

I cambiamenti climatici in Svizzera

Indicatori riguardanti cause, effetti e misure



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ufficio federale dell'ambiente UFAM

Ufficio federale di meteorologia e climatologia
MeteoSvizzera

National Centre for Climate Services NCCS

I cambiamenti climatici in Svizzera

Indicatori riguardanti cause, effetti e misure

Nota editoriale

Editore

Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

L'UFAM è un ufficio del Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC).

e

Ufficio federale di meteorologia e climatologia (MeteoSvizzera)

MeteoSvizzera è un ufficio del Dipartimento federale dell'interno (DFI).

Collaborazione sotto l'egida del National Centre for Climate Services (NCCS)

Direzione del progetto e redazione

Alexandre Berset, Cornelia Schwierz e Carla Gross

Autori

Ufficio federale dell'ambiente UFAM: Alexandre Berset, Raphael

Bucher, Guirec Gicquel, Carla Gross, Sabine Kleppek, Roger Ramer, Silvia Ruprecht-Martignoli, Andreas Schellenberger, Adrian Schilt, Martina Zoller (tutti divisione Clima), Martin

Barben, Thilo Herold, Petra Schmocker-Fackel, Marc Schürch, Adrian Jakob, Ronald Kozel (divisione Idrologia), Ulrich Walter Sieber (divisione Acque), Gudrun Schwilch Brünisholz, Rudolf Stähli (divisione Suolo e biotecnologia), Diego Dagani, Markus Thommen, Gian-Reto Walther (divisione Specie, ecosistemi, paesaggi), Sabine Augustin, Christoph Dürr (divisione Foreste), Carolin Monika Schärpf (divisione Prevenzione dei pericoli), Hannah Scheuthle (sezione Osservazione ambientale)

Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera:

Stephan Bader, Michael Begert, Olivier Duding, Anke Duguay-Tetzlaff, Andreas Fischer, Regula Gehrig, Francesco Isotta, Sven Kotlarski, Luca Panziera, Simon Scherrer, Cornelia Schwierz, Elias Zubler

Ufficio federale dello sviluppo territoriale ARE: Melanie Gicquel, Fiona Spycher

Ufficio federale dell'energia UFE: Lukas Gutzwiller, Leoni Jossen, Aline Tagmann

Ufficio federale della protezione della popolazione UFPP:

Christoph Werner

GLAMOS: Matthias Huss

PERMOS: Jeannette Nötzli

SWISS TPH: Pie Müller, Martina Ragetti

Stazione ornitologica: Thomas Sattler

Revisione

Ufficio federale dell'ambiente UFAM: Roland Hohmann,

Regine Röthlisberger (divisione Clima), Markus Wüest (sezione Osservazione ambientale)

MeteoSvizzera: Mischa Croci-Maspoli, Sven Kotlarski

National Centre for Climate Services (NCCS): Angela Michiko Hama

Revisione editoriale

dialog:umwelt GmbH: Markus Nauser

Indicazione bibliografica

UFAM et al., 2020: I cambiamenti climatici in Svizzera. Indicatori riguardanti cause, effetti e misure. Stato dell'ambiente n. 2013: 105 pagg.

Grafica e impaginazione

Cavetti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Traduzione

Servizio linguistico italiano, UFAM

Foto di copertina

Siccità sul Lago di Brenets, ottobre 2018

© Anthony Anex, Keystone

Link per scaricare il pdf

www.bafu.admin.ch/uz-2013-i

La versione cartacea non può essere ordinata.

La presente pubblicazione è disponibile anche in tedesco e francese. In inglese è disponibile un riassunto. La lingua originale è il tedesco.

© UFAM 2020

Indice

Abstracts	5	6	Effetti dei cambiamenti climatici sui sistemi antropogenici	63
Prefazione	6	6.1	Salute umana	63
Riassunto	7	6.2	Produzione e consumo di energia	66
1 Introduzione	9	6.3	Gestione delle acque	68
1.1 Contesto	9	6.4	Turismo invernale	69
1.2 Basi	9	6.5	Conseguenze in altri settori	71
1.3 Struttura del rapporto	10	6.6	Costi economici	71
2 Emissioni di gas serra in Svizzera	11	6.7	Conseguenze indirette	72
2.1 Emissioni di gas serra sul territorio nazionale per singoli gas	11	7 Riduzione delle emissioni	74	
2.2 Emissioni di gas serra sul territorio nazionale per singoli settori	12	7.1	Obiettivi internazionali di riduzione	74
2.3 Intensità di gas serra	23	7.2	Obiettivi nazionali di riduzione	76
2.4 Emissioni nazionali della Svizzera nel confronto internazionale	25	7.3	Misure per ridurre le emissioni secondo la legge sul CO ₂	78
2.5 Emissioni causate dai consumi in Svizzera	27	7.4	Altri importanti contributi per la riduzione delle emissioni	81
3 Evoluzione del clima osservata in Svizzera	29	8 Adattamento ai cambiamenti climatici	86	
3.1 Temperatura media annuale e stagionale	30	8.1	Piano d'azione	86
3.2 Ulteriori indicatori delle temperature	33	8.2	Programma pilota «Adattamento ai cambiamenti climatici»	87
3.3 Precipitazioni e siccità	36	8.3	Adattamento nella gestione delle acque	88
3.4 Isoterma di zero gradi e copertura nevosa	39	8.4	Adattamento nello sviluppo territoriale	88
3.5 Soleggiamento e nuvolosità	41	8.5	Adattamento agli eventi naturali estremi	89
3.6 Indicatori climatici sinora senza variazioni visibili	41	8.6	Economia forestale adattata al clima	90
4 Il futuro del clima in Svizzera	42	8.7	Adattamento nel turismo invernale	91
4.1 Scenari di emissione e modelli climatici come base	42	8.8	Adattamento in altri settori	92
4.2 Evoluzione della temperatura con e senza protezione del clima	42	9 Conclusione	94	
4.3 Sintesi dei principali risultati degli scenari climatici CH2018	43	10 Elenco delle abbreviazioni	95	
4.4 Ulteriori studi e attività	46	11 Bibliografia	96	
5 Effetti dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali	47			
5.1 Idrosfera	47			
5.2 Criosfera	50			
5.3 Pedosfera	54			
5.4 Biosfera	54			

Abstracts

Human activity is changing the climate, and indicators show that Switzerland is particularly hard hit by climate change. Using selected examples, this report describes Switzerland's contribution to climate change (greenhouse gas emissions and their sources), the observed state of the climate and its expected future development, as well as the impacts of climate change on natural systems, society and the economy. It also presents the main policy responses and measures on emissions reduction and climate change adaptation.

Le attività antropiche provocano un mutamento climatico e, come dimostrano gli indicatori, la Svizzera ne è particolarmente colpita. Sulla base di una selezione di esempi, il presente rapporto illustra il contributo della Svizzera ai cambiamenti climatici (emissioni di gas serra e loro fonti), lo stato del clima osservato e l'atteso sviluppo futuro nonché gli effetti dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali, la società e l'economia. Sono inoltre presentate le principali risposte del mondo politico e le misure adottate negli ambiti della riduzione delle emissioni e dell'adattamento ai cambiamenti climatici.

Menschliche Aktivitäten führen zu einer Veränderung des Klimas. Indikatoren belegen, dass die Schweiz vom Klimawandel besonders stark betroffen ist. Dieser Bericht beschreibt anhand von ausgewählten Beispielen den Beitrag der Schweiz zum Klimawandel (Emissionen von Treibhausgasen und deren Quellen), den Zustand des beobachteten Klimas und seine erwartete, zukünftige Entwicklung sowie die Auswirkungen des Klimawandels auf die natürlichen Systeme sowie Gesellschaft und Wirtschaft. Ebenso werden die wichtigsten politischen Antworten und Massnahmen in den Bereichen Emissionsverminderung und Anpassung an den Klimawandel vorgestellt.

Les activités humaines modifient le climat. Les indicateurs montrent que la Suisse est particulièrement touchée par les changements climatiques. Ce rapport décrit, à l'aide d'exemples choisis, la contribution de la Suisse à ces changements (émissions de gaz à effet de serre et leurs sources), les observations concernant l'état du climat et son évolution future attendue, ainsi que les effets des changements climatiques sur les systèmes naturels, la société et l'économie. Il présente également les principales réponses et mesures politiques dans une optique de réduction des émissions et d'adaptation aux changements climatiques.

Keywords:

Climate change, greenhouse gas emissions, climate policy, impacts, emissions reduction, adaptation, indicator, Switzerland.

Parole chiave:

cambiamenti climatici, emissioni di gas serra, politica climatica, effetti, riduzione delle emissioni, adattamento, indicatore, Svizzera.

Stichwörter:

Klimawandel, Treibhausgasemissionen, Klimapolitik, Auswirkungen, Emissionsverminderung, Anpassung, Indikator, Schweiz.

Mots-clés :

changements climatiques, émissions de gaz à effet de serre, politique climatique, effets, réduction des émissions, adaptation, indicateur, Suisse.

Prefazione

Le trasformazioni del sistema climatico sono evidenti ovunque e interessano numerosi settori. Oggi gli esperti sono unanimi nel ritenere che le emissioni di gas serra prodotte dall'attività umana sono le principali responsabili dei cambiamenti climatici. Con la crescita della popolazione mondiale e il sempre maggiore fabbisogno di energia, le emissioni di gas serra continueranno ad aumentare se non saranno adottate opportune contromisure. A ciò si aggiunge che, una volta emessi, questi gas permangono nell'atmosfera per decenni o, addirittura, secoli aggravando il riscaldamento globale. Anche rigorose misure di protezione potranno solo mitigare, ma non arrestare i cambiamenti climatici.

A livello internazionale, l'Accordo di Parigi stipulato nel 2015 rappresenta una tappa fondamentale nella lotta contro i cambiamenti climatici. Oggi, la realtà di detti cambiamenti e l'urgenza di un'azione coordinata sul piano internazionale non sono più messe in discussione. Numerose iniziative a favore del clima sono già in fase di attuazione.

