

Rapporto sul clima 2020



Rapporto sul clima 2020

Editore

Ufficio federale di meteorologia e climatologia

MeteoSvizzera

Divisione Clima

Operation Center 1

CH-8058 Zurigo-Aeroporto

servizioclienti@meteosvizzera.ch

meteosvizzera.ch

Redazione

Elias Zubler, Stephan Bader, Thomas Schlegel

Autori

Stephan Bader, Martine Collaud Coen, Anke Duguay-Tetzlaff,

Christoph Frei, Sophie Fukutome, Regula Gehrig, Eliane

Maillard Barras, Giovanni Martucci, Gonzague Romanens,

Simon Scherrer, Thomas Schlegel, Christoph Spirig, René

Stübi, Laurent Vuilleumier, Elias Zubler

Distribuzione

Pubblicazioni federali UFCL

CH-3003 Berna

bundespublikationen.admin.ch

Artikelnummer: 313.001.i

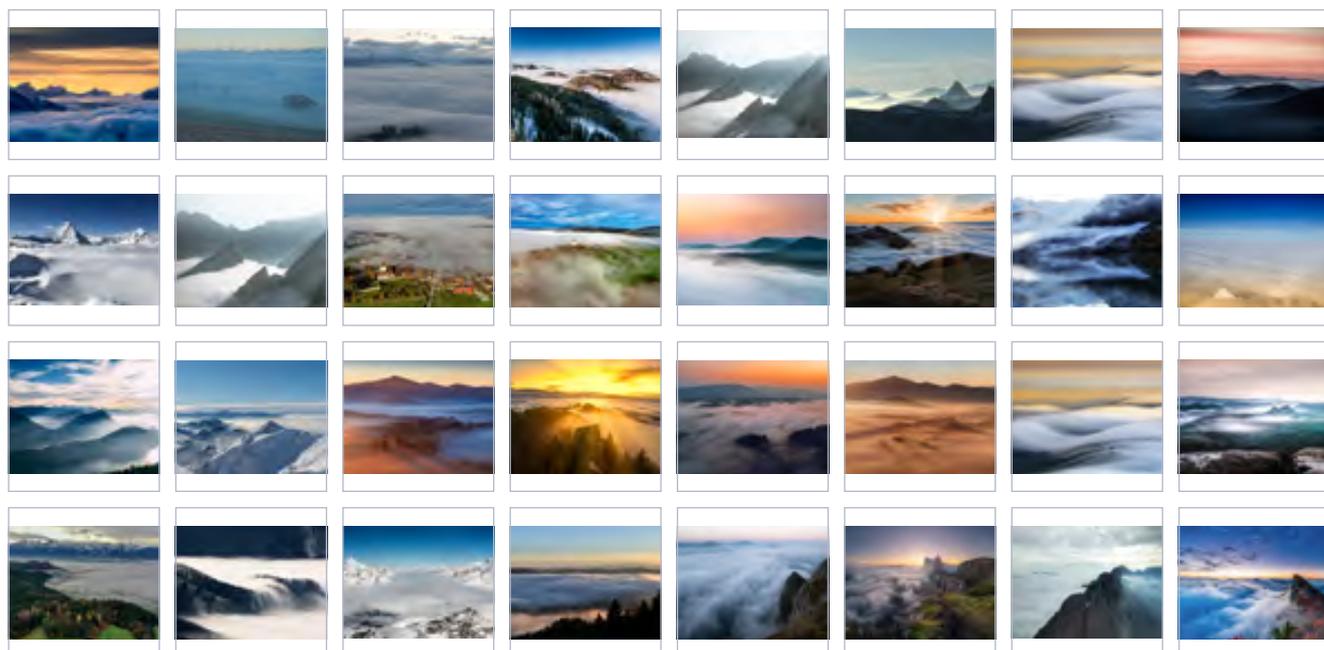
ISSN: 2296-1526

Citazione del presente rapporto:

MeteoSvizzera 2021: Rapporto sul clima 2020. Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera, Zurigo. 96 pagine. © MeteoSvizzera 2021

Galleria di immagini

Mistico mare di nebbia svizzero



Indice

Riassunto	4
Summary	7
1 Andamento del tempo nel 2020	8
2 Diagrammi dell'andamento annuale	18
Temperatura, soleggiamento e precipitazioni a Berna-Zollikofen	18
Temperatura, soleggiamento e precipitazioni a Lugano	19
Andamento annuale della radiazione globale	20
Quota dell'isoterma di zero gradi nell'atmosfera libera	22
Altitudine della tropopausa	23
Precipitazioni intense eccezionali	24
Andamento annuale della radiazione UV	25
Serie di misurazioni dell'ozono ad Arosa e Davos	26
Misurazioni dell'ozono a Payerne	28
Misurazione degli aerosol sullo Jungfraujoch	30
Eventi di polvere sahariana	31
Sviluppo della vegetazione	32
Primavera	32
Estate	32
Autunno	33
Stagione pollinica	34
3 Particolarità del 2020	40
3.1 Febbraio tempestoso	40
3.2 Siccità estrema	41
3.3 Maltempo a fine agosto	42
3.4 Maltempo a inizio ottobre	43
4 Andamento meteorologico e climatico globale	46
4.1 Secondo anno più caldo in tutto il mondo	46
4.2 El Niño e La Niña	47
4.3 Eventi particolari	49
5 Monitoraggio climatico	52
5.1 Atmosfera	54
5.1.1 Osservazioni al suolo	54
Temperatura	54
Giorni di gelo	58
Giorni estivi	59
Precipitazioni	60
Giorni con precipitazioni moderate	65
Precipitazioni nei giorni molto piovosi	66
Periodi asciutti	67
Indice di siccità	68
5.1.2 Atmosfera libera	70
Quota dell'isoterma di zero gradi	70
Altitudine della tropopausa	72
Tendenza della temperatura a diversi livelli di pressione	74
5.1.3 Composizione dell'atmosfera	76
Serie di misura dell'ozono ad Arosa	76
Misurazioni dell'ozono a Payerne	77
Concentrazione dei pollini	80
5.2 Suolo	82
Quantitativi di neve fresca	82
Giorni con neve fresca	83
Indice di primavera	84
Fioritura del ciliegio a Liestal e spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra	85
5.3 Base dei dati e dei metodi	88
Bibliografia	92

Riassunto

4

Con una temperatura media di 6.9 °C e un'anomalia di 2.3 °C rispetto alla norma 1961–1990 e di 1.5 rispetto a quella 1981–2010, il 2020 è stato, assieme al 2018, l'anno più caldo in Svizzera dall'inizio delle misurazioni nel 1864.

Con una temperatura media di circa 3 °C superiore alle norme 1981–2010, nel nostro Paese l'inverno 2019/20 è stato il più mite dall'inizio delle misurazioni sistematiche. A quest'anomalia ha contribuito in modo significativo il mese di febbraio, che è risultato il secondo più mite dall'inizio delle misure nel 1864. Nei mesi di gennaio e febbraio le precipitazioni sono state eccezionalmente scarse a sud delle Alpi, dove localmente è stato misurato solo il 5–10 % della norma 1981–2010. A nord delle Alpi l'inverno è stato molto soleggiato, con un numero di ore di sole dal 130 a quasi il 160 % della norma 1981–2010. Il mese di febbraio è stato caratterizzato anche da un tempo spesso tempestoso: a nord delle Alpi si è trattato a livello locale del mese di febbraio con il maggior numero di tempeste invernali dall'inizio delle misure nel 1981.

Dopo l'inverno mite, in Svizzera la stagione primaverile, con una temperatura media nazionale di 1.8 °C superiore alla norma 1981–2010, è risultata la terza più calda dall'inizio delle misurazioni nel 1864. A nord delle Alpi la durata del soleggiamento ha raggiunto il 130–160 % della norma 1981–2010; per la stazione di misura di Basilea, che ha registrato 718 ore di sole, si è trattato della seconda primavera più soleggiata dall'inizio delle misurazioni nel 1886. Come conseguenza del tempo stabile e del lungo periodo siccitoso verificatosi fra la metà di marzo e la fine di aprile, i quantitativi di precipitazione primaverili hanno raggiunto solo il 50–70 % della norma 1981–2010.

Anche l'estate 2020 ha fatto registrare una temperatura media superiore alla norma 1981–2010. L'anomalia rispetto alla norma 1981–2010 è stata infatti di +0.9 °C (+2.0 °C rispetto al trentennio 1961–1990). Due ondate di caldo moderate hanno interessato il Paese alla fine di luglio e in agosto. Su entrambi i versanti delle Alpi, le temperature sono rimaste generalmente al di sotto dei 34 °C. A fine agosto in Ticino e nelle regioni limitrofe dei Grigioni si sono verificate forti precipitazioni. In alcune località di misura in un solo giorno è stata misurata un quantitativo di pioggia superiore a quello atteso mediamente durante l'intero mese di agosto.

La temperatura media stagionale dell'autunno è stata superiore alla norma 1981–2010 di 1.0 °C (+1.4 °C rispetto alla norma 1961–1990). Il mese di ottobre è stato l'unico del 2020 a far registrare una temperatura inferiore alla norma. Durante i mesi di settembre e novembre il soleggiamento è stato abbondante: nelle Alpi si è trattato localmente del secondo mese di novembre più soleggiato delle serie di misura lunghe 60 anni. Come conseguenza del tempo stabile,

per gran parte del mese di settembre, fino all'ultima decade, e per l'intero mese di novembre le precipitazioni sono risultate molto scarse.

Con una temperatura media di 0.5 °C superiore alla norma 1981–2010 (+0.8 °C rispetto alla norma 1961–1990), a livello globale l'anno 2020 è stato il secondo più caldo dall'inizio delle misure nel 1850. In tutti i continenti è stata registrata una temperatura media annuale superiore alla media. L'anno è risultato particolarmente caldo in Siberia e in Europa. Molte località in tutto il mondo hanno sperimentato ondate di caldo estreme e nuovi primati di temperatura. A partire da metà anno, le condizioni meteorologiche sono state caratterizzate dalla Niña causando temperature di poco inferiori alla media nel Pacifico equatoriale e favorendo una stagione da record per quanto riguarda gli uragani nel Nordatlantico.

Il cambiamento climatico è avvertito chiaramente anche in Svizzera. L'andamento delle temperature dal 1864–2020 mostra un aumento della frequenza degli anni caldi negli ultimi decenni. La decade 2011–2020 è stata la più calda dall'inizio delle misure. In linea con l'aumento generale delle temperature, a partire dal 1959 si nota chiaramente un aumento del numero delle giornate estive e una diminuzione di quelle di gelo. Nello stesso periodo la quota dell'isoterma di zero gradi è aumentata. Questo generale riscaldamento causa anche uno sviluppo più precoce della vegetazione.

L'andamento a lungo termine delle precipitazioni annuali e invernali dal 1864 al 2020 mostra per l'Altopiano una tendenza significativa all'aumento, mentre le altre stagioni non mostrano variazioni. Sul versante meridionale delle Alpi non si registrano variazioni né sui totali annuali né su quelli stagionali. Per le stazioni analizzate, il numero di giorni con forti precipitazioni dal 1959 non è cambiato. Allo stesso modo, le quantità di precipitazione nei giorni caratterizzati da precipitazioni abbondanti non sono cambiate, così come non state notate variazioni nella durata dei periodi asciutti.

Considerando le serie di misura della neve più lunghe di 100 anni, a livello regionale emerge una lieve diminuzione della somma di neve fresca, che però non è confermata su scala più ampia, a livello sovraregionale. Il numero di giorni con neve fresca mostra per alcune regioni un lieve aumento, per altre una leggera diminuzione, per altre ancora nessuna variazione significativa. Tuttavia queste analisi si basano su dati non omogenei.

Negli ultimi anni la situazione dell'ozono alle quote più alte dell'atmosfera sopra la Svizzera è rimasta stabile, dopo che tra il 1970 e il 1995 era stata osservata una diminuzione di circa il 6 %.





Summary

The Swiss national average temperature for 2020 was 6.9°C. This makes last year 2.3°C above the average for the reference period 1961–1990 and 1.5°C above the 1981–2010 norm and, together with 2018, the warmest year since measurements began in 1864.

Winter 2019/20 was the mildest since systematic records started. In the nationwide average, the winter temperature was about 3°C above the 1981–2010 norm. February was particularly mild, ranking 2nd since measurements began in 1864. In January and February, the southern side of the Alps received very little precipitation, in some areas only 5–10% of the 1981–2010 normal period. In the north, it was a sunny winter with sunshine duration of around 130 to almost 160% of the 1981–2010 norm. February 2020 was also unusually stormy. On the northern side of the Alps, the stormiest February since measurements began in 1981 was recorded locally.

The mildest winter was followed by the third warmest spring since measurements began in 1864 in Switzerland. The national average spring temperature rose 1.8°C above the 1981–2010 norm. On the northern side of the Alps, the sunshine duration in spring 2020 reached 130–160% of the 1981–2010 norm. With 718 hours of sunshine, the measurement site in Basel recorded the second sunniest spring since measurements began in 1886. As a result of the frequent fair weather, the precipitation totals in spring reached only 50–70% of the 1981–2010 norm in large areas of Switzerland, the main reason for this being the persistent dry period from mid-March to the end of April.

The summer of 2020 was also 0.9°C above the 1981–2010 norm (+2.0°C to the 1961–1990 norm). Two moderate heat waves hit the country at the end of July and in August. The temperature peaks mostly remained below 34°C on both sides of the Alps. At the end of August, thunderstorms in Ticino and in the neighboring areas of the canton of Grisons led to massive heavy precipitation. At some measurement sites, more than the average August amount fell within a single day.

Autumn 2020 was 1.0°C above the 1981–2010 norm (+1.4°C to the 1961–1990 norm). At -0.7°C to the 1961–1990 norm, October was the only month in 2020 with below-average temperatures. The months of September and November brought mostly sunny weather. In the Alps, the second sunniest November in the 60-year measurement series was recorded locally. As a downside to the sunny conditions, September until the last third of the month and the entire month of November remained very low in precipitation.

Globally, the year 2020 was the second warmest since measurements began in 1850, being 0.5°C above the 1981–2010 norm (0.8°C above the 1961–1990 norm). Above-average annual temperatures were recorded on all continents in 2020. It was particularly warm in Siberia and Europe. In many places around the globe, extreme heat waves set new temperature records. La Niña conditions from mid-year onward resulted in a slightly below-average annual mean temperature in the equatorial eastern Pacific and a record hurricane season in the North Atlantic.

Climate change is also clearly felt in Switzerland. Temperature trends over the period 1864–2020 show an accumulation of warm years in recent decades. The decade 2011–2020 was the warmest since measurements began. In line with the general temperature increase, the number of summer days has increased significantly in the period since 1959, while the number of frost days has clearly decreased. Likewise, a rise in the zero degree level has been observed in the same period. The general warming is also expressed in an earlier onset of vegetation development.

The long-term precipitation development 1864–2020 shows a significant trend towards higher precipitation sums in the Plateau for annual time-series and winter. The other seasons show no long-term change in precipitation sums. On the southern side of the Alps, there is no long-term change in precipitation, neither in the annual nor in the seasonal totals. The number of days with heavy precipitation has not changed since 1959 at the investigated measuring sites. Likewise, the precipitation of the very wet days has not changed. The length of the most intensive dry periods does not show a significant trend at any of the investigated measuring sites.

In the more than 100-year-old snow records, there was a slight regional decrease in the new snow sums, but no change on a larger scale. The days with new snow show a slight increase in some areas and a slight decrease in others. There are also areas that show no change. However, these analyses are based on non-homogeneous data.

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

1 | 1 Andamento del tempo nel 2020

8

Di nuovo un altro record di caldo: in Svizzera la temperatura media dell'anno 2020 è stata pari a quella del 2018, l'anno più caldo dall'inizio delle misure nel 1864. Dopo un inverno mite da primato, la primavera è risultata la terza più calda ed è stata caratterizzata da un periodo secco molto lungo. In estate si sono verificate due ondate di caldo moderate. A sud delle Alpi in agosto e in ottobre si sono verificate precipitazioni intense. A inizio dicembre in molte regioni alpine vi sono state neviccate abbondanti che hanno determinato un innevamento superiore alla media.

Raggiunto il record di caldo del 2018

In Svizzera la temperatura media del 2020 è risultata pari a 6.9 °C, stesso valore fatto registrare dall'anno 2018. Dieci mesi sono stati più miti della norma 1981–2010, il mese di ottobre ha visto una temperatura media mensile inferiore ad essa, mentre in giugno la temperatura si è attestata attorno alla media. Tre mesi hanno mostrato valori di temperatura molto elevati: su scala nazionale febbraio è stato il secondo più mite dall'inizio delle misure nel 1864, aprile il terzo più mite, novembre il quarto più mite.

Primati di caldo

Per alcune stazioni di misura nelle Alpi e alle quote più elevate del Giura si è trattato di gran lunga dell'anno più caldo dall'inizio delle misure. Sono stati infatti registrati nuovi record di temperatura sullo Jungfrauoch, sul Grimsel, a Grächen, a Chaumont e, solo per poco, ad Andermatt e a La Chaux-de-Fonds.

Inverno più mite dall'inizio delle misure

La Svizzera ha vissuto l'inverno più mite dall'inizio delle misure nel 1864. Su scala nazionale la temperatura dell'inverno 2019/2020 è risultata infatti di 0.7 °C, valore superiore di 3 °C alla norma 1981–2010. In passato, nelle serie di misura svizzere lunghe 157 anni, solamente quattro inverni avevano fatto registrare una temperatura media invernale superiore a 0 °C. A livello locale la temperatura stagionale è risultata di quasi 1 °C superiore ai record precedenti. Su scala nazionale il mese di febbraio è stato particolarmente mite, facendo registrare la seconda temperatura media mensile più elevata dall'inizio delle misure nel 1864.

Ad inizio anno al Sud tempo secco

Durante la stagione invernale le precipitazioni sono risultate abbondanti nella maggior parte delle regioni svizzere, con quantitativi compresi fra il 100 e il 120 % della norma 1981–2010, a livello locale fino al 130 %. Al Sud e sulle regioni sudorientali – tuttavia – le precipitazioni hanno raggiunto localmente solo il 60–90 % della norma.

In gennaio e in febbraio a sud delle Alpi le precipitazioni sono risultate particolarmente scarse, con quantitativi pari al 5–10 % della norma 1981–2010. In febbraio i valori sono risultati localmente addirittura inferiori al 5 % della norma. Al contrario, nel resto della Svizzera proprio in febbraio le frequenti correnti umide e miti da ovest e nordovest hanno determinato accumuli di precipitazione compresi fra il 150 e il 200 % della norma, a livello locale fino al 250 % di essa.

Al Nord inverno molto soleggiato

Durante la stagione invernale a nord delle Alpi la durata del soleggiamento ha raggiunto il 130–160 % della norma 1981–2010, mentre nelle Alpi e a sud di esse i valori si sono mantenuti fra il 100 e il 130 %. Per il Nord delle Alpi si è trattato del terzo, quarto o quinto inverno più soleggiato dall'inizio delle misurazioni avvenuto alla fine del diciannovesimo secolo. Il mese di gennaio ha fatto registrare nuovi record per quanto riguarda il numero di ore di sole a Ginevra, a Berna, a Basilea e a Zurigo, stazioni di misura le cui serie storiche omogenee sono lunghe più di 100 anni.



Tempeste invernali

Il mese di febbraio del 2020 è risultato straordinariamente ricco di tempeste invernali. A nord delle Alpi si è trattato localmente del mese di febbraio più tempestoso dall'inizio delle misure nel 1981. Nella prima metà del mese la Svizzera è stata attraversata da tre tempeste, la più intensa delle quali, chiamata Sabine, si è verificata il 10 febbraio facendo registrare raffiche di vento fino a 90–120 km/h sull'Altopiano, fino a 140–160 km/h sul Giura e fino a 160–200 km/h nelle località di alta montagna.

Terza primavera più calda

Dopo l'inverno più mite dal 1864, la Svizzera ha sperimentato la terza primavera più calda. La temperatura media stagionale su scala nazionale è stata di 6.2 °C, ossia di 1.8 °C superiore alla norma 1981–2010. Nelle lunghe serie di misura della Svizzera una temperatura primaverile uguale o superiore a 6 °C è un evento nuovo, che in passato si è verificato solo cinque volte, tutte dopo l'anno 2000.

A livello regionale primavera estremamente soleggiata

Non solo temperature elevate, la primavera 2020 ha fatto registrare anche un numero di ore di sole estremamente alto. A nord delle Alpi esso ha raggiunto il 130–160 % della norma 1981–2010. Con 718 ore di sole, per Basilea si è trattato della seconda primavera più soleggiata dall'inizio delle misure nel 1886. La stagione primaverile più soleggiata era stata quella del 2011 con 725 ore di sole.

Siccità persistente

Come conseguenza delle frequenti condizioni di tempo stabile, in molte regioni svizzere la somma delle precipitazioni della stagione primaverile non ha superato il 50–70 % della norma 1981–2010. La causa principale è da ricercarsi nel lungo periodo secco che si è verificato dalla metà di marzo fin verso la fine di aprile. In aprile le precipitazioni hanno raggiunto il 40–60 % della norma 1981–2010. In molte località della Svizzera nordoccidentale, dell'Altopiano orientale e del pendio nordalpino centrale i quantitativi mensili sono risultati pari al 30 % della norma o anche meno.

In estate ondate di caldo moderate

Dopo un inizio d'estate caratterizzato da temperature nella norma, verso la fine di luglio e nella prima metà di agosto le temperature sono aumentate in modo considerevole. La prima ondata di caldo, con valori di temperatura massima pari o superiori a 30 °C, si è verificata nella Svizzera occidentale fra il 27 luglio e il primo agosto, al Sud fra il 28 luglio e il 2 agosto.

La seconda ondata di caldo è cominciata a sud delle Alpi il 6 agosto, al Nord il giorno seguente. Il periodo con temperature massime giornaliere uguali o superiori a 30 °C è durato da sei a sette giorni, in base alla regione. Sia a nord sia a sud delle Alpi le massime sono rimaste generalmente al di sotto dei 34 °C. Rispetto alle forti ondate di caldo dei due anni precedenti, quelle dell'estate del 2020 sono risultate moderate e per alcune regioni addirittura deboli.

Maltempo a fine agosto

Fra il 28 e il 30 agosto una corrente da sudovest persistente ha convogliato aria umida e calda dal Mediterraneo verso le Alpi. Fra il 28 e il 29 agosto a sud delle Alpi e nelle regioni adiacenti dei Grigioni si sono verificate forti precipitazioni. Nell'arco di un giorno alcune stazioni di misura hanno registrato quantitativi di precipitazione superiori alla precipitazione totale media del mese di agosto. Fra il 29 e il 30 agosto le precipitazioni intense hanno interessato anche il pendio nordalpino orientale.

Autunno soleggiato

I mesi autunnali di settembre e novembre sono stati caratterizzati da tempo mite e soleggiato. Il mese di novembre ha fatto registrare un numero particolarmente elevato di ore di sole. Nelle Alpi si è trattato localmente del secondo novembre più soleggiato delle serie storiche lunghe 60 anni. Per Basilea, la cui serie storica è lunga invece più di 100 anni, il mese di novembre è stato il terzo più soleggiato.

Come conseguenza del soleggiamento abbondante, settembre è stato molto povero di precipitazioni fino all'ultima decade, localmente anche del tutto asciutto. Anche in novembre le precipitazioni sono risultate estremamente scarse. Su scala nazionale esse non hanno superato il 20 % della media, ma a sud delle Alpi localmente nemmeno di 5 % di essa.

Maltempo a inizio ottobre

Il mese di ottobre si è invece mostrato fresco e ricco di precipitazioni, con piogge abbondanti all'inizio del mese. Provocate da una forte corrente sudoccidentale accompagnata da venti ciclonici, le precipitazioni intense hanno interessato soprattutto il Sud delle Alpi, ma anche il Vallese, l'Oberland bernese, la Svizzera centrale e i Grigioni. In queste regioni molte stazioni di misura le cui serie storiche sono lunghe più di 100 anni hanno registrato dal secondo al quarto valore più elevato di pioggia giornaliera.

Inizio inverno con molta neve

Proprio in corrispondenza con l'inizio dell'inverno meteorologico, al Nord la neve è caduta fino alle basse quote. Due giorni più tardi si sono verificate forti nevicate al Sud, che si sono estese verso nord interessando anche la regione alpina. In due giorni a Lugano sono stati misurati 25 cm di neve fresca, nelle Alpi da 40 cm a quasi 1 metro. Alcune stazioni di misura hanno registrato la somma di neve fresca giornaliera su due giorni più elevata per il mese di dicembre dall'inizio delle misure.

In Ticino e sulle montagne dei Grigioni ulteriori nevicate hanno portato la somma di neve fresca giornaliera su tre giorni a toccare a livello regionale gli 1,2–1,4 metri. Verso metà dicembre in molte zone delle Alpi l'altezza della neve era di molto superiore alla media pluriennale (fonte: SLF Davos).

Il 28 dicembre sulla Svizzera meridionale sono caduti altri 15–30 cm di neve fresca, mentre a nord delle Alpi soffiava un forte favonio. A Lugano la somma di neve fresca del mese di dicembre ha così raggiunto i 47 cm; per ritrovare un valore simile o più elevato bisogna risalire a dicembre 2005 con 45 cm e a dicembre 1981 con 65 cm.

Bilancio dell'anno

Nella maggior parte delle regioni svizzere la temperatura media annuale del 2020 è risultata da 1,4–1,7 °C superiore alla norma 1981–2010. Mentre a sud delle Alpi e in Engadina lo scarto dalla media è stato compreso tra +1,0 e +1,4 °C, nelle Alpi esso ha raggiunto localmente valori fino a +1,8 °C. Su scala nazionale, la temperatura media annuale è risultata superiore alla norma di 1,5 °C, valore che ha portato il 2020 ad essere il più caldo dall'inizio delle misure nel 1864, assieme al 2018.

In Svizzera il totale delle precipitazioni del 2020 ha raggiunto l'80–100 % della norma 1981–2010. A sud delle Alpi e in Engadina i valori sono stati compresi fra il 90 e il 110 % della norma, ma localmente anche di poco superiori al 110 %.

La durata del soleggiamento del 2020 è stata compresa tra il 110 e il 130 % della norma 1981–2010. In Vallese e in Engadina il soleggiamento ha raggiunto il 100–110 % della norma. Con 2057 ore di sole, il 2020 è stato l'anno più soleggiato a Basilea, mentre per Berna e per Zurigo, con rispettivamente 2155 e 2056 ore di sole, si è trattato del terzo anno più soleggiato. Per queste tre stazioni di misura le serie di dati omogenee sono cominciate tra il 1880 e il 1890.

Stazione	Quota m	Temperatura °C			Durata del soleggiamento h			Precipitazioni mm		
		Media	Norma	Deviazione	Somma	Norma	%	Somma	Norma	%
Berna	553	10,3	8,8	1,5	2155	1683	128	1037	1059	98
Zurigo	556	10,9	9,3	1,6	2056	1590	129	860	1134	76
Ginevra	420	12,2	10,5	1,7	2113	1768	120	794	1005	79
Basela	316	12,1	10,5	1,6	2057	1590	129	676	842	80
Engelberg	1036	7,9	6,4	1,5	1517	1350	112	1557	1559	100
Sion	482	11,6	10,1	1,5	2279	2093	109	545	603	90
Lugano	273	13,7	12,4	1,3	2340	2067	113	1542	1559	99
Samedan	1709	3,0	2,0	1,0	1931	1733	111	734	713	103

Norma Media pluriennale 1981–2010
Deviazione Deviazione della temperatura dalla norma
% Percentuale rispetto alla norma (norma = 100%)

Tabella 1.1

Valori annuali di stazioni scelte della rete di Meteo-Svizzera paragonati alla norma 1981–2010.

Temperatura, precipitazioni e soleggiamento nell'anno 2020

Figura 1.1

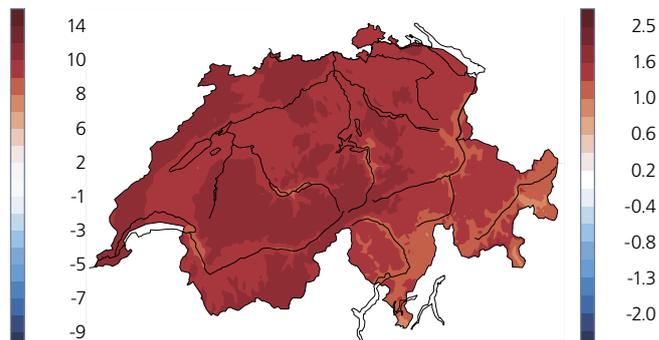
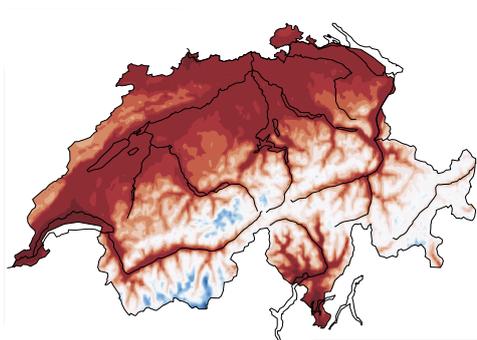
Distribuzione della temperatura, precipitazioni e soleggiamento nell'anno 2020. Sono riportati i valori rilevati (a sinistra) e le rispettive deviazioni dalla norma 1981–2010 (a destra).

Valori rilevati 2020

Deviazione dalla norma 1981–2010

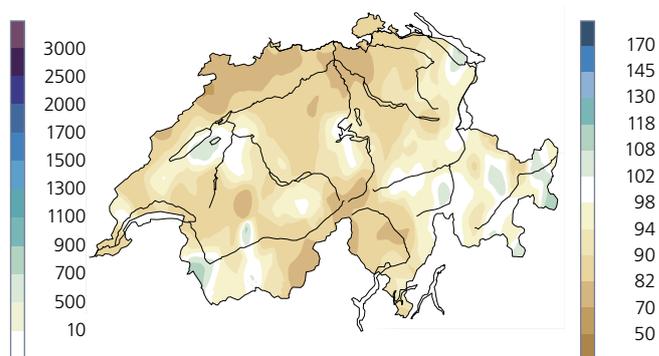
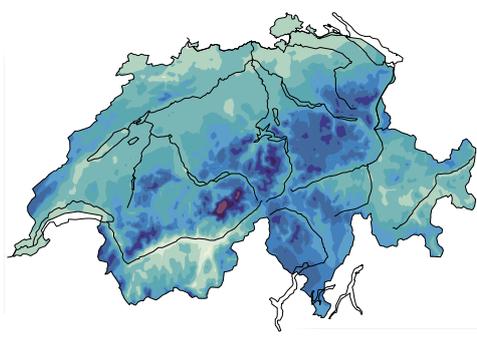
Temperatura media annuale in °C

Deviazione della temperatura annuale dalla norma in °C



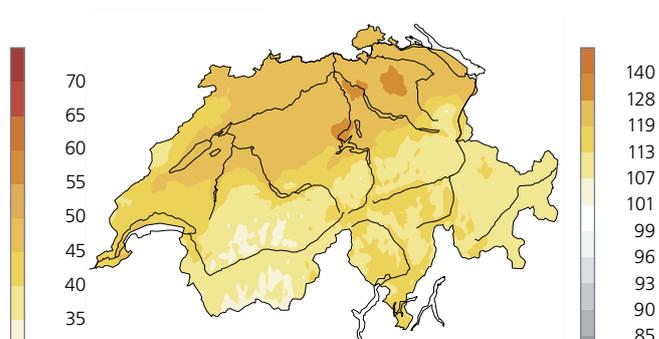
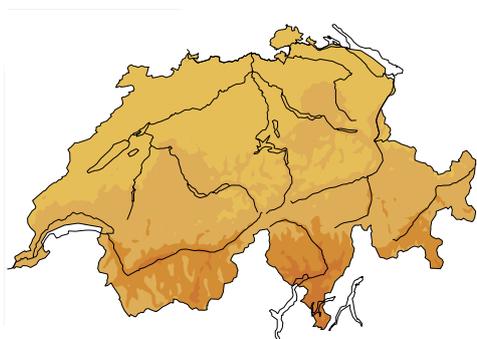
Precipitazioni annuali in mm

Precipitazioni annuali in % della norma %



% del soleggiamento annuale possibile

% del soleggiamento annuale possibile

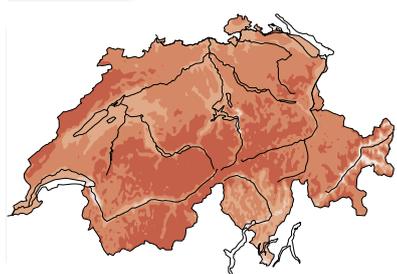


Temperature mensili nel 2020, scarto dalla norma 1981–2010

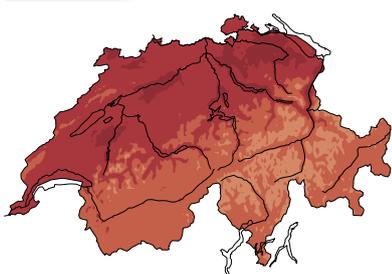
Figura 1.2

Distribuzione spaziale dello scarto delle temperature mensili in gradi [°C] rispetto alla norma 1981–2010.

