periodo 1967–2022. La concentrazione di ozono è indicata in pressione parziale espressa in nanobar [nbar].





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.

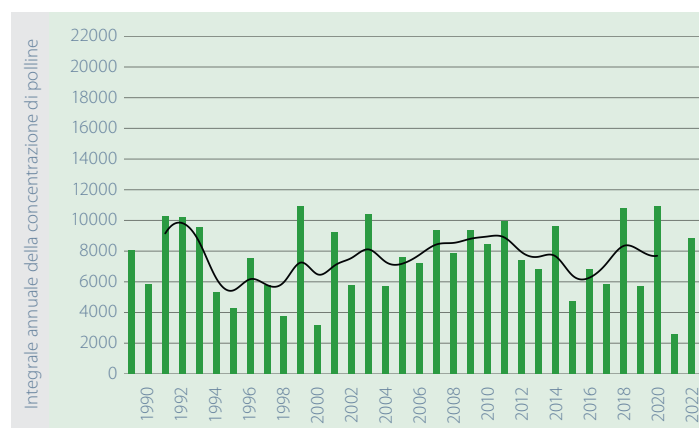
Per la betulla, l'intensità della stagione pollinica dipende dal tempo meteorologico dell'anno precedente, poiché gli amenti si sviluppano già nell'estate dell'anno precedente. Il caldo favorisce lo sviluppo di un gran numero di amenti. L'intensità dipende tuttavia anche dal tempo meteorologico del periodo 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 della loro fioritura.

La stagione pollinica 2022 della betulla è stata nettamente più forte dell'anno precedente. Negli ultimi anni l'intensità della stagione pollinica della betulla segue un ritmo biennale anche al Nord delle Alpi, come già avviene in Ticino da molti anni. L'intensità della stagione pollinica delle graminacee è stata più forte della media in Ticino e sul versante settentrionale delle Alpi, mentre nella Svizzera occidentale è risultata leggermente più debole. In Ticino i valori assoluti sono nettamente inferiori a quelli rilevati al Nord delle Alpi.

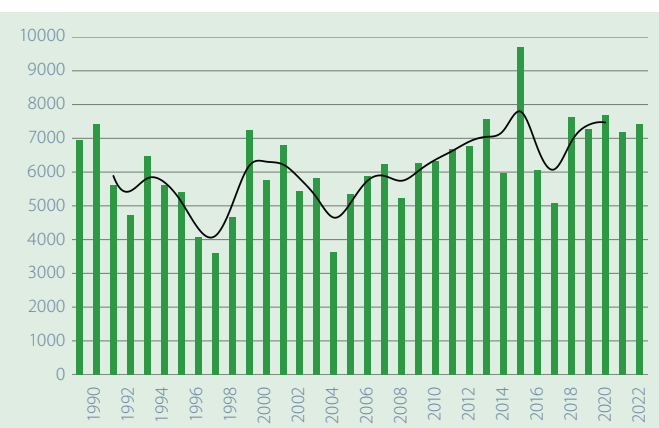
Figura 5.22

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.