Anche la Svizzera persegue una politica climatica basata sulla riduzione delle emissioni di gas serra e sull'adattamento alle conseguenze dei cambiamenti climatici. Grazie a lunghe serie di misurazioni, la Confederazione è in grado di approntare una vasta gamma di indicatori che descrivono l'evoluzione del clima a lungo termine e ne documentano i cambiamenti. Gli indicatori climatici forniscono basi importanti affinché l'economia e la politica trovino una risposta adeguata: in tal modo sarà possibile individuare tempestivamente le conseguenze nefaste e verificare l'adeguatezza e l'efficacia delle contromisure.

Il presente rapporto si rifà a precedenti pubblicazioni, ma esce per la prima volta sotto l'egida del *National Centre for Climate Services* (NCCS). Documenta le cause e gli effetti dei cambiamenti climatici e fornisce numerosi elementi a riprova della necessità di adottare misure di riduzione delle emissioni e di adattamento.

Katrin Schneeberger, direttrice
Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

Peter Binder, direttore
Ufficio federale di meteorologia e climatologia (MeteoSvizzera)

Riassunto

L'emissione di gas serra da parte dell'uomo è la principale causa del riscaldamento globale, fenomeno osservato sin dal 1850. In Svizzera le emissioni di CO₂ provengono in gran parte dal consumo di energia. Secondo l'inventario nazionale dei gas serra, tra il 1900 e il 2018 le emissioni di CO₂ si sono sestuplicate, registrando l'incremento più massiccio tra il 1945 e il 1970, e da allora si sono pressoché stabilizzate su questo livello elevato. Questo andamento è riconducibile soprattutto alla forte espansione economica e alla crescita rapidissima del traffico stradale.

Dal 2005 le emissioni totali di gas serra della Svizzera sono leggermente diminuite e nel 2018 si attestavano a 46,4 milioni di tonnellate di CO₂ equivalenti, ma il dato non comprende tutte le emissioni che possono essere imputate alla Svizzera. Infatti, considerando l'impatto globale dei consumi svizzeri, nel 2015 il 70 per cento circa delle emissioni di gas serra è stato generato all'estero.

In Svizzera la temperatura media è aumentata di circa 2 °C dall'era preindustriale, con un incremento più che doppio rispetto a quello della temperatura media globale. I cinque anni più caldi della serie di misurazioni (dal 1864 al 2019) si sono verificati tutti dopo il 2010. Le ondate di calore e il crescente numero di giornate e di notti calde, così come la diminuzione della copertura nevosa nell'Altopiano sono la prova inconfutabile dei cambiamenti climatici. Anche le forti precipitazioni sono diventate più intense e più frequenti.

Il futuro del clima in Svizzera è strettamente correlato all'andamento delle emissioni globali di gas serra. Se si riuscirà a ridurle massicciamente nei prossimi decenni, i più recenti scenari climatici CH2018 prospettano per la Svizzera un riscaldamento di 2,1–3,4 °C rispetto al livello preindustriale entro la fine del secolo. Se, invece, le emissioni di gas serra continueranno ad aumentare, nello stesso lasso di tempo la temperatura media in Svizzera potrebbe aumentare di 4,8–6,9 °C rispetto al livello preindustriale. Secondo questo scenario pessimistico, entro la metà del XXI secolo le precipitazioni estive potrebbero diminuire in media del 25 per cento (40% entro la fine del secolo), la frequenza delle forti precipi-

tazioni salirebbe del 10 per cento (20% entro la fine del secolo) e l'intensità e la frequenza delle ondate di calore aumenterebbero sensibilmente. Interventi sistematici di protezione del clima consentirebbero invece di evitare circa la metà delle possibili conseguenze sul clima della Svizzera entro il 2060 e due terzi di esse entro il 2100.

Gli effetti dei cambiamenti climatici sono sempre più evidenti, in particolare nelle aree ghiacciate. Da oltre 100 anni i ghiacciai svizzeri si ritirano gradualmente e negli ultimi dieci anni la perdita di volume ha subito un'accelerazione al 2 per cento annuo in media. È ipotizzabile che nella regione alpina rimarranno soltanto sporadici resti di ghiacciai entro la fine di questo secolo, come d'altronde sta già avvenendo per i ghiacciai più piccoli: dal 2019 il ghiacciaio del Pizol non viene più misurato a causa della sua esigua superficie residua.

Dall'inizio delle misurazioni, negli anni Sessanta, si registrano temperature in aumento nei principali corsi d'acqua della Svizzera. L'immissione di acqua di raffreddamento è una delle concause di questa tendenza, ma anche i cambiamenti climatici svolgono un ruolo rilevante. Pure nel mondo vegetale e animale si osservano importanti trasformazioni. In tutta la Svizzera la fase germinativa di diverse specie di piante comincia sempre prima. Nel periodo 1951–2019, nove anni sono stati contrassegnati da un inizio «molto precoce» della primavera, sette dei quali a partire dal 1990.

I cambiamenti climatici hanno un impatto anche sulla società. Le ondate di calore nuocciono all'organismo umano. Infatti, possono causare disidratazione o compromettere le funzioni cardiache o polmonari, con un conseguente aumento delle ammissioni in pronto soccorso. Gli anziani e i neonati sono particolarmente a rischio. In Svizzera, durante l'estate canicolare del 2003, sono decedute 975 persone in più del consueto da giugno ad agosto. Anche nell'estate del 2015 e, seppure in misura meno marcata, in quella del 2018 sono stati registrati tassi più elevati di mortalità.

Per il secondo periodo d'impegno nell'ambito del Protocollo di Kyoto, la Svizzera ha annunciato che intende

conseguire entro il 2020 un obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra pari al 20 per cento rispetto al 1990. I più recenti dati disponibili dell'inventario nazionale dei gas serra per il 2018 evidenziano tuttavia che l'obiettivo non sarà probabilmente raggiunto. Con la ratifica dell'Accordo di Parigi, la Svizzera si è impegnata a ridurre le sue emissioni del 50 per cento entro il 2030. Ha inoltre annunciato di voler azzerarne il saldo netto entro il 2050. Se vuole raggiungere questi obiettivi, deve intensificare notevolmente i propri sforzi.

La legge sul CO₂ è il principale fondamento delle misure volte a ridurre le emissioni. Dal 2010 il Programma Edifici, per esempio, consente di ridurre circa 0,5 milioni di tonnellate di CO₂ l'anno (stato 2017). Il Programma, in parte finanziato con i proventi della tassa sul CO₂, incentiva tra l'altro i risanamenti energetici o la sostituzione dei sistemi di riscaldamento a combustibili fossili. Il 25 settembre 2020, il Parlamento ha approvato la revisione della legge sul CO₂, che prevede una riduzione delle emissioni di almeno il 50 per cento rispetto al 1990.

Tuttavia, l'inerzia del sistema climatico implica che i cambiamenti climatici proseguiranno anche in caso di azzeramento immediato delle emissioni di gas serra. La Svizzera deve dunque prepararsi tempestivamente alle prevedibili conseguenze. Nel 2012 il Consiglio federale ha adottato una strategia di adattamento ai cambiamenti climatici i cui obiettivi sono ridurre al minimo i rischi, sfruttare le opportunità e aumentare la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici. Nel settore delle acque, per esempio, viene perseguito l'obiettivo di una gestione delle risorse idriche sostenibile, orientata all'offerta. La Confederazione promuove l'attuazione della strategia di adattamento con il programma pilota *Adattamento ai cambiamenti climatici*.

Per sostenere il continuo sviluppo e l'applicazione delle misure di protezione del clima o di adattamento, nel 2015 la Confederazione ha creato il *National Centre for Climate Services* (NCCS), una rete i cui membri¹ forniscono un accesso unico ai servizi climatici che mettono a disposizione tramite la piattaforma www.nccs.ch. L'elemento centrale è il dialogo e lo sviluppo dei servizi climatici nell'ambito di partenariati tra produttori e utilizzatori. Il presente rapporto è un esempio della collaborazione e dello scambio di conoscenze specialistiche tra le istituzioni e gli attori che si occupano di cambiamenti climatici.

1 www.nccs.admin.ch/membri-e-partner

1 Introduzione

1.1 Contesto

I gas serra sono presenti nell'atmosfera e assorbono una parte del calore irradiato dalla Terra altrimenti destinato a disperdersi nello spazio. Sono necessari alla vita sulla Terra, perché influiscono in misura determinante sul bilancio radiativo globale e, quindi, anche sulle temperature. Essi comprendono gas naturali come il vapore acqueo (H₂O), il diossido di carbonio (CO₂), il metano (CH₄) e il protossido di azoto (N₂O) nonché gas prodotti dall'uomo, come gli idrofluorocarburi (HFC).

Le concentrazioni nell'atmosfera dei principali gas serra (CO₂, N₂O e CH₄) sono salite negli ultimi anni a valori che non erano più stati raggiunti da almeno 800 000 anni (IPCC 2013/2014). L'analisi delle carote di ghiaccio mostra anche che un'alta concentrazione di CO₂ nell'atmosfera è sempre stata abbinata a temperature esterne elevate (effetto serra). Inoltre, la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera negli ultimi 22 000 anni non ha mai registrato un incremento così rapido come quello del secolo scorso (IPCC 2013/2014), che è soprattutto la conseguenza delle attività antropiche, in primo luogo il consumo di combustibili e carburanti fossili e i cambiamenti di destinazione del territorio. Da un valore preindustriale di circa 280 ppm² nel 1750 siamo così passati a oltre 415 ppm nel 2019 (Scripps 2019).

Il riscaldamento climatico è evidente e molti dei cambiamenti constatati dagli anni Cinquanta non si erano mai verificati prima sull'arco di decine a migliaia di anni (IPCC 2014b). Nel corso del XX secolo e, in particolare, dagli anni Ottanta si osserva un forte innalzamento delle temperature. Dall'inizio delle misurazioni sistematiche, il riscaldamento globale risulta di 1 °C circa e la variabilità del clima non è sufficiente a spiegare questo rapido cambiamento. L'influsso dell'uomo e il suo impatto sul clima sono oggi indiscussi. La costituzione del Comitato intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC) nel 1988, con i suoi rapporti periodici sullo stato delle conoscenze scientifiche, tecniche e socioeconomiche, e la Convenzio-

ne quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici del 1992 segnano l'inizio degli sforzi concertati a livello internazionale per proteggere il sistema climatico. Nel 2015 l'Accordo di Parigi (in inglese: *Paris Agreement*³) è stato sottoscritto da 197 Stati con l'obiettivo di limitare il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2 °C rispetto ai valori preindustriali. Al contempo, i flussi finanziari devono essere armonizzati con un percorso che conduca a uno sviluppo a basse emissioni di gas serra e resiliente ai cambiamenti climatici. La Svizzera ha ratificato l'Accordo il 6 gennaio 2017.