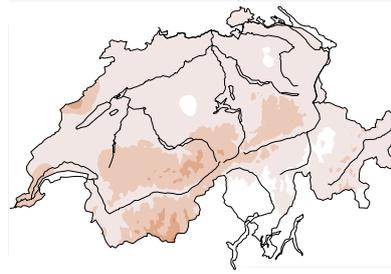
Gennaio 2020



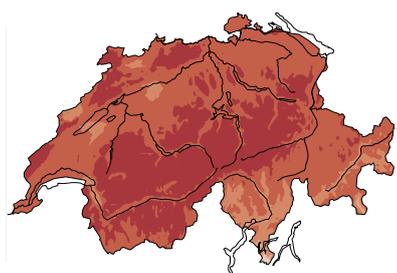
Febbraio 2020



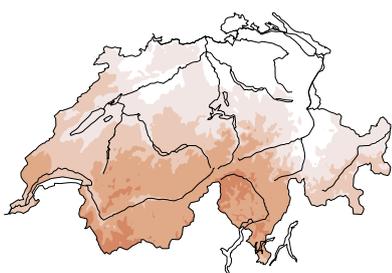
Marzo 2020



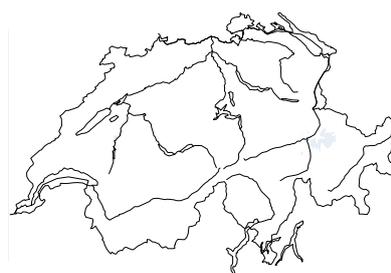
Aprile 2020



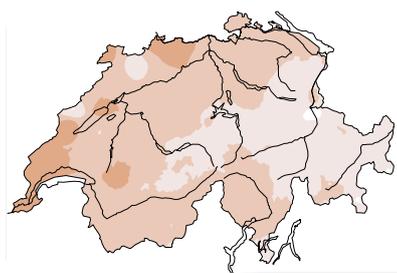
Maggio 2020



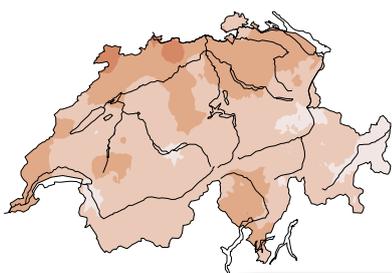
Giugno 2020



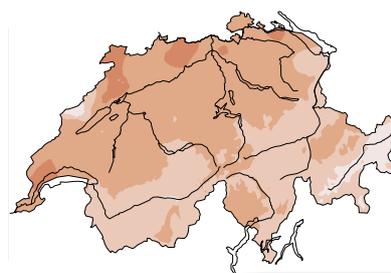
Luglio 2020



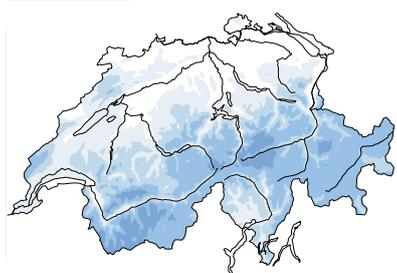
Agosto 2020



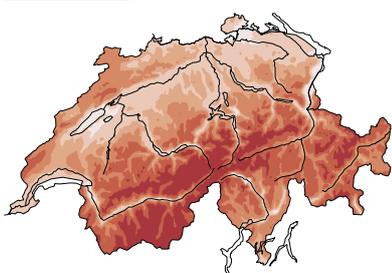
Settembre 2020



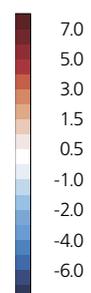
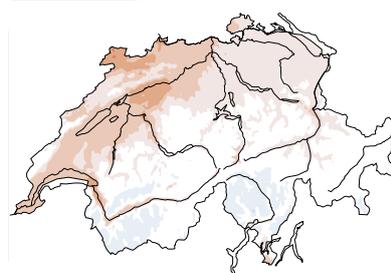
Ottobre 2020



Novembre 2020



Dicembre 2020

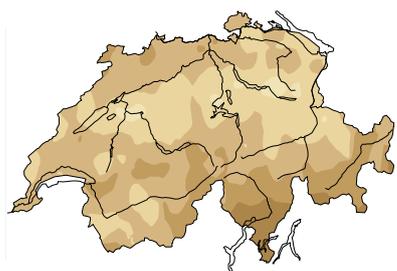


Precipitazioni mensili nel 2020 in percento rispetto alla norma 1981–2010

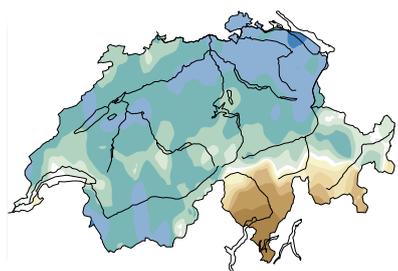
Figura 1.3

Distribuzione spaziale delle precipitazioni mensili in percento rispetto alla norma 1981–2010.

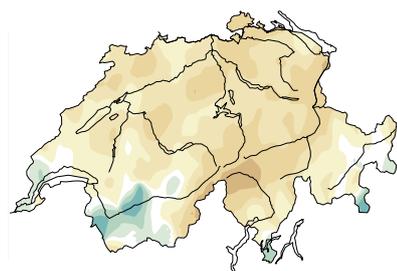
Gennaio 2020



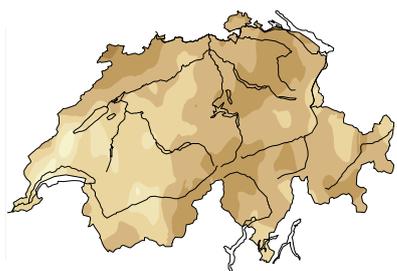
Febbraio 2020



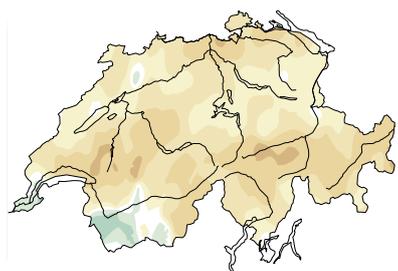
Marzo 2020



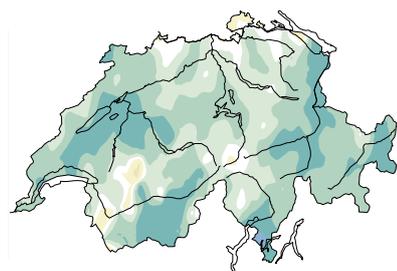
Aprile 2020



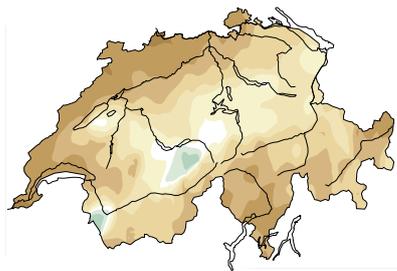
Maggio 2020



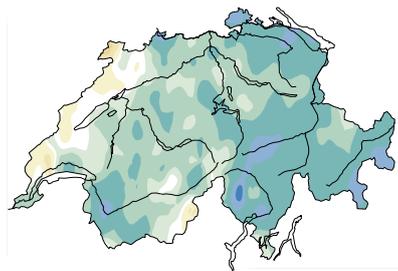
Giugno 2020



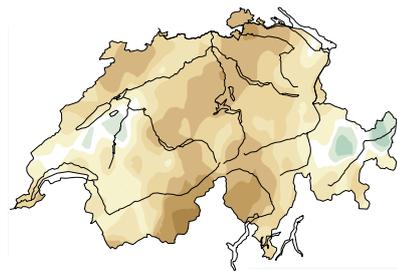
Luglio 2020



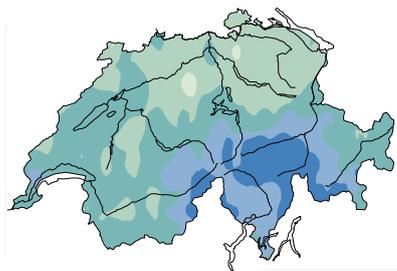
Agosto 2020



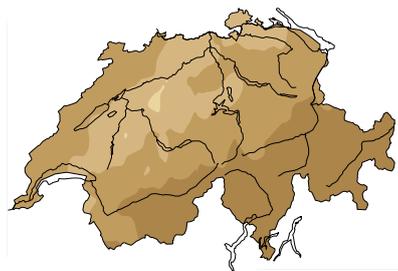
Settembre 2020



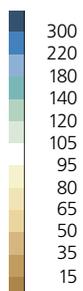
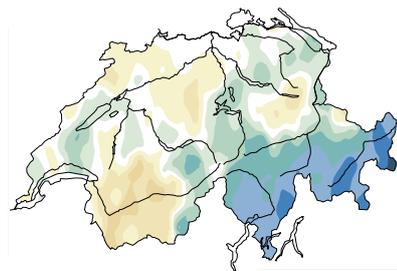
Ottobre 2020



Novembre 2020



Dicembre 2020

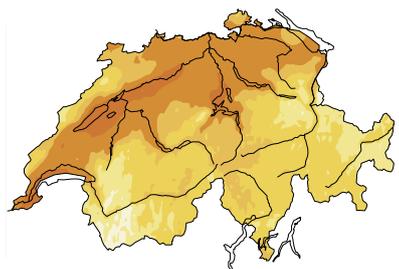


Soleggiamento mensile nel 2020 in percento rispetto alla norma 1981–2010

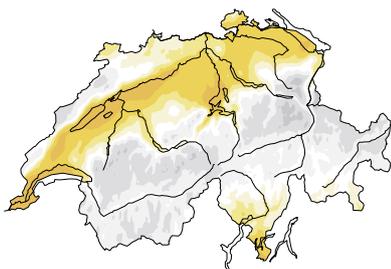
Figura 1.4

Distribuzione spaziale del soleggiamento mensile in percento rispetto alla norma 1981–2010.

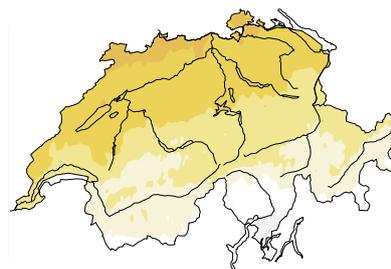
Gennaio 2020



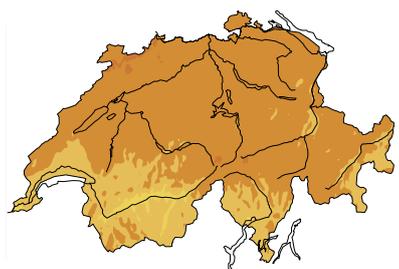
Febbraio 2020



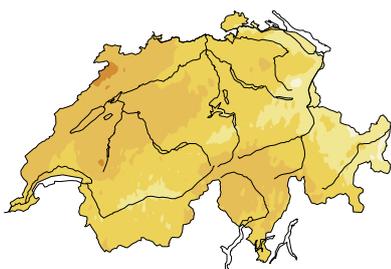
Marzo 2020



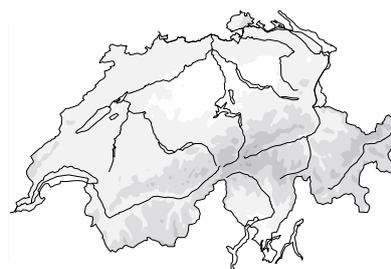
Aprile 2020



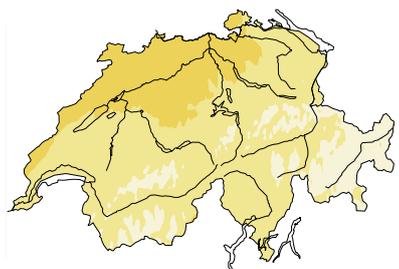
Maggio 2020



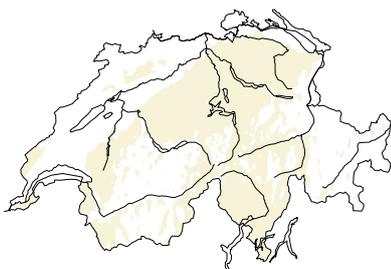
Giugno 2020



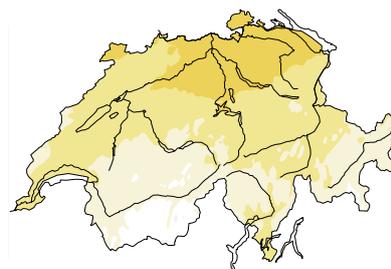
Luglio 2020



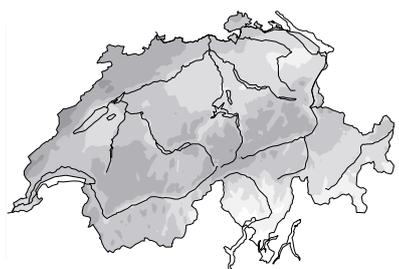
Agosto 2020



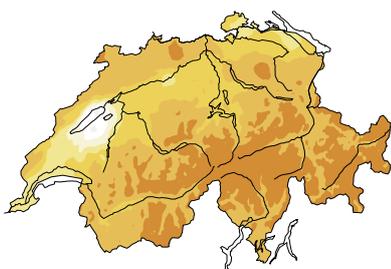
Settembre 2020



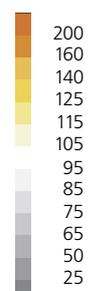
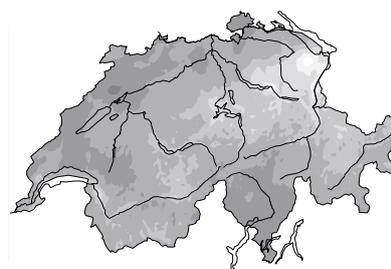
Ottobre 2020



Novembre 2020



Dicembre 2020







2 | Diagrammi dell'andamento annuale

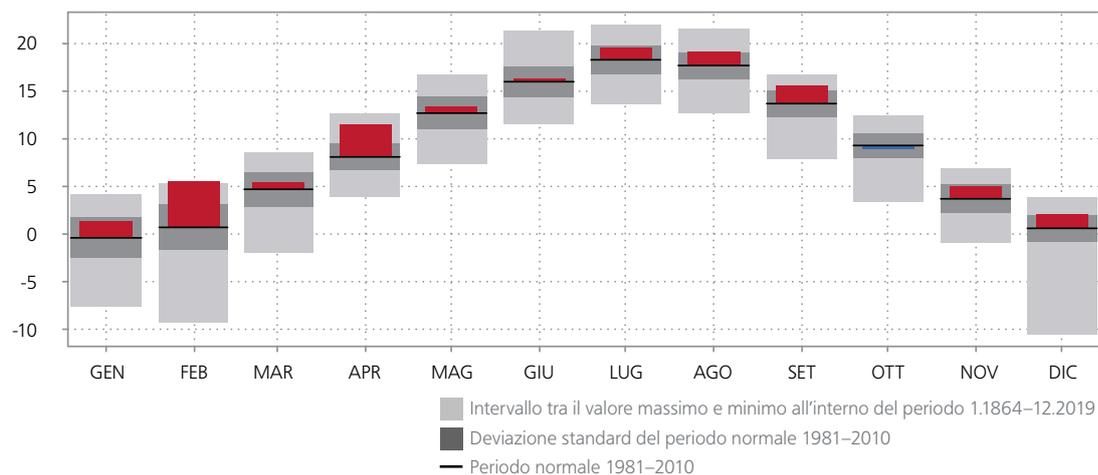
18

Temperatura, soleggiamento e precipitazioni Berna-Zollikofen (553 m) 1.1.-31.12.2020

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

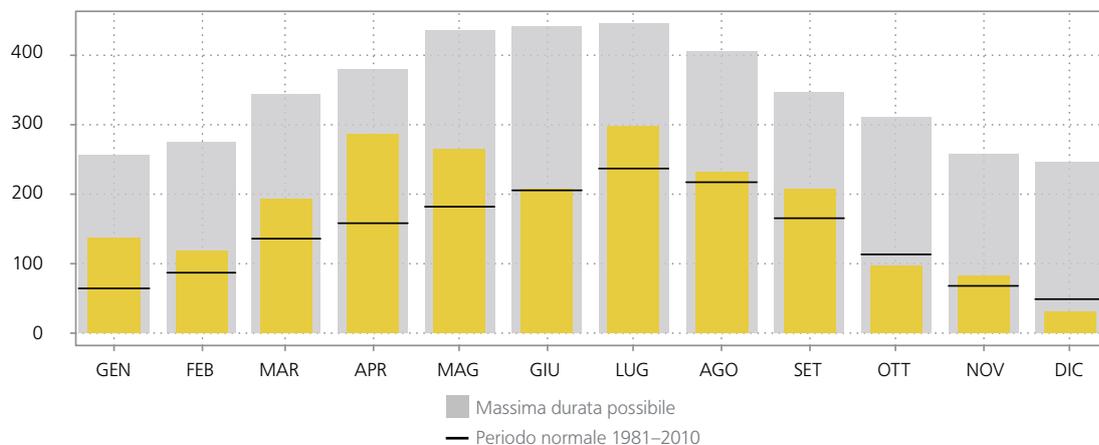
Temperatura media mensile in °C

Media: 10,3; norma: 8,8



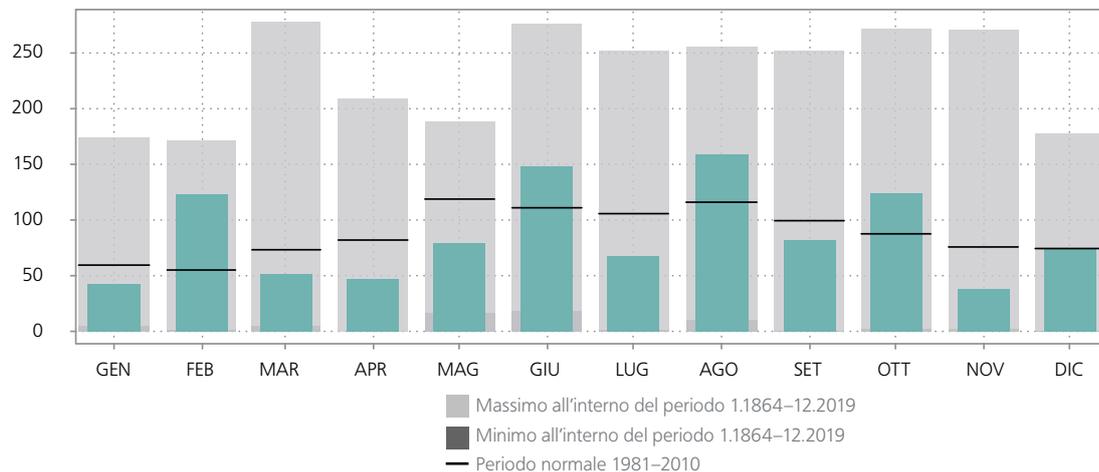
Durata del soleggiamento mensile in ore

Somma: 2154,6; norma: 1683,2



Precipitazione mensile in mm

Somma: 1037,3; norma: 1058,6



Temperatura, soleggiamento e precipitazioni Lugano (273 m) 1.1.-31.12.2020

Temperatura media mensile in °C

Media: 13,7; norma: 12,4

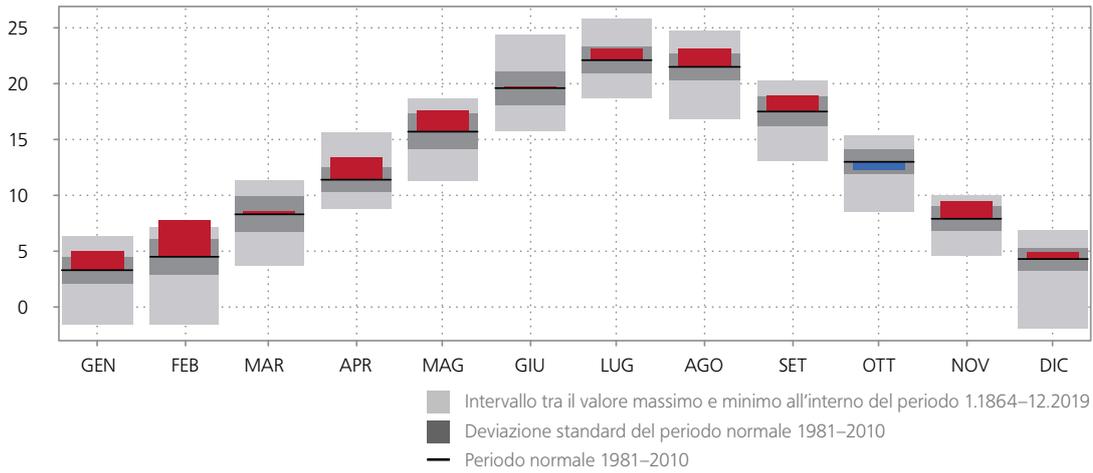
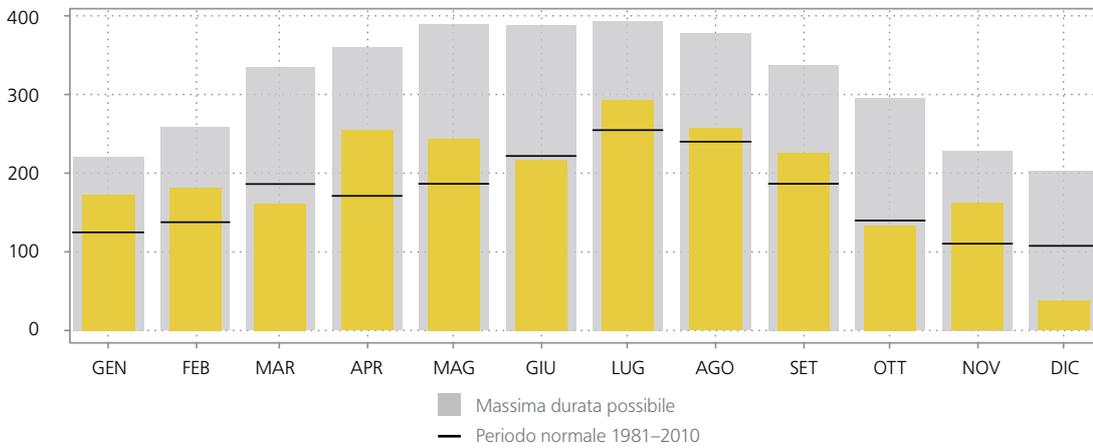


Figura 2.2

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

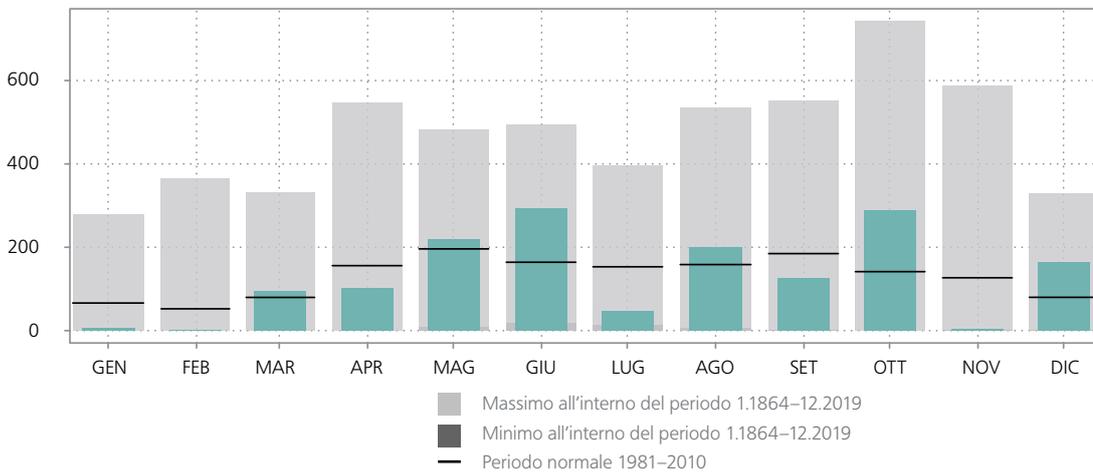
Durata del soleggiamento mensile in ore

Somma: 2339,8; norma: 2067,1



Precipitazione mensile in mm

Somma: 1542,0; norma: 1559,0



Andamento annuale della radiazione globale

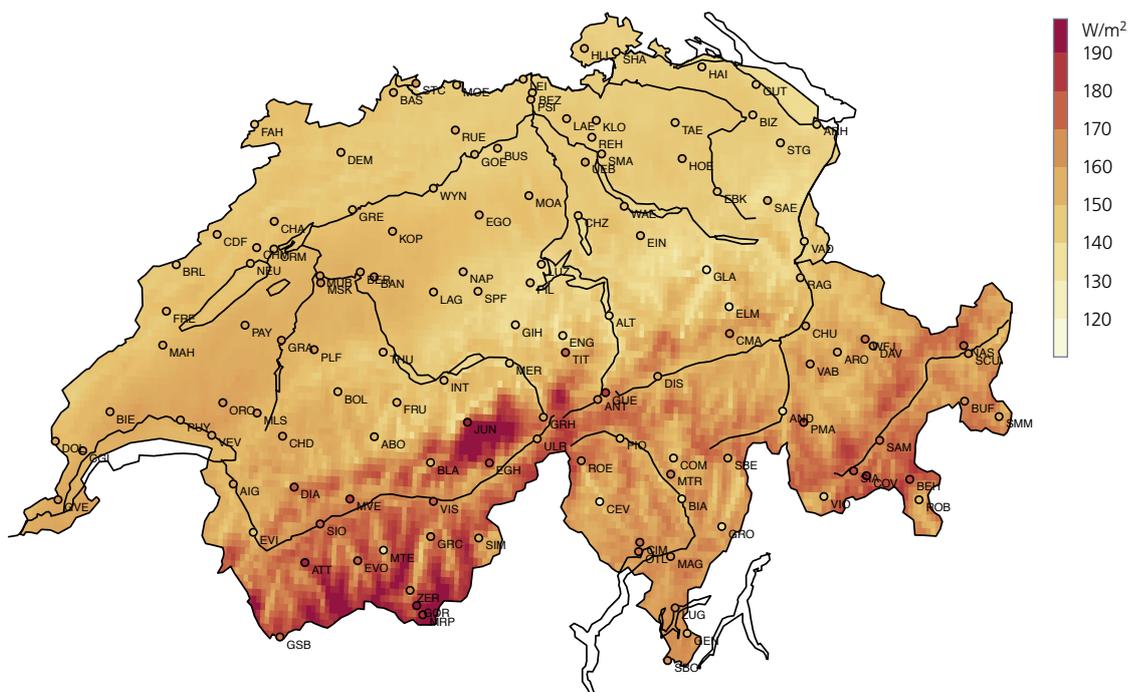
La radiazione globale rappresenta la radiazione totale a onda corta (UV) che raggiunge la superficie terrestre e viene misurata su un piano orizzontale. La radiazione globale è di particolare importanza in relazione alla produzione di energia.

Nelle Alpi la radiazione globale media dell'anno 2020 ha raggiunto i 170–190 W/m² (Figura 2.3). A causa delle nebbie invernali e della maggior torbidità atmosferica, sull'Altopiano non sono stati superati i 150–165 W/m².

Anche nel 2020 la radiazione globale è stata superiore in montagna rispetto alle zone di pianura. Mentre a Zurigo-Kloten sono stati misurati 156 W/m², sullo Jungfrauoch la radiazione globale media dell'anno ha raggiunto i 187 W/m². Tuttavia nel 2020 le differenze fra quote elevate e basse quote è stata meno marcata rispetto agli anni precedenti. Il Ticino, spesso additato come la Sonnenstube della Svizzera, ha registrato anche nel 2020 meno radiazione delle località di alta montagna: a Lugano sono stati misurati 165 W/m². A Payerne, sull'Altopiano, sono stati registrati 158 W/m², quasi lo stesso valore del Ticino.

Figura 2.3

Radiazione globale media (in W/m²) per il 2020, elaborata in base a rilevamenti dal satellite. I cerchi indicano invece le stazioni di rilevamento al suolo e i rispettivi valori. La radiazione solare è un parametro molto locale. Dato che la risoluzione spaziale delle misure da satellite è di 2 x 2 km, mentre le stazioni al suolo misurano in un solo punto, in questa mappa sono visibili le differenze spaziali dovute a zone d'ombra, a locali banchi di nebbia e all'orografia.



A livello nazionale i valori di radiazione globale dell'anno 2020 sono risultati mediamente superiori del 3 % circa al valor medio degli ultimi 17 anni, ma con differenze regionali particolarmente marcate. Mentre sull'Altopiano orientale sono state misurate punte superiori alla norma fino a 10 W/m^2 , sull'Altopiano occidentale a livello locale i valori hanno superato la norma di solo 2 W/m^2 . Lungo la cresta alpina occidentale sono stati misurati valori fino a 9 W/m^2 inferiori alla media del periodo considerato. Nei Grigioni la radiazione globale media del 2020 è stata in linea con la norma, mentre in Ticino essa è stata superata di 5 W/m^2 .

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

L'anno 2020 ha mostrato grandi variazioni nell'andamento della radiazione globale. Ad un gennaio soleggiato in tutto il Paese è seguito un mese di febbraio piuttosto nuvoloso, soprattutto alle quote più elevate. Da metà marzo alla fine di aprile il sole ha dominato: nel mese di aprile sono stati misurati valori da primato su tutto l'Altopiano (50 W/m^2 più della norma) e in Ticino. Anche in maggio si sono verificati molti giorni soleggiati. All'inizio e a metà giugno vi sono invece state molte giornate nuvolose in tutta la Svizzera. Ad un mese di luglio piuttosto soleggiato ha fatto seguito un mese di agosto nella media. Dopo una breve fase soleggiata all'inizio di settembre, il soleggiamento è risultato scarso fin quasi alla fine di ottobre. Novembre è stato molto soleggiato, mentre alla fine dell'anno la nuvolosità l'ha fatta da padrone.

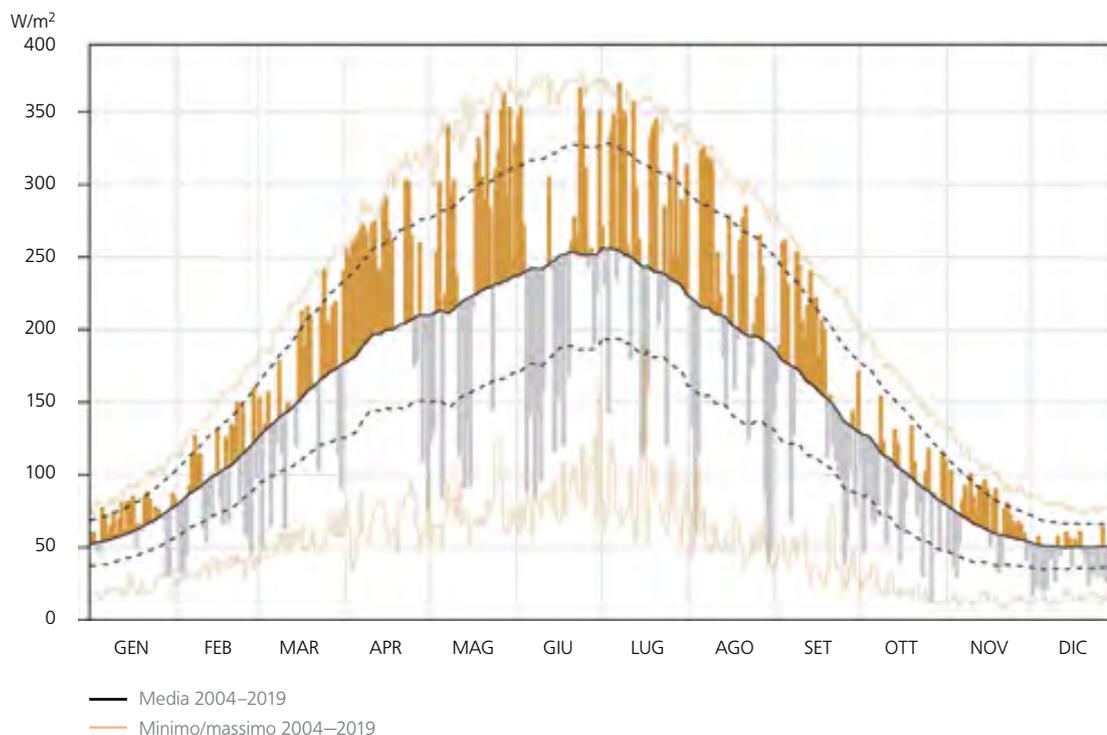


Figura 2.4
Radiazione globale media giornaliera mediata su tutta la Svizzera nel corso dell'anno 2020. Le colonne in arancione indicano una radiazione superiore al periodo di confronto 2004–2019, quelle in grigio valori al di sotto della media.

Quota dell'isoterma di zero gradi nell'atmosfera libera

L'andamento della quota dell'isoterma di zero gradi è monitorato mediante i radiosondaggi lanciati a Payerne due volte al giorno (alle 11 e alle 23 UTC). Tuttavia i radiosondaggi atmosferici non sempre consentono di determinare a quota dell'isoterma di zero gradi in modo univoco. In situazioni d'inversione termica, con più di una quota dell'isoterma di zero gradi, per la statistica è utilizzata la quota più elevata. In giornate con temperature negative a tutte le quote si calcola una quota fittizia dell'isoterma di zero gradi scendendo di 100 metri a partire dalla quota della stazione di Payerne, per ogni mezzo grado al di sotto degli 0 °C (vale a dire se la temperatura è di -1.5 °C si sottraggono 300 metri alla quota della stazione). In caso di condizioni molto fredde, a volte 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 2020, in valori assoluti (altezza sul livello del mare) e rispetto al valore mediano del periodo normale 1981–2010 (linea nera). Nel 2020 il 35 % di tutte le misure giornaliere si è situato al di sotto del valore mediano (colonne blu), il 65 % al di sopra. Nell'anno 2019 questi valori erano stati rispettivamente del 45 % e del 55 %. Il valore mediano dell'altezza dell'isoterma di zero gradi nel 2020 è stato di 2770 m, 250 m più elevato del valore mediano del periodo 1981–2010 e 70 m più elevato del mediano dell'anno

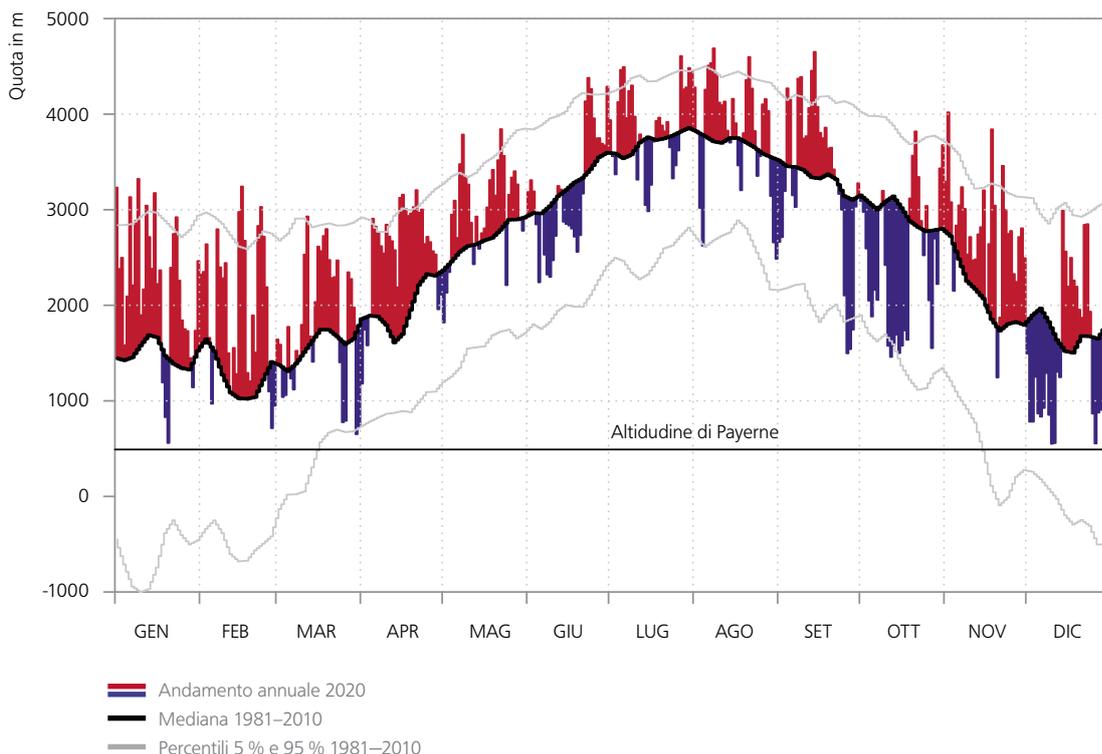
2019. Gli eventi estremi registrati nel 2020 sono caratterizzati da altezze leggermente diverse rispetto al 2019 (altezza massima leggermente più bassa, altezza minima significativamente più alta). Il valore massimo della serie annuale è stato misurato l'8 agosto 2020 con un valore di 4688 m s.l.m., di 163 m inferiore al massimo dell'anno precedente. Il valore minimo è stato misurato il 10 dicembre con un'altezza di 550,5 m s.l.m., 560 m in più rispetto al minimo del 2019. Rispetto al 2019 e agli anni precedenti, non sono stati registrati valori giornalieri sotto la superficie terrestre. Questo indica una tendenza alla diminuzione del numero di giorni in cui entrambe le misurazioni (quella delle 11 UTC, così come quella delle 23 UTC) forniscono un valore negativo. In generale, la mediana annuale nel 2020 conferma la tendenza positiva in atto dalla metà degli anni '80 (vedi capitolo 5.1.2).