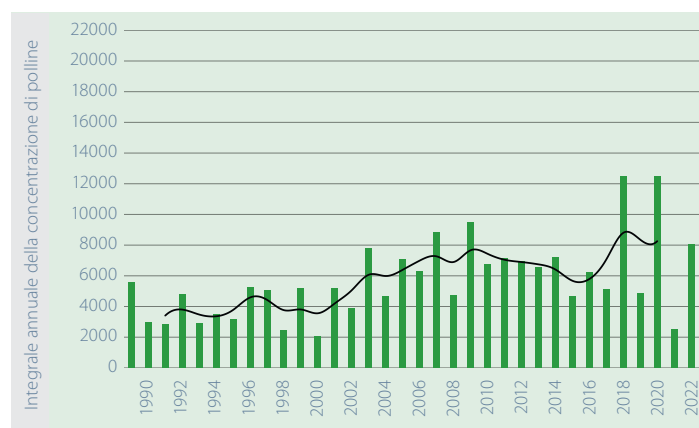
Betulla: Svizzera centrale e orientale



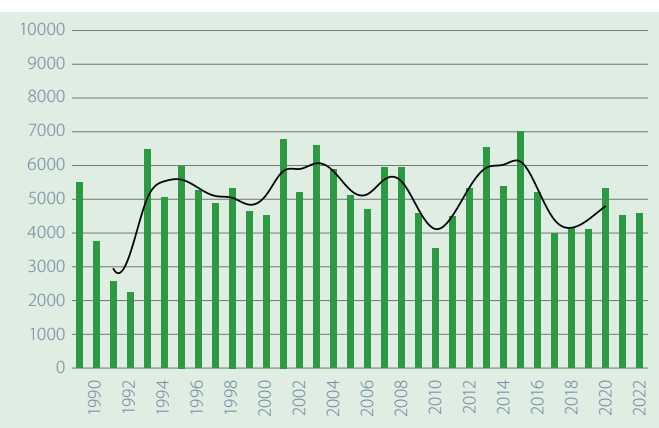
Graminacee: Svizzera centrale e orientale