I servizi climatici nel senso del Quadro globale per i servizi climatici (*Global Framework for Climate Services*, GFCS⁴) sono informazioni scientificamente fondate sul clima passato, attuale e futuro e sulle sue conseguenze sull'ambiente, l'economia e la società. Servono a pianificare e attuare misure più mirate ed efficaci di protezione del clima e di adattamento ai cambiamenti climatici e aiutano le autorità, il mondo politico e quello economico a prendere decisioni compatibili con il clima soprattutto al fine di gestire in modo più efficiente i rischi, riconoscere per tempo e sfruttare le opportunità nonché ottimizzare i costi. Il presente rapporto fornisce le relative informazioni sotto forma di indicatori che documentano i cambiamenti climatici, le loro cause e gli effetti. È stato elaborato congiuntamente dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) e da MeteoSvizzera nell'ambito del *National Centre for Climate Services* (NCCS).

1.2 Basi

Il presente rapporto aggiorna e integra i rapporti precedenti del 2007 (North et al. 2007) e del 2013 (Perroud & Bader 2013). Fornisce informazioni concernenti le cause dei cambiamenti climatici, i cambiamenti osservati nel clima in Svizzera, gli effetti sulla natura e sulla società nonché le misure di riduzione delle emissioni e di adattamento sinora adottate. Rispetto alle edizioni precedenti contiene inoltre informazioni riguardanti l'evoluzione attesa del

2 Dall'inglese: parts per million (parti per milione).

3 Per maggiori informazioni: unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php

4 Global Framework for Climate Services (GFCS): www.gfcs-climate.org

clima. È stato ampliato anche il capitolo che approfondisce gli effetti sulla società.

Per poter prendere decisioni fondate in merito ai cambiamenti climatici e verificare l'efficacia delle misure adottate, occorrono dati delle osservazioni di alta qualità e a lungo termine e proiezioni dettagliate sui cambiamenti climatici e le loro conseguenze. I dati, rilevati periodicamente, consentono di descrivere e valutare le cause e gli effetti dei cambiamenti climatici sull'ambiente naturale e umano in Svizzera. Gli indicatori contenuti nel presente rapporto devono soddisfare in particolare le seguenti condizioni: rappresentano gli elementi del sistema climatico, permettono di seguirne l'evoluzione temporale, si basano su un metodo scientifico, sono comprensibili e chiari, consentono un'interpretazione univoca.

Gli indicatori delle emissioni di gas serra provengono principalmente dall'inventario dei gas serra dell'UFAM, stilato ogni anno in base alle direttive della Convenzione sul clima e serve anche a verificare l'attuazione della legge sul CO₂. Con questo strumento l'UFAM dispone di dati dettagliati in merito all'andamento delle emissioni nei diversi settori.

Per quanto riguarda i dati sull'atmosfera, l'Ufficio federale di meteorologia e climatologia (MeteoSvizzera) gestisce una fitta rete di stazioni di osservazione. La rete climatologica di MeteoSvizzera registra grandezze meteorologiche nel Paese sin dal 1864. Con questi dati vengono studiati i mutamenti climatici del passato.

Per pianificare gli adattamenti ai cambiamenti climatici, i decisori devono tuttavia disporre anche di proiezioni sull'evoluzione futura. Per questa ragione, dal 2014 MeteoSvizzera ha ricevuto dalla Confederazione l'incarico di elaborare regolarmente scenari climatici per la Svizzera. Ciò avviene nell'ambito di una tematica prioritaria del NCCS. I più recenti scenari climatici CH2018 sono stati pubblicati il 13 novembre 2018⁵.

Per esprimersi sugli effetti dei cambiamenti climatici sull'ambiente naturale e la società si ricorre alle misurazioni e ai rilevamenti dell'UFAM come pure alle valutazioni

delle reti di misurazione e di osservazione o ai sondaggi condotti da altri uffici federali o da istituti di ricerca.

Gli indicatori sulle misure di riduzione delle emissioni e sui loro effetti si basano principalmente su dati dell'UFAM e dell'Ufficio federale dell'energia (UFE). Le misure di adattamento vengono adottate a diversi livelli (Confederazione, Cantoni, Comuni, economia privata) e riguardano una molteplicità di temi. Allo stato attuale manca un'esauriente visione d'insieme delle misure. Anche i dati qualitativi possono costituire importanti fonti d'informazione, in particolare in materia di adattamento.

1.3 Struttura del rapporto

Il presente rapporto è articolato in base al cosiddetto modello DPSIR⁶:

- Driving forces (determinanti);
- Pressures (pressioni);
- State (stato);
- Impact (impatto);
- Responses (risposte).

Questo modello consente di analizzare i nessi tra diversi fattori secondo una logica di causalità. Nel capitolo 2 è presentato l'andamento delle emissioni di gas serra e delle attività da cui hanno origine. L'evoluzione passata e futura del clima in Svizzera è illustrata nei capitoli 3 e 4. Nei capitoli 5 e 6 sono esposti gli effetti dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali e antropogenici. I capitoli 7 e 8 comprendono indicatori che forniscono informazioni sulle misure adottate per la riduzione delle emissioni e l'adattamento e sul loro impatto.

5 Per maggiori informazioni: www.scenarioclimatici.ch

6 Per maggiori informazioni: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/stato/definizione--determinanti--pressioni--stato--impatto--risposte--.html>

2 Emissioni di gas serra in Svizzera

I cambiamenti climatici osservati dalla metà del XX secolo sono ascrivibili alle emissioni di gas serra causate dalle attività antropiche. Con l'avvento dell'impiego diffuso del petrolio come combustibile e carburante, le emissioni di gas serra su scala globale hanno cominciato a registrare un forte aumento all'inizio degli anni Cinquanta (IPCC 2014b).

Il presente capitolo approfondisce le responsabilità della Svizzera nelle emissioni di gas serra e il suo contributo ai cambiamenti climatici globali. I primi quattro sottocapitoli si occupano delle emissioni sul territorio nazionale. I dati si basano sull'inventario dei gas serra, che la Svizzera si è impegnata a stilare ogni anno nell'ambito della Convenzione sul clima. Nel sottocapitolo 2.1 le emissioni sono trattate per singoli gas, mentre il sottocapitolo 2.2 approfondisce le attività che causano le emissioni. Il sottocapitolo 2.3 osserva l'intensità dei gas serra in rapporto a tre parametri rilevanti, segnatamente la crescita demografica, l'espansione economica e il consumo di energia. Il sottocapitolo 2.4 amplia la prospettiva

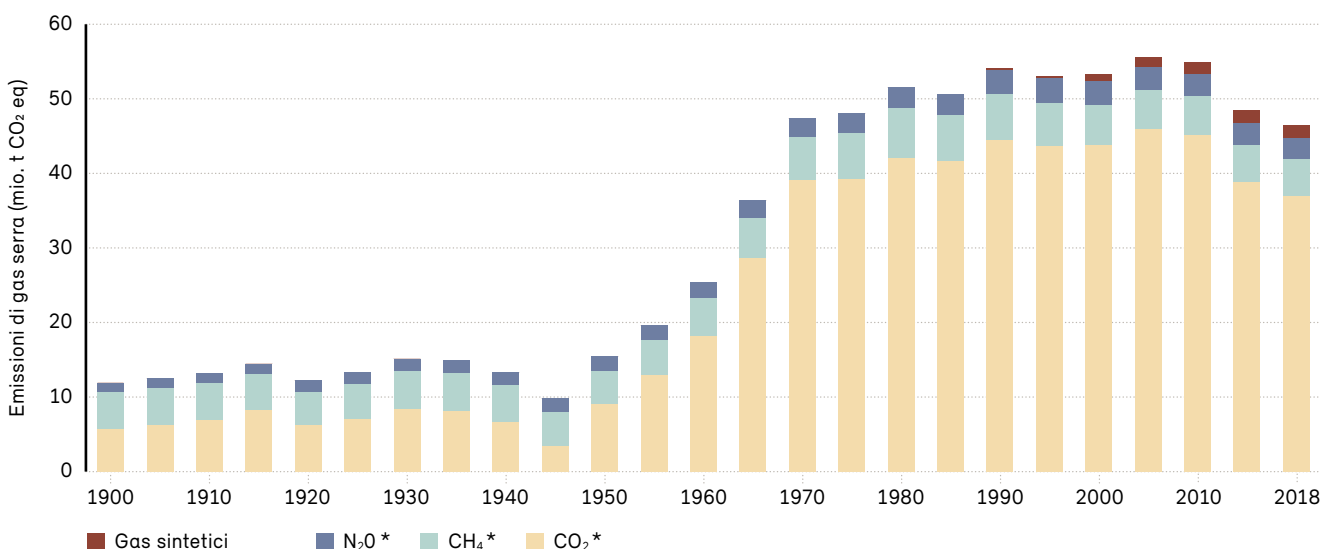
con uno sguardo alle emissioni della Svizzera nel raffronto internazionale. Il sottocapitolo 2.5 considera anche le emissioni di cui la Svizzera è responsabile (direttamente o indirettamente) all'estero.

2.1 Emissioni di gas serra sul territorio nazionale per singoli gas

I gas serra sono gas di origine naturale o antropica. Nell'atmosfera questi gas provocano un riscaldamento del pianeta assorbendo la radiazione emessa dalla superficie terrestre (IPCC 2014a). CO₂, CH₄, N₂O e gas sintetici (HFC, PFC, SF₆ e NF₃) hanno un impatto particolarmente forte sul clima. In Svizzera le emissioni di questi gas serra sono rimaste stabili fino al 1950, dopo di che le emissioni di CO₂ hanno registrato un forte aumento (fig. 1). Tale fase si è conclusa negli anni Ottanta e fino al 2010 il loro livello è rimasto sostanzialmente stabile. Da allora, si registra un trend leggermente discendente. Dal 1900 al 2018 le emissioni totali di gas serra in Svizzera sono quasi qua-

Fig. 1: Totale delle emissioni di gas serra

Emissioni sul territorio nazionale di CO₂, CH₄ e N₂O nonché emissioni di gas sintetici (HFC, PFC, SF₆ e NF₃) della Svizzera, in CO₂ equivalenti, 1900–2018.