Nel 18.5 % dei giorni del 2020 le anomalie dell'altezza dell'isoterma di zero gradi rispetto alla norma sono risultate superiori al 95° percentile della distribuzione climatologica 1981–2010 (colonne rosse che si estendono al di sopra della linea grigia superiore). Questo valore elevato costituisce un chiaro segnale del cambiamento climatico. Al contrario, solamente nel 4.3 % dei giorni le anomalie negative sono state inferiori al 5° percentile della distribuzione climatologica (colonne blu che si estendono al di sotto della linea grigia inferiore).

Figura 2.5

Quota giornaliera dell'isoterma di zero gradi nell'atmosfera libera sopra Payerne nel 2020. Misurazioni aerologiche con radiosonde lanciate alle ore 00 UTC e 12 UTC. Il valore mediano (periodo di riferimento 1981–2010) è stato calcolato con dati omogenizzati e liscio con un filtro numerico. Il 90 % dei valori medi giornalieri viene a trovarsi nella fascia tra i percentili del 5 % e del 95 %.

Mediana 2020: 2770 m; norma 1981–2010: 2520 m



Altitudine della tropopausa

La tropopausa divide la troposfera, la parte di atmosfera dove avvengono i fenomeni meteorologici, dalla stratosfera, strato molto secco e stabile. La tropopausa è caratterizzata da una chiara inversione dell'andamento della temperatura e normalmente corrisponde alla zona più fredda tra la troposfera e la stratosfera. Come per la quota dell'isoterma di zero gradi, anche l'altitudine della tropopausa sopra la Svizzera viene dedotta dai radiosondaggi lanciati due volte al giorno da Payerne. 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 dell'altitudine della tropopausa nel corso dell'anno 2020, in valori assoluti (altezza s.l.m.) e in termini di deviazione dalla norma 1981–2010 (colonne blu e rosse). L'afflusso di masse d'aria con provenienza polare o artica abbassa l'altitudine della tropopausa a valori al di sotto della norma. Nel 2020 questo è accaduto per il 43 % dei giorni (colonne blu), in modo particolarmente marcato fra metà settembre e metà ottobre. Al contrario, masse d'aria con provenienza tropicale o subtropicale innalzano la quota della tropopausa a valori superiori alla norma, fino a meno che nel corso del 2020 si è verificato per il 57 % dei giorni.

La percentuale elevata di anomalie positive rispetto alla norma è un segnale del cambiamento climatico. Anche il fatto che nel 13 % dei casi le anomalie positive abbiano superato il 95° percentile della distribuzione climatologica 1981–2010 (colonne rosse che si estendono al di sopra della linea grigia superiore) e solo nel 7 % delle misure le anomalie negative siano rimaste al di sotto del 5° percentile della climatologia rispecchia il cambiamento climatico.

Il mediano dell'anno 2020 (11'500 m) si situa 180 m più in alto del mediano del periodo di riferimento (11'320 m). I valori estremi del 2020 sono stati registrati l'8 agosto (massimo), con la tropopausa ad un'altezza di 15290 m, e il 6 marzo (minimo), con 7460 m.

Mediana 2020: 11'500 m; norma 1981–2010: 11'320 m

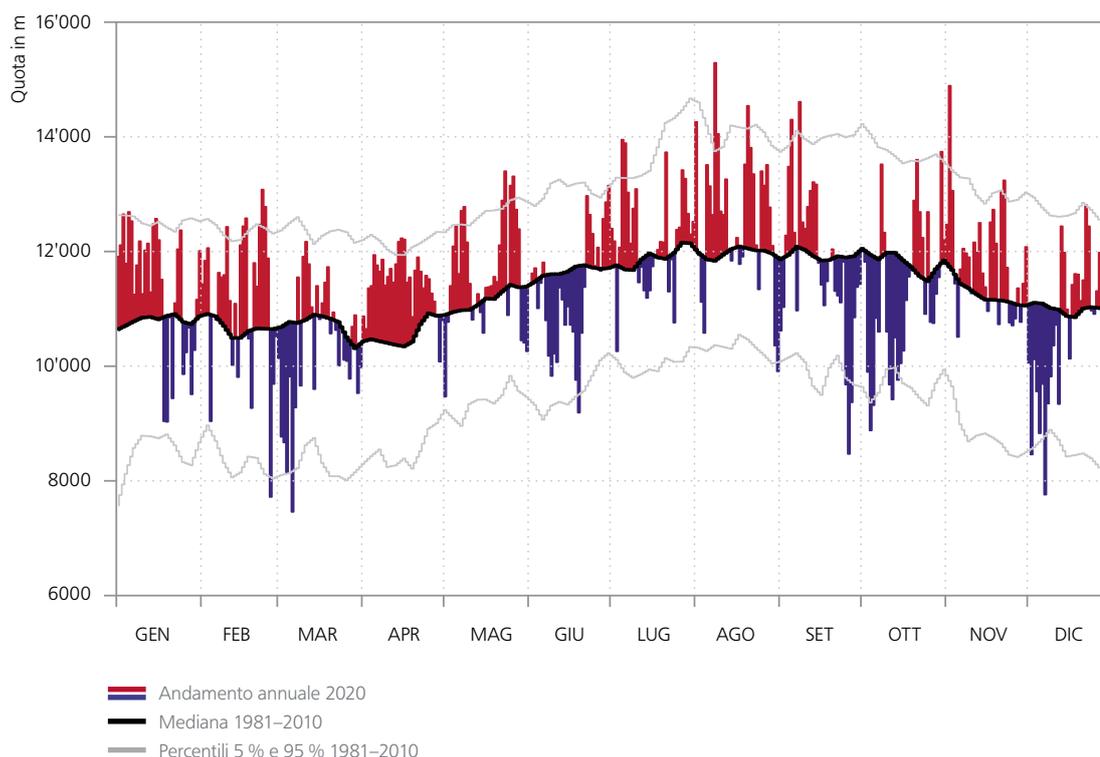


Figura 2.6

Quota giornaliera della tropopausa sopra Payerne nel 2020, in base ai radiosondaggi delle ore 00 UTC e 12 UTC. Il valore mediano (periodo di riferimento 1981–2010) 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

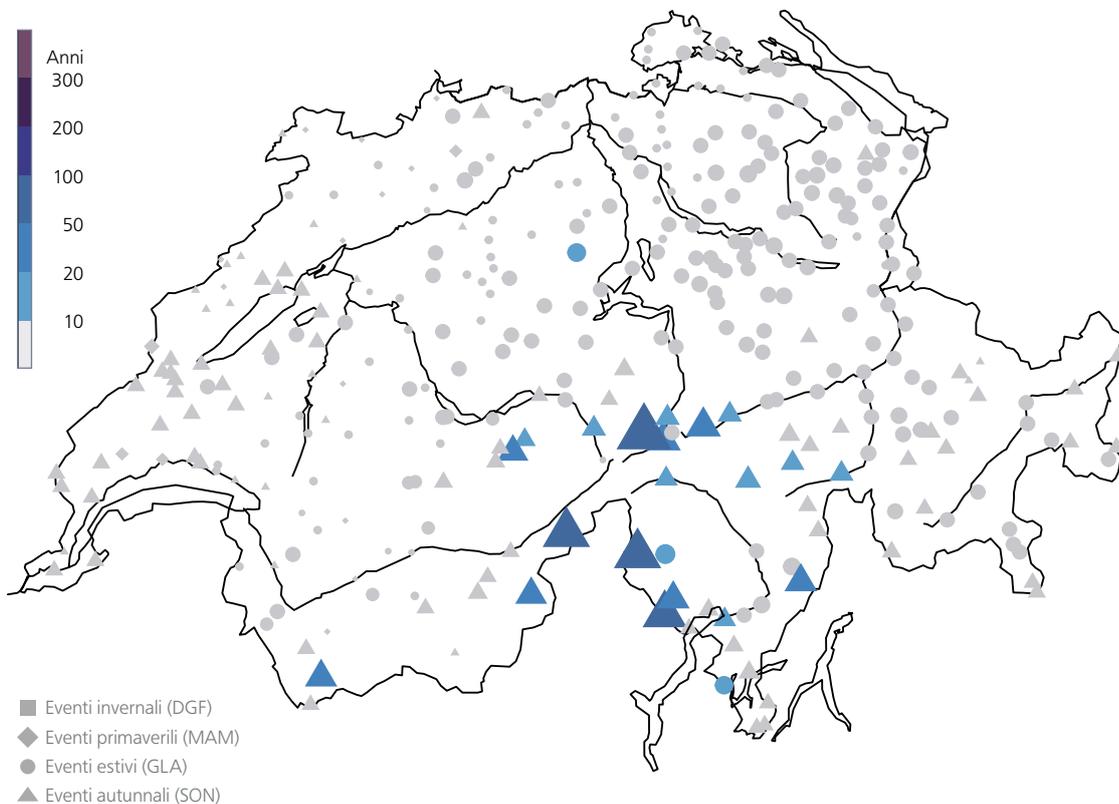
Per valutare se si è in presenza di un evento meteorologico straordinario o meno, si eseguono delle analisi sulle frequenze (o analisi sui valori estremi), per sapere con quale frequenza media su un periodo lungo molti anni l'evento considerato potrebbe verificarsi, per esempio ogni 10 o 20 anni. Questo tipo di informazione viene chiamato periodo di ritorno.

Attraverso questo procedimento (generalized extreme value analysis GEV, periodo base 1966–2015) viene valutato per ogni stazione di misura il quantitativo massimo di precipitazioni cumulate su 1 giorno durante l'anno. L'evento di precipitazione più estremo del 2020 si è verificato il 2 ottobre (vedi capitolo 3.4). Quel giorno la tempesta "Brigitte" ha provocato una situazione di sbarramento marcato a sud delle Alpi e le precipitazioni hanno coinvolto anche l'Alto Vallese, l'Haslital e il centro dei Grigioni. I valori più elevati di pioggia giornaliera sono stati misurati proprio nelle regioni menzionate. Il quantitativo di precipitazione corrispondente al periodo di ritorno più elevato registrato nel 2020 è stato misurato a Göschenalp (182.0 mm in un giorno, periodo di ritorno di circa 80 anni). Le somme di precipitazione più elevate sono

state misurate a Camedo (421 mm, periodo di ritorno di circa 60 anni), a Mosogno (372.5 mm, periodo di ritorno di circa 35 anni), a Bosco Gurin (282.6 mm, periodo di ritorno di circa 65 anni) e a Binn (258.7 mm, periodo di ritorno di circa 65 anni).

Nel corso di un evento temporalesco a nord delle Alpi, il 3 agosto a Sempach sono stati misurati 81.6 mm in un giorno, valore che corrisponde ad un tempo di ritorno di circa 15 anni.

Figura 2.7
**Periodi di ritorno in anni
 dei massimi quantitativi
 delle precipitazioni su un
 giorno (ore 6 fino alle ore
 6 del giorno seguente) nel
 2020, divisi per stagione.**



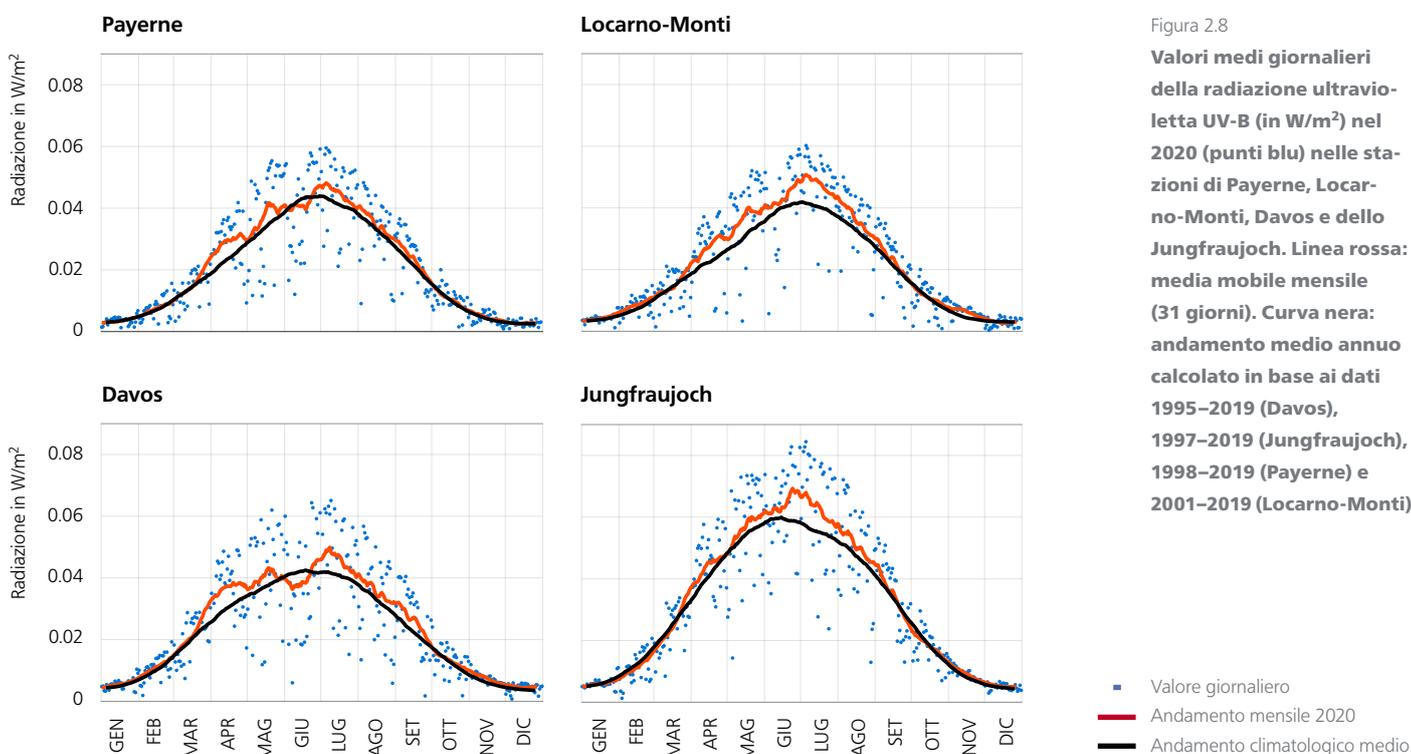
Le dimensioni dei punti e i colori rispecchiano la lunghezza del periodo di ritorno in anni. Il grigio indica un periodo di ritorno di dieci anni o meno.

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.

Il confronto dell'andamento delle medie mensili mobili con il ciclo annuale medio mostra che in tutte le stazioni in cui vengono misurate le radiazioni UV, i valori dei mesi di aprile, di maggio e da luglio a metà settembre sono rimasti spesso al di sopra della norma. Due fattori possono spiegare questo fatto: in primo luogo, l'anno 2020 è stato in generale molto soleggiato; la primavera è stata fra le più soleggiate e in molte

località anche in estate e in autunno il soleggiamento è stato superiore alla media. Secondariamente, fra il 2000 e il 2019 in Svizzera la colonna totale di ozono nell'atmosfera è stata inferiore alla media del periodo che va dall'inizio delle misure alla fine degli anni Novanta al 2019. Nel 2020 anche i valori di maggio, luglio, agosto e settembre sono risultati inferiori alla media, anche se in modo non così marcato come nel mese di aprile. Poiché l'ozono assorbe le radiazioni UV, la combinazione di tempo soleggiato e di uno strato di ozono relativamente sottile determina una radiazione UV più forte del solito. Valori sotto la media della colonna di ozono sono stati misurati anche nei mesi di febbraio, novembre e dicembre. Tuttavia, durante i mesi invernali (da novembre a febbraio), quando il sole è molto basso sull'orizzonte, la radiazione solare attraversa lo strato di ozono in diagonale e il percorso della radiazione attraverso lo strato di ozono risulta più lungo, determinando un maggior assorbimento dei raggi UV. Per questo motivo, la radiazione UV e anche la sua deviazione dalla norma sono sempre molto basse in inverno.



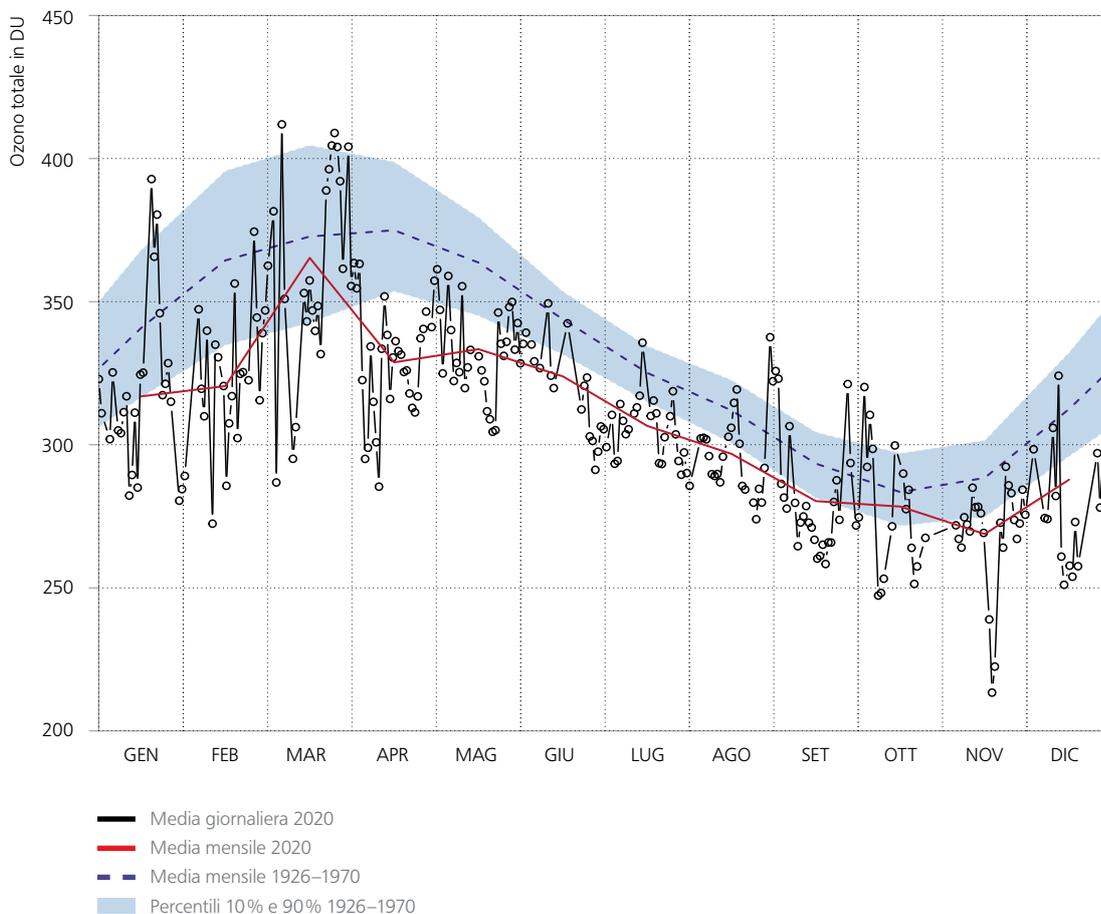
Serie di misurazioni dell'ozono ad Arosa e Davos

L'andamento annuale della colonna dell'ozono totale ad Arosa (Figura 2.9) mostra il tipico andamento con valori massimi raggiunti in inverno e in primavera e quelli minimi in autunno. L'andamento della colonna dell'ozono totale 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.

Durante il periodo di riferimento 1925–1970 lo stato dello strato di ozono non era ancora perturbato dagli influssi umani. La riduzione dell'ozono totale sopra Arosa è incominciata attorno al 1970, momento di forte crescita delle emissioni di sostanze che distruggono l'ozono. Dal 2000 si è invece constatata una stabilizzazione dell'ozono totale

sopra la Svizzera. Nel corso del 2020 i valori di ozono si sono mantenuti nettamente al di sotto di quelli del periodo di riferimento. Le uniche eccezioni si sono verificate nei mesi di marzo, soprattutto verso la fine del mese, quando sono stati misurati valori di circa 400 DU. Nella seconda parte dell'anno sono state osservate grandi variazioni dei valori medi giornalieri della colonna di ozono. Il valore giornaliero più basso dell'anno è stato misurato il 18 novembre con 213,4 DU.

Figura 2.9
Andamento annuale della colonna dell'ozono totale sopra Arosa nel 2020. 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 2020 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.

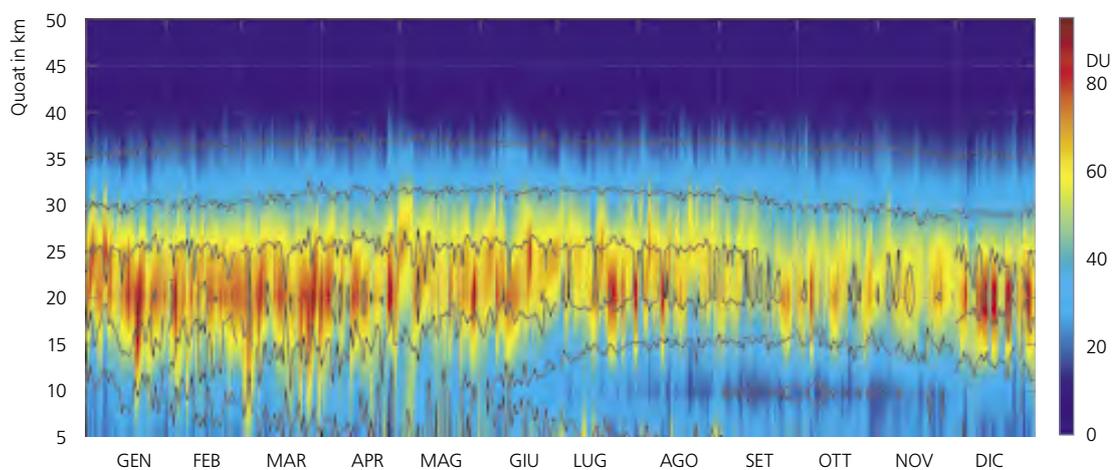
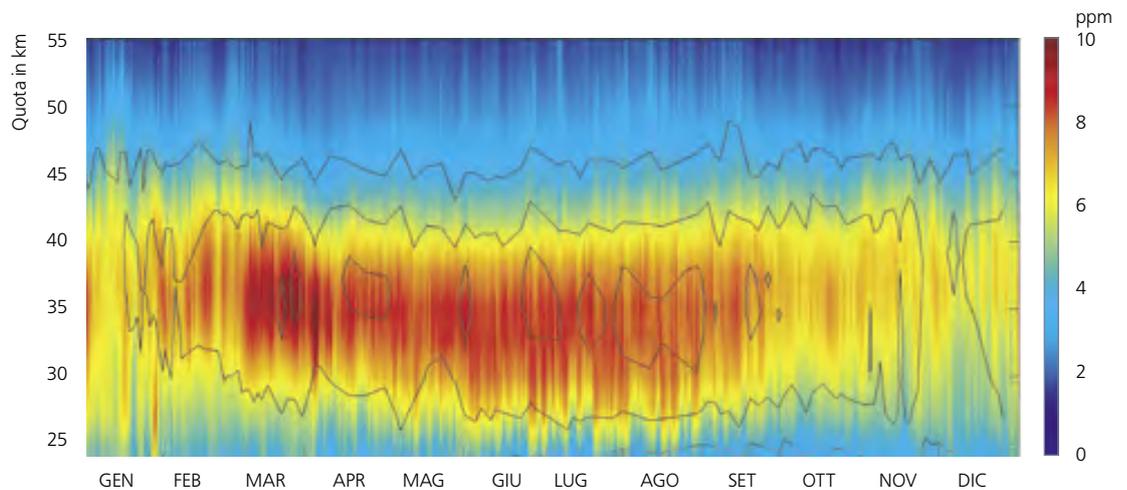


Figura 2.10
Profilo dell'ozono sopra Arosa nel 2020, rilevato dallo spettrofotometro Dobson. Il grafico mostra le concentrazioni in unità Dobson (DU), sulla scala destra, tra 0 e 90 DU. 100 DU = 1 mm di ozono puro a 1013 hPa di pressione e 0 °C di temperatura.

Misurazioni dell'ozono a Payerne

Dal 2000 alla stazione di Payerne è 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 2020 e in nero quello del 2019 (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 2020, 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 30 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 2020 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).

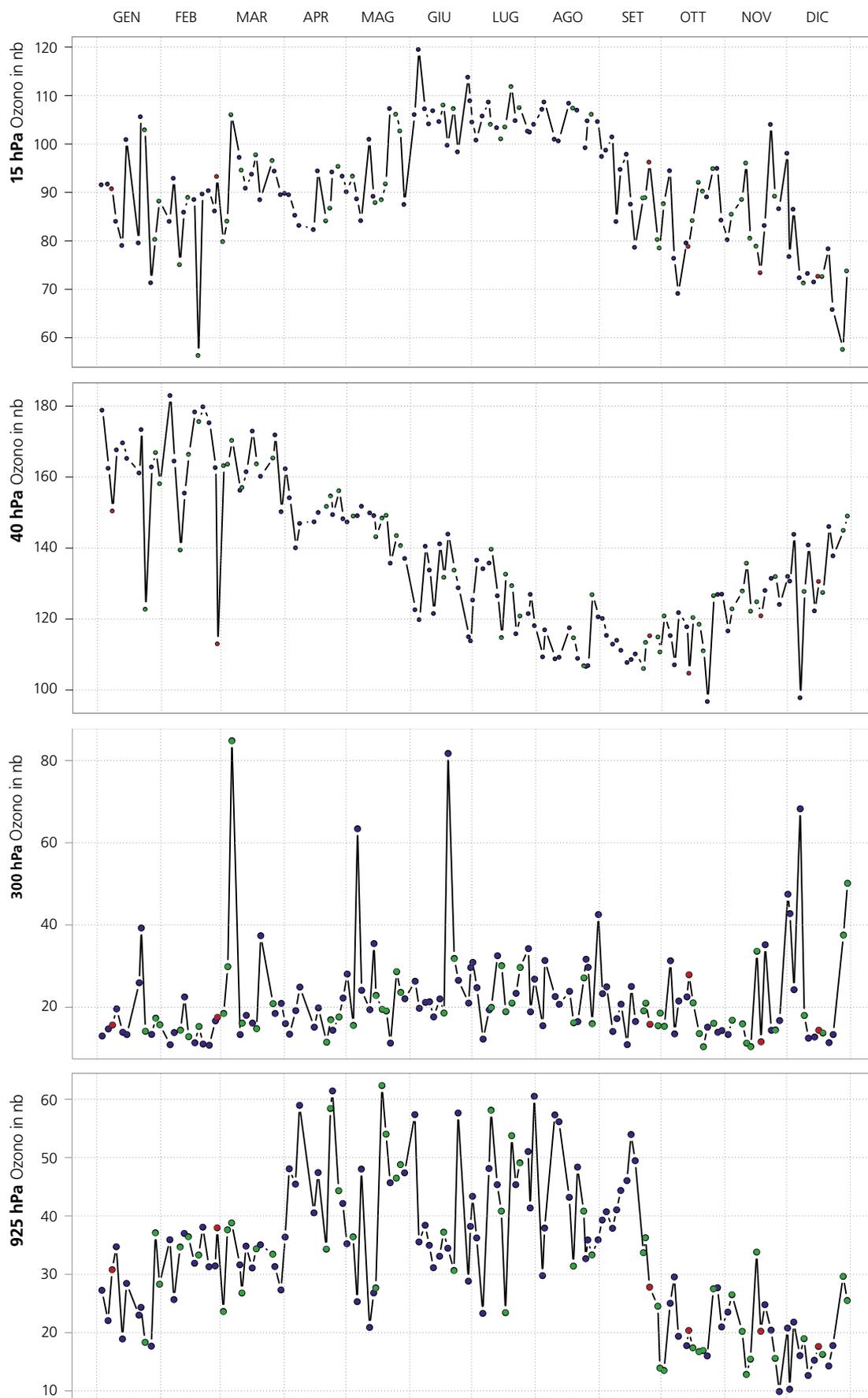


Figura 2.12

Andamento della concentrazione di ozono (pressione parziale in nanobar) nel 2020 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

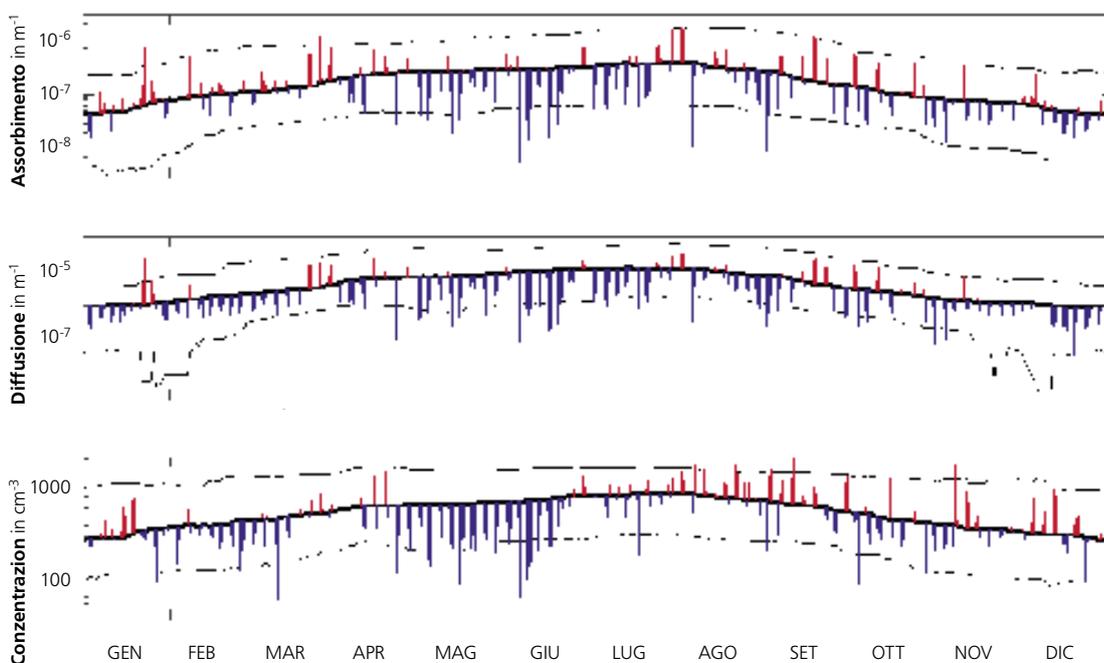
Gli aerosol influiscono sull'atmosfera con i loro effetti diretti (assorbimento e diffusione della radiazione solare) e indiretti (formazione di nubi). L'ampiezza di questi effetti in riferimento al riscaldamento o al raffreddamento resta una delle maggiori incertezze dei modelli climatici [3]. Le misurazioni degli aerosol eseguite sullo Jungfraujoch dal 1995 rappresentano una delle più lunghe serie di misurazioni al mondo [4].

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 sono portati 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 [5] e quindi in posizione ottimale per la misurazione delle proprietà ottiche dell'atmosfera e della concentrazione degli aerosol, lontano dalle fonti di emissione.

Allo Jungfraujoch la primavera 2020 è stata caratterizzata da un forte diminuzione delle attività turistiche a causa della pandemia e, allo stesso tempo, da un aumento dei lavori edili di costruzione. La diminuzione del numero di particelle in primavera può quindi essere legata alla diminuzione dell'inquinamento locale, ma deve essere vista in un contesto di concentrazioni di aerosol in genere relativamente basse durante questo periodo, come mostrato dalle proprietà ottiche degli 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 2020 (in basso). La curva nera mostra la media del periodo 1995–2019. 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 a un'altitudine di 3580 m vengono invece effettuate misurazioni continue dei coefficienti di diffusione e assorbimento a diverse lunghezze d'onda. Queste misurazioni hanno permesso di sviluppare un nuovo metodo automatico per la determinazione oraria degli eventi di polvere del Sahara in Svizzera (Saharan Dust Events SDE). Con questo metodo si può studiare la frequenza degli eventi di polvere del Sahara nelle Alpi.

Avendo dati a partire dal 2001, ottenuti sempre con gli stessi strumenti di misura, disponiamo oggi di una climatologia degli eventi di polvere sahariana che copre il periodo 2001–2017. Durante questo intervallo di tempo, ogni anno sono stati identificati tra 10 e 50 eventi di polvere sahariana, che corrispondono a 200–700 ore all'anno. Tipicamente nelle Alpi la polvere minerale del Sahara contribuisce in modo significativo alla concentrazione di aerosol in primavera (da marzo a giugno) e nei mesi di ottobre e novembre. Gli eventi di polvere

sahariana sono invece meno frequenti in estate, ma a volte possono durare a lungo, mentre in inverno sono generalmente molto brevi. La maggior parte degli eventi (~50 %) dura solo poche ore, mentre il 25 % dura più di un giorno.