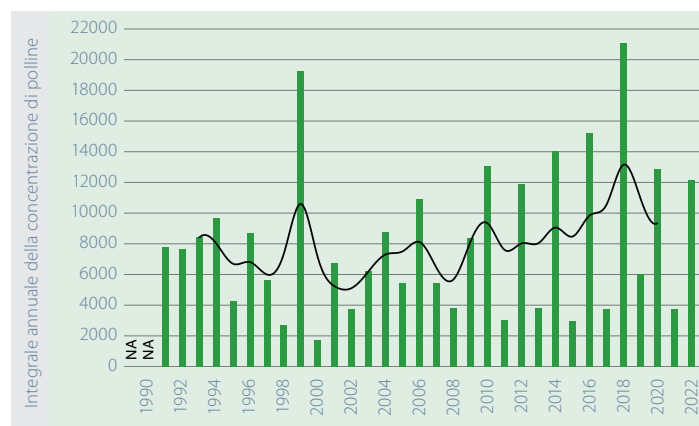
Betulla: Svizzera occidentale



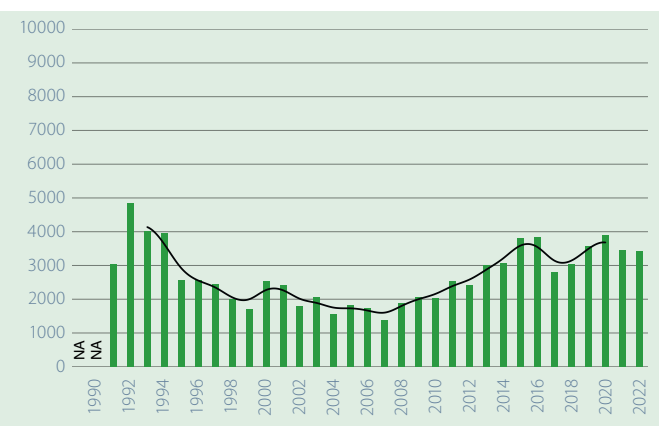
Graminacee: Svizzera occidentale



Betulla: Ticino



Graminacee: Ticino



Suolo

Quantitativi di neve fresca

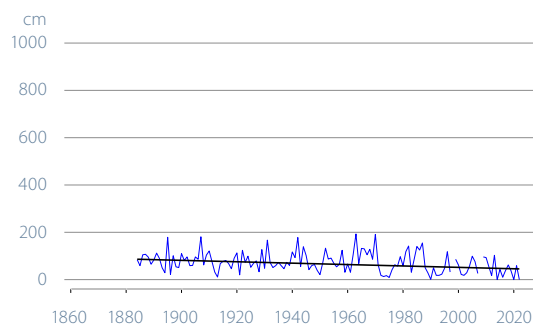
L'inverno 2021/22 è stato relativamente povero di precipitazioni in tutte le regioni della Svizzera. Solo nel dicembre del 2021 sono stati misurati ovunque quantitativi di precipitazione superiori alla media. Di conseguenza, in tutte le stazioni di misura presentate in questa pubblicazione, anche i quantitativi di neve fresca sono inferiori alla norma del periodo 1961–1990. Ad Arosa nel semestre invernale sono caduti complessivamente 5,51 m (norma 6,31 m), dopo che i quattro anni precedenti erano stati tutti più ricchi di neve. L'ultima volta in cui ad Arosa è caduta una somma di neve fresca superiore a 9 m (norma 6,31 m) è stato nell'inverno 1981/82. A Segl-Maria nel semestre invernale ottobre-marzo i quantitativi di neve fresca hanno raggiunto 2,14 m (norma 3,12 m), anche qui questa somma è nettamente inferiore a quella dei precedenti anni 2018–2021.

Ad Einsiedeln è stato misurato solo 1,80 m (norma 3,41 m). A Lucerna nel semestre invernale 2021/22 non è mai stata rilevata neve fresca misurabile (norma 0,83 m).

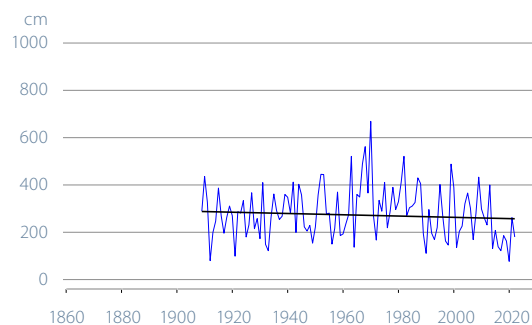
Per le stazioni di misura di Segl-Maria, Arosa e Einsiedeln non è possibile individuare una tendenza significativa. Queste tre serie di misura sono caratterizzate da grandi variazioni di anno in anno. A Lucerna si osserva invece una diminuzione significativa di 2,9 cm per decennio. Tuttavia, bisogna 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 2022 nelle stazioni di Lucerna, Einsiedeln, Arosa e Segl-Maria.