* Al momento della pubblicazione del presente rapporto, l'UFAM stava elaborando i dati sulle emissioni antecedenti al 1990. Sulle emissioni di N₂O è stata formulata l'ipotesi semplificatrice che nel 1900 le emissioni di N₂O imputabili all'agricoltura fossero la metà rispetto a quelle del 1990. Per gli anni intermedi si è proceduto a un'interpolazione lineare.

Fonte: UFAM (2020a)

druplicate, passando da 12 a 46,4 milioni di tonnellate di CO₂ equivalenti (CO₂ eq)⁷ (UFAM 2020a). L'UFAM sta elaborando i dati sulle emissioni antecedenti al 1990; in particolare per le emissioni di N₂O è stato necessario formulare ipotesi semplificatrici.

Dall'inizio del XX secolo la quota delle emissioni di CO₂ sul totale è aumentata dal 48 all'80 per cento (fig. 1). Le emissioni di CO₂ derivano in primo luogo dalla combustione di combustibili e carburanti fossili. La crescita rapidissima delle emissioni di CO₂ dagli anni Cinquanta è dovuta soprattutto alla forte espansione economica e al vertiginoso aumento del traffico stradale (cfr. cap. 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 e 2.2.5).

L'agricoltura è la principale fonte delle emissioni di CH₄ e N₂O. Rispetto all'agricoltura, vengono liberate minori emissioni di CH₄ e N₂O nell'impiego di combustibili e carburanti fossili, nella gestione dei rifiuti (discariche, impianti di depurazione delle acque, compostaggio, impianti di produzione di biogas) e nei processi industriali.

I gas sintetici HFC, PFC, SF₆ e NF₃ sono emessi in quantità significative solo dagli anni Novanta. Da allora, tuttavia, il loro impiego è aumentato poiché i gas sintetici CFC e HCFC, che impoveriscono lo strato di ozono, sono stati vietati o limitati nei Paesi industrializzati. Nel 2018 le emissioni di gas sintetici rappresentavano appena il 4 per cento delle emissioni di gas serra sul territorio nazionale. Questi gas hanno un potenziale molto elevato di riscaldamento globale (da 50 a 24 000 volte superiore a quello del CO₂) e rimangono nell'atmosfera per secoli o, addirittura, millenni. Sono utilizzati in particolare nei fluidi refrigeranti per gli impianti di refrigerazione e gli impianti di climatizzazione mobili, come agenti schiumogeni nella produzione di materie plastiche espansive, come gas isolante negli impianti elettrici e nei contenitori di gas compressi in ambito medico.

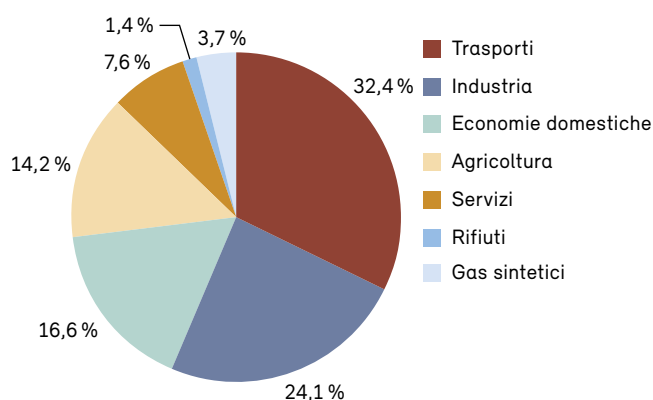
2.2 Emissioni di gas serra sul territorio nazionale per singoli settori

In ogni settore, dagli edifici ai trasporti, dall'industria all'agricoltura o ai rifiuti, l'uomo genera emissioni di gas serra. I settori qui raffigurati corrispondono alla suddivisione secondo l'ordinanza sul CO₂; il settore edifici si compone delle economie domestiche e dei servizi (UFAM 2020b).

I dati dell'inventario dei gas serra per il 2018 rivelano che il settore dei trasporti si colloca al primo posto in termini di emissioni di gas serra con una quota del 32,4 per cento (fig. 2). Seguono l'industria con il 24,1 per cento e le economie domestiche con il 16,6 per cento. L'agricoltura e i servizi rappresentano rispettivamente il 14,2 e il 7,6 per cento del totale delle emissioni di gas serra, i gas sintetici e i rifiuti rispettivamente il 3,7 e l'1,4 per cento.

Fig. 2: Emissioni di gas serra per settore

Quote dei settori nel totale delle emissioni di gas serra della Svizzera nel 2018.



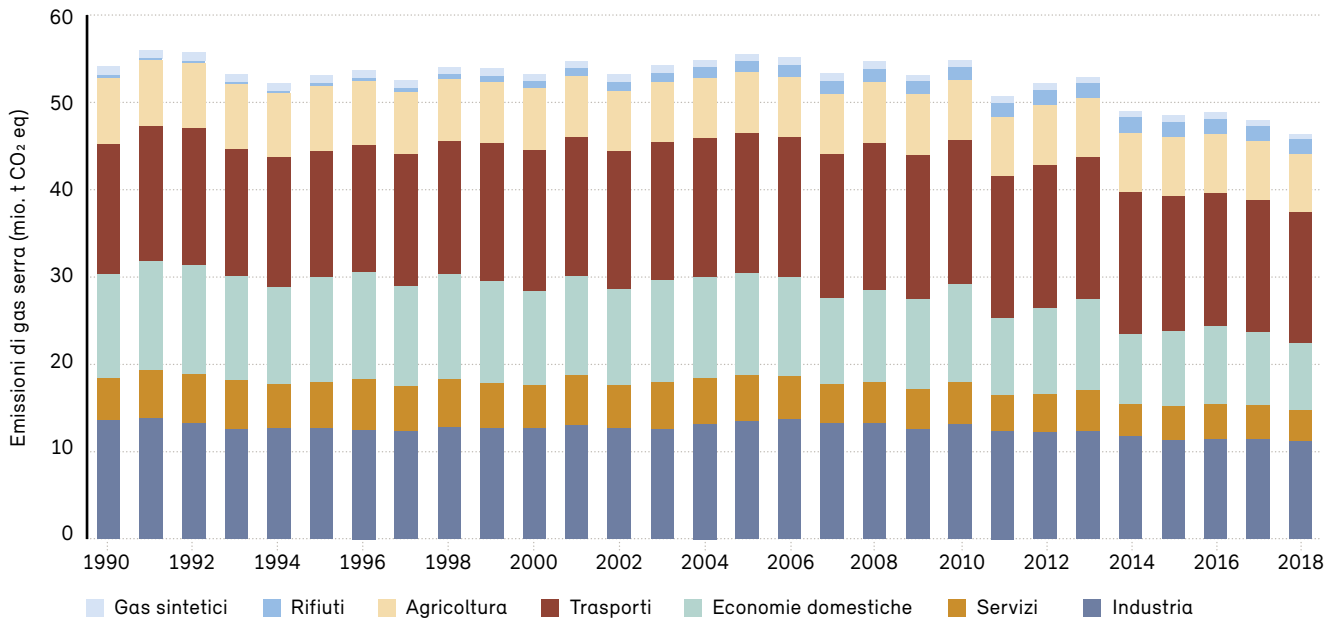
Fonte: UFAM (2020a)

Nei capitoli seguenti viene approfondita l'analisi delle emissioni di gas serra per i singoli settori. L'ultimo capitolo si occupa delle emissioni e della riduzione dell'utilizzazione del suolo.

⁷ I diversi gas serra sono convertiti nell'unità CO₂ equivalenti. La conversione considera i diversi potenziali di riscaldamento dei gas serra rispetto al CO₂. Per esempio, 1 kg di CH₄ corrisponde a 25 kg di CO₂ equivalenti e 1 kg di N₂O a 298 kg di CO₂ equivalenti.

Fig. 3: Quote delle emissioni di gas serra per settore

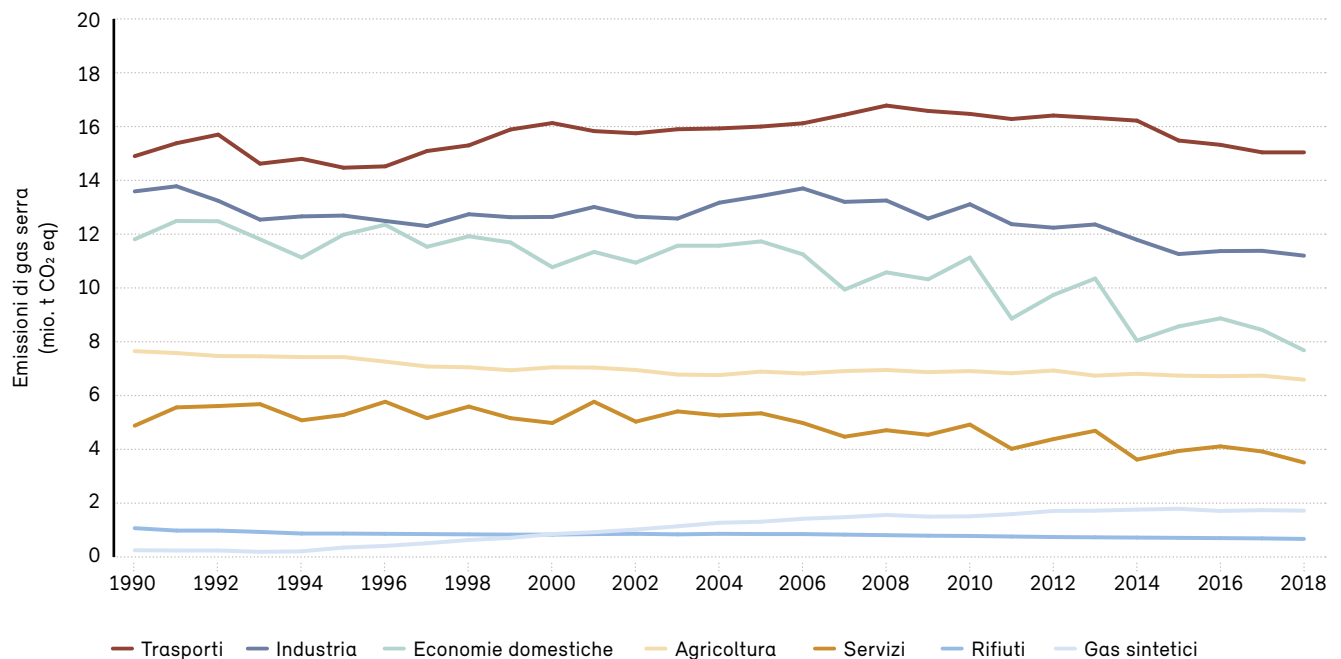
Quote del totale delle emissioni di gas serra sul territorio nazionale, in CO₂ equivalenti, Svizzera, 1990–2018.