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. Nonostante l'adattamento delle soglie utilizzate per rilevare gli eventi di polvere sahariana con una durata minima di sei ore, le misurazioni del 2019 e del 2020 non possono essere confrontate direttamente con la climatologia 2001–2017. Nel 2019 sono state misurate nel complesso 861 ore con presenza di polvere minerale (misure non disponibili in novembre e parte di dicembre), mentre nel 2020 questo numero è salito a 1073. In linea con la climatologia, in primavera e in autunno sono state registrate numerose intrusioni di polvere dal Sahara. Tuttavia, è possibile che alcuni dei rilevamenti dei primi mesi del 2020 siano dovuti alla polvere minerale generata dai lavori sullo Jungfraujoch. Distinguere il tipo di minerali è difficile, soprattutto in inverno quando le concentrazioni totali di aerosol sono tipicamente molto basse.

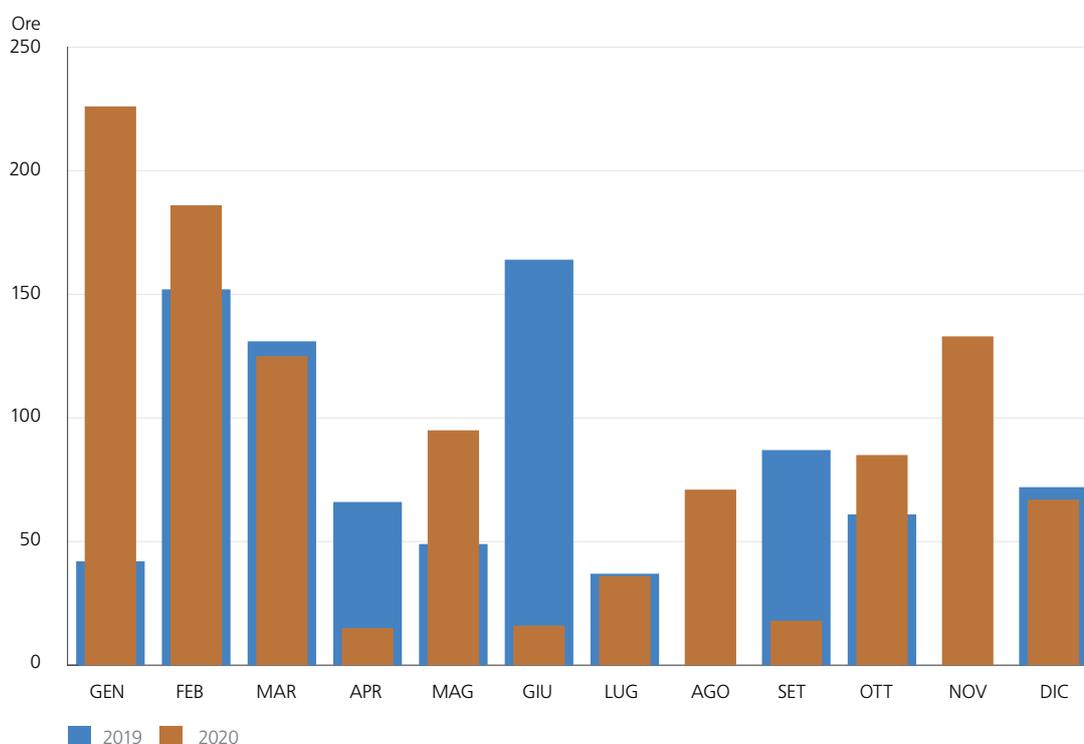


Figura 2.14
Numero di ore al mese in cui presso la stazione di misura dello Jungfraujoch è stata rilevata la presenza di polvere sahariana per una durata di almeno 6 ore negli anni 2019 e 2020 (Saharan dust events SDE). Il numero di ore di novembre e dicembre 2019 è incompleto (mancanza di dati fra il 5 novembre e il 16 dicembre).

Sviluppo della vegetazione

Nel periodo da gennaio a giugno 2020 lo sviluppo della vegetazione è stato eccezionalmente precoce. Con un anticipo di 28 giorni rispetto alla media del periodo 1981–2010, la fioritura del nocciolo non è mai stata così precoce. La vegetazione primaverile si è sviluppata con circa due settimane di anticipo rispetto alla norma. Particolarmente precoci sono state le piante situate alle quote più alte. Questo sviluppo così precoce è da attribuire all'inverno più caldo dall'inizio delle misurazioni e, soprattutto, ai mesi molto caldi di febbraio e aprile. Questo anticipo si è protratto fino alla fioritura del sambuco nero in maggio e si è ridotto a otto giorni solo in giugno con la fioritura deliglio. La colorazione delle foglie è avvenuta in ottobre nella norma o leggermente in ritardo.

Per confrontare le date delle fasi fenologiche dell'anno 2020 con quelle del periodo di riferimento 1981–2010, 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 riferendosi alla data più precoce e più tardiva del 50 % considerato come normale per l'anno 2020, cioè per il 25 e per il 75 percentile della distribuzione, oppure per la mediana dell'anno 2020 di tutte le stazioni. L'osservazione delle fasi fenologiche è iniziata nel 1951–1952.

Primavera

In Ticino e al Nord delle Alpi l'inizio della fioritura del nocciolo è stato osservato a partire dal 2 gennaio 2020 e dal 9 gennaio le prime stazioni hanno già segnalato la fioritura generale. Nella media di tutte le stazioni la fioritura generale è avvenuta il 4 febbraio, con un anticipo di 28 giorni rispetto alla media del periodo di riferimento 1981–2010. Mediato su tutte le stazioni, il nocciolo non è mai fiorito così presto come nel 2020. Se si considerano solo le stazioni alle quote inferiori agli 800 metri, si tratta della seconda fioritura più precoce dall'inizio delle osservazioni nel 1952 (la prima risale al 1994). L'inverno più caldo dall'inizio delle misurazioni nel 1864, con il secondo febbraio più caldo mai registrato, è stato all'origine di questa fioritura eccezionalmente precoce del nocciolo.

La temperatura invernale ha influito anche sulla data di fioritura della tossilaggine comune e dell'anemone bianco. La tossilaggine comune è stata osservata a partire dall'inizio di

febbraio. Nella media di tutte le stazioni, essa è fiorita l'11 marzo, con 16 giorni di anticipo rispetto alla norma. La fioritura dell'anemone bianco è avvenuta in media il 20 marzo, in anticipo di 15 giorni rispetto alla norma. La sua fioritura è stata la seconda, rispettivamente la quarta più precoce della serie di osservazioni fenologiche dal 1951.

Per quel che riguarda gli alberi da frutto, il 91–94 % delle osservazioni possono essere attribuite alle categorie «precoce» e «molto precoce». La fioritura dei primi ciliegi è stata osservata a partire dal 18 marzo, per poi generalizzarsi a partire dall'inizio di aprile. Nella media di tutte le stazioni, la data di fioritura si situa al 10 di aprile, con 14 giorni di anticipo sulla norma. La fioritura dei peri è avvenuta quasi contemporaneamente, mediamente l'11 aprile, con un anticipo di 16 giorni rispetto alla media del periodo 1981–2010. I meli sono fioriti con un anticipo di 15 giorni, in media il 18 aprile. Per tutti gli alberi da frutto l'anticipo della fioritura è aumentato salendo di quota poiché in aprile gli alberi alle quote più alte hanno beneficiato di temperature molto elevate, che hanno accelerato il loro sviluppo. L'anticipo nella fioritura dei meli, ad esempio, è stato di 13 giorni al di sotto dei 600 m slm e di 17–19 giorni al di sopra dei 1000 m slm. Nel complesso si è trattato della seconda, terza e quarta fioritura più precoce degli alberi da frutto.

Anche il dente di leone (tarassaco comune) e la cardamine dei prati sono fioriti in aprile, alle basse quote con un anticipo di nove rispettivamente dieci giorni e alle quote al di sopra dei 600 m slm di 13–17 giorni. I boschi sono diventati verdi molto velocemente a partire da fine marzo/inizio aprile. I primi faggi verdi sono stati osservati il 10 aprile nella regione di Basilea e il 15 aprile nel Giura anche oltre i 1000 metri di quota. Nella media di tutte le stazioni che compiono osservazioni fenologiche, al di sotto dei 600 metri di quota si sono osservati faggi verdi il 15 aprile e oltre i 1000 m slm il 22 aprile. Il gradiente di altitudine – ossia il ritardo nello sviluppo della vegetazione con l'aumentare della quota – ammonta quindi a 1 giorno/100 metri, mentre solitamente per il faggio esso è di circa 2 giorni ogni 100 metri. Alle quote più alte il faggio ha quindi avuto un anticipo molto precoce di 17 giorni, mentre alle quote inferiori ai 600 m slm esso era di 9 giorni. Dopo il 1961 e il 2011 si è trattato del terzo spiegamento delle foglie dei faggi più precoce della serie fenologica.

Nello stesso periodo hanno spiegato le foglie anche le altre specie osservate. È interessante notare che l'anticipo nello spiegamento delle foglie degli ippocastani e dei larici è stato di soli 6–7 giorni. Lo spiegamento degli aghi degli abeti rossi e la fioritura delle margherite sono iniziati a partire dalla metà

di aprile. Lo sviluppo degli abeti rossi è avanzato con circa due giorni di anticipo per ogni 100 metri di quota, mentre quello delle margherite con tre giorni per ogni 100 metri di quota. Entrambi hanno avuto un anticipo medio di 10–14 giorni rispetto al periodo di riferimento. L'anticipo è stato grossomodo lo stesso per tutte le quote.

Estate

L'estate fenologica è iniziata con la fioritura del sambuco nero, con un anticipo di 15 giorni rispetto alla media del periodo di riferimento 1981–2010. Sambuchi in fiore sono stati osservati a partire dalla fine di aprile più o meno contemporaneamente al Nord delle Alpi e in Ticino. Nella maggior parte dei casi tale inizio è avvenuto a partire dal 10 maggio. Anche la fioritura del sambuco quest'anno è risultata tra le più precoci dall'inizio delle osservazioni.

Le condizioni meteorologiche ideali per la fienagione si sono avute dal 6–8 maggio, dal 17–22 maggio e dal 25–31 maggio. Alla prima scadenza il fieno è stato tagliato soprattutto sull'Altopiano, mentre alle due successive si è potuto falciare il fieno anche oltre i 1000 m slm. Alle quote più elevate il fieno è stato tagliato a partire dal 19 giugno. In generale la fienagione è avvenuta con otto giorni di anticipo rispetto alla media.

La fioritura della vite è stata osservata tra la fine di maggio e l'inizio di giugno, con un anticipo di 13 giorni rispetto alla media. I tigli nostrani e i tigli selvatici sono fioriti in giugno con un anticipo di otto giorni. Un anticipo analogo di 8–9 giorni è stato riscontrato anche per la maturazione dei frutti del sambuco rosso (14.6.–2.8.), del sambuco nero (1.8.–10.9.) e del sorbo degli uccellatori (13.7.–1.9.).

Autunno

In settembre è stata osservata soprattutto la colorazione delle foglie del sorbo degli uccellatori, dell'ippocastano e delle prime betulle. Tra le altre latifoglie la colorazione delle foglie è avvenuta solo per singoli esemplari in settembre. Tuttavia, con l'arrivo del primo freddo a partire dal 25 settembre, le foglie si sono colorate rapidamente. La colorazione delle foglie dei faggi è stata osservata nella prima metà di ottobre a tutte le quote elevate e nella seconda metà del mese per lo più alle quote più basse. Fatto curioso le tre stazioni situate alle quote più alte (oltre i 1250 m slm) in cui sono presenti esemplari di faggio si sono comportate come le stazioni di bassa quota. Mediata su tutte le stazioni la loro colorazione delle foglie

dei faggi è avvenuta con un leggero ritardo con una distribuzione da -3 a +7 giorni (valori riferiti al 25 e al 75 percentile).

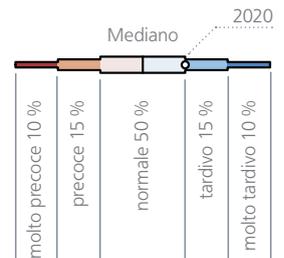
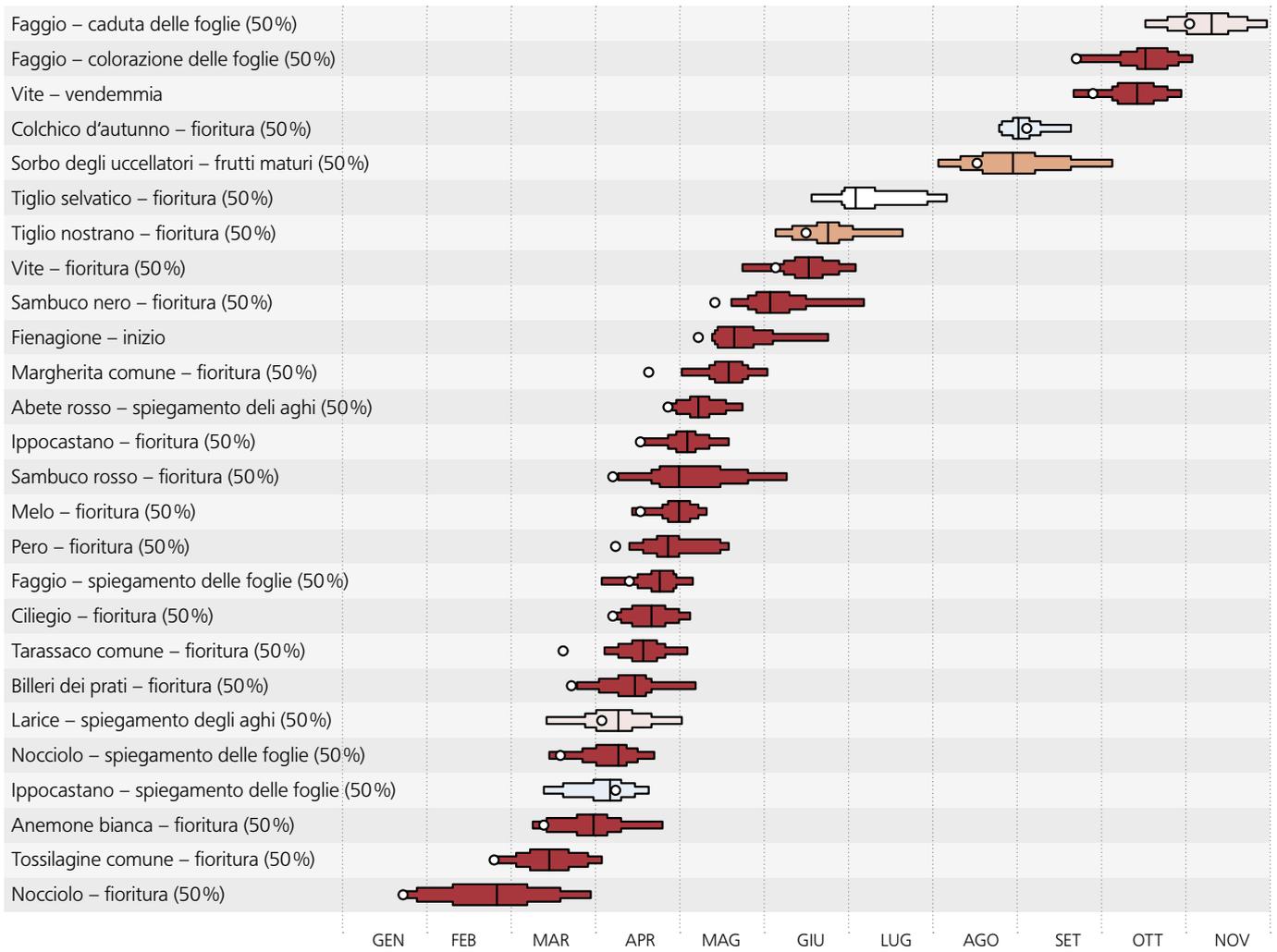
La colorazione delle foglie delle altre latifoglie è stata molto simile, alle quote più alte l'anticipo è stato solo di pochi giorni rispetto alle quote più basse. La colorazione delle foglie dei sorbi degli uccellatori e degli aceri montani ha avuto un ritardo medio di 5–6 giorni, quella delle betulle e dei tigli di 0–2 giorni. Ad approfittare delle temperature elevate in settembre sono stati soprattutto gli esemplari alle quote più alte – in questo caso la colorazione delle foglie non è avvenuta, come di solito, già in settembre o all'inizio di ottobre.

Al di sopra dei 1000 m slm i larici si sono colorati dal 10 ottobre al 6 novembre mentre più in basso circa da metà ottobre a metà novembre, con la fase principale a partire dagli ultimi giorni di ottobre. Quindi anche la colorazione degli aghi dei larici è avvenuta con un leggero ritardo, sui tre giorni. Nelle stazioni dell'Alta Engadina il ritardo è stato addirittura di 8–19 giorni ed essa è stata osservata dal 14–27 ottobre.

Al di sopra dei 1000 metri le foglie dei faggi hanno iniziato a cadere in media il 27 ottobre e al di sotto dei 600 metri il 31 ottobre, esattamente in linea con la media del periodo di riferimento. Sopra i 1000 metri la caduta degli aghi dei larici si è iniziata ad osservarla il 13 novembre e sotto i 600 metri il 23 novembre. Per il 39 % delle stazioni, queste date possono essere classificate come tardive o molto tardive, per un altro 39 % come normali.

Figura 2.15

Il calendario fenologico del 2020 di Rafz. Le barre mostrano la distribuzione statistica delle diverse fasi fenologiche osservate per il periodo di riferimento 1981–2010, mentre i piccoli cerchi bianchi indicano la data dell'osservazione della relativa fase nel 2020. Se per il 2020 manca l'osservazione o essa coincide esattamente con la mediana, il periodo di riferimento rimane bianco.



Stagione pollinica

Nel 2020 la stagione pollinica è stata caratterizzata da concentrazioni molto elevate durante la fioritura di piante e arbusti e in molte stazioni è stata tra le più intense dall'inizio delle misurazioni delle concentrazioni di polline. La stagione pollinica delle singole specie è iniziata molto presto e in molti casi è risultata più lunga rispetto alla norma. Solo le concentrazioni di polline dell'artemisia e dell'ambrosia sono state inferiori alla media. L'eccezionalità della stagione pollinica è da attribuire alle condizioni meteorologiche: l'inverno più caldo e la terza primavera più calda dall'inizio delle misurazioni nel 1864 hanno anticipato lo sviluppo della vegetazione, mentre l'ampio soleggiamento e la scarsità di precipitazioni hanno favorito la liberazione del polline. Di seguito la stagione pollinica 2020 è confrontata con la media del periodo di 25 anni, dal 1993 al 2017.

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

meteosvizzera.admin.ch/home/clima/il-clima-svizzera-nei-dettagli/stagione-pollinica.html

Inizio della stagione pollinica

A Lugano, il polline di nocciolo è stato osservato già prima di Natale. Le concentrazioni di polline sono risultate forti già a partire da Capodanno. A Lugano un aumento ancora più precoce di questo polline era stato osservato solamente il 29 dicembre 2015. Anche al Nord delle Alpi la stagione del polline di nocciolo è iniziata molto presto. Le concentrazioni misurate sono state moderate a partire dal 9 gennaio e forti tra il 14 e il 17 gennaio. In 4 stazioni il passaggio allo stadio delle forti concentrazioni è stato il più precoce del periodo di riferimento 1993–2017, in altre quattro stazioni il secondo più precoce. In media esso è avvenuto con 27 giorni di anticipo rispetto alla media.

L'inizio della stagione pollinica dell'ontano ha avuto un anticipo di poco più di due settimane. In Ticino forti concentrazioni di polline di ontano sono state rilevate a partire dal 28 gennaio e al Nord delle Alpi dall'inizio di febbraio. Nel 2020 gli ontani purpurei (*Alnus x spaethii*) piantati in alcune città sono fioriti con particolare anticipo. A Buchs SG questa specie di ontano hanno fatto registrare forti concentrazioni di polline già il 18 dicembre. Questo tipo di polline non è mai stato rilevato con così tanto anticipo, anche se le osservazioni risalgono solo al 2011.

A Ginevra, Lugano e Locarno l'inizio della stagione pollinica dei frassini è stato il più precoce dall'inizio delle misurazioni. In Ticino sono state registrate concentrazioni moderate a partire dal 20–22 febbraio (con un anticipo di 18–20 giorni rispetto alla media) e a Ginevra a partire dal 24 febbraio (con un anticipo di 25 giorni rispetto alla media), anche se il polline di frassino non proviene da esemplari in loco, bensì è stato trasportato dai forti venti sud-occidentali provenienti dalla Francia. Anche il primo giorno con una forte dispersione di polline di frassino è risultato molto precoce: il 24 febbraio in Ticino e dall'8 al 19 marzo al Nord delle Alpi. In Ticino si è trattato dell'aumento più precoce mai misurato ed è stato rilevato con un anticipo di 21–22 giorni rispetto alla media. Il secondo aumento più precoce è stato misurato a Ginevra, Losana, Lucerna, Visp e Zurigo, con 12–18 giorni di anticipo rispetto alla media.

In tutta la Svizzera la stagione pollinica della betulla è iniziata tra il 18 e il 22 marzo. Al Nord delle Alpi è risultata 10–15 giorni più precoce della media su 25 anni del periodo di riferimento 1993–2017; in Ticino 5 giorni in anticipo. A Lucerna si è trattato dell'inizio più precoce mai misurato (i dati risalgono al 1989), a Berna, Buchs, Losanna e Zurigo del secondo più precoce del periodo di riferimento.

In Ticino il primo polline delle graminacee è stato rilevato in marzo, circa un mese in anticipo rispetto alla media del periodo di 25 anni 1993–2017. In aprile il polline delle graminacee è stato misurato regolarmente anche a nord delle Alpi, con due o tre settimane di anticipo rispetto alla norma. Nella maggior parte delle stazioni la data di inizio della stagione pollinica delle graminacee è stata tra le tre più precoci del periodo di riferimento.

Generalmente l'inizio della stagione pollinica dell'artemisia e dell'ambrosia non varia molto, perché la data è determinata anche dalla durata del giorno. Nel 2020 a Visp la stagione pollinica dell'artemisia è iniziata il 16 luglio, con quattro giorni di anticipo rispetto alla norma.

L'inizio molto precoce della stagione dei diversi tipi di polline non stupisce. La temperatura nel mese o nei due mesi precedenti l'inizio della stagione pollinica è infatti determinante per la data della fioritura delle diverse specie e l'inverno 2019/2020 è stato il più caldo e la primavera 2020 la terza più calda dall'inizio delle misurazioni nel 1864. Negli ultimi anni la stagione pollinica del nocciolo è iniziata spesso già in gennaio e quella delle graminacee già in aprile.

Durata della stagione pollinica

Nel 2020 la stagione del polline di nocciolo è stata da una a due settimane più lunga rispetto alla media, benché dopo un inizio precoce tra il 9 e il 24 febbraio si sia conclusa un po' prima della norma. La stagione del polline di betulla è durata mediamente 29 giorni, situandosi attorno alla media. La stagione del polline di frassino è invece durata molto a lungo: in Ticino si è protratta per quasi sette settimane, la durata più lunga dall'inizio delle misurazioni nel 1989; a nord delle Alpi essa è durata da 4–5 settimane e in alcune stazioni è risultata la seconda più lunga dall'inizio delle misurazioni del polline.

In tutte le stazioni la stagione pollinica delle graminacee è stata più lunga rispetto alla norma. A dipendenza della stazione, il periodo con una forte concentrazione di polline è durato tra 62 e 89 giorni. A Zurigo e a Münsterlingen non è mai stata misurata una stagione così lunga. In alcune stazioni della Svizzera tedesca si sono registrate forti concentrazioni di polline delle graminacee fino alla fine di luglio e a Locarno fino all'inizio di luglio, ovvero tre settimane più a lungo rispetto alla norma.

A Visp il periodo in cui sono state misurate concentrazioni elevate di artemisia è durato dal 16 luglio al 3 settembre, ovvero un po' più a lungo della norma, anche a causa dell'inizio più precoce. A causa della presenza irregolare dell'ambrosia sul territorio è ancora difficile definire una stagione pollinica di riferimento per questa specie. Concentrazioni moderate sono state registrate per la prima volta l'8 agosto, l'ultima volta il 19 settembre.

Intensità della stagione pollinica

Il tempo soleggiato e spesso asciutto durante la stagione pollinica degli alberi e degli arbusti ha favorito la liberazione dei pollini. Nel 2020 la dispersione del polline durante il principale periodo di fioritura è stata interrotta solo raramente da giorni di pioggia. In tutte le stazioni di misura è pertanto stato registrato un numero sensibilmente superiore di giorni con un forte carico di polline di nocciolo, ontano, betulla e frassino. L'elevata concentrazione di polline è stata favorita anche dal fatto che gli alberi hanno prodotto moltissimi fiori.

La stagione pollinica del nocciolo è stata particolarmente forte in Ticino. A Locarno si è trattato della più intensa dall'inizio delle misurazioni nel 1989. Sono stati rilevati 38 giorni con un forte carico di polline, 24 giorni in più rispetto alla media. Anche a Lugano sono stati registrati 30 giorni con concentrazioni forti, 18 giorni in più rispetto alla media. Al Nord delle Alpi i giorni con un elevato tasso di polline di nocciolo

sono stati tra 5–13. A Ginevra e a Visp nel 2020 la stagione pollinica del nocciolo è risultata la terza più intensa dall'inizio delle misurazioni dei pollini.

La stagione pollinica dell'ontano è stata molto forte nella Svizzera occidentale, dove la stazione di Ginevra ha registrato la stagione più intensa mai misurata (dal 1989). Si sono contati 17 giorni con una forte presenza di questo polline. Nella Svizzera tedesca l'intensità della stagione pollinica dell'ontano è invece risultata nella media.

Al Nord delle Alpi anche la stagione pollinica della betulla è stata una delle più intense mai misurate. A Berna, Zurigo, La Chaux-de-Fonds, Neuchâtel e Ginevra la somma stagionale delle concentrazioni giornaliere è stata particolarmente elevata. Al Nord delle Alpi si sono registrati da 17–27 giorni con concentrazioni elevate, in Ticino 23 giorni e a La Chaux-de-Fonds addirittura 30 giorni (21 giorni in più della media).

Per molte stazioni il numero di giornate con forti concentrazioni di polline di frassino rientra tra i tre più elevati del periodo di riferimento. Il maggior numero di giorni con concentrazioni forti è stato registrato a Ginevra (33 giorni, 20 in più della media), Visp (33 giorni), Locarno (28 giorni) e Zurigo (26 giorni); in queste ultime tre stazioni sono stati contati 15 giorni in più della media. Per le altre stazioni di misura questo numero è oscillato tra 13 e 22 giorni. Solamente a Davos non sono mai state misurate concentrazioni elevate, fatto che è da considerarsi come normale. Anche la fioritura delle querce e dei faggi è stata estremamente forte in aprile; nella metà delle stazioni la somma stagionale delle concentrazioni giornaliere del 2020 è risultata tra le due più alte dall'inizio della misurazione dei pollini.

Nella Svizzera tedesca e in Ticino l'intensità della stagione pollinica delle graminacee è stata sensibilmente più forte della media, mentre nella Svizzera francese è risultata intorno alla media. Livelli molto elevati di polline di graminacee sono stati registrati soprattutto nella seconda metà di maggio. Tuttavia, le concentrazioni massime osservate sono risultate attorno alla media o anche leggermente al di sotto di essa. Nella Svizzera centrale e orientale le concentrazioni di polline di graminacee sono state forti per 43–59 giorni, tra 11 e 20 giorni oltre la media. Anche a Locarno si è misurato un numero nettamente superiore di giorni con concentrazioni elevate (29 giorni, 20 giorni in più della media), mentre a Lugano ne sono stati contati solo 10. Nella Svizzera romanda, a Visp e a Basilea, sono stati contati tra 22 e 31 giorni con concentrazioni elevate, mentre a Davos 12, il doppio del normale.

A Visp la somma stagionale delle concentrazioni giornaliere del polline di artemisia è stata leggermente inferiore alla

media, situandosi ancora nella norma. Nelle altre stazioni di misura la stagione pollinica dell'artemisia è stata debole. Negli ultimi 30 anni al Nord delle Alpi e in Ticino l'intensità della stagione pollinica dell'artemisia è diminuita in molte stazioni.

A Ginevra le concentrazioni del polline di ambrosia sono state più deboli del normale. Sono state misurate concentrazioni elevate solamente per quattro giorni, due giorni in meno della norma. Anche in Ticino la stagione pollinica dell'ambrosia è stata debole. A Lugano sono stati registrati quattro giorni con forti concentrazioni (sei giorni in meno della media) e a Locarno tre giorni (tre giorni in meno della media). Dal 2013 in Ticino si misurano concentrazioni sensibilmente inferiori di polline a causa del diffondersi nel Nord Italia e in Ticino di un insetto fitofago (*Ophraella communa*). La maggior parte

dei pollini di ambrosia sono stati trasportati in Svizzera dai venti sudoccidentali provenienti dalle regioni francesi e italiane ricche di ambrosia. Questo intenso trasporto di polline ha avuto luogo tra il 25 e il 28 agosto. A Buchs e a Münsterlingen, località molto distanti dalle regioni francesi da cui questo polline proviene, sono state misurate concentrazioni elevate per due giorni, fatto non abituale per la Svizzera tedesca dove normalmente si registra a mala pena un giorno con concentrazioni elevate.

Poiché durante il lockdown dovuto alla pandemia la stazione di misura di Lucerna non è stata in funzione dal 7 aprile all'11 maggio, mancano le misure di diverse specie di polline. Durante la stagione pollinica delle graminacee la stazione di Losanna ha avuto più volte problemi tecnici.

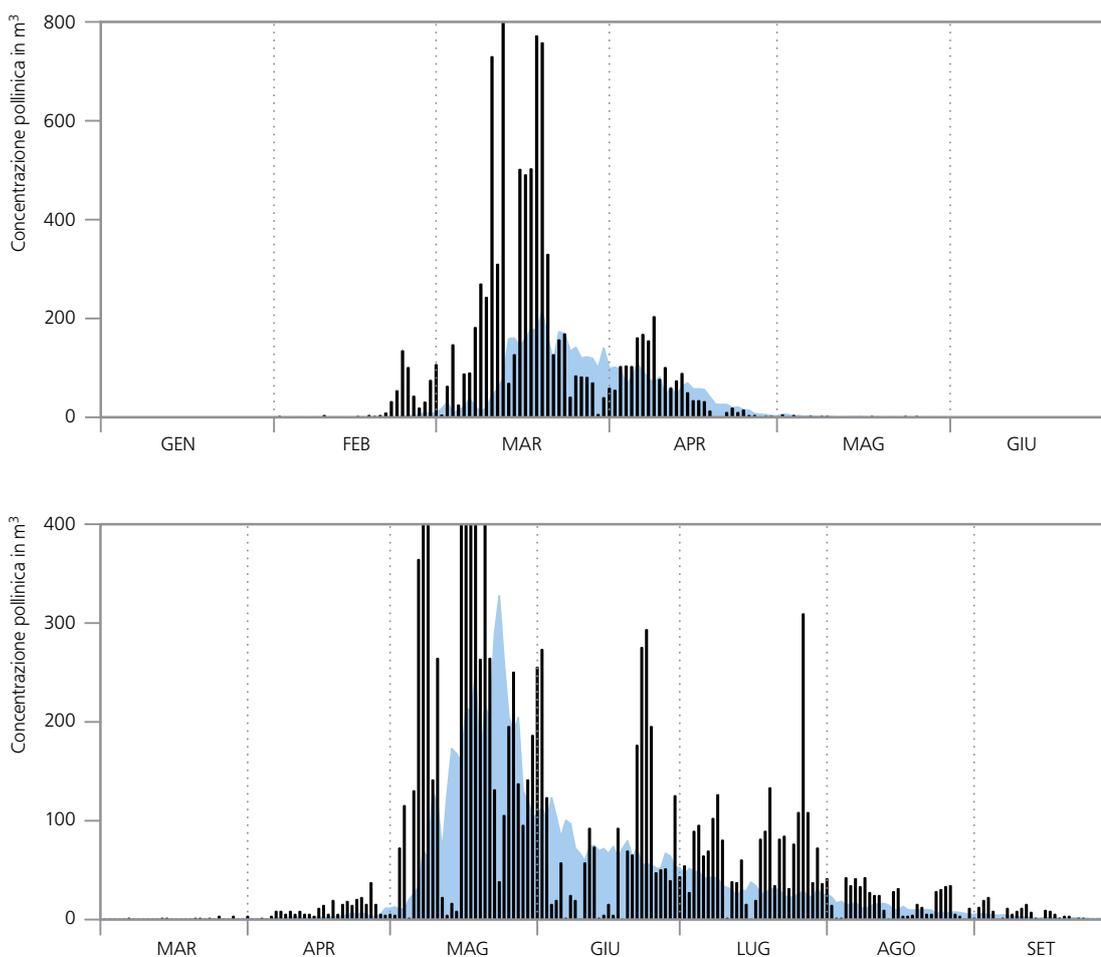


Figura 2.16

Andamento della stagione 2020 del polline di frassino a Locarno (in alto) e del polline delle graminacee a Buchs SG (in basso) paragonato alla media su 25 anni del periodo 1993–2017 (in turchese). La stagione del polline di frassino a Locarno non è mai iniziata così presto come nel 2020 ed è stata molto lunga. A Buchs si trovano già in aprile regolarmente polline delle graminacee nell'aria. Il polline delle graminacee ha raggiunto concentrazioni elevate fino alla fine di luglio. L'intervallo delle ordinate (concentrazione di polline) è stato limitato a 800, risp. 400 polline/ m^3 , in modo da mostrare anche i valori bassi, importanti per le persone che soffrono di allergie.