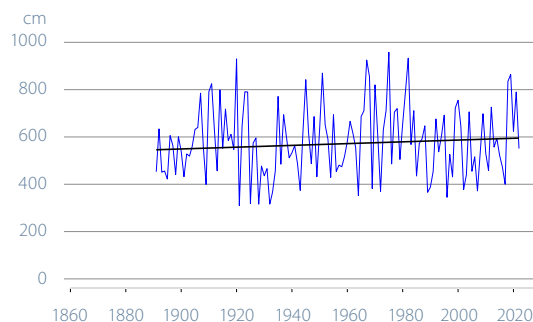
Lucerna 454 m



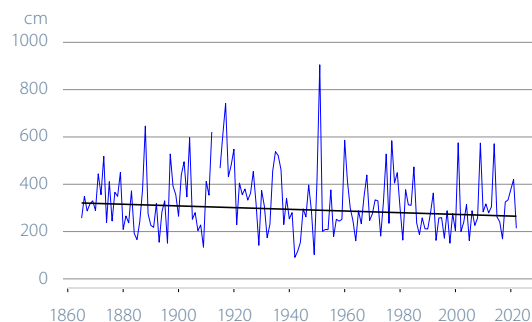
Einsiedeln 910 m



Arosa 1840 m



Segl-Maria 1798 m



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

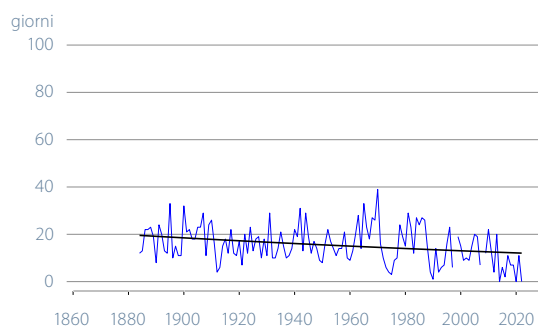
Giorni con neve fresca

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 56 giorni con neve fresca (norma 71 giorni). L'ultima volta in cui in questa stazione il numero di giorni con neve fresca è stato inferiore è nel 2017 (45). A Segl-Maria, nell'Alta Engadina, si sono registrati 23 giorni con neve fresca (norma 42 giorni). Come già indicato precedentemente, a Lucerna non è mai stata rilevata neve fresca misurabile (norma 18 giorni). Come nelle altre località qui illustrate, anche ad Einsiedeln il numero di giorni con neve fresca è risultato, con 32, nettamente inferiore alla norma (46).

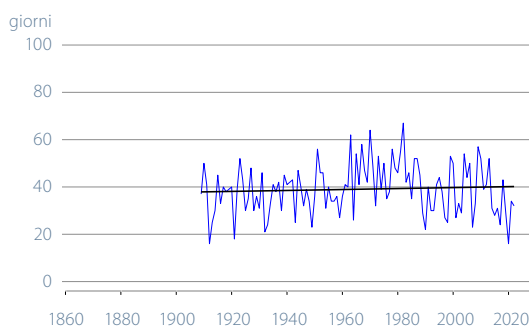
Nella serie di misura della stazione di Arosa la tendenza significativa verso un aumento del numero di giorni con neve fresca è significativa (+1,5 giorni/10 anni). A Lucerna, invece, si rileva una tendenza debole, ma significativa verso un minor numero di giorni con neve fresca (-0,6 giorni/10 anni). Nelle due stazioni di Einsiedeln e Segl-Maria non si può osservare una tendenza significativa. Anche qui le registrazioni giornaliere e mensili della neve non sono disponibili sotto forma di dati omogenei.

Gli scenari climatici CH2018 prevedono una decisa diminuzione del manto nevoso entro il 2060 [19]. Ad un'altitudine compresa tra 500 e 1000 m la riduzione dei quantitativi di neve sarà del 50%, mentre alle quote inferiori essa sarà ancora maggiore.

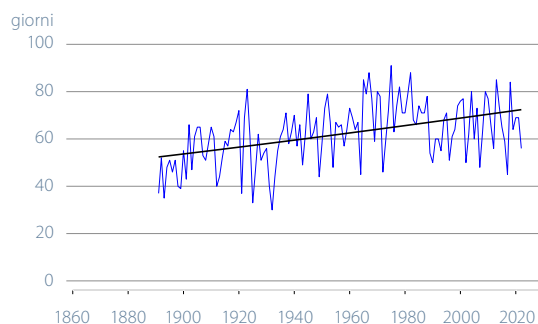
Lucerna 454 m



Einsiedeln 910 m



Arosa 1840 m



Segl-Maria 1798 m

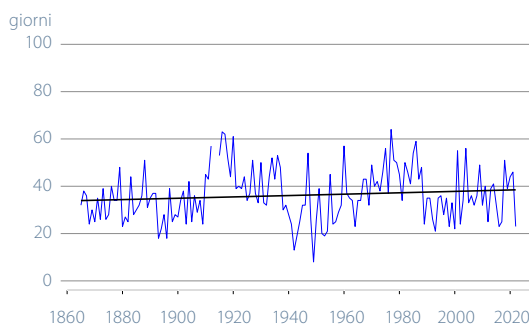


Figura 5.24

Numero di giorni con neve fresca nel semestre invernale dall'inizio delle misurazioni al 2022 nelle stazioni di Lucerna, Einsiedeln, Arosa e Segl-Maria.