Fonte: UFAM (2020a)

Fig. 4: Andamento delle emissioni di gas serra per settore

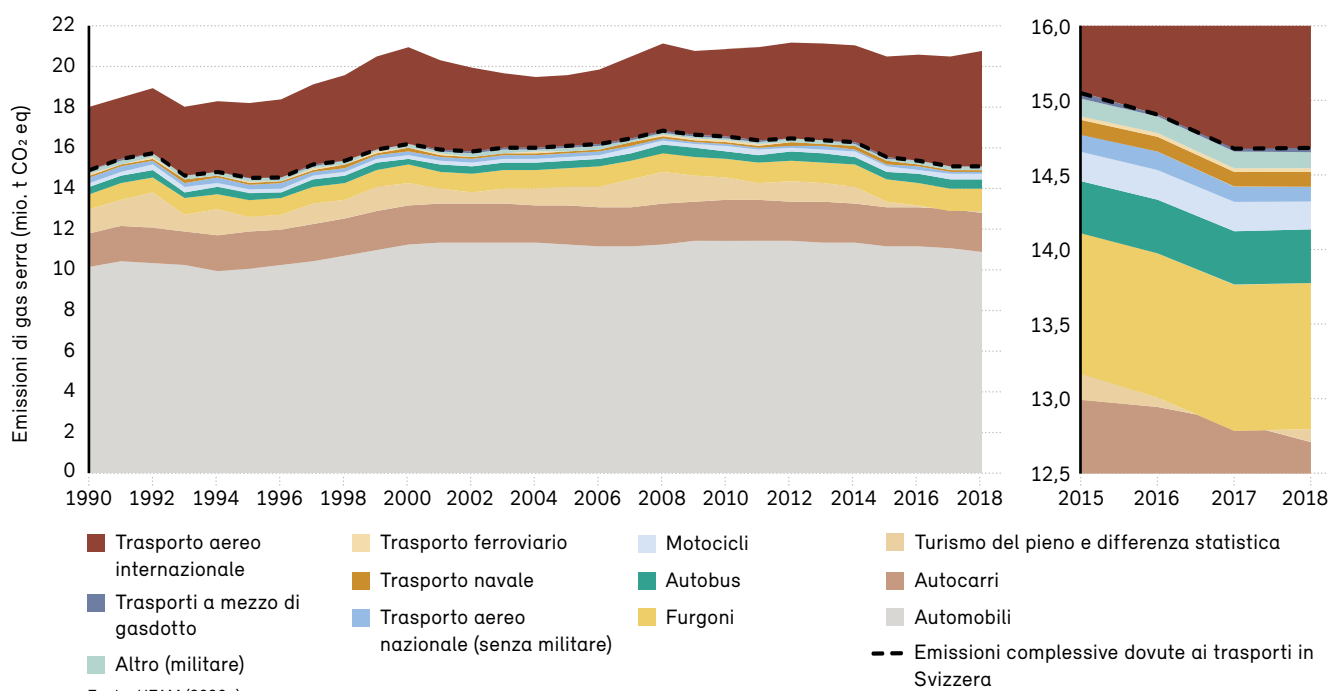
Andamento delle emissioni di gas serra sul territorio nazionale per settore, in CO₂ equivalenti, Svizzera, 1990–2018.



Fonte: UFAM (2020a)

Fig. 5: Emissioni di gas serra dei trasporti

Andamento delle emissioni di gas serra nel settore dei trasporti in Svizzera 1990–2018. La linea nera tratteggiata indica il totale delle emissioni di gas serra del settore dei trasporti nel territorio nazionale (senza il trasporto aereo e navale internazionale).



2.2.1 Trasporti

Nel settore dei trasporti sono raggruppate le emissioni del trasporto stradale, di quello navale, ferroviario e del trasporto aereo nazionale, del consumo di carburante dell'esercito, del «turismo del pieno»⁸ e dell'esercizio di gasdotti. Nel 2018 il settore dei trasporti ha contribuito con 15 milioni di tonnellate CO₂ eq (32 %) al totale delle emissioni di gas serra (fig. 4). Nello stesso anno le emissioni causate dai trasporti superavano dell'1 per cento quelle del 1990.

Con una quota del 97 per cento, il trasporto stradale (automobili, autocarri, furgoni, autobus e motocicli) occupa il primo posto in termini di emissioni. Le sole automobili rappresentano il 72 per cento delle emissioni del settore. Dal 1990 al 2018 le emissioni delle automobili e degli autocarri sono aumentate rispettivamente del 7 e del 15 per

cento. Nello stesso periodo quelle provocate da furgoni (+46 %) e autobus (+36 %) hanno registrato un incremento maggiore, tuttavia il loro impatto sul totale delle emissioni del trasporto stradale è relativamente modesto. Il trasporto ferroviario, quello navale, il trasporto aereo nazionale (incl. quello militare) e i trasporti a mezzo di gasdotti contribuiscono in misura minima alle emissioni del settore rispetto al trasporto stradale (fig. 5).

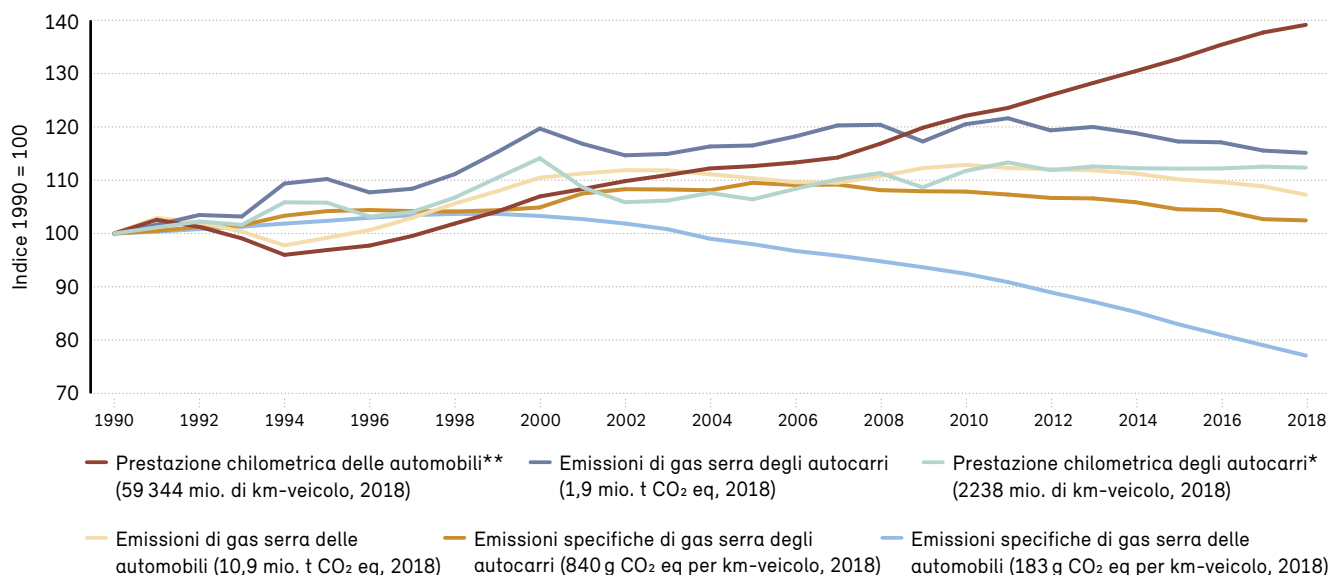
In base alle disposizioni della Convenzione quadro sul clima, le emissioni del trasporto aereo e navale internazionale non rientrano nel calcolo delle emissioni nazionali. Il trasporto aereo internazionale in partenza dagli aeroporti svizzeri è tuttavia responsabile di una quantità notevole di gas serra (5,47 mio. t CO₂ eq nel 2018). Tra il 1990 e il 2018 queste emissioni sono aumentate dell'83 per cento, registrando l'incremento maggiore rispetto a tutti gli altri succitati mezzi di trasporto.

Nel trasporto stradale si constata un significativo aumento del numero di veicoli. Nel 2018 il parco di veicoli stra-

⁸ Le emissioni di gas serra sono calcolate secondo il principio dello smercio, ossia considerando per il traffico stradale la quantità totale di carburante venduta nelle stazioni di servizio in Svizzera. Dal momento che in Svizzera la benzina costava generalmente meno rispetto ai Paesi limitrofi, molti frontalieri hanno fatto rifornimento in Svizzera, aumentando le vendite sul territorio nazionale. Questa esportazione di carburante è espressa con la nozione di «turismo del pieno».

Fig. 6: Emissioni di gas serra di automobili e autocarri

Prestazioni chilometriche, emissioni assolute e specifiche all'interno del Paese di automobili e autocarri, Svizzera, 1990–2018.



* Per autocarri si intendono tutti i veicoli utilitari pesanti (> 3,5 t).

** Estrapolazione per il 2016, 2017 e 2018

Fonti: UFAM (2020a), UST (2020c)

dali a motore⁹ ha raggiunto i 6,2 milioni, con una crescita del 48 per cento dal 1990. Le automobili, con 4,6 milioni, rappresentano circa i tre quarti di tutti i veicoli omologati nel 2018. Il numero delle automobili è aumentato del 54 per cento dal 1990 al 2018. Questo andamento è in gran parte riconducibile al significativo incremento del tasso di motorizzazione, ossia del numero di veicoli per 1000 abitanti (UST 2020c).