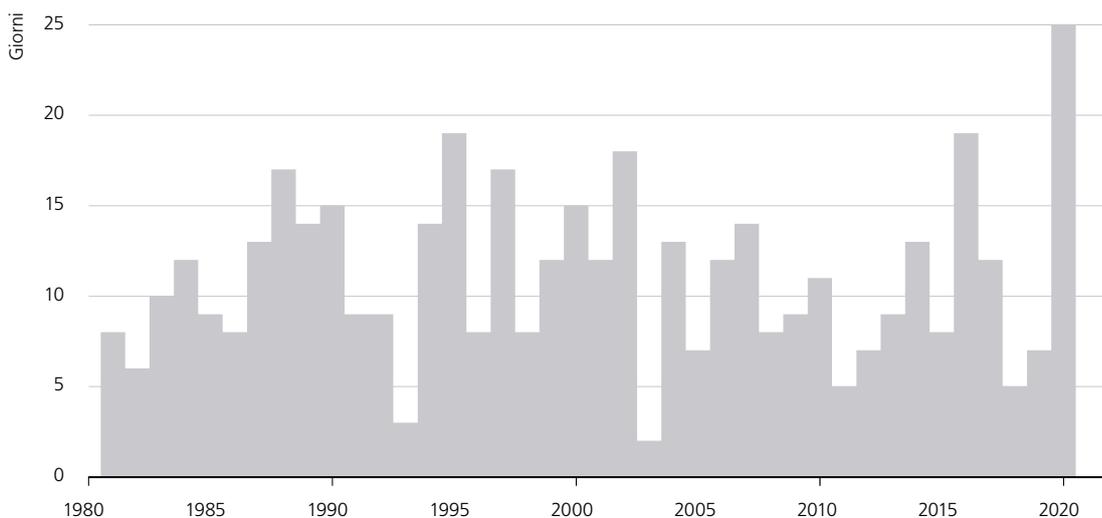
3 | Particolarità del 2020

3.1 Febbraio tempestoso

Il mese di febbraio 2020 è stato insolitamente tempestoso. Sul Sântis e sul Chasseral sono stati registrati 25 giorni tempestosi, cioè con raffiche di vento di 75 km/h o più. Per entrambe queste stazioni di misura e per alcune località nord-

alpine alle basse quote si è trattato del mese di febbraio più tempestoso dall'inizio delle misure nel 1981. Ad esempio a Zurigo-Kloten si sono verificate otto giornate tempestose, a Wädenswil sette.

Figura 3.1
Numero di giornate tempestose, cioè con raffiche di vento pari o superiori a 75 km/h, sul Sântis dall'inizio delle misure nel 1981.

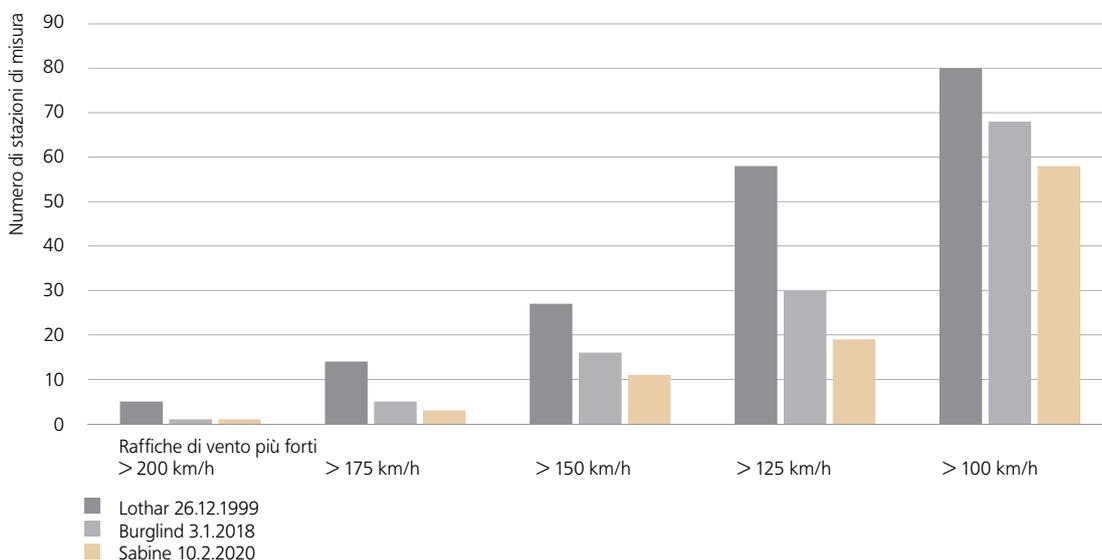


Forte tempesta invernale Sabine

Nella prima metà di febbraio tre tempeste invernali hanno colpito la Svizzera: Petra il giorno quattro, Sabine il dieci e Tomris fra il 13 e il 14. La più intensa è stata Sabine il 10 febbraio, quando sull'Altopiano le raffiche hanno raggiunto diffusamente i 90–120 km/h, sul Giura i 140–160 km/h e in alta montagna i 160–200 km/h. Le tempeste Lothar di dicembre 1999 e Burglind di gennaio 2018 erano tuttavia state molto più intense.

Tretr'anni fa la tempesta invernale Vivian del 27 febbraio 1990 fu d'intensità paragonabile a quella di Lothar. Allora, però, non erano disponibili molte stazioni di misura del vento, quindi un confronto quantitativo con Lothar non è possibile.

Figura 3.2
Confronto fra la frequenza di raffiche superiori alle soglie indicate durante le tempeste invernali Sabine, Burglind e Lothar per 114 stazioni di misura disponibili in tutti e tre i casi.



3.2 Siccità estrema

La Svizzera ha registrato uno dei mesi di aprile più caldi e, a nord delle Alpi, anche uno dei più soleggiati dall'inizio delle misurazioni nel 1864. Di conseguenza è caduta pochissima pioggia. Fino al 27 aprile, la media nazionale delle precipitazioni ha raggiunto solo il 12 % della norma 1981–2010. Con un valor medio nazionale di aprile di poco meno di 100 mm, questo corrisponde a 12 mm e quindi a circa un solo giorno di precipitazioni. Con le piogge della fine del mese, il totale delle precipitazioni è salito al 50 % della norma 1981–2010.

Siccità persistente

Durante le prime tre settimane di aprile sull'Altopiano, sulla Svizzera settentrionale e nordoccidentale non è mai piovuto. La siccità persistente non ha tuttavia riguardato solo il mese di aprile, ma era già presente a marzo. Con 43 giorni senza precipitazioni, a Ginevra è stato misurato il periodo secco più lungo dall'inizio delle misure. Il primato precedente era detenuto da gennaio e febbraio 1896, quando non furono misurate precipitazioni per 41 giorni.

A nord delle Alpi uno dei periodi secchi più lunghi si è verificato a Neuchâtel con 52 giorni, dal 19 marzo al 9 maggio 1893. Per le altre stazioni con serie di misura lunghe più di 100 anni, i periodi secchi sono durati al massimo 45 giorni.

A sud delle Alpi i periodi secchi sono più frequenti che al nord. Periodi secchi più lunghi di un mese si verificano con una certa regolarità, mediamente uno ogni due anni e mezzo. In passato si sono verificati periodi secchi anche molto lunghi, ad esempio da dicembre 1988 a febbraio 1989 non cadde una goccia per ben 63 giorni a Locarno e 77 giorni a Lugano.

Precipitazioni scarse a sud delle Alpi

A sud delle Alpi nei primi quattro mesi dell'anno 2020 le precipitazioni sono risultate molto scarse. Al contrario, nei tre mesi precedenti da ottobre a dicembre 2019 erano state registrate precipitazioni abbondanti. Sia nel 2019 sia nel 2020 i mesi che hanno visto totali di precipitazione inferiori alla norma 1981–2010 sono stati più numerosi rispetto ai mesi in cui è piovuto più del normale.

La somma delle precipitazioni da gennaio ad aprile mediata sulle stazioni di Locarno Monti e Lugano ha raggiunto il 48 % della norma 1981–2010. Negli ultimi decenni un primo quadrimestre dell'anno così povero di precipitazioni si verifica in media ogni 5–10 anni.

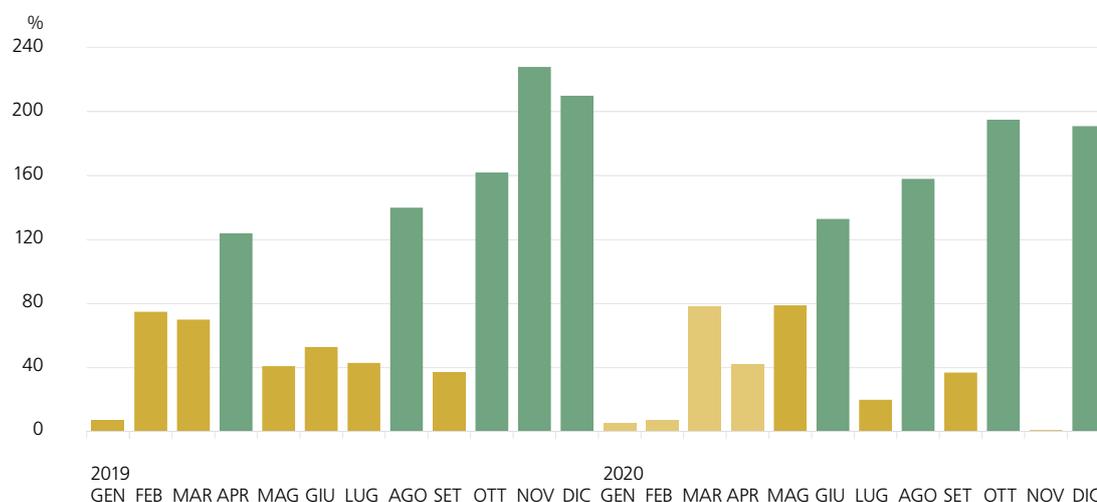


Figura 3.3

Somma mensile di precipitazioni nel 2019 e 2020 a Locarno-Monti espressa come percentuale rispetto alla norma 1981–2010. Valori superiori alla norma sono rappresentati in verde (> 100 %), valori inferiori alla norma in marrone (< 100 %). Il marrone chiaro indica il periodo siccitoso da gennaio ad aprile 2020.

3.3 Maltempo a fine agosto

Fra il 28 e il 30 agosto una corrente persistente sudoccidentale ha sospinto aria calda e umida verso il pendio sudalpino. Tra il 28 e il 29 agosto in Ticino e nelle regioni limitrofe del Canton Grigioni si sono verificate forti precipitazioni a carattere temporalesco. Tra il 29 e il 30 agosto le forti precipitazioni hanno interessato anche il versante nordalpino orientale. Responsabile delle forti precipitazioni è stata una piccola depressione che dal Golfo di Genova si è spostata verso nordest.

Piogge intense al Sud

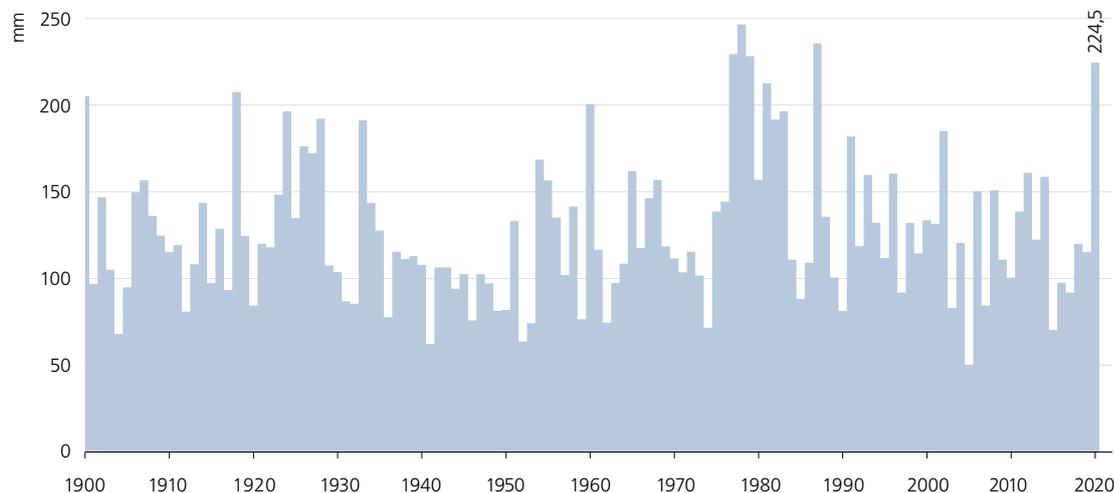
Sul versante sudalpino, nell'arco di due giorni tra il 28 e il 30 agosto sono stati misurati accumuli di pioggia diffusamente oltre i 150 mm, con punte nella Valle Maggia localmente oltre i 260 mm. Nelle regioni adiacenti situate nel nord e centro dei Grigioni sono caduti nello stesso periodo tra 90 e 140 mm di pioggia. In alcune stazioni gli accumuli sui due giorni sono stati superiori alla media dell'intero mese di agosto. Il Mendrisiotto e la bassa Val Poschiavo sono stati invece toccati solo marginalmente dall'evento, con quantitativi compresi tra 40 e 100 mm.

Piogge intense come non si verificavano da tempo

Dal punto di vista climatologico, gli accumuli registrati nell'arco di due giorni durante l'evento di fine agosto non sono rari. In buona parte delle regioni del Sud delle Alpi e del Nord e centro dei Grigioni si tratta di quantitativi di pioggia che si osservano con una frequenza di meno di dieci anni. Solo localmente sono stati rilevati accumuli che si ripetono in media ogni 10–25 anni.

L'intensità delle piogge verificatesi il 29 agosto 2020 è stata comunque degna di nota a livello locale. La stazione di misura di Cevio, che si trova al centro di una regione spesso interessata da forti piogge, ha registrato in sole 24 ore 224,5 mm di pioggia. A Cevio accumuli simili sono stati registrati l'ultima volta più di trent'anni fa nel 1987, un anno ricordato per le sue due storiche alluvioni. Il 18 luglio 1987 si registrarono infatti 222,7 mm, il 24 agosto 1987 ben 235,6 mm di pioggia. In seguito accumuli simili non sono più stati misurati.

Figura 3.4
Valori annuali più elevati
della precipitazione giornaliera a Cevio dall'inizio
delle misure nel 1900.



3.4 Maltempo a inizio ottobre

Il 2 ottobre una bassa pressione in prossimità della Bretagna, Brigitte, ha instaurato una forte corrente sudoccidentale sulle Alpi, convogliando verso il pendio sudalpino aria umida dal Mediterraneo. Nell'attraversare la catena alpina, essa ha riversato su alcune località ingenti quantitativi di precipitazione. Le piogge più intense si sono verificate a sud delle Alpi e lungo la cresta alpina occidentale e centrale. Il vento da sud a tratti ciclonico ha sospinto le precipitazioni fino all'Oberland bernese e alla Svizzera centrale, dove sono stati misurati quantitativi di pioggia considerevoli.

Precipitazioni estreme

A sud delle Alpi e nelle regioni limitrofe dal Vallese al Gottardo al nord dei Grigioni la pioggia giornaliera ha raggiunto i 100–250 mm, ma nel Ticino occidentale sono stati misurati fino a 400 mm. Il valore più elevato è stato registrato a Camedo con 421 mm.

Valori così elevati di precipitazione giornaliera vengono registrati solo raramente. Nelle regioni che sono state maggiormente interessate da questo evento, simili quantitativi di pioggia vengono misurati solamente ogni 10–30 anni, nel triangolo Sempione-Gottardo-Locarno addirittura ogni 50 anni o più (vedi cap. 2 Precipitazioni intense eccezionali).

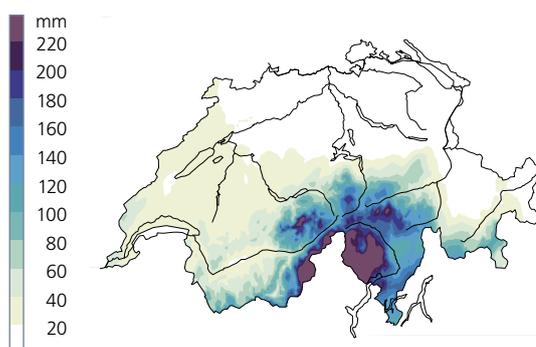


Figura 3.5
Precipitazione giornaliera del 2 ottobre 2020, dalle ore 6 alle ore 6 UTC del giorno seguente.

Valori da record

Per due stazioni di misura con 120 anni di dati si è trattato di precipitazioni giornaliere da record: Binn nell'Alto Vallese ha registrato 259 mm, Sedrun nella valle del Reno Anteriore 145 mm. Il record precedente a Binn risale all'ottobre 2000 con 226 mm, a Sedrun a maggio 2002 con 126 mm.

Altre due stazioni di misura con serie storiche lunghe 120 anni hanno misurato il secondo valore più elevato di pioggia giornaliera: Camedo con i già menzionati 421 mm e Mosogno con 373. A Camedo il record è di 455 mm ed è stato misurato nell'agosto 1935, a Mosogno di 412 mm e risale a settembre 1983.

Scirocco

Oltre agli elevati quantitativi di precipitazione, all'interno delle forti correnti sudoccidentali che hanno soffiato sulle Alpi tra il 2 e il 3 ottobre si è sviluppata anche una tempesta di scirocco, con raffiche che alle basse quote del versante sudalpino hanno raggiunto i 70–100 km/h.

In montagna e nelle vallate nordalpine interessate dal favonio sono state misurate raffiche ancora più forti, di intensità compresa tra 120 e 160 km/h. Sul Gütsch (2286 m) il vento ha raggiunto i 169 km/h mentre sul Matro (2171 m) i 181 km/h. Per quest'ultima stazione di misura si tratta della seconda raffica di vento più forte dall'inizio delle misure nel 1993. Per quanto riguarda le vallate nordalpine, la raffica più forte è stata misurata a Elm con 159 km/h, il valore più elevato dall'inizio delle misure nel 1997.

Anche se le raffiche di vento hanno raggiunto velocità cicloniche, esse sono state molto meno eccezionali rispetto ai quantitativi di precipitazione misurati. Per la maggior parte delle località interessate dal forte vento, raffiche di intensità pari a quella misurata si verificano mediamente ogni 1–3 anni, a livello locale ogni 3–10 anni.





4| Andamento meteorologico e climatico globale

Con una deviazione rispetto alla norma 1961–1990 di $+0.8\text{ °C}$, l'anno 2020 ha chiuso la decade più calda dall'inizio delle misure. A livello globale il 2020 è stato il secondo anno più caldo dopo il 2016, nonostante una fase piuttosto fresca con La-Niña a partire dal mese di agosto. Gli anni dal 2014 al 2020 sono i sette più caldi nel data set dell'Università dell'East Anglia. La sintesi riportata di seguito si basa principalmente sul rapporto annuale sullo stato del clima dell'Organizzazione meteorologica mondiale (OMM) [9] e sul Global Climate Report della National Oceanic and Atmospheric Association NOAA) [10].

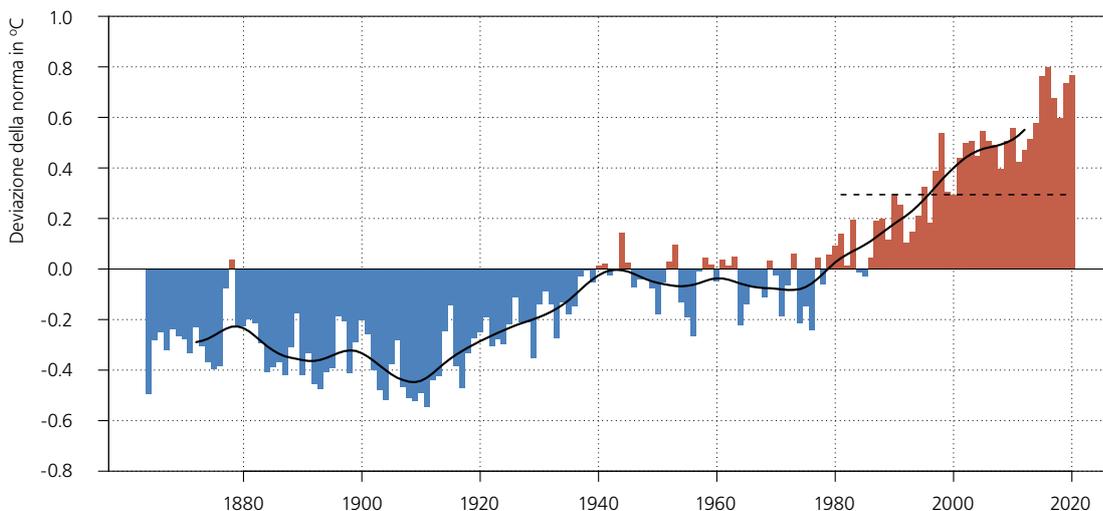
4.1 Secondo anno più caldo in tutto il mondo

Nel set di dati dell'istituto accademico inglese University of East Anglia, il 2020 risulta il secondo anno più caldo, dopo il 2016 e prima del 2015 e del 2019, con uno scarto della temperatura globale di $+0.8\text{ °C}$ rispetto alla norma 1961–1990 (fig. 4.1). Rispetto al periodo normale 1981–2010, la deviazione è stata di $+0.5\text{ °C}$. Gli ultimi sette anni, a partire dal 2014, sono stati i più caldi in assoluto. Dall'inizio delle misure sistematiche non si era mai verificata una decade così calda come quella dal 2011 al 2020.

In molte regioni del mondo il 2020 è stato l'anno più caldo o il secondo anno più caldo dall'inizio delle misurazioni. Per tutte le terre emerse più grandi, con l'eccezione dei Northwest Territories canadesi, dell'Alaska e dell'India settentrionale, la temperatura media del 2020 è stata superiore rispetto al trentennio di riferimento 1961–1990. Lo scarto dalla norma è risultato particolarmente alto in gran parte della Russia ($+3\text{ °C}$ e più) e in Europa ($+2/+3\text{ °C}$). Sopra il Pacifico orientale equatoriale la temperatura normale è stata in generale leggermente inferiore alla norma a causa delle condizioni La Niña presenti a partire da metà anno.

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 1981–2010.

Dati: University of East Anglia, 2020 [11], nuovo set di dati HadCRUT4.6.0.0.



Secondo il set di dati dell'University of East Anglia [11], la variazione complessiva della temperatura globale (terre emerse e oceani) tra i due periodi di riferimento 1871–1900 e 1981–2010 ammonta a $+0.60\text{ °C}$. La temperatura media

globale è di circa 15 °C . L'andamento globale pluriennale delle temperature, con il ripetersi di anni molto caldi negli ultimi tempi, si rispecchia anche nella serie delle temperature registrate in Svizzera (Figura 5.3).

4.2 El Niño e La Niña

Come già i due anni precedenti, anche il 2020 è stato un anno molto caldo con condizioni piuttosto neutre o addirittura con condizioni La Niña. 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, rispettivamente El Niño Southern Oscillation (ENSO), è uno dei principali fattori che causa 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.

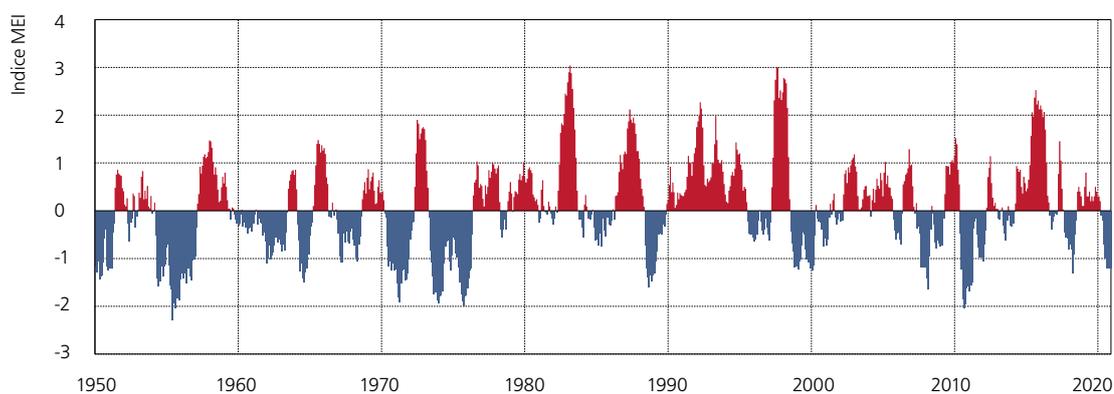


Figura 4.2

Multivariate El Niño Southern Oscillation Index (MEI) 1950–2020. 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 [12].



4.3 Eventi particolari

Per i Paesi europei il 2020 è stato l'anno più caldo o il secondo anno più caldo dall'inizio delle misurazioni sistematiche. In agosto l'Europa occidentale è stata toccata da una significativa ondata di caldo con nuove temperature record nella Francia settentrionale e nei Paesi Bassi. La stazione di misura olandese di De Bilt ha registrato per la prima volta otto giorni consecutivi con più di 30 °C. In settembre il gran caldo si è spostato nella regione del Mediterraneo orientale. Il 4 settembre 2020 a Gerusalemme ed Eilat sono stati misurati nuovi record assoluti della temperatura con rispettivamente 42,7 °C e 48,9 °C.

Nel 2020 l'Europa è stata di nuovo interessata anche dalla siccità, ma non così marcata come nei due anni precedenti. Nell'Europa centrale e orientale il mese di aprile è stato estremamente povero di precipitazioni. La Romania e la Bielorussia sono state toccate dalla più grave siccità mai registrata in aprile, la Germania e la Repubblica Ceca hanno sperimentato il secondo aprile più asciutto dall'inizio delle misurazioni.

Anche molti altri luoghi del mondo hanno subito ondate di caldo e periodi di siccità, come ad es. le regioni interne del Sudamerica, i Caraibi e il Messico o la Siberia. Nel continente sudamericano sono stati toccati soprattutto l'Argentina settentrionale, il Paraguay e le zone prossime al confine occidentale del Brasile, dove l'agricoltura ha subito enormi danni a causa della siccità. A Cuba il 12 aprile 2020 è stato stabilito un nuovo record nazionale della temperatura con 39,7 °C a Veguitas. Lo stesso giorno in Messico è stata raggiunta una temperatura di 48,8 °C. In Russia i valori più alti sono stati registrati in giugno. A Verkhojansk sono stati misurati 38,0 °C, che secondo le attuali informazioni e verifiche corrispondono alla temperatura più alta mai registrata a nord del Circolo polare artico. Non solo in Siberia, ma anche negli Stati Uniti occidentali e in Australia la siccità ha provocato incendi di boschi e cespugli eccezionalmente estesi e distruttivi. Il 16 agosto 2020 nella Valle della Morte (Death Valley) il caldo estremo ha fatto registrare una temperatura di 54,4 °C, il valore più alto mai registrato al mondo negli ultimi 80 anni. In Australia la prolungata siccità, che si protrae dal 2017, nel 2020 ha di nuovo provocato estesi incendi boschivi.

In Sudamerica l'inverno è stato freddo. In agosto in alcune località del Paraguay sono stati stabiliti alcuni nuovi record di freddo. Inoltre in Patagonia si è accumulato il secondo strato di neve più alto dal 2000. In altri luoghi l'inverno è stato relativamente mite e il manto nevoso particolarmente sottile, come ad es. nell'Europa settentrionale.

Nel 2020 sono state soprattutto l'Asia e l'Africa ad essere interessate da gravi inondazioni. Nel Corno d'Africa le precipitazioni sono state superiori alla media da marzo a maggio. Nella zona del Sahel tra il Senegal e il Sudan il monsone estivo ha portato più precipitazioni della norma. Le inondazioni associate hanno mietuto molte vittime, dovute direttamente alla violenza delle masse d'acqua e indirettamente al diffondersi di malattie.

In India la stagione dei monsoni 2020 è stata tra le più forti dal 1994. Le intense precipitazioni e inondazioni hanno causato oltre 2000 vittime in India, Pakistan, Nepal, Bangladesh e Myanmar. In Cina nella regione attorno alla diga delle Tre Gole si sono verificate forti precipitazioni e gravi alluvioni. Anche alcuni paesi nell'Asia sudorientale sono stati investiti da enormi masse d'acqua. Ad avere la peggio è stato il Vietnam, dove, oltre alle precipitazioni monsoniche, otto cicloni tropicali hanno colpito la terraferma in cinque settimane. A Hué nella settimana dal 7 al 13 ottobre sono caduti 1800 mm di precipitazioni, quantitativo corrispondente circa alle precipitazioni annue nella regione delle Prealpi svizzere settentrionali.

Le condizioni La Niña verificatesi a partire da agosto 2020 sono associate a un'attività di uragani superiore alla media nell'Atlantico settentrionale, che nel 2020 si è manifestata in questa regione con un numero record di cicloni tropicali. Complessivamente, fino al 17 novembre, nell'Atlantico settentrionale si sono contati 30 cicloni tropicali, oltre il doppio della media pluriennale. È stato superato anche il record attuale del 2005 per un'intera stagione. I maggiori danni sono stati provocati negli Stati Uniti dall'uragano Laura.





5| Monitoraggio climatico

52

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 [13]. 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 [14], completate con le variabili rilevanti per la Svizzera [13].

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 [15]. Inoltre, vengono qui di-

scussi 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 [15], [16].

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 (OMM)	Numero dei giorni dell'anno civile con temperatura minima $T_{\min} < 0$ °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 $T_{\max} \geq 25$ °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 [17], [18], [19], [20], [21].
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 [15].

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).

Ulteriori informazioni sugli indicatori climatici:

[meteosvizzera.admin.ch/home/clima/il-clima-svizzero-
nei-dettagli/indicatori-climatici.html](https://meteosvizzera.admin.ch/home/clima/il-clima-svizzero-nei-dettagli/indicatori-climatici.html)

Temperatura

Con uno scarto termico positivo di 2,3 °C rispetto alla norma del periodo 1961–1990, il 2020 è stato, insieme al 2018, l'anno più caldo su scala nazionale dall'inizio delle misure nel 1864. Il 2018 è stato più caldo del 2020, ma la differenza tra le due temperature annuali è di soli 0,03 °C.

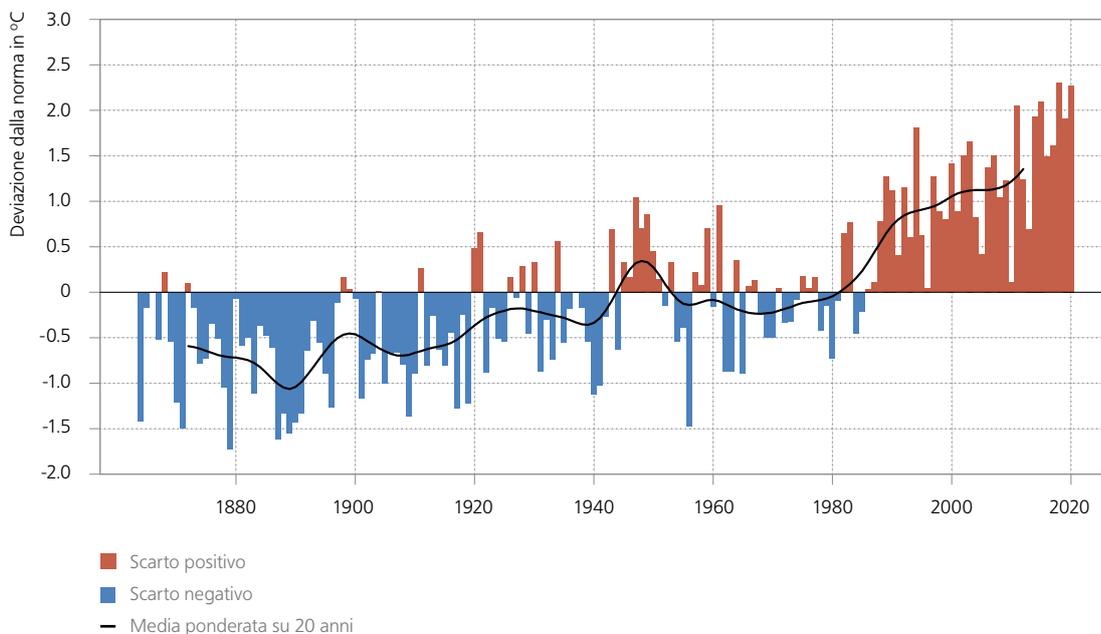
Con la loro temperatura ampiamente superiore alla media, tre mesi e due stagioni del 2020 sono stati tra i quattro più caldi dal 1864. L'inverno 2019/20 è risultato, con +3,5 °C ri-

spetto alla norma 1961–1990, l'inverno più caldo dall'inizio delle misurazioni. Esso è stato seguito dalla terza primavera più calda con una deviazione della temperatura di +2,9 °C. Con uno scarto positivo di 2,0 °C, anche l'estate 2020 è risultata nettamente al di sopra della norma 1961–1990.

Il mese di ottobre è stato l'unico mese del 2020 con una temperatura media inferiore alla media, pari a -0,7 °C. Tuttavia, poiché la temperatura sia di settembre, sia di novembre sono risultate sensibilmente superiori alla media, anche l'autunno è stato nel complesso più caldo, con un'anomalia di +1,4 °C rispetto alla norma 1961–1990. Su scala nazionale il semestre invernale 2019/20 è stato il secondo più caldo, quello estivo il quarto più caldo dal 1864.

I cambiamenti climatici a livello globale portano anche in Svizzera a un aumento molto significativo della temperatura. La tendenza storica della temperatura annuale per l'insieme della Svizzera si situa a +1,4 °C/100 anni, che corrisponde a un rialzo totale di 2,2 °C dal 1864 al 2020. Per il periodo a partire dal 1961 la tendenza lineare è più ripida. Negli ultimi decenni il riscaldamento è aumentato più rapidamente rispetto ai decenni precedenti. La Tabella 5.3 mostra l'andamento della temperatura media annuale in Svizzera.