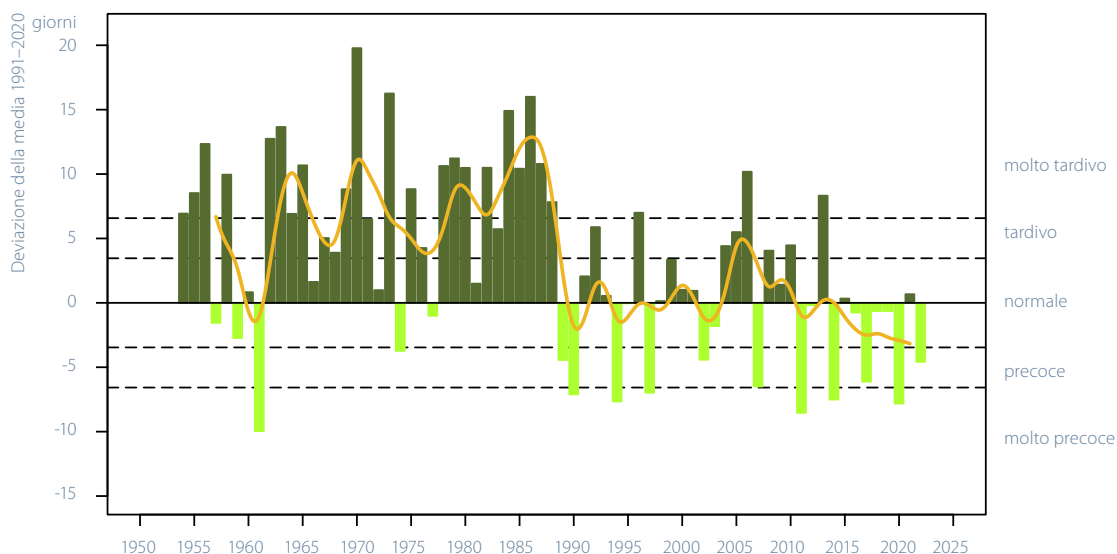
Indice di primavera

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 [29]. Nel 2022 la vegetazione primaverile si è sviluppata con quattro giorni di anticipo rispetto alla media pluriennale del periodo 1991–2020. Particolarmente precoce, già in gennaio, è iniziata la fioritura del nocciolo in Ticino e in qualche caso anche al Nord delle Alpi. Nel complesso l'anticipo della fioritura del nocciolo è stato di 12 giorni rispetto alla media. La tossilagine comune e l'anemone bianco sono fioriti prin-

cipalmente in marzo con un anticipo di 5–10 giorni. La fioritura degli alberi da frutto è iniziata alla fine di marzo con un anticipo di 5–8 giorni. Con lo stesso anticipo sui prati sono fioriti il dente di leone (tarassaco comune) e la cardamine (billeri dei prati). A partire dalla fine di marzo le latifoglie hanno spiegato le loro foglie. Lo spiegamento delle foglie dei faggi dalla metà di aprile è risultato esattamente nella media del periodo 1991–2020.

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

Figura 5.25
Andamento annuale dello sviluppo della vegetazione (indice di primavera) 1954–2022, riportato come deviazione dalla media pluriennale dello sviluppo della vegetazione del periodo 1991–2020. La linea continua mostra la media ponderata su 5 anni.



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

A partire dal 1894, nelle vicinanze di Liestal, a Liestal-Weideli, si registra la data della fioritura di un ciliegio. Nella serie di misura, si può constatare una tendenza a una fioritura più precoce a partire dal 1990 circa. L'inizio della fioritura del 26 marzo 2022 si è verificato con un anticipo di otto giorni rispetto alla media del periodo 1991–2020, a seguito delle temperature elevate verificatesi in febbraio, come pure all'inizio e alla fine di marzo. Se confrontato con l'intero periodo di misurazione, la data del 2022 mostra un anticipo di 17 giorni rispetto alla data media ed è la decima 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 e nel 2022 lo spiegamento delle foglie dell'ippocastano è avvenuto il 10 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. L'albero osservato dal 1930 è morto nell'estate del 2015 e da allora le osservazioni sono effettuate su una nuova pianta.