Nel 2018 la prestazione chilometrica¹⁰ delle automobili ha raggiunto 59 344 milioni di chilometri-veicolo (+39 % rispetto al 1990) (fig. 6). Nello stesso anno le automobili hanno emesso quasi 11 milioni di tonnellate di CO₂ eq. Nonostante l'incremento del parco automobili e della prestazione chilometrica, le emissioni di gas serra delle automobili hanno registrato un aumento notevolmente inferiore (+7 %) dal 1990. Questo andamento può essere in parte spiegato con l'aumento del numero di veicoli diesel, che emettono quantità inferiori di CO₂. Nell'intero set-

tore le vendite di benzina sono scese del 38,7 per cento tra il 2000 e il 2018, mentre quelle di diesel sono quasi raddoppiate, con una progressione del 96,4 per cento (Prognos, TEP, Infrac 2019a).

Al calo delle emissioni specifiche (emissioni per distanza percorsa) ha contribuito, oltre al maggior uso del diesel in sostituzione della benzina, anche la migliorata efficienza dei motori dei veicoli. Le emissioni specifiche delle automobili sono quindi diminuite del 23 per cento dal 1990 al 2018. D'altro canto, le emissioni specifiche degli autocarri hanno registrato un incremento superiore al 2 per cento dal 1990, ascrivibile all'omologazione di autocarri più pesanti sulle strade svizzere¹¹ (fig. 6).

2.2.2 Industria

Nel 2018 il settore industriale ha contribuito con 11 milioni di tonnellate di CO₂ eq (24 %) al totale delle emissioni di gas serra. Quasi la metà delle emissioni del settore derivano dal consumo di energia dell'industria manifatturiera e dell'edilizia, per cui talora vengono utilizzati anche i

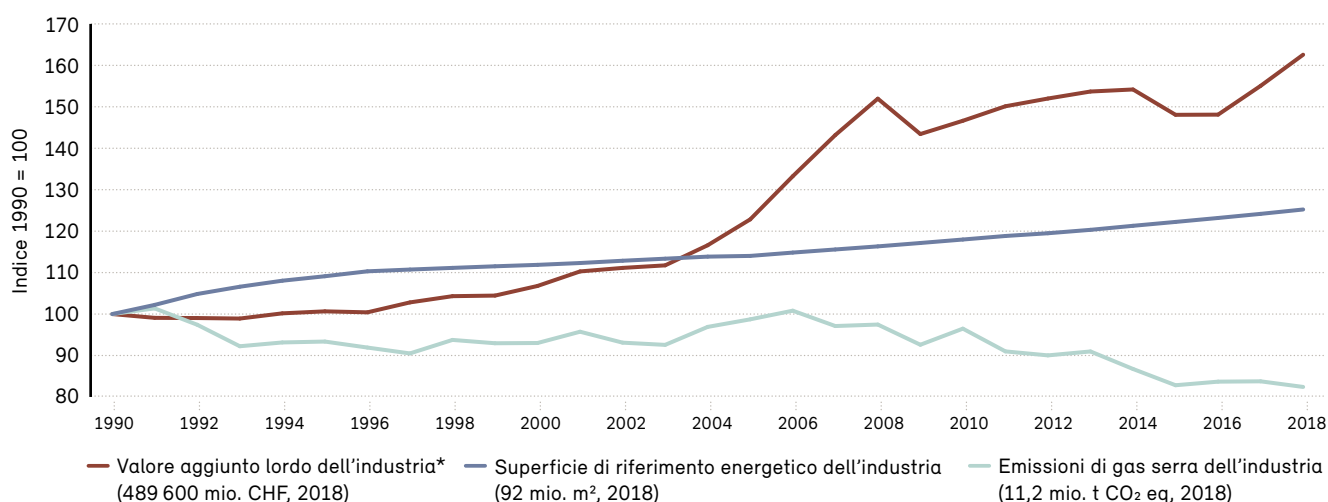
⁹ Trasporto stradale motorizzato (secondo l'UST) = automobili, veicoli per il trasporto di persone, veicoli per il trasporto di cose, veicoli agricoli, veicoli industriali e motocicli.

¹⁰ La prestazione chilometrica si riferisce alla somma dei tragitti percorsi da veicoli in un anno in Svizzera (UST 2020c).

¹¹ Progressivo incremento del peso massimo ammesso da 28 a 40 t all'inizio degli anni 2000.

Fig. 7: Emissioni di gas serra dell'industria

Andamento della produzione, della superficie di riferimento energetico e del totale delle emissioni di gas serra dell'industria sul territorio nazionale, Svizzera, 1990 – 2018.



* Valore aggiunto lordo dell'industria (secondo le categorie 05-43 NOGA), in CHF, ai prezzi correnti. I dati dei valori della produzione sono disponibili solo dal 1995. I valori per il periodo 1990 – 1994 sono stati integrati ricorrendo al PIL. Valori provvisori per il 2017 e il 2018.

Fonti: UFAM (2020a), UFE (2019b), UST (2020a)

rifiuti come combustibili alternativi. Quasi un terzo delle emissioni dell'industria è imputabile agli impianti di trattamento dei rifiuti, alla produzione di teleriscaldamento e alle raffinerie. Le restanti emissioni derivano soprattutto dalla produzione di cemento e dall'industria chimica. Nel 2018 oltre il 71 per cento delle quantità di combustibile impiegate nel settore industriale è servito alla produzione di calore di processo, mentre il consumo di energia per il riscaldamento degli edifici ha avuto un ruolo secondario (Prognos, TEP, Infrast 2019a). Le variazioni nella produzione industriale hanno dunque un impatto diretto sulle emissioni del settore.

Tra il 1990 e il 2018 si sono osservate tendenze contrastanti all'interno del settore industriale. Da un lato, le emissioni derivanti dal consumo di energia dell'industria manifatturiera e dell'edilizia sono diminuite del 27 per cento, dall'altro sono aumentate del 33 per cento quelle provenienti dagli impianti di trattamento dei rifiuti, dalla produzione di teleriscaldamento e dalle raffinerie, in particolare perché sono stati inceneriti più rifiuti (soprattutto come conseguenza della crescita demografica ed econo-

mica). Infine, le emissioni dei processi industriali¹² sono salite del 3 per cento. Nel complesso, il settore industriale ha registrato una flessione delle emissioni di gas serra pari al 18 per cento tra il 1990 e il 2018, nonostante l'aumento del valore aggiunto lordo nell'industria e della superficie di riferimento energetico¹³ degli edifici industriali (+25 %) (fig. 7). Ciò dimostra la migliorata efficienza del settore industriale, ma anche la delocalizzazione all'estero di filiere produttive ad alto consumo energetico.

2.2.3 Economie domestiche

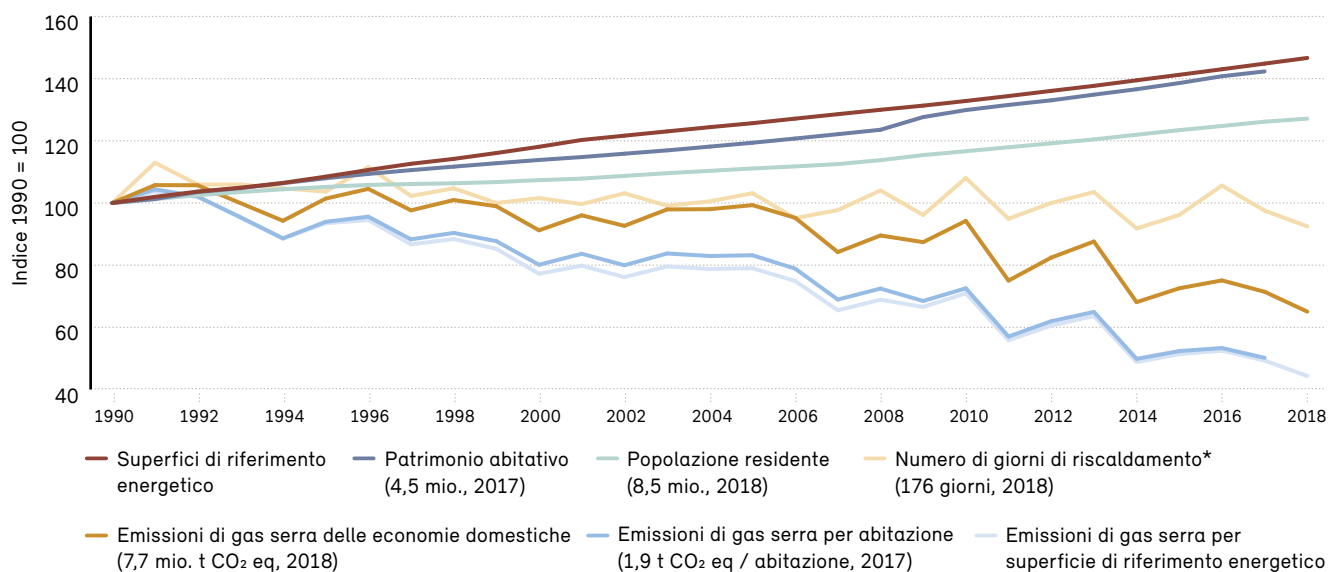
Nel 2018 le economie domestiche hanno contribuito con 7,7 milioni di tonnellate di CO₂ eq (17 %) al totale delle emissioni di gas serra. Le emissioni sono riconducibili essenzialmente alle superfici abitabili riscaldate (la mobilità dei privati è rilevata nel settore dei trasporti). Nel 2018 il 65 per cento del consumo di energia nelle economie domestiche (incl. l'elettricità) è riconducibile al riscaldamento, il resto alla preparazione dell'acqua calda (14 %) e agli altri elettrodomestici, tra cui quelli da cucina e i con-

¹² Emissioni di gas serra dei processi industriali senza l'impiego a scopo energetico e senza emissioni di gas sintetici

¹³ La superficie di riferimento energetico è la somma di tutte le superfici utili riscaldate o climatizzate.