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.**



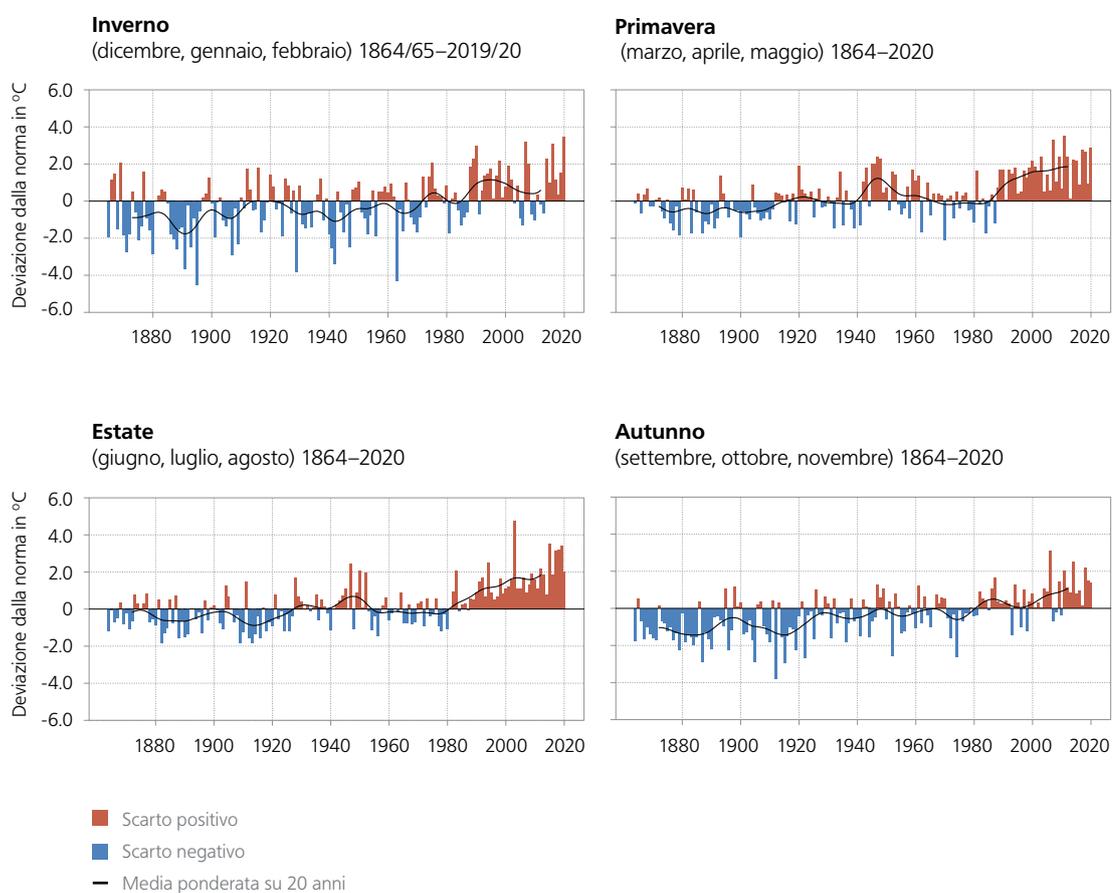


Figura 5.2
Andamento pluriennale della temperatura stagionale (media di tutta la Svizzera). È riportato lo scarto annuale della temperatura stagionale rispetto alla norma 1961–1990.

Tabella 5.3

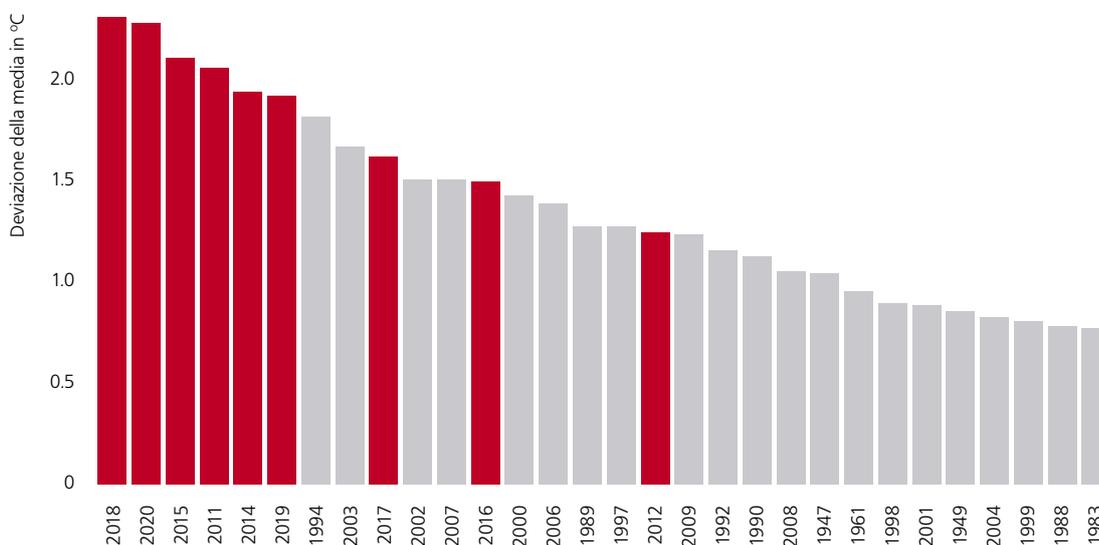
Tendenze stagionali e annuali della temperatura in °C per decennio nei periodi 1864–2020, 1901–2020 e 1961–2020, calcolate per tutta la Svizzera. Le indicazioni sul grado di significatività sono indicate nel capitolo 5.3.

Periodi	Primavera marzo–maggio	Estate giugno–agosto	Autunno settembre–novembre	Inverno dicembre–febbraio	Anno gennaio–dicembre
1864–2020	+0,14°C molto significativo	+0,15°C molto significativo	+0,14°C molto significativo	+0,13°C molto significativo	+0,14°C molto significativo
1901–2020	+0,17°C molto significativo	+0,21°C molto significativo	+0,18°C molto significativo	+0,16°C molto significativo	+0,18°C molto significativo
1961–2020	+0,48°C molto significativo	+0,53°C molto significativo	+0,26°C molto significativo	+0,35°C molto significativo	+0,40°C molto significativo

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 (1989, 1947, 1961, 1949, 1988, 1983). I sei anni più caldi si sono verificati tutti dopo il 2010 (Figura 5.3). Degli ultimi dieci anni, solo il 2010 e il 2013 non appartengono ai trenta anni più caldi. Anche a livello globale l'andamento delle temperature rispecchia la tendenza osservata in Svizzera, con la maggior 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 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 fino ad oggi [8].

Figura 5.3
Classifica dei 30 anni più caldi dal 1864. Le colonne mostrano la deviazione della temperatura media svizzera rispetto alla norma 1961–1990 in gradi Celsius. Gli anni dopo il 2010 sono rappresentati in rosso.



Ulteriori informazioni sull'evoluzione della temperatura in Svizzera:

meteosvizzera.admin.ch/home/clima/i-cambiamenti-climatici-in-svizzera/evoluzione-della-temperatura-e-delle-precipitazioni.html

meteosvizzera.admin.ch/home/clima/il-clima-svizzero-nei-dettagli/trend-climatici-nelle-stazioni.html

nccs.admin.ch/nccs/it/home/cambiamenti-climatici-e-impatti/scenari-climatici-per-la-svizzera/ordinate-l-opuscolo-sugli-scenari-climatici-ch2018.html

nccs.admin.ch/nccs/it/home/dati-e-libreria-multimediale/daten/atlane-interattivo-ch2018%20.html

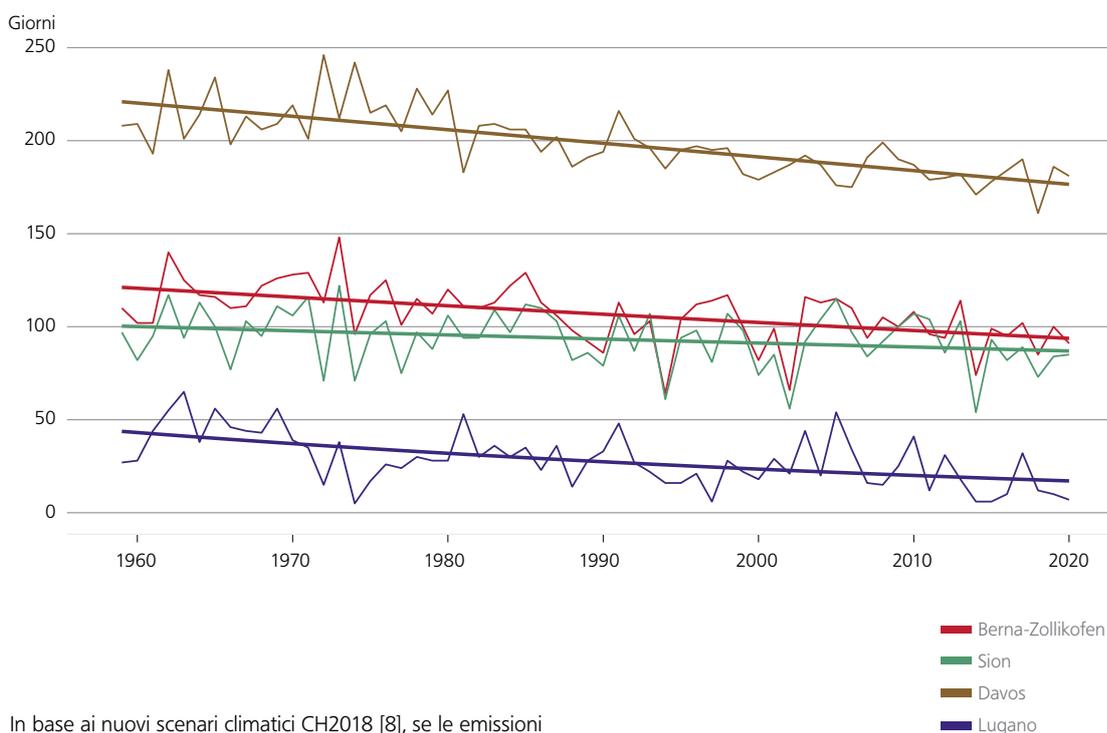


Giorni di gelo

Come conseguenza dell'inverno più caldo dall'inizio delle misure, nel 2020 il numero di giorni con una temperatura minima inferiore a 0 °C è risultato essere nettamente inferiore alla media in tutte le stazioni qui riportate. Presso la stazione di Davos, quella situata a più alta quota fra quelle mostrate in questa pubblicazione, sono stati rilevati 181 giorni di gelo (media 1961–1990: 210). A Berna si sono verificati 91 giorni di gelo (media 115), a Sion 85 (media 97) e a Lugano sono stati, con 7 giorni, esattamente il 20 % della media del periodo 1961–1990 (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: ogni decennio vengono rilevati da due (Sion) a sette (Davos) giorni di gelo in meno.

Figura 5.4
**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 [8], se le emissioni di gas ad effetto serra continueranno ad aumentare senza misure di contenimento il numero dei giorni di gelo a Lugano potrebbe diminuire entro il 2060 a 5–14 all'anno. Per questa località l'inverno 2019/20, oggi considerato come eccezionale, ricadrà all'interno della variabilità che sarà come normale attorno al 2060, secondo lo scenario con le emissioni più abbondanti. A Berna il numero dei giorni di gelo sarà invece compreso tra 53 e 69. Per questa località il tipico inverno attorno al 2060 avrà un numero di giorni di gelo sensibilmente inferiore a quello dell'inverno 2019/20.

Giorni estivi

L'estate 2020 è stata più calda rispetto alla media. In molte località svizzere è perciò stato registrato un elevato numero di giorni estivi. Questi sono i giorni con una temperatura massima superiore o uguale a 25 °C. A Berna, Lugano e Davos le cifre dell'anno precedente non sono state superate. A Berna sono stati registrati 53 giorni estivi (media 31), a Lugano 84 (media 50) e a Davos 5 (media 1). Nel 2019 in quest'ultima località, situata alla quota più alta fra le quattro qui considerate, i giorni estivi sono stati 13. Solo a Sion nel 2020 è stato rilevato, con 101 giorni estivi, un numero più alto rispetto all'anno precedente (90); qui la media del periodo 1961–1990 è di 55 giorni estivi.

L'aumento di giorni estivi in tutte e quattro le serie di misura considerate è significativo. Per ogni decennio si registrano 5 giorni estivi in più a Berna, 7 a Sion e quasi 8 a Lugano. A Davos, a 1600 m di quota, l'aumento è di 2 giorni estivi per decennio.

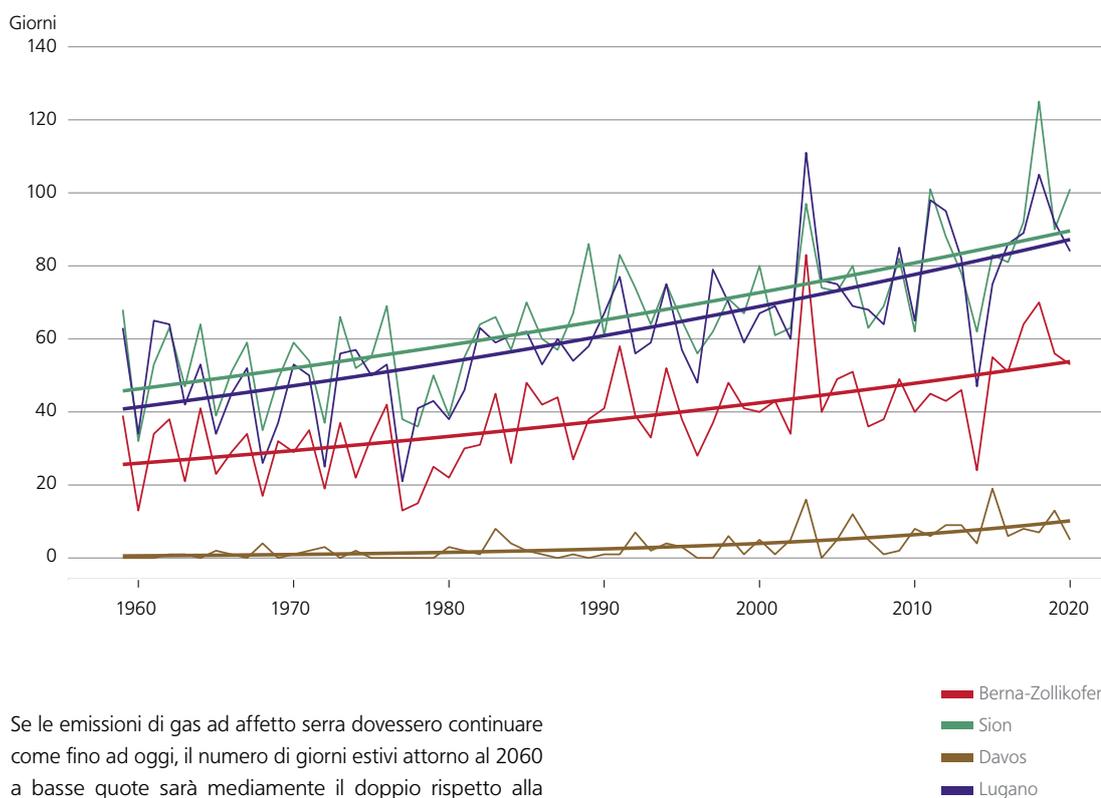


Figura 5.5
Andamento temporale del numero di giorni estivi (cioè con temperatura massima ≤ 25 °C) per le stazioni di Berna-Zollikofen, Sion, Davos e Lugano

Se le emissioni di gas ad affetto serra dovessero continuare come fino ad oggi, il numero di giorni estivi attorno al 2060 a basse quote sarà mediamente il doppio rispetto alla norma 1961–1990. Così, ad esempio, a Berna si verificeranno 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 [8].

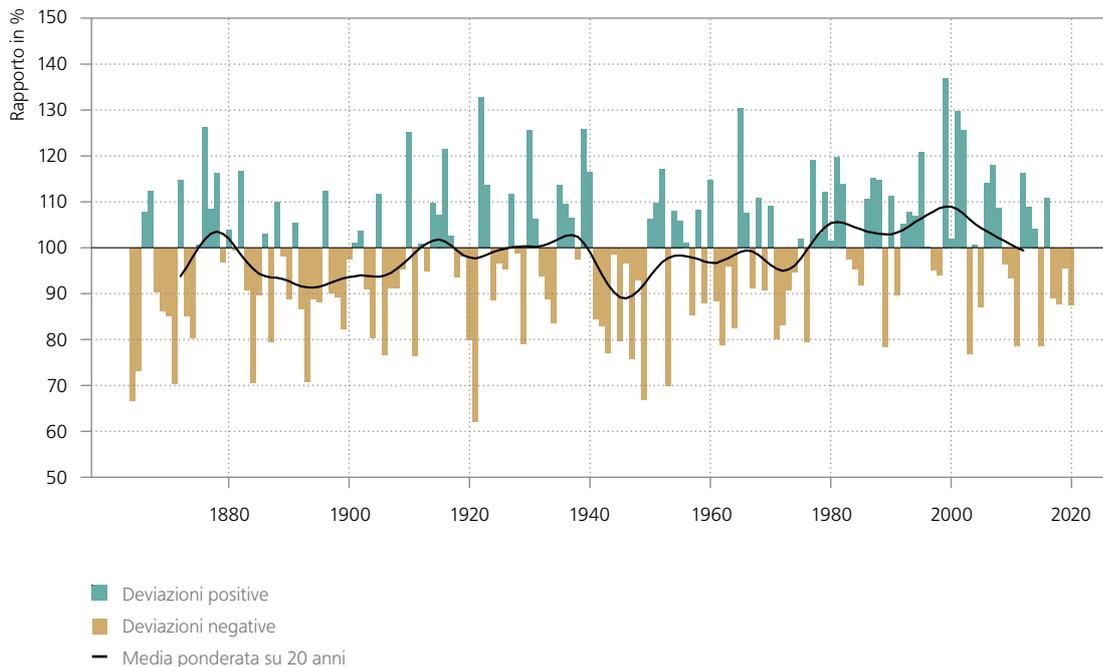
Precipitazioni

Sull'Altopiano i quantitativi di precipitazione del 2020 hanno raggiunto l'88 % della norma 1961–1990. Per il quarto anno consecutivo le precipitazioni sono state inferiori alla media (Figura 5.6). Un quantitativo minore alla media, pari al 71 % della norma, è stato registrato soprattutto in primavera. Con il valore del 93 %, rispettivamente 89 %, l'estate e l'autunno sono risultati leggermente più asciutti rispetto alla norma 1961–1990. Con il valore del 103 %, le precipitazioni invernali sono state normali (Figura 5.7).

Al Sud delle Alpi i quantitativi di precipitazione nel 2020 sono stati esattamente nella media del periodo 1961–1990. Anche le precipitazioni delle singole stagioni si situano più o meno nella norma. L'inverno, la primavera e l'autunno sono, con il 98 %, il 92 % e il 101 % molto vicini alla media; solo l'estate è risultata un po' troppo umida, con il 115 % della norma (Figura 5.9).

Sull'Altopiano si osserva una tendenza a lungo termine delle precipitazioni (1864–2020) di +0.6 %/10 anni. Tuttavia a livello stagionale si registra una tendenza significativa soltanto in inverno (+2.1 %/10 anni). In primavera, estate e autunno un segnale verso precipitazioni chiaramente superiori o inferiori alla norma non è osservato. Nella Svizzera meridionale, invece, non è rilevata alcuna tendenza né annuale né stagionale. La Tabella 5.4. e la Tabella 5.5 mostrano una panoramica delle tendenze delle precipitazioni al Nord e al Sud delle Alpi.

Figura 5.6
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.



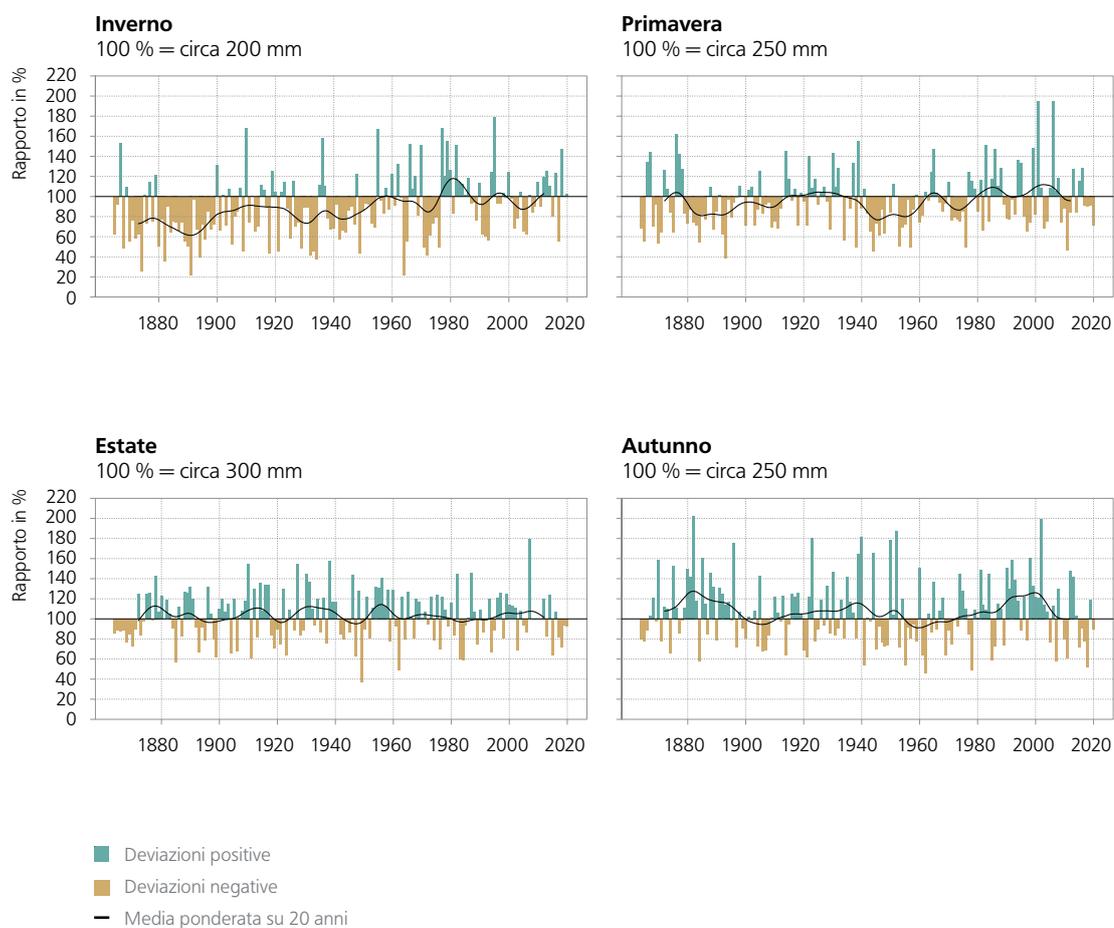


Figura 5.7
Andamento storico delle precipitazioni per stagione sull'Altopiano in percentuale rispetto alla norma 1961–1990. Come base dei dati sono utilizzate le serie di misura omogenee di Ginevra, Basilea, Berna e Zurigo. Da notare che nelle estati dal 2008–2011 le precipitazioni registrate sono state pari al 100%: per questa ragione nel grafico non figurano le corrispondenti colonne.

Figura 5.8
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.

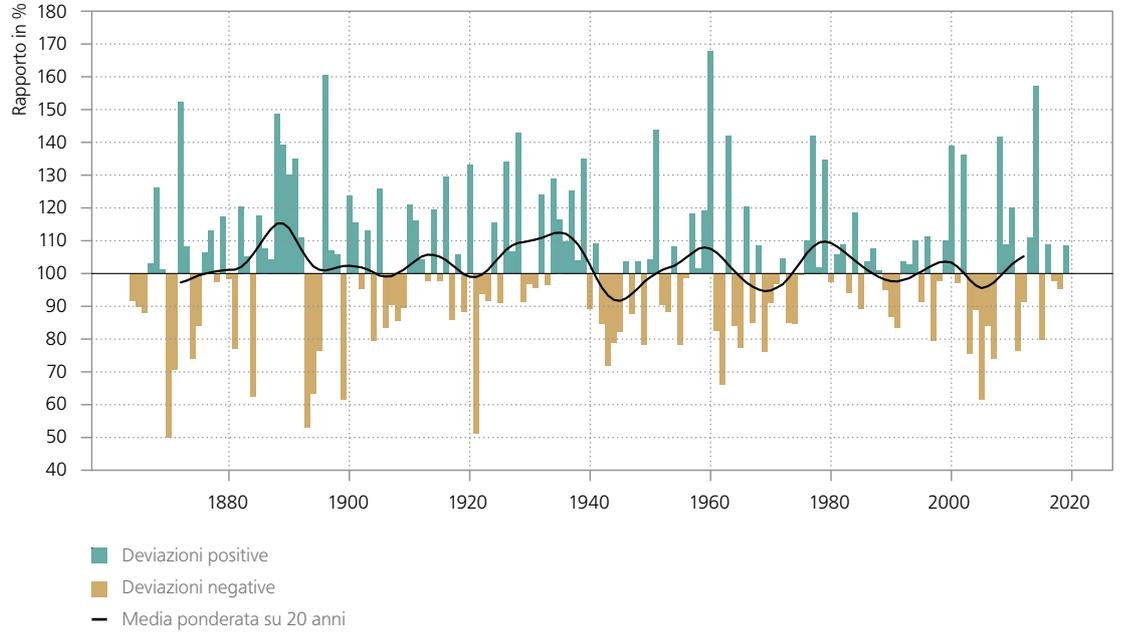
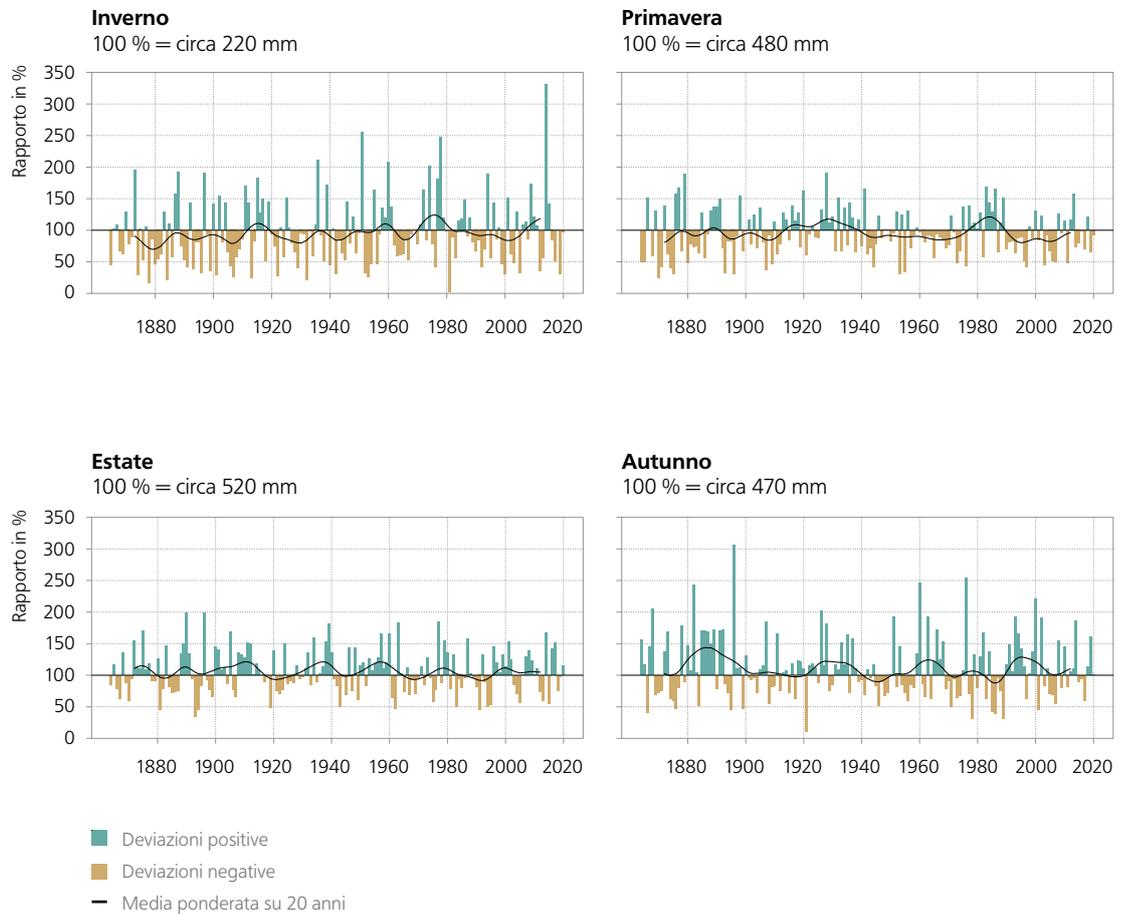


Figura 5.9
Andamento storico delle precipitazioni per stagione al Sud delle Alpi in percentuale rispetto alla norma 1961–1990. Come base dei dati e utilizzata la serie di misura omogenee di Lugano.



Periodi	Primavera marzo–maggio	Estate giugno–agosto	Autunno settembre–novembre	Inverno dicembre–febbraio	Anno gennaio–dicembre
1864–2020	+0,7% non significativo	0,0% non significativo	-0,3% non significativo	+2,1% molto significativo	+0,6% significativo
1901–2020	+0,6% non significativo	-0,6% non significativo	+0,4% non significativo	+1,7% significativo	+0,5% non significativo
1961–2020	+0,3% non significativo	+0,1% non significativo	+1,4% non significativo	+0,8% non significativo	+0,5% non significativo

Tabella 5.4

Variazioni delle precipitazioni stagionali e annuali in percentuale per decennio nei periodi 1864–2020, 1901–2020 e 1961–2020, calcolate per l'Altopiano. Le indicazioni sul grado di significatività sono indicate al capitolo 5.3.

Periodi	Primavera marzo–maggio	Estate giugno–agosto	Autunno settembre–novembre	Inverno dicembre–febbraio	Anno gennaio–dicembre
1864–2020	0,0% non significativo	-0,13% non significativo	-0,73% non significativo	+1,23% non significativo	-0,03% non significativo
1901–2020	-0,93% non significativo	-0,73% non significativo	+0,63% non significativo	+0,83% non significativo	-0,23% non significativo
1961–2020	-0,63% non significativo	+2,33% non significativo	+1,23% non significativo	+1,43% non significativo	+1,13% non significativo

Tabella 5.5

Variazioni delle precipitazioni stagionali e annuali in percentuale per decennio nei periodi 1864–2020, 1901–2020 e 1961–2020, calcolate per il Sud delle Alpi. Le indicazioni sul grado di significatività sono indicate al capitolo 5.3.

Senza provvedimenti efficaci a livello globale, in estate in Svizzera si prevede un netto calo delle precipitazioni. Secondo i nuovi 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 [8].

Ulteriori informazioni sull'evoluzione delle precipitazioni in Svizzera:

meteosvizzera.admin.ch/home/clima/i-cambiamenti-climatici-in-svizzera/evoluzione-della-temperatura-e-delle-precipitazioni.html

meteosvizzera.admin.ch/home/clima/il-clima-svizzero-nei-dettagli/trend-climatici-nelle-stazioni.html

nccs.admin.ch/nccs/it/home/cambiamenti-climatici-e-impatti/scenari-climatici-per-la-svizzera/ordinate-l-opuscolo-sugli-scenari-climatici-ch2018.html

nccs.admin.ch/nccs/it/home/dati-e-libreria-multimediale/daten/atlane-interattivo-ch2018%20.html



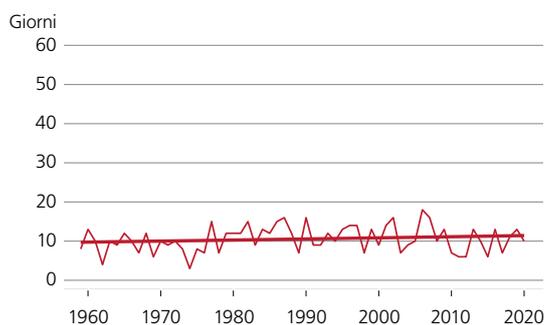
Giorni con precipitazioni moderate

Così come i quantitativi di precipitazione, risultati piuttosto vicini alla media, nel 2020 anche il numero di giorni con precipitazioni moderate, cioè superiori a 20 mm, è risultato normale nelle quattro stazioni di misura di Berna, Sion, Davos e Lugano. A Berna (media 10) e Sion (media 5) il numero di giorni con precipitazioni moderate è stato esattamente uguale a quello della media del periodo 1961–1990. A Davos sono stati registrati 12 giorni anziché 10, a Lugano 22 (media 26). Come per il regime delle precipitazioni (ad eccezione dell'inverno sull'Altopiano, cfr. Tabella 5.4), anche in riferimento ai giorni con precipitazioni moderate, in tre delle quattro stazioni qui indicate e nel periodo analizzato (dal 1959) non sono in generale individuabili tendenze significative. Solo la località di Davos presenta un aumento significativo di 0,5 giorni per decennio. Se invece si amplia il periodo di analisi fino al 1901, il 92 % delle 185 serie di misurazioni mostra un aumento delle precipitazioni forti e il 35 % un

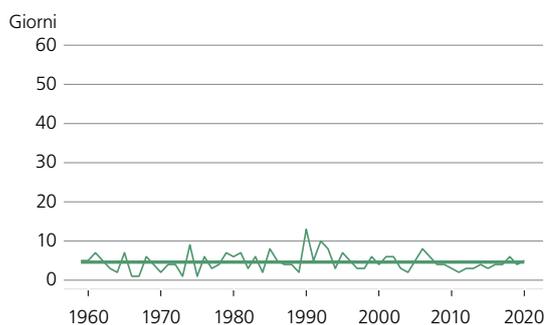
aumento significativo. Nel 91 % si osserva inoltre un aumento e nel 31 % un aumento significativo dell'intensità delle precipitazioni moderate [22].

Gli scenari climatici CH2018 prospettano come in futuro le precipitazioni estreme subiranno un ulteriore aumento. Rispetto al periodo standard 1981–2010, la precipitazione giornaliera più elevata durante un anno potrebbe aumentare del 10 % attorno all'anno 2060 [8].

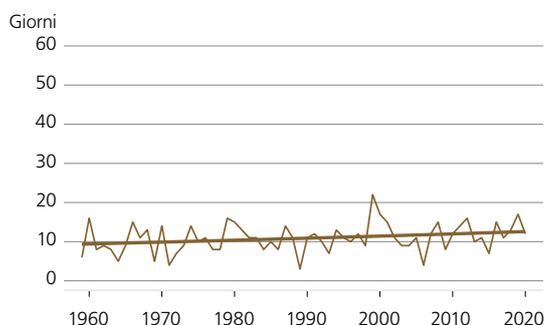
Berna-Zollikofen



Sion



Davos



Lugano

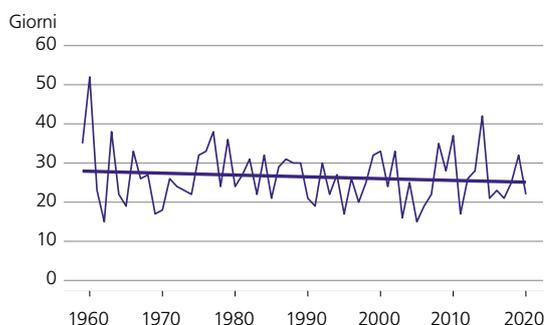


Figura 5.10

Numero di giorni con precipitazioni ≥ 20 mm per anno civile.