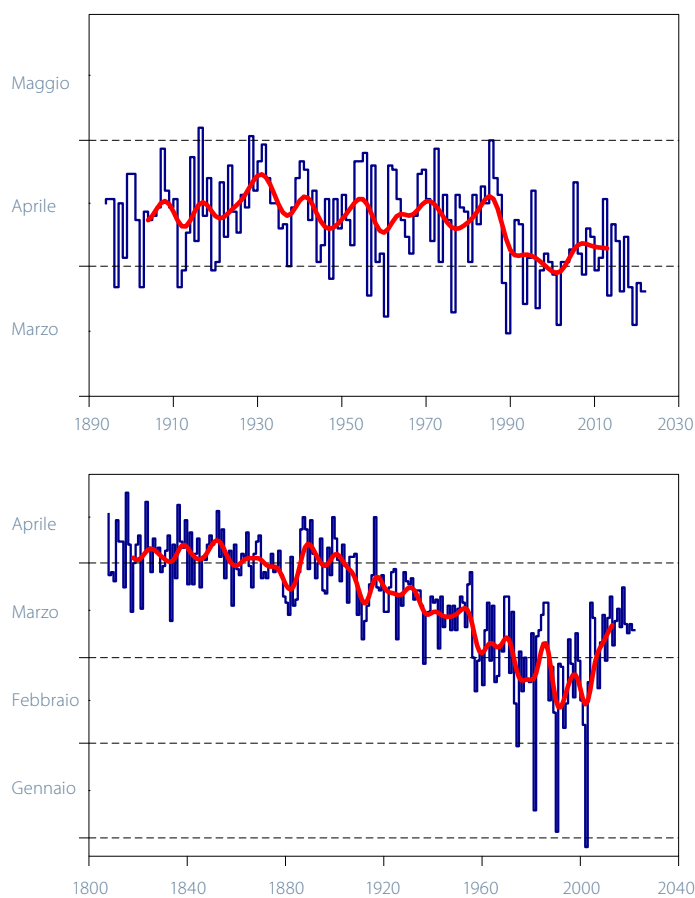


Figura 5.26
Data di fioritura del ciliegio a Liestal 1894–2022 (sopra) e data dello spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra 1808–2022 (sotto).





Base dei dati e dei metod

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) [10], 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.html

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 [31]. 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.

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]).

Indice di siccità

Gli indici SPI (Standardized Precipitation Index, [32]) e SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, [33]) 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 [34]. La quota dell'isoterma di zero gradi è riportata nel protocollo di ogni radiosondaggio: da questi valori sono poi calcolate le medie mensili utilizzate per l'analisi della tendenza del clima.

Altitudine della tropopausa

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

Sviluppo della vegetazione

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

Stagione pollinica e concentrazione dei pollini

La stagione pollinica attuale viene confrontata con la media del trentennio 1991–2020. L'integrale annuale del polline (polline/m³ giorno) si riferisce alla concentrazione di polline media giornaliera per metro cubo di aria, sommata sull'intero anno.

Stazioni utilizzate per il grafico sull'intensità del polline:

Svizzera centrale e orientale:

Basilea, Buchs, Lucerna, Münsterlingen, Zurigo

Svizzera occidentale:

Berna, Ginevra, Neuchâtel

Ticino:

Locarno, Lugano

Quantitativi di neve fresca e giorni con neve fresca

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

Indice di primavera

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

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

Le singole fasi fenologiche dipendono ovviamente dall'andamento meteorologico. La fioritura del nocciolo, ad esempio, può essere precoce se il periodo di fine inverno è mite. Un successivo periodo di freddo persistente può però poi rallentare nuovamente lo sviluppo della vegetazione, che dipende inoltre anche dalla quota. Nelle stazioni al suolo a bassa quota, con temperature miti, le fasi fenologiche si verificano prima rispetto alle quote più elevate con condizioni più fredde. Grazie all'analisi delle componenti principali, queste voluminose osservazioni sono strutturate, semplificate e combinate per elaborare un indice di primavera per tutta la Svizzera [25].