Fig. 8: Emissioni di gas serra delle economie domestiche

Evoluzione della popolazione, del numero di abitazioni e delle superfici di riferimento energetico nonché del numero dei giorni di riscaldamento, Svizzera, 1990 – 2018. Emissioni annue di gas serra sul territorio nazionale derivante dalla combustione di combustibili fossili nelle economie domestiche totali ed emissioni specifiche (per abitazione e per superficie di riferimento energetico).



* Giorni di riscaldamento: media dei dati di Locarno Monti, Ginevra Cointrin e Zurigo Fluntern.

Fonti: UFAM (2020a), UFE (2019e, 2019b), UST (2020b), MeteoSvizzera (2020a)

dizionatori. Nella maggior parte delle economie domestiche il calore è prodotto mediante combustibili fossili (37 % della superficie di riferimento energetico con olio da riscaldamento e il 26 % con gas naturale) (Prognos, TEP, Infrass 2019a).

L'andamento delle emissioni di gas serra dovute al consumo di energia delle economie domestiche è interpretato di seguito sulla scorta dei quattro indicatori seguenti: crescita demografica, numero complessivo di abitazioni, superficie di riferimento energetico e giorni di riscaldamento¹⁴ (fig. 8). Tra il 1990 e il 2018 la popolazione svizzera è cresciuta del 27 per cento (UST 2020b). Questa crescita demografica ha comportato un maggiore fabbisogno di energia. L'aumento della superficie di riferimento energetico (+47 %) ha addirittura superato la crescita demografica (UST 2019). Ciononostante, le emissioni delle economie domestiche sono diminuite del 35 per cento tra il 1990 e il 2018. Questa tendenza è riconducibile in primo luogo alla conversione di riscaldamenti a gasolio in

riscaldamenti a gas naturale, che generano meno emissioni (tra il 2000 e il 2018 aumento del 92 % della superficie di riferimento energetico riscaldata a gas naturale). Alla riduzione delle emissioni ha contribuito inoltre l'incremento della superficie di riferimento energetico non riscaldata con combustibili fossili: +532 % per le pompe di calore, +580 % per l'energia solare, +40 % per il legno tra il 2000 e il 2018 (Prognos, TEP, Infrass 2019a). Infine, i migliorati standard d'isolamento termico e i risanamenti energetici degli edifici hanno consentito di ridurre il consumo di energia. Complessivamente, tra il 2000 e il 2018 l'energia utilizzata per il riscaldamento domestico è diminuita del 13 per cento nonostante il significativo incremento della superficie di riferimento energetico (Prognos, TEP, Infrass 2019a).

Le condizioni meteorologiche stagionali sono un altro fattore che si ripercuote sulle emissioni e ne spiega le forti oscillazioni (fig. 8). In Svizzera le emissioni di CO₂ e il numero di giorni di riscaldamento sono strettamente correlati (UFAM 2018a). Negli inverni lunghi e freddi l'esigenza di riscaldare è maggiore rispetto a quelli brevi e

¹⁴ Giorni in cui la temperatura media esterna non supera i 12 °C e in cui normalmente si riscalda per mantenere una temperatura nei locali di 20 °C.

miti, come dimostrano i bassi valori d'emissione del 2011 e del 2014 e i valori elevati del 2010 e del 2013. In Svizzera il numero dei giorni di riscaldamento tende a diminuire (cfr. cap. 6.2).

2.2.4 Agricoltura

Nel 2018 il settore dell'agricoltura ha contribuito con 6,6 milioni di tonnellate di CO₂ eq (14 %) al totale delle emissioni di gas serra. In agricoltura vengono emessi in particolare metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O). L'agricoltura genera anche la maggior parte di tutte le emissioni sul territorio nazionale di CH₄ e N₂O (risp. 83 e 66 %), mentre il suo contributo alle emissioni totali di CO₂ è limitato (consumo di energia dell'agricoltura e dell'economia forestale).

Le emissioni di CH₄ sono prodotte dalla digestione degli animali da reddito¹⁵ e dall'impiego di concimi aziendali. L'82 per cento delle emissioni di CH₄ dell'agricoltura e il 68 per cento delle emissioni totali di CH₄ sono imputabili all'allevamento di animali. Le emissioni di N₂O derivano soprattutto dalla decomposizione di concimi commerciali e aziendali sulle superfici agricole utili.

Per tutto il settore agricolo le emissioni di CH₄ sono scese del 9,9 per cento tra il 1990 e il 2018 (fig. 9). La flessione è stata registrata soprattutto dal 1990 fino ai primi anni Duemila, dopo di che l'andamento è rimasto piuttosto costante. Dal 1990 il patrimonio bovino, in particolare l'effettivo di vacche da latte, ha registrato una diminuzione (fig. 10), mentre la produzione media di latte per vacca è aumentata del 44 per cento grazie ai progressi compiuti nell'allevamento. Nel 2018 una vacca da latte adulta produceva in media circa 7000 chilogrammi di latte all'anno. La maggiore produzione ha comportato anche un aumento delle emissioni di CH₄ per ogni vacca da latte (+17 %), mentre le emissioni specifiche di CH₄ (ossia le emissioni per quantità di latte) sono diminuite del 19 per cento tra il 1990 e il 2018 (fig. 10).

La flessione del 17 per cento, registrata dal 1990, delle emissioni di N₂O del settore agricolo rispecchia il minore impiego di concimi commerciali e aziendali. Le emissioni sono calate soprattutto fino al 2000, dopo di che si sono

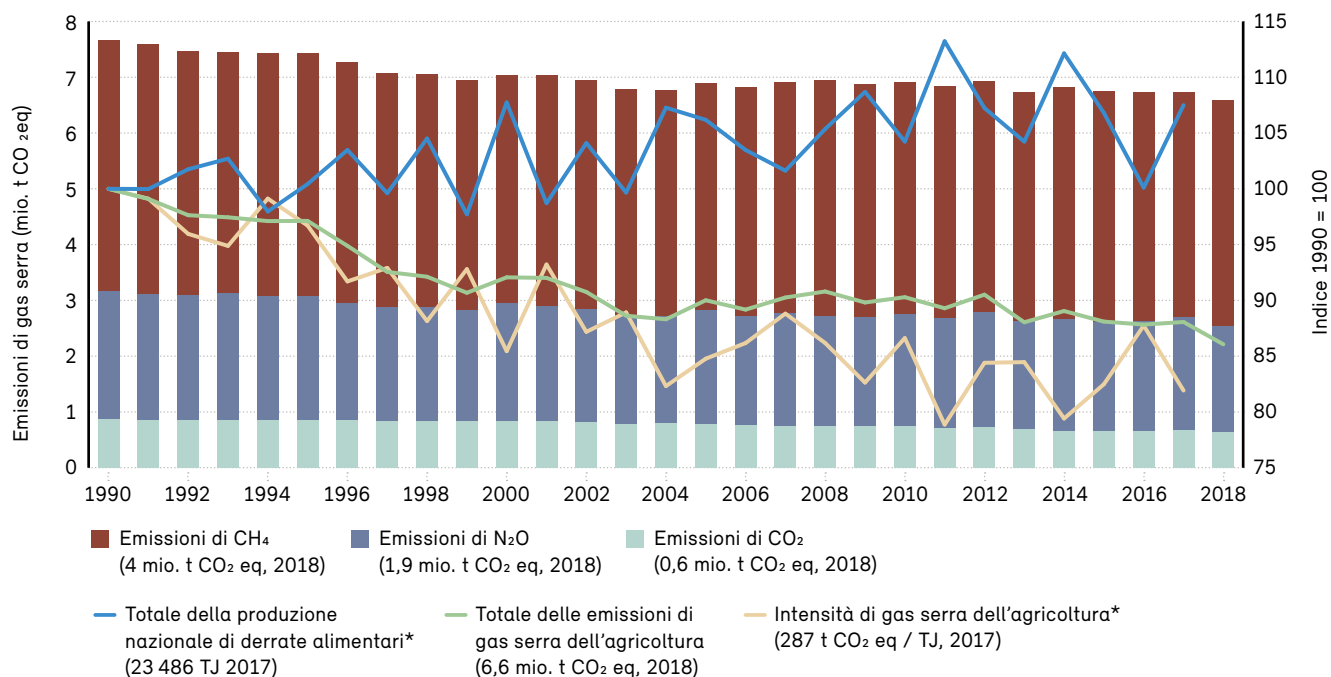
in gran parte stabilizzate. L'impiego di concimi commerciali e aziendali è disciplinato da numerose disposizioni contenute nella legislazione ambientale della Confederazione. I concimi minerali possono essere spanti solo se il concime aziendale non è sufficiente. Nel periodo osservato la superficie agricola utile è rimasta relativamente costante, pertanto la diminuzione dei concimi utilizzati è un fenomeno indipendente.

Nel settore agricolo le emissioni di gas serra sono calate del 14 per cento rispetto al 1990. La produzione nazionale di derrate alimentari (in terajoule, TJ) registra forti oscillazioni di anno in anno, ma tende a salire leggermente (con una flessione dei prodotti alimentari di origine animale e un aumento di quelli di origine vegetale). L'intensità di gas serra della produzione agricola (espressa in t CO₂ eq per TJ) è diminuita rispetto al 1990 (fig. 9).

¹⁵ Le emissioni di CH₄ derivano dai processi digestivi del bestiame (fermentazione enterica).

Fig. 9: Emissioni di gas serra dell'agricoltura

Evoluzione delle emissioni nazionali di CO₂, N₂O e CH₄ dell'agricoltura (scala sinistra). Evoluzione indicizzata della produzione nazionale di derrate alimentari (di origine animale e vegetale), delle emissioni complessive di gas serra dell'agricoltura e delle emissioni specifiche (intensità di gas serra) (scala destra), Svizzera, 1990–2018.