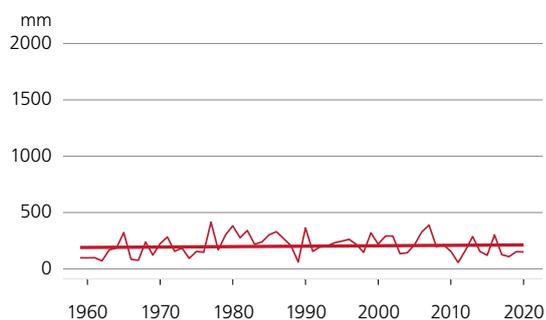
Precipitazioni nei giorni molto piovosi

I quantitativi complessivi di precipitazione nei giorni molto piovosi sono stati inferiori alla norma a Berna e a Sion. A Berna sono stati misurati 150 mm (media 216 mm), a Sion 60 mm (media 98 mm). A Davos, dove si sono registrati 236 mm, i quantitativi complessivi di precipitazione nei giorni molto piovosi sono stati superiori alla norma (media 214 mm), come pure a Lugano, dove si sono misurati 972 mm (media 858 mm). Nell'andamento pluriennale Berna, Sion e Lugano non mostrano alcuna tendenza significativa, mentre Davos mostra un aumento significativo di 15 mm/10 anni.

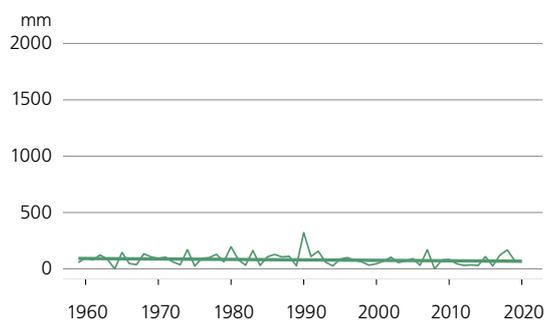
Figura 5.11

Quantitativo complessivo annuo delle precipitazioni di tutti i giorni molto piovosi. 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.

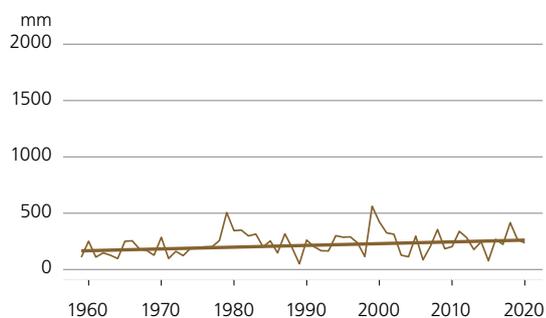
Berna-Zollikofen



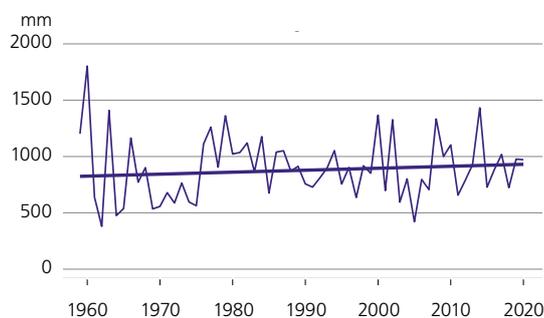
Sion



Davos



Lugano

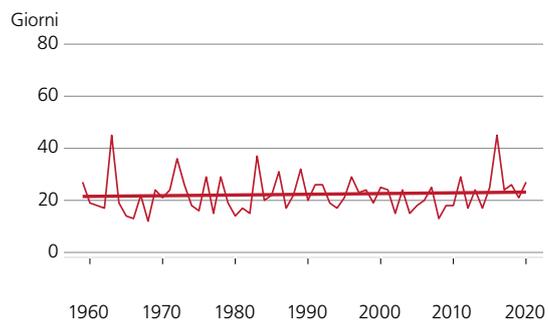


Periodi asciutti

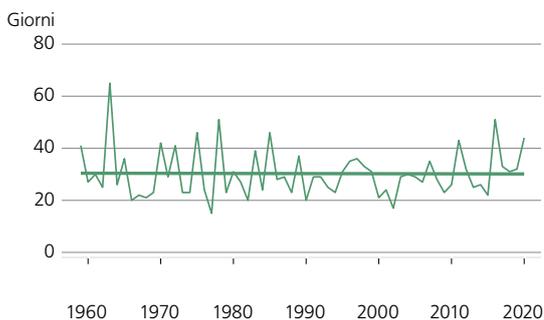
Nel 2020 a Sion è stato registrato uno dei sei periodi asciutti più lunghi, ovvero 44 giorni senza precipitazioni dal 1959 (media 30 giorni). A Berna la durata del periodo asciutto più lungo è stata di 27 giorni (media 22) e a Lugano 34 giorni (media 33). A Davos il periodo asciutto più lungo è risultato essere di 13 giorni anziché di 22 giorni, come nella norma. Nell'andamento pluriennale nessuna di queste serie di misurazioni mostra una tendenza significativa verso periodi asciutti più lunghi o più corti.

Secondo gli scenari climatici CH2018 la durata del periodo asciutto più lungo dell'anno aumenterà attorno al 2060 fino a 9 giorni in più rispetto a oggi, se le emissioni di gas ad effetto serra non dovessero essere drasticamente ridotte [8].

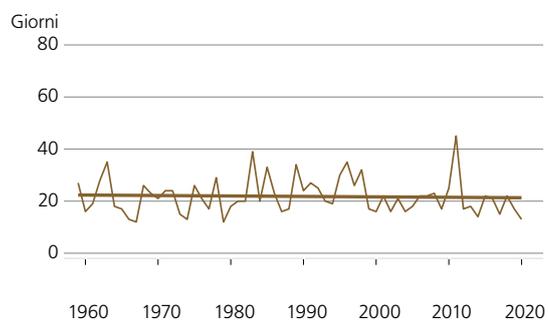
Berna-Zollikofen



Sion



Davos



Lugano

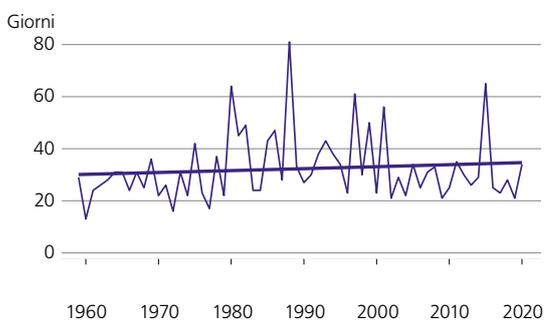


Figura 5.12

Durata dei periodi asciutti più lunghi per anno civile.

Indice di siccità

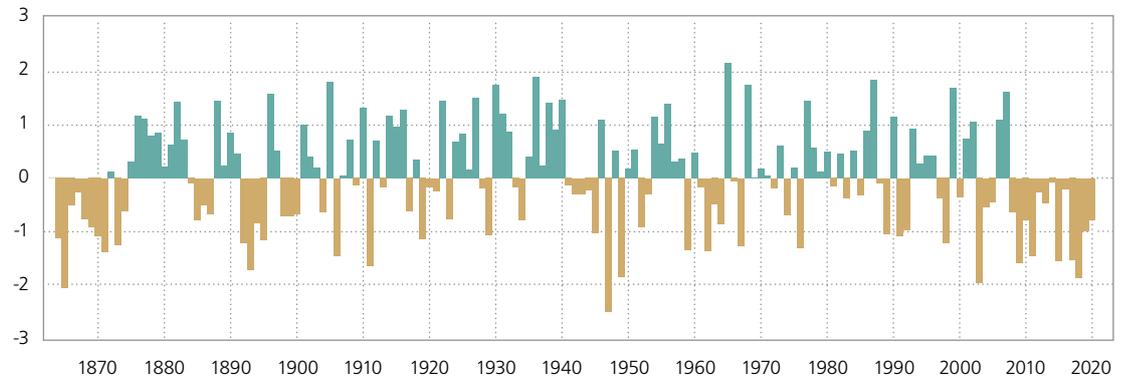
La siccità può essere intesa in modi diversi. In termini molto generali è una carenza di precipitazioni per un periodo prolungato che può variare da più mesi a diverse stagioni. A seconda della durata della siccità, la scarsità idrica si ripercuote in maniera diversa su vari settori (agricoltura, selvicoltura, 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. I quantitativi di precipitazione misurati a Berna indicano che nel periodo vegetativo gli ultimi 13 anni sono stati più asciutti della media pluriennale, fenomeno che non si era mai verificato dall'inizio delle misure nel 1864. La siccità persistente e spesso marcata degli ultimi anni è una tipica conseguenza delle estati più calde e quindi più ricche di evaporazione che si verificano con sempre maggior frequenza in Svizzera.

Anche nel 2020 l'indice SPEI indica condizioni siccitose, ma l'anno non appartiene comunque a quelli più siccitosi (ad esempio come nel 2018 [1]). I valori dell'indice SPEI più bassi (nel 1947, 1865, 2003, 1949, 2018, 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 5.13
Indice SPEI del periodo vegetativo per la stazione di Berna. Valori positivi significano condizioni di maggiore umidità, quelli negativi di maggiore siccità rispetto alla media (1864–2020).

Berna SPEI (6 mesi, aprile–settembre)





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 2020 è pari a 2770 m, valore che supera di 70 m quello dell'anno precedente.

La Figura 5.14 mostra la tendenza al rialzo della quota dell'isoterma di zero gradi (linea rossa) nel periodo 1959–2020. 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 il 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 grigio-chiara).

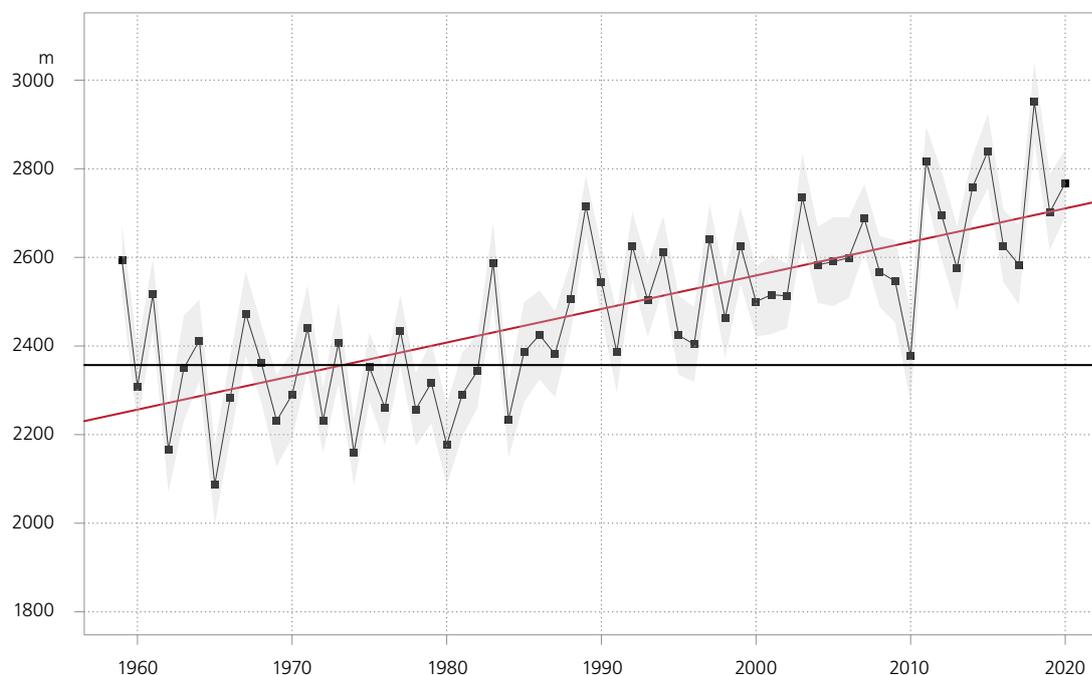
La tendenza all'aumento della quota dell'isoterma di zero gradi è determinata soprattutto dall'incremento marcato di questa grandezza verificatosi a partire dal 1990 circa. La quota media dell'isoterma di zero gradi nell'anno 2018 è stata la più elevata dell'intera serie storica con un valore di 2951 m, 593 m superiore alla mediana del periodo 1961–1990. Il valore minimo di 2087 m risale al 1965 ed è di 270 m inferiore al valore di riferimento. Nel 2020 la quota dell'isoterma di zero gradi è leggermente aumentata rispetto all'anno precedente ed è in linea con la tendenza pluriennale. Da notare che negli ultimi 30 anni la quota media dell'isoterma di zero gradi è sempre stata superiore al valore mediano del periodo 1961–1990. Per il periodo 1959–1990 non è invece possibile riscontrare alcuna tendenza chiara.

Figura 5.14
Mediana annuale della quota dell'isoterma di zero gradi nel periodo 1959–2020, ricavata dalle radiosonde lanciate giornalmente a Payerne. La linea nera mostra la mediana del periodo 1961–1990 (2357 m), la linea rossa la tendenza lineare (significativa), l'area grigio-chiara l'incertezza delle misure.

Quota dell'isoterma di zero gradi

Tendenza [1959–2020] = 76 m/10 anni

Norma [1961–1990] = 2357 m



L'andamento della quota dell'isoterma di zero gradi rispecchia quello della temperatura media in Svizzera (capitolo 5.1.1). Come mostrato nella Figura 5.14, nel periodo 1990–2020 la mediana annuale della quota dell'isoterma di zero gradi è aumentata in modo considerevole. L'aumento viene osservato in tutte le stagioni (Figura 5.15).

Soprattutto nelle stagioni più calde, in primavera e in estate, l'andamento è paragonabile ai valori annuali, anche se contraddistinto da un aumento per decennio superiore (92 m/10

anni in estate e primavera). Anche il repentino aumento attorno al 1990 risulta evidente in entrambe le serie stagionali e nei valori annuali. L'aumento della quota dell'isoterma di zero gradi è invece meno marcato nei mesi invernali e autunnali (75 m/10 anni in inverno, 47 m/10 anni in autunno). La Tabella 5.6 mostra il valore minimo e massimo delle rispettive serie di misure. I valori massimi sono stati rilevati tutti negli ultimi due decenni.

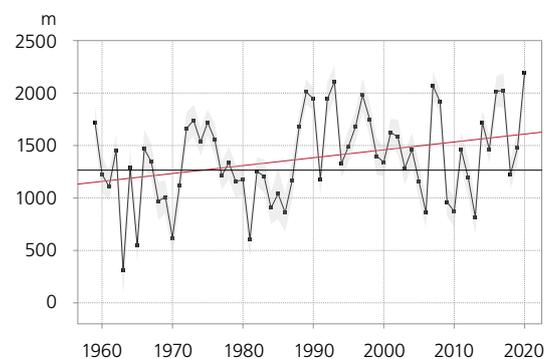
	Inverno dicembre–febbraio	Primavera marzo–maggio	Estate giugno–agosto	Autunno settembre–novembre
Minimo (anno)	310 m (1963)	1470 m (1962)	3090 m (1977)	1530 m (1974)
Massimo (anno)	2190 m (2016)	2610 m (2007)	3950 m (2015)	3380 m (2018)

Tabella 5.6

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

Inverno

Tendenza [1959–2020] = 75 m/10 anni
Norma [1961–1990] = 1265 m



Primavera

Tendenza [1959–2020] = 92 m/10 anni
Norma [1961–1990] = 1881 m

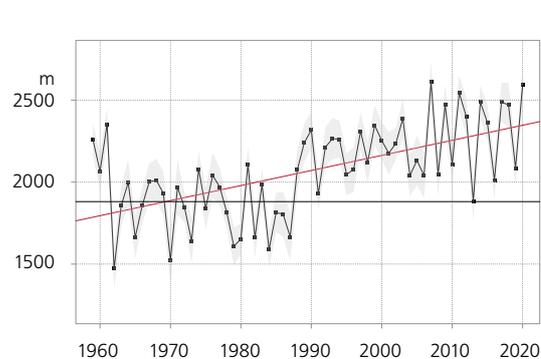
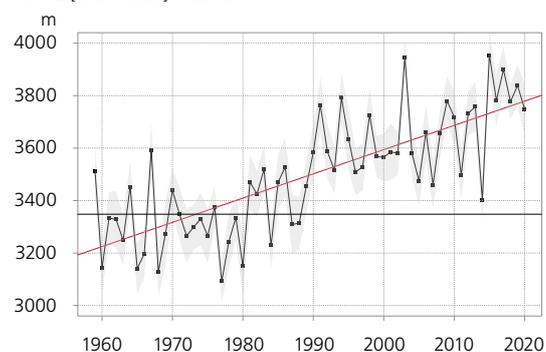


Figura 5.15

Mediana stagionale della quota dell'isoterma di zero gradi nel periodo 1959–2020. La linea nera mostra la mediana stagionale del periodo di riferimento 1961–1990, la linea rossa la tendenza lineare (significativa in tutte le stagioni), l'area grigio-chiara l'incertezza delle misure.

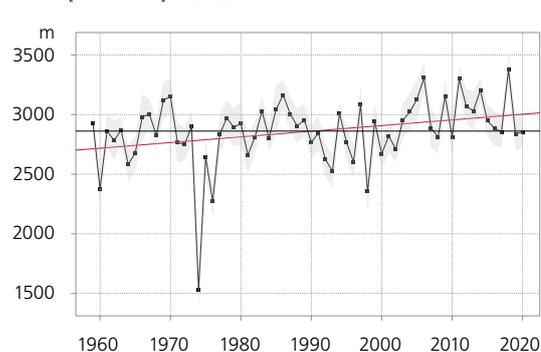
Estate

Tendenza [1959–2020] = 92 m/10 anni
Norma [1961–1990] = 3348 m



Autunno

Tendenza [1959–2019] = 47 m/10 anni
Norma [1961–1990] = 2862 m



Altitudine della tropopausa

L'altitudine della tropopausa è stata calcolata seguendo la definizione di tropopausa termica fornita dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale [36], basandosi sul profilo di temperatura misurato dal radiosondaggio di Payerne. I valori annuali rappresentati nella Figura 5.16 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 1959–2020 (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.

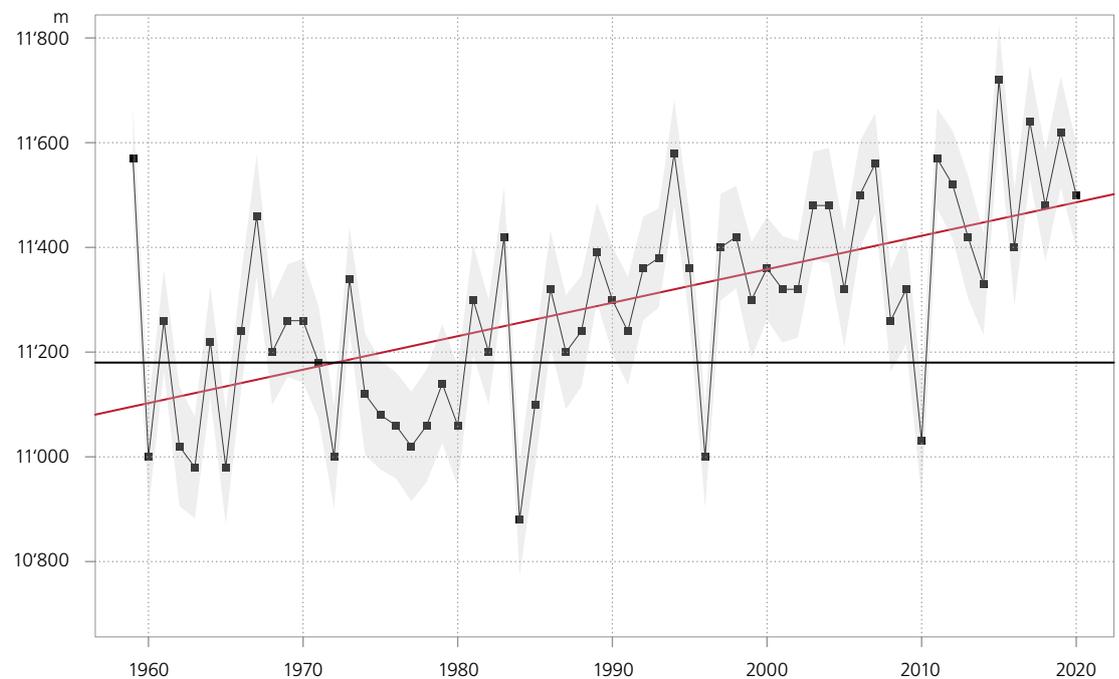
Nel 2020 l'altitudine media della tropopausa è stata di 11'500 m, valore di 320 m più alto della mediana del periodo normale, pari a 11'180 m. Dal 1959 si osserva una significativa tendenza al rialzo della quota media annuale della tropopausa, nonostante la grande variabilità che caratterizza l'altitudine della tropopausa da un anno all'altro e i valori estremi verso il basso, come negli anni 1984 (minimo assoluto), 1996 e 2010. Il valore più alto della quota media annuale è stata raggiunta nel 2015. Nel periodo 1959–2020 l'altitudine della tropopausa è salita di 64 m ogni dieci anni. L'andamento è in linea con la tendenza pluriennale della quota dell'isoterma di zero gradi (Figura 5.14).

Figura 5.16
Mediana annuale dell'altitudine della tropopausa nel periodo 1959–2020, ricavata dalle radiosonde lanciate giornalmente a Payerne. La linea nera mostra la mediana del periodo 1961–1990 (11'180 m), la linea rossa la tendenza lineare, l'area grigio chiara l'incertezza delle misure.

Altitudine della tropopausa

Tendenza [1959–2020] = 64 m/10 anni

Norma [1961–1990] = 11'180 m



L'altitudine della tropopausa è aumentata in modo particolare tra il 1990 e il 2020. Anche le tendenze stagionali della Figura 5.17 riflettono questa tendenza. In inverno (dicembre, gennaio, febbraio), in primavera (marzo, aprile, maggio) e in estate (giugno, luglio, agosto) le tendenze sono significative e nel periodo 1990–2020 i valori si situano spesso sensibilmente sopra la media della norma 1961–1990. Solo l'autunno (settembre, ottobre, novembre) mostra valori attorno a quelli di riferimento e nessuna tendenza significativa. La Tabella 5.7 mostra i valori minimi e massimi stagionali dell'altitudine della tropopausa.

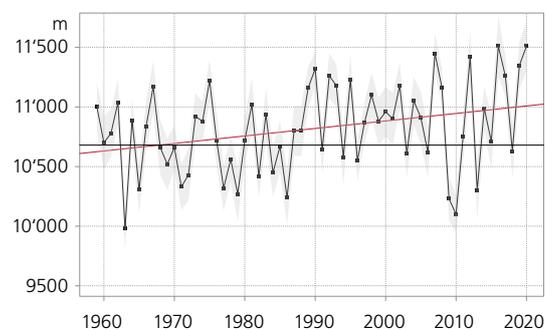
	Inverno dicembre–febbraio	Primavera marzo–maggio	Estate giugno–agosto	Autunno settembre–novembre
Minimo (anno)	9980 m (1963)	10'060 m (1984)	11'220 m (1977)	10'600 m (1974)
Massimo (anno)	11'510 m (2016)	11'400 m (2017)	12'400 m (2003)	12'300 m (1970)

Tabella 5.7

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

Inverno

Tendenza [1959–2020] = 63 m/10 anni
Norma [1961–1990] = 10'680 m



Primavera

Tendenza [1959–2020] = 80 m/10 anni
Norma [1961–1990] = 10'600 m

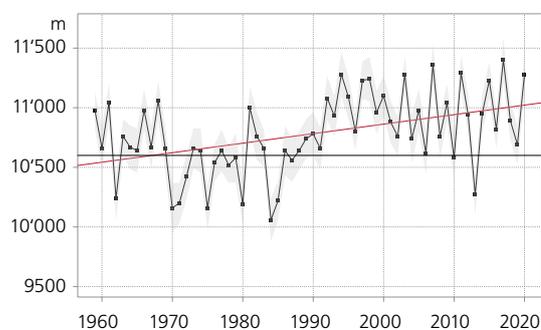
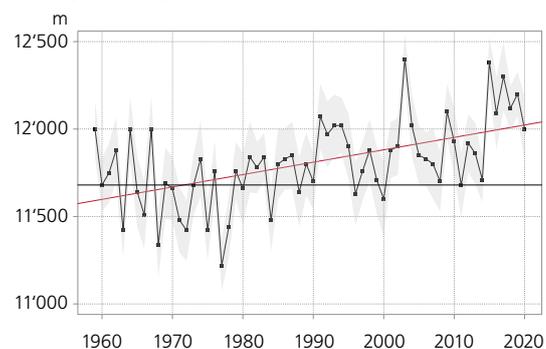


Figura 5.17

Mediana stagionale dell'altitudine della tropopausa nel periodo 1959–2020. La linea nera mostra la mediana stagionale del periodo di riferimento 1961–1990, la linea rossa la tendenza lineare su tutto il periodo, l'area grigio chiara l'incertezza delle misure.

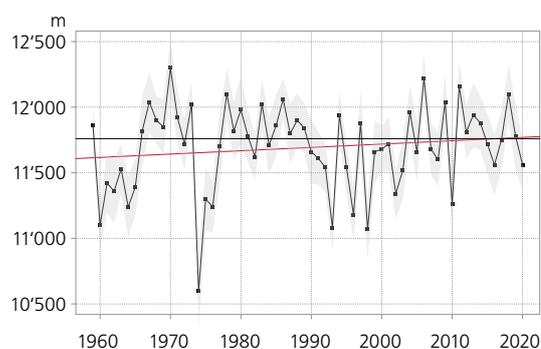
Estate

Tendenza [1959–2020] = 71 m/10 anni
Norma [1961–1990] = 11'680 m



Autunno

Tendenza [1959–2019] = 25 m/10 anni
Norma [1961–1990] = 11'760 m



Tendenza della temperatura a diversi livelli di pressione

Nel 1980, Isaksen et al. presentarono uno studio che mostrava la connessione tra l'aumento della concentrazione del gas ad effetto serra CO_2 nella troposfera, il raffreddamento della stratosfera e la diminuzione della concentrazione di ozono nella stratosfera [33]. Quarant'anni dopo conosciamo la forte correlazione esistente tra le reazioni chimiche e il clima. I clorofluorocarburi (CFC), le radiazioni ultraviolette, l'ozono nella bassa stratosfera e i gas serra nella troposfera giocano un ruolo chiave nell'equilibrio termico a diversi livelli atmosferici.

La Figura 5.18 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 [34] avvenuto dagli anni Novanta domina la tendenza generale della temperatura, causando un riscaldamento di circa $0.4\text{ }^\circ\text{C}$ 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 ($-0.4\text{ }^\circ\text{C}$ per decennio ad un'altitudine di 20 hPa).

Come per le serie temporali della quota dell'isoterma di zero gradi e dell'altitudine della tropopausa, anche le serie 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 il 1990 risulta neutra. Nel periodo 1990–2020, invece, l'andamento della temperatura riflette il forte aumento delle concentrazioni di gas a effetto serra verificatosi negli ultimi quarant'anni.

Anche per la stratosfera possono essere individuati due periodi diversi: tra il 1959 e il 1990 una tendenza negativa della temperatura a tutti i livelli, a partire dagli anni Novanta nessuna variazione significativa, 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'assenza di una tendenza della temperatura stratosferica 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. Entrambi gli andamenti della temperatura della stratosfera inferiore (in diminuzione negli anni 1959–1990 e stabile negli anni 1990–2020) sono stati osservati anche da Philipona et al. nel loro studio pubblicato nel 2018 [35].

La figura 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 1959–2020.

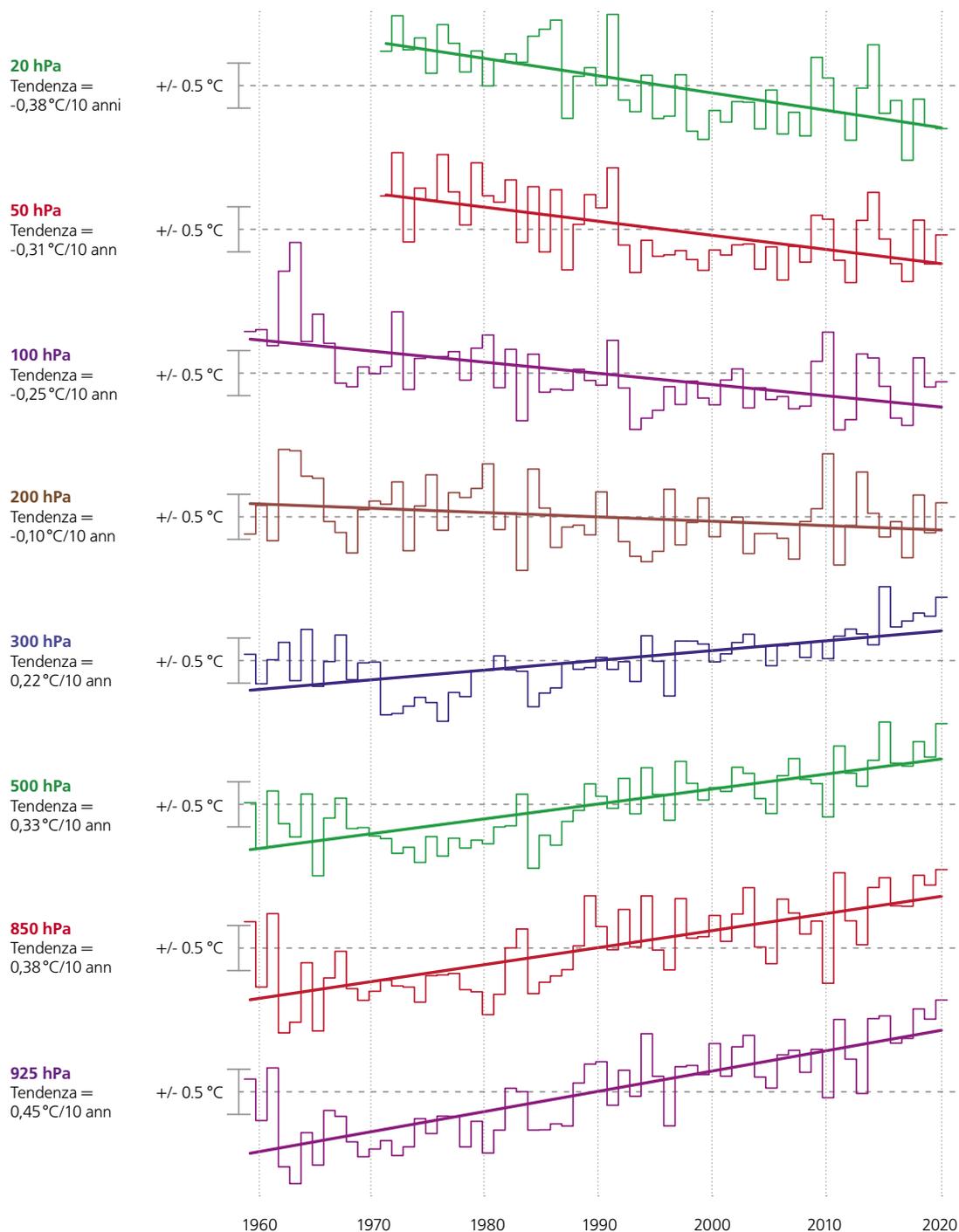


Figura 5.18

Tendenza della temperatura nel periodo 1959–2020 misurata dai radiosondaggi lanciati a Payerne per 8 livelli di pressione (4 nella troposfera e 4 nella stratosfera), espressa come deviazione dal valore mediano del periodo di riferimento 1961–1990.

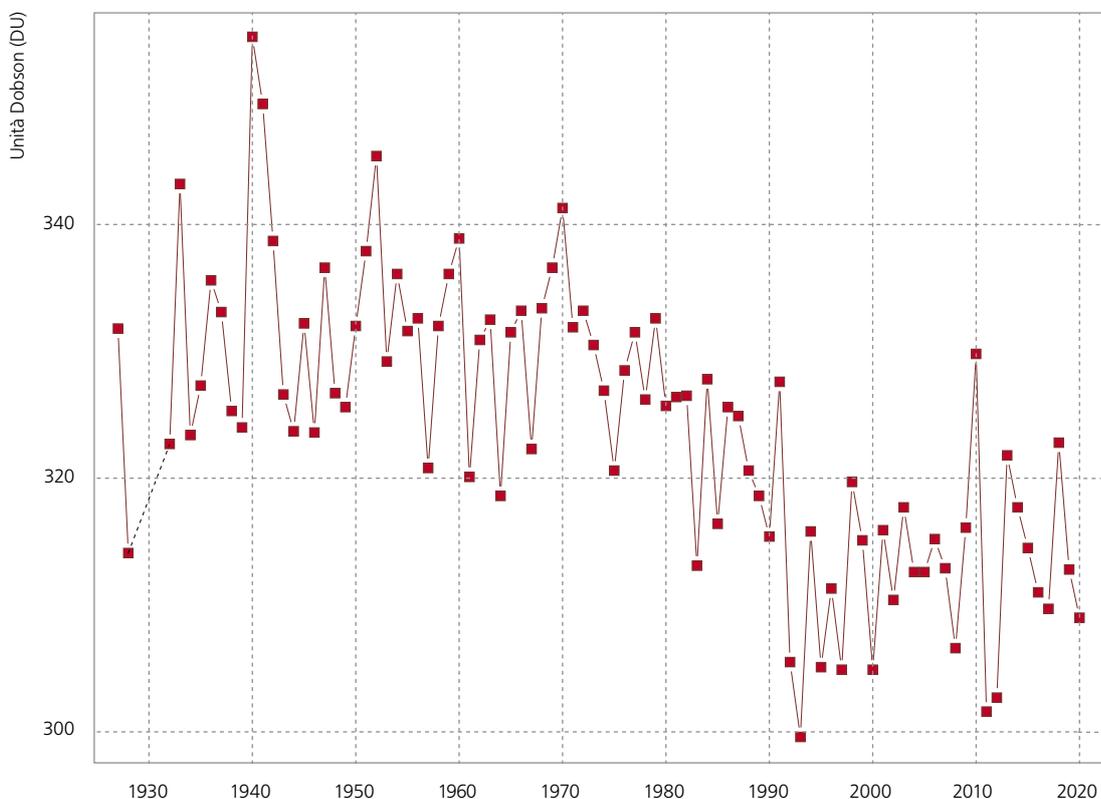
Serie di misura dell'ozono ad Arosa

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 (Figura 5.19). 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 '70 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 [25], mentre il valore medio tra il 1995 e oggi è situato tra i 310 e i 315 DU.