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

- [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 C. 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 M. C., Luoma K., Lyamani H., Marinoni A., Mayol-Bracero O. L., Mihalopoulos N., Pandolfi M., Prats N., Prenni A. J., Putaud J.-P., Ries L., Reisen F., Sellegri K., Sharma S., Sheridan P., Sherman J. P., Sun J., Titos G., Torres E., Tuch T., Weller R., Wiedensohler A., Zieger P. and Laj P.: Multidecadal trend analysis of aerosol radiative properties at a global scale, *Atmos. Chem. Phys. Discuss* <https://doi.org/10.5194/acp-2019-1174>, in review, 2020
- [4] Collaud C. M., Weingartner E., Furger M., Nyeki S., Prévôt A. S. H., Steinbacher M. and Baltensperger U., 2011: Aerosol climatology and planetary boundary influence at the Jungfraujoch analyzed by synoptic weather types. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5931–5944, doi: 10.5194/acp-11-5931-2011
- [5] WMO 2022: WMO Statement on the status of the global climate in 2022 <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>
- [6] 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 <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202213>
- [7] 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)
- [8] MEI-Daten unter: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei>
- [9] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143
- [10] 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
- [11] 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>
- [12] Seiz G., Foppa N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/ueber-uns/forschung-und-zusammenarbeit/internationale-zusammenarbeit/gcos/nationales-klimabeobachtungssystem.html>
- [13] WMO, Essential Climate Variables <https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system/essential-climate-variables>

- [14] Beniston M., 1997: Variations of snow depth and duration in the Swiss Alps over the last 50 years: Links to changes in large-scale climatic forcings, *Climatic Change* 36 (1997), 281–300
- [15] 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: 10.2929/2004GL020255
- [16] Laternser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *International Journal of Climatology* 23: 733–750
- [17] Marty C., 2008: Regime shift of snowdays in Switzerland, *Geophys. Res. Lett.* 35, L12501, doi: 10.1029/2008GL033998
- [18] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit
- [19] NCCS (Hrsg.), 2018: CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2
<http://www.klimaszenarien.ch>
- [20] Scherrer S. C., Fischer E. M., Posselt R., Liniger M. A., Croci-Maspoli M., and Knutti R., 2016: Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi: 10.1002/2015JD024634
- [21] MeteoSchweiz: 2018, Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 - eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp
- [22] 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>
- [23] 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
- [24] 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
- [25] WMO, 1957: Definition of the tropopause. *WMO Bull.*, 6, 136
- [26] 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
- [27] Humpage N., Boesch H., Palmer P. I., Vick A., Parr-Burman P., Wells M., Pearson D., Strachan J., and Bezawada N.: GreenHouse gas Observations of the Stratosphere and Troposphere (GHOST): an airborne shortwave-infrared spectrometer for remote sensing of greenhouse gases, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 5199–5222
<https://doi.org/10.5194/amt-11-5199-2018>, 2018
- [28] Philipona R., Mears C., Fujiwara M., Jeannot 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
- [29] Studer S., Appenzeller C. and Defila C., 2005: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395–414

- [30] 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
- [31] 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
- [32] 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
- [33] 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
- [34] 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)
- [35] ESSL, The derecho and hailstorms of 18 August 2022
<https://www.essl.org/cms/the-derecho-and-hailstorms-of-18-august-2022>



printed in
switzerland

 PRINTED MATTER
CO₂ NEUTRAL
by Swiss Climate
SC2021070701

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
www.meteosvizzera.admin.ch