Mentre negli anni 2010, 2013 e 2018 è stata misurata una media annuale relativamente elevata (330, 322, risp. 323 DU), quella degli anni 2011 e 2012 è risultata vicina a 300 DU (302 risp. 303 DU). Questo a dimostrazione della grande variabilità dell'ozono totale nel corso degli anni. La media per il 2020, pari a 309 DU, è paragonabile a quella degli anni 2000–2010; non sussistono pertanto segnali chiari che indichino un aumento della colonna di ozono sopra Arosa.

Figura 5.19
**Colonna totale
dell'ozono ad Arosa
nel periodo 1926–2020.**

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 Meteo-Svizzera 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) (Figura 5.20).

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).

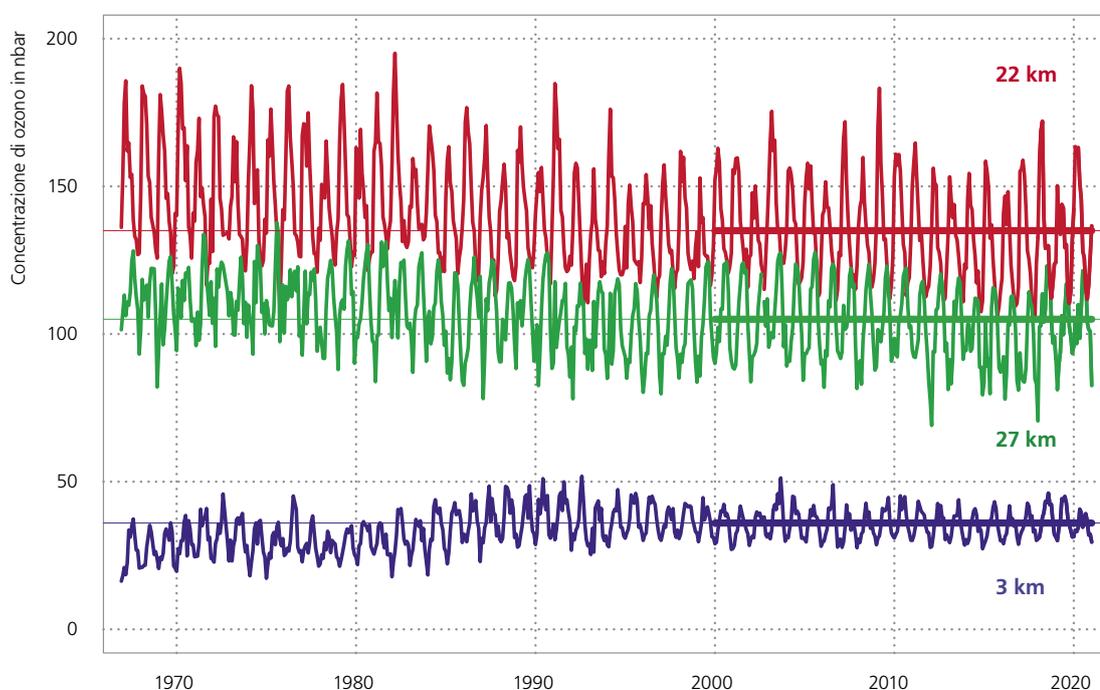


Figura 5.20
Concentrazione mensile di ozono a tre altitudini durante il periodo 1967–2020. La concentrazione di ozono è indicata in pressione parziale espressa in nanobar [nbar].





Concentrazione dei pollini

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

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

Nel 2020 la stagione pollinica della betulla è stata molto intensa e al Nord delle Alpi è risultata una delle più forti dall'inizio delle misurazioni. Il ritmo biennale della fioritura delle betulle in Ticino appare molto chiaramente. L'intensità della stagione pollinica delle graminacee è stata più forte della media in Ticino e sul versante settentrionale delle Alpi, grossomodo nella media o leggermente inferiore nella Svizzera occidentale e a Basilea. I valori assoluti sono nettamente inferiori in Ticino rispetto al Nord delle Alpi.

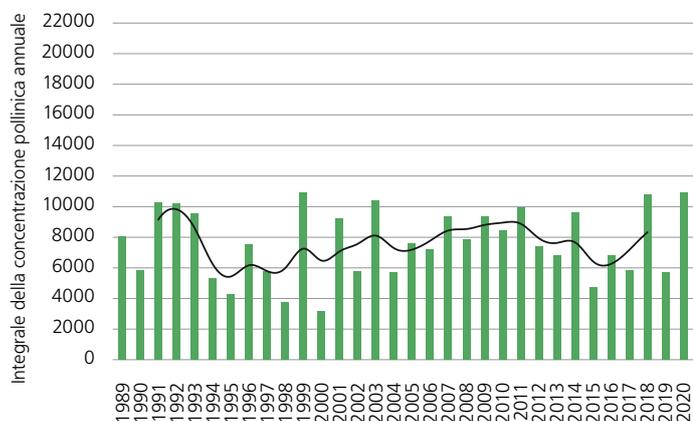
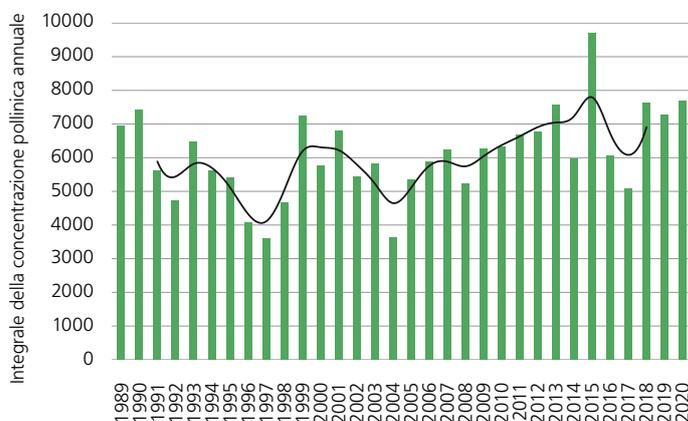
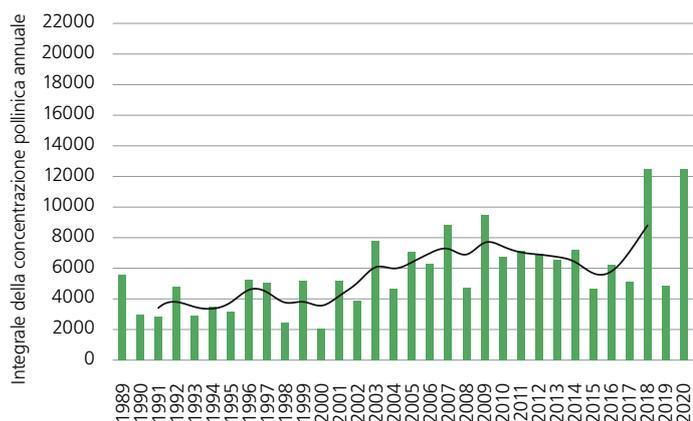
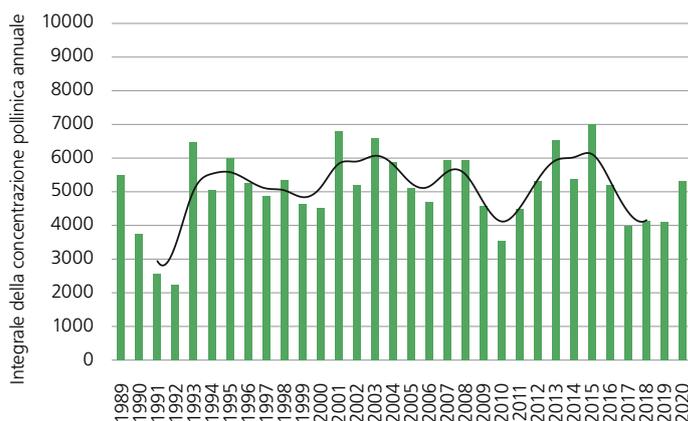
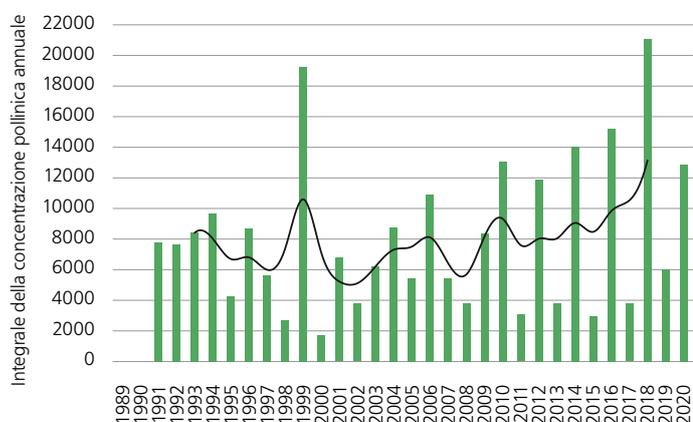
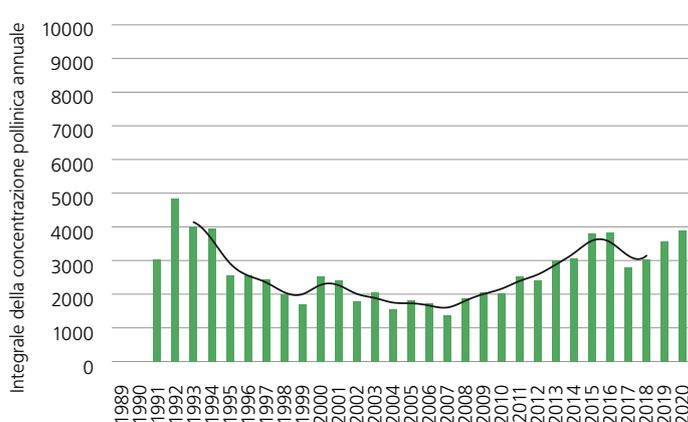
Betulla: Svizzera centrale e orientale**Graminacee: Svizzera centrale e orientale****Betulla: Svizzera occidentale****Graminacee: Svizzera occidentale****Betulla: Ticino****Graminacee: Ticino**

Figura 5.21

Concentrazione del polline di betulla (a sinistra) e delle graminacee (a destra) nelle regioni al Nord delle Alpi nel periodo 1989–2020 e in Ticino nel periodo 1991–2020. 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.

5.2 Suolo

Quantitativi di neve fresca

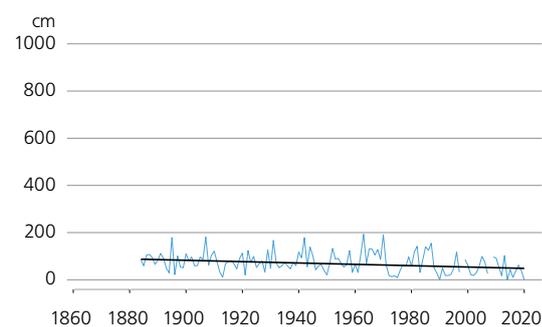
Nel semestre invernale 2019/20 i quantitativi di neve caduti sulle Alpi sono risultati nella norma. Ad Arosa sono stati misurati complessivamente 624 cm di neve fresca (la norma ammonta a 631 cm) e a Segl-Maria 378 cm (norma 312 cm). Per l'Altopiano e le Prealpi si è invece trattato di un inverno con pochissima neve. A Lucerna non è stato possibile misurare neve fresca (norma 83 cm); finora ciò era avvenuto solo nel 2014. Nel 1990 in questa località era stato misurato 1 cm di neve fresca. Tuttavia a Lucerna in due anni non sono stati effettuati i rilevamenti. Ad Einsiedeln si sono accumulati complessivamente 77 cm di neve fresca (norma 341 cm), quantitativo corrispondente al valore più basso di questa lunga serie temporale con dati risalenti al 1909. Finora il quantitativo più basso risaliva al 1912 con 80 cm.

Per le stazioni di misura di Segl-Maria, Arosa e Einsiedeln non è possibile individuare una tendenza significativa nella quantità totale di neve fresca misurata durante il semestre invernale. A Lucerna si osserva invece una significativa diminuzione di 2.8 cm per decennio. Tuttavia, bisogna sottolineare che i dati giornalieri e mensili dei quantitativi di neve fresca non sono omogenei.

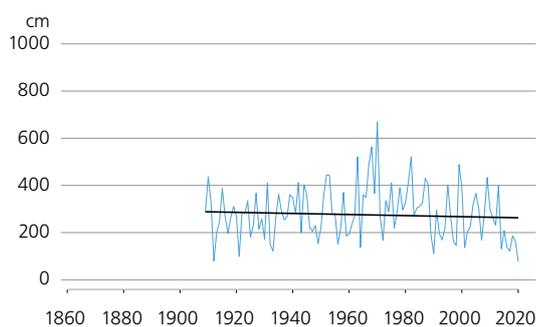
Figura 5.22
**Quantitativi cumulati
di neve fresca (in cm) nel
semestre invernale dall'i-
nizio delle misurazioni
al 2020 nelle stazioni di
Lucerna, Einsiedeln,
Arosa e Segl-Maria.**

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

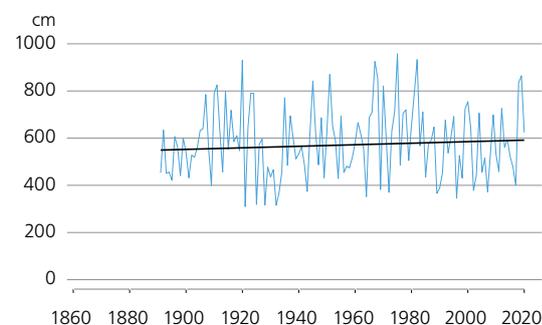
Lucerna 454 m



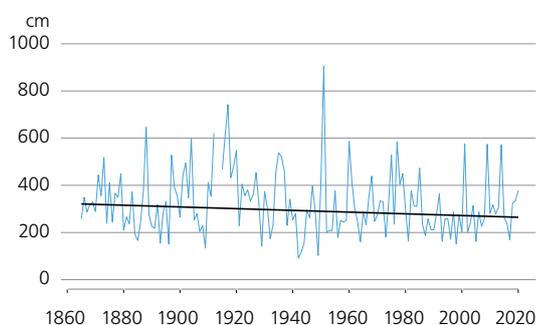
Einsiedeln 910 m



Arosa 1840 m



Segl-Maria 1798 m



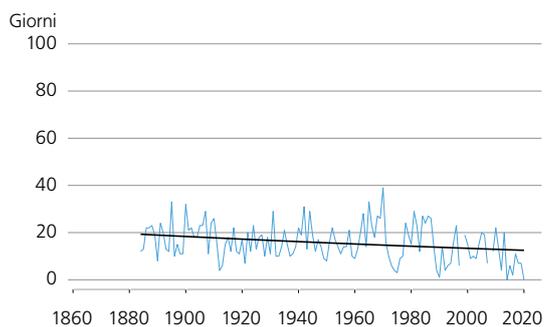
Giorni con neve fresca

Il numero di giorni con neve fresca nell'inverno 2019/20 mette in evidenza un quadro analogo a quello dei quantitativi di neve fresca. Ad Arosa si sono verificati 69 giorni, numero che corrisponde pressoché alla norma (71 giorni). Anche il numero di giorni con neve fresca di Segl-Maria, pari a 44, è vicino alla norma (42 giorni). A Lucerna non è stato registrato alcun giorno con neve fresca nel semestre invernale da ottobre 2019 a marzo 2020. A Einsiedeln si sono contati 16 giorni (norma 46 giorni). In passato i giorni con neve fresca erano stati così pochi solo nel 1912.

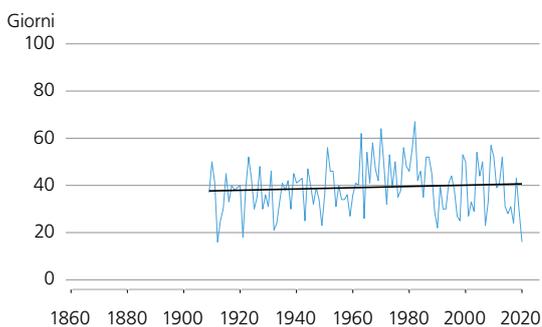
Nella serie di misura della stazione di Arosa si riscontra una tendenza significativa verso un aumento del numero di giorni con neve fresca (quasi +1.6 giorni/10 anni). A Lucerna si rileva invece una tendenza debole ma significativa verso un minor numero di giorni con neve fresca (-0.5 giorni/10 anni). 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 [8]. 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.

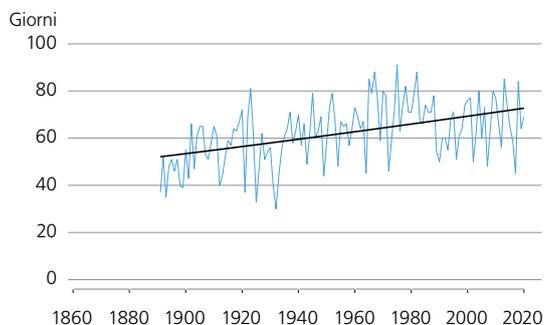
Lucerna 454 m



Einsiedeln 910 m



Arosa 1840 m



Segl-Maria 1798 m.

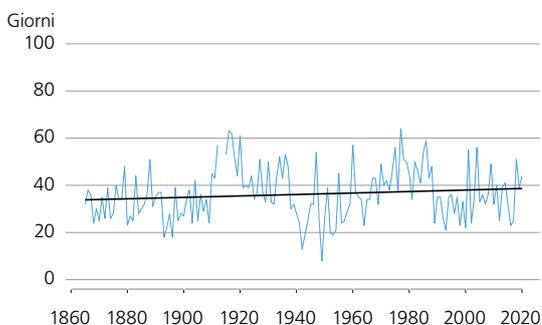


Figura 5.23

Numero di giorni con neve fresca nel semestre invernale dall'inizio delle misurazioni al 2020 nelle stazioni di Lucerna, Einsiedeln, Arosa e Segl-Maria.

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

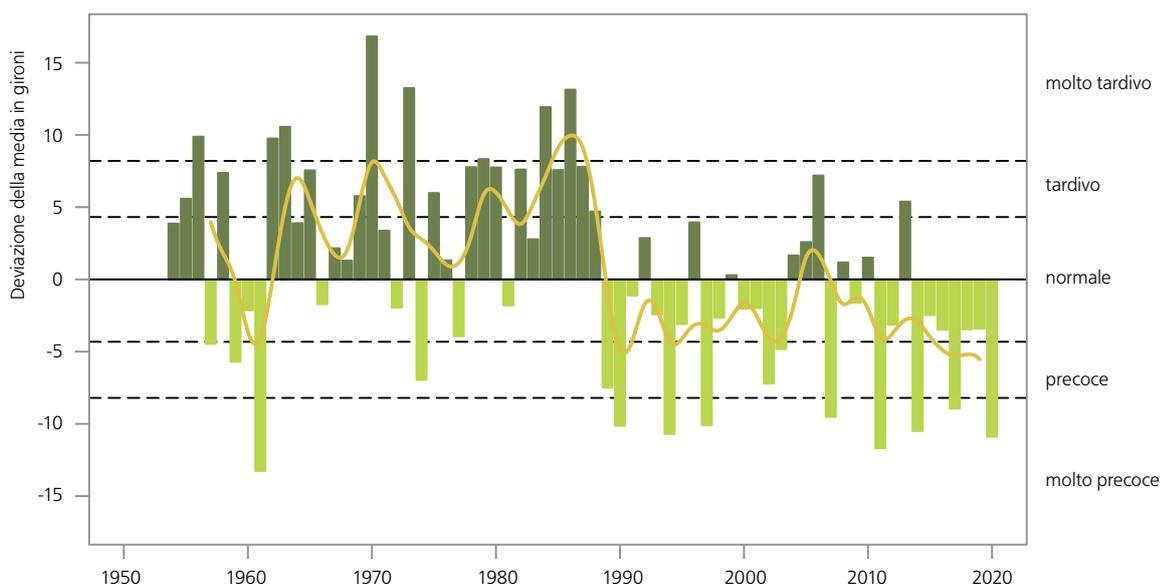
Indice di primavera

L'indice di primavera è utilizzato quale grandezza per determinare il grado di sviluppo della vegetazione in primavera rispetto agli anni precedenti o rispetto all'andamento storico. Lo sviluppo della vegetazione in primavera dipende principalmente dall'evoluzione della temperatura invernale e primaverile [26].

Nel 2020 la vegetazione primaverile si è sviluppata molto precocemente. Da gennaio a marzo lo sviluppo della vegetazione aveva un anticipo di 2–4 settimane rispetto alla media del periodo 1981–2010. La fioritura degli alberi da frutto all'inizio di aprile rientra fra gli anni con la fioritura più precoce e presenta un anticipo di 14–16 giorni. A partire dall'inizio di aprile i boschi sono diventati verdi molto rapidamente. Già nella terza decade di aprile anche le stazioni fenologiche situate alle quote più alte hanno osservato lo spiegamento delle foglie dei faggi. Questo sviluppo molto precoce della vegetazione è da ricondurre al secondo febbraio più caldo insieme ai terzi mesi primaverili più caldi (da marzo a maggio).

In concomitanza con l'aumento delle temperature in inverno e soprattutto in primavera dalla metà degli anni 1980, l'indice di primavera ha mostrato un cambiamento repentino verso uno sviluppo vegetativo primaverile più precoce a partire da questo periodo.

Figura 5.24
Andamento annuale dello sviluppo della vegetazione (indice di primavera) in tutta la Svizzera dal 1954–2020, riportato come deviazione dalla media pluriennale dello sviluppo della vegetazione. 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 17 marzo 2020 si è verificato con un anticipo di 20 giorni rispetto alla media del periodo 1981–2010, a seguito delle temperature elevate verificatesi in febbraio e marzo. Dopo il 16 marzo 1990 la data di fioritura è stata la seconda più precoce, insieme al 18 marzo 2002 (anno bisestile 2020). Se confrontato con l'intero periodo di misurazione, la data del 2020 mostra un anticipo di 25 giorni rispetto alla data media.

Di grande importanza è anche la serie storica 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 2020 lo spiegamento delle foglie è avvenuto l'8 marzo. Lo spiegamento delle foglie dell'ippocastano è fortemente influenzato dalle temperature, ma possono incidere anche altri fattori quali l'età della pianta o il clima urbano. Il motivo per cui da alcuni anni lo spiegamento delle foglie avviene di nuovo più tardi è tuttora sconosciuto.

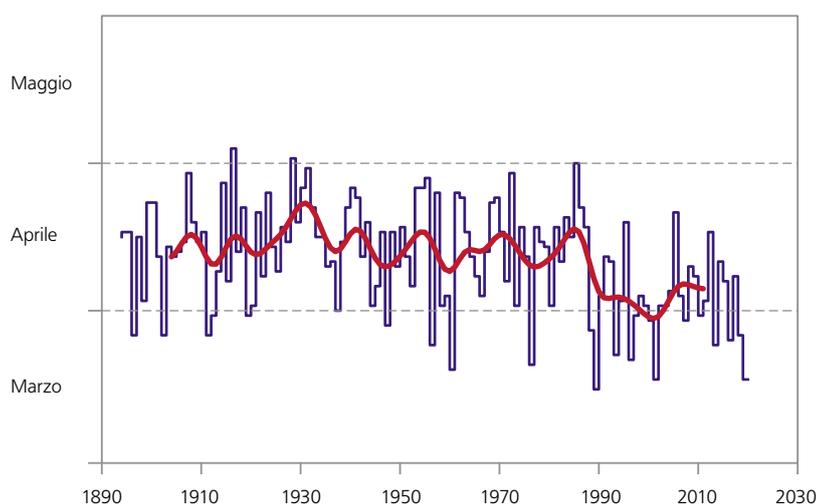


Figura 5.25

Sopra:

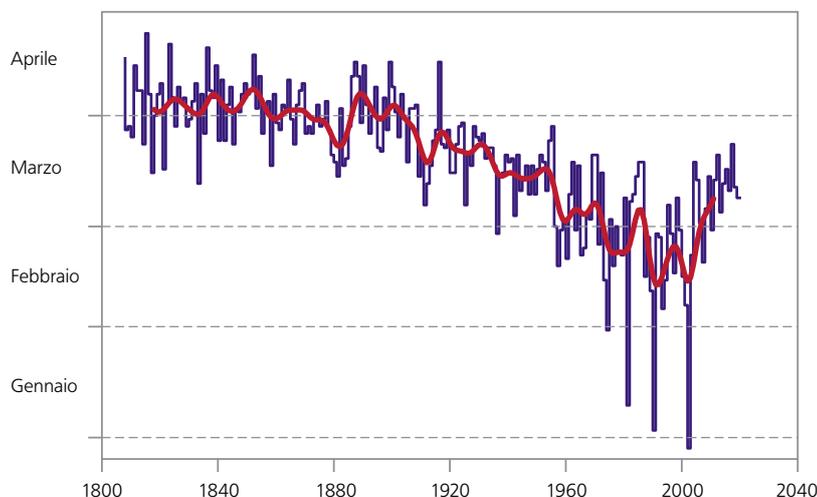
Data di fioritura del ciliegio a Liestal dal 1894 al 2020.

Fonte: Landw. Zentrum Ebenrain, Sissach e MeteoSvizzera

Sotto:

Data dello spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra dal 1808 al 2020.

Fonte: Grand Conseil de la République e Cantone di Ginevra







5.3 Base dei dati e dei metodi

Scelta di indicatori climatici secondo l'OMM

Gli indicatori climatici secondo l'OMM sono calcolati in base alle regole e al software ufficiale del WMO Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) [15], 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 [2]).

meteosvizzera.admin.ch/home/clima/il-clima-svizzero-nei-dettagli/temperatura-media-svizzera.html

Nell'analisi del trend, è indicato quanto risulta statisticamente significativa la tendenza. Vengono distinti i due livelli «molto significativo» e «significativo». «Molto significativo» indica che è possibile affermare con grande certezza che una tendenza è presente (valore $p \leq 0.01$; la probabilità di errore è dell'1 % o meno). «Significativo» indica che è possibile affermare con buona certezza che una tendenza è presente (valore > 0.01 e ≤ 0.05 ; la probabilità di errore tra 1 % e 5 %). «Non significativo» indica che in base alla soglia di significanza scelta (valore $p = 0.05$) non è presente una tendenza accertabile.

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 [2]).

Nell'analisi del trend, è indicato quanto risulta statisticamente significativa la tendenza. Vengono distinti i due livelli «molto significativo» e «significativo». «Molto significativo» indica che è possibile affermare con grande certezza che una tendenza è presente (valore $p \leq 0.01$; la probabilità di errore è dell'1 % o meno). «Significativo» indica che è possibile affermare con buona certezza che una tendenza è presente (valore > 0.01 e ≤ 0.05 ; la probabilità di errore tra 1 % e 5 %). «Non significativo» indica che in base alla soglia di significanza scelta (valore $p = 0.05$) non è presente una tendenza accertabile.

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 [28]. 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:

meteosvizzera.admin.ch/home/clima/il-clima-svizzero-nei-dettagli/analisi-dei-valori-estremi.html

Precipitazioni nei giorni molto piovosi

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

Indice di siccità

Gli indici SPI (Standardized Precipitation Index, [29]) e SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, [30]) zeigen die Abweichungen vom mittleren Niederschlag und der mittleren klimatischen Wasserbilanz (Differenz von monatlichen Niederschlag und evapotranspiration). 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 1–48 mesi) e viene calcolato sulla base dei quantitativi mensili delle precipitazioni. Le precipitazioni accumulate negli ultimi mesi (da 1–48) 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 [31]. 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 due gradi ogni chilometro (cioè 0,2 °C/100 metri). Inoltre deve essere soddisfatta la condizione che in uno strato spesso due 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 1981–2010, 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 è confrontata con la media su 25 anni del periodo 1993–2017. Il motivo risiede nel fatto che l'inizio delle misure nelle diverse stazioni è avvenuto in maniera molto diversa, dal 1969 a Basilea al 1997 a Losanna.

L'integrale delle concentrazioni dei pollini (numero di pollini/m³ giorno) è calcolato in base alla concentrazione giornaliera di polline nell'aria. Per ogni giorno è determinato il numero di pollini per metro cubo d'aria per il tipo di polline in questione. Questo numero viene sommato per tutto l'anno.

Stazioni della rete pollinica utilizzate per il grafico sull'intensità dei pollini: Svizzera centrale e orientale: Basilea, Buchs, Lucerna, Münsterlingen e Zurigo. Svizzera occidentale: Berna, Ginevra, Neuchâtel. Ticino: Locarno e Lugano.

Quantitativi di neve fresca e giorni con neve fresca

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

Indice di primavera

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

L'indice di primavera utilizzato nel presente rapporto è composto in base alle dieci seguenti fasi fenologiche: fioritura del nocciolo, fioritura della tossilagine comune, fioritura dell'ane-mone, 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 [26].



Bibliografie

- [1] S. Bader, A. Burgstall, A. Casanueva, A. Duguay-Tetzlaff, R. Gehrig, S. Gubler, S. Kotlarski, S. Scherrer, C. Spirig, 2018: Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp.
- [2] M. Begert, G. Seiz, N. Foppa, T. Schlegel, C. Appenzeller, G. Müller, 2007: Die Überführung der klimatologischen Referenzstationen der Schweiz in das Swiss National Climatological Network (Swiss NBCN). Arbeitsbericht MeteoSchweiz, 215.
- [3] 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 [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [4] M. Collaud Coen, E. Andrews, A. Alastuey, T. P. Arsov, J. Backman, B. T. Brem, N. Bukowiecki, C. Couret, K. Eleftheriadis, H. Flentje, M. Fiebig, M. Gysel-Beer, J. L. Hand, A. Hoffer, R. Hooda, C. Hueglin, W. Joubert, M. Keywood, J. E. Kim, S.-W. Kim, C. Labuschagne, N.-H. Lin, Y. Lin, C. Lund Myhre, K. Luoma, H. Lyamani, A. Marinoni, O. L. Mayol-Bracero, N. Mihalopoulos, M. Pandolfi, N. Prats, A. J. Prenni, J.-P. Putaud, L. Ries, F. Reisen, K. Sellegri, S. Sharma, P. Sheridan, J. P. Sherman, J. Sun, G. Titos, E. Torres, T. Tuch, R. Weller, A. Wiedensohler, P. Zieger and P. Laj: Multidecadal trend analysis of aerosol radiative properties around the world, Atmos. Chem. Phys. <https://acp.copernicus.org/articles/20/8867/2020/>
- [5] Y. Poltera, G. Martucci, M. Collaud Coen, M. Hervo, L. Emmenegger, S. Henne, D. Brunner and A. Haeefe (2017). PathfinderTURB: an automatic boundary layer algorithm. Development, validation and application to study the impact on in situ measurements at the Jungfraujoeh, Atmos. Chem. Phys., 17, 10051–10070. doi.org/10.5194/acp-17-10051-2017
- [6] MeteoSchweiz, 2018: Der Wintersturm Burglind/Eleanor in der Schweiz, Fachbericht MeteoSchweiz, 268, 35 pp.
- [7] MeteoSchweiz: 2018, Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp.
- [8] NCCS (Hrsg.), 2018: CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2. [klimaszenarien.ch](https://www.klimaszenarien.ch)
- [9] WMO 2021: State of the Global Climate 2020. public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate
- [10] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020, published online January 2021, retrieved on January 15, 2021. [ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013](https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013)
- [11] University of East Anglia, 2019: Temperature anomaly (from the base period 1961–90) datasets HadCRUT4. www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4/data/current/download.html
- [12] MEI-Daten unter: [esrl.noaa.gov/psd/enso/mei](https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei)
- [13] G. Seiz, N. Foppa, 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S. https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/suche.subpage.html/de/data/publications/2007/10/nationales-klima-beobachtungssystem.html?query=seiz+foppa+GCOS&pageIndex=0&tab=search_tab
- [14] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.

- [15] library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=138
- [16] WMO, 2017: WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals, No. 1203. library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20130
- [17] M. Beniston, 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.
- [18] S. C. Scherrer, C. Appenzeller, M. Laternser, 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.
- [19] M. Laternser, M. Schneebeli, 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931-99). *International Journal of Climatology* 23: 733–750.
- [20] C. Marty, 2008: Regime shift of snowdays in Switzerland, *Geophys. Res. Lett.* 35, L12501, doi: 10.1029/2008GL033998.
- [21] C. Wüthrich, 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit.
- [22] S. C. Scherrer, E. M. Fischer, R. Posselt, M. A. Liniger, M. Croci-Maspoli and R. Knutti, 2016: Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi: 10.1002/2015JD024634.
- [23] P. Calanca, 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] C. Pfister, M. Rutishauser, 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. occc.ch/reports_e.html
- [25] G. Favaro, P. Jeannot, R. Stübi, 2002: Re-evaluation and trend analysis of the Payerne ozone soundings. Veröffentlichungen der MeteoSchweiz Nr. 63. MeteoSchweiz, Zürich.
- [26] S. Studer, C. Appenzeller and C. Defila, 2005: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395–414.
- [27] M. Begert, G. Seiz, T. Schlegel, M. Musa, G. Baudraz and M. Moesch, 2003: Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961–1990. Schlussbericht des Projekts NORM90. MeteoSchweiz, Zürich.
- [28] C. Frei and C. Schär, 2001: Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitations in the Alpine region. *Journal of climate* 14: 1568–1584.
- [29] T. B. McKee, N. J. Doesken and J. Kleist, 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.
- [30] S. Vicente-Serrano, S. Bugueria and J. Lopez-Moreno, 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.
- [31] A. Güller, 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).
- [32] Scott C. Sheridan and Cameron C. Lee: Temporal Trends in Absolute and Relative Extreme Temperature Events Across North America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2018; doi: 10.1029/2018JD029150.

- [33] I. Isaksen, E. Hesstvedt and F. Stordal: Influence of stratospheric cooling from CO₂ on the ozone layer. *Nature* 283, 189–191 (1980) doi: 10.1038/283189A0.
- [34] N. Humpage, H. Boesch, P. I. Palmer, A. Vick, P. Parr-Burman, M. Wells, D. Pearson, J. Strachan and N. Bezawada: Green-House 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://amt.copernicus.org/articles/11/5199/2018/>
- [35] R. Philipona, C. Mears, M. Fujiwara, P. Jeannot, P. Thorne, G. Bodeker, L. Haimberger, M. Hervo, C. Popp, G. Romanens, W. Steinbrecht, R. Stübi and R. Van Malderen, 2018: Radiosondes show that after decades of cooling the lower stratosphere is now warming. *J Geophys Res* 123(22): 12–509
- [36] WMO, 1957: Definition of the tropopause. *WMO Bull.*, 6, 136.



Indirizzi

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

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

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

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