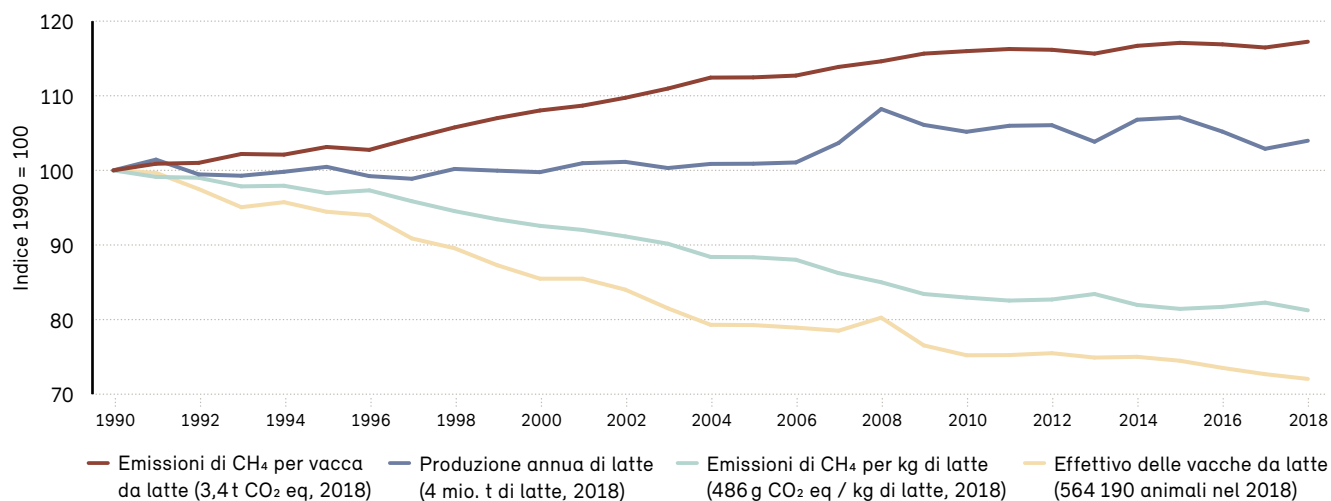


* I dati per il 2018 non sono ancora disponibili.

Fonti: UFAM (2020a), USC (2019)

Fig. 10: Emissioni di CH₄ dell'allevamento di animali

Evoluzione dell'effettivo di vacche da latte adulte, della produzione annua di latte e delle emissioni di CH₄ (prodotte dalla digestione delle vacche da latte) per ogni vacca e kg di latte, Svizzera, 1990–2018.



* Escluso il latte non prodotto dalle vacche che non si annoverano tra quelle da latte (quasi l'8 % nel 2018).

Fonte: UFAM (2020a)

2.2.5 Servizi

Nel 2018 i servizi hanno contribuito con 3,5 milioni di tonnellate di CO₂ eq (7,6 %) al totale delle emissioni di gas serra. In Svizzera sono costituiti soprattutto dal turismo, dalle banche e dalle assicurazioni. Le emissioni nazionali legate al consumo di energia (come vengono considerate nell'inventario nazionale) sono in gran parte riconducibili al riscaldamento degli edifici utilizzati, quindi caratterizzate nel breve termine dalle condizioni meteorologiche (Prognos, TEP, Infrass 2019a).

L'incremento del valore aggiunto lordo dei servizi testimonia la forte espansione economica (fig. 11), sulla scorta della quale sono notevolmente aumentate anche le superfici di riferimento energetico (+32 % tra il 1990 e il 2018) (UST 2019). Escludendo i fattori meteorologici, le emissioni tendono a diminuire anche in fasi di crescita sostenuta (p. es. 2004 – 2008). Così come nelle economie domestiche, pure nei servizi si è riusciti a ridurre le emissioni grazie a un maggiore impiego di combustibili non fossili e a una migliorata efficienza energetica (risanamento degli edifici esistenti).

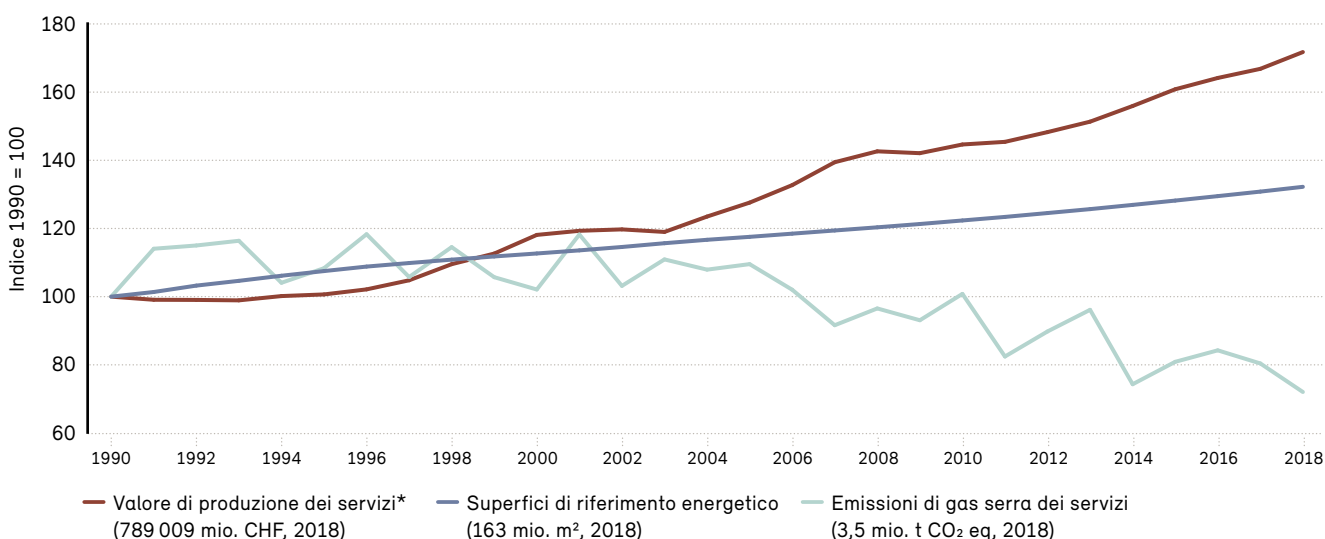
2.2.6 Rifiuti

Il settore dei rifiuti ha contribuito con 0,7 milioni di tonnellate di CO₂ eq (1,4 %) al totale delle emissioni di gas serra. Il contributo del settore è relativamente esiguo poiché le emissioni dei rifiuti inceneriti vengono computate all'industria. Attualmente, la fonte principale nel settore dei rifiuti è costituita dalle emissioni di CH₄ prodotte dalle discariche (0,3 mio. t CO₂ eq nel 2018, fig. 12), che emettono quantità elevate di CH₄ nell'atmosfera nonostante gli impianti di captazione dei gas. Dal 2000, quando è stato introdotto il divieto di conferire in discarica rifiuti combustibili, i rifiuti urbani non sono più depositati in discarica, bensì trasportati negli impianti di trattamento, tuttavia proseguono i processi di decomposizione dei rifiuti urbani un tempo conferiti in discarica e le conseguenti emissioni di CH₄ diminuiscono solo lentamente. Nel 2018 le emissioni di CH₄ delle discariche ammontavano ancora al 39 per cento delle quantità emesse nel 1990.

La seconda fonte di emissioni nel settore dei rifiuti riguarda la depurazione delle acque di scarico (0,29 mio. t CO₂ eq nel 2018, fig. 12), che genera emissioni di CH₄ e N₂O. Dal 1990 le emissioni degli impianti di depurazione del-

Fig. 11: Emissioni di gas serra dei servizi

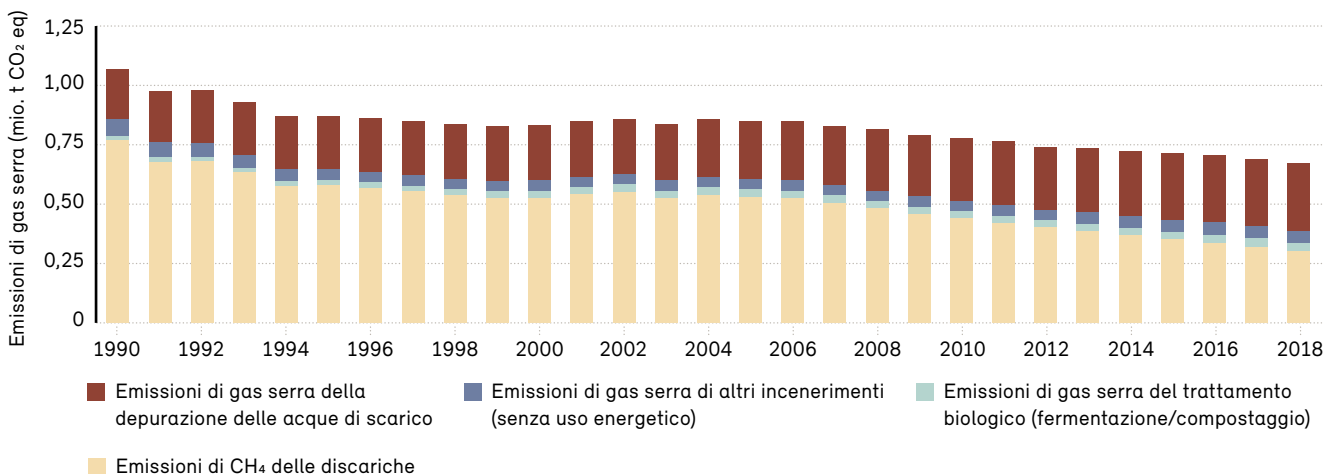
Evoluzione della superficie di riferimento energetico e delle emissioni nazionali di gas serra dei servizi nonché del valore di produzione dei servizi forniti, Svizzera, 1990 – 2018.



* Valori provvisori per il 2017 e il 2018. Valore aggiunto lordo dei servizi (secondo le categorie 45 – 98 NOGA) in CHF, ai prezzi correnti. I dati dei valori della produzione sono disponibili solo dal 1995. I valori per il periodo 1990 – 1994 sono stati integrati ricorrendo al PIL.

Fig. 12: Emissioni di gas serra del settore dei rifiuti

Evoluzione delle emissioni nazionali di gas serra del settore dei rifiuti, Svizzera, 1990–2018.



le acque sono aumentate del 37 per cento, soprattutto a causa della crescita demografica. Le restanti emissioni del settore dei rifiuti sono ascrivibili al trattamento biologico (fermentazione in impianti di biogas e compostaggio) nonché agli altri tipi di incenerimento (senza impiego a scopo energetico)¹⁶.

2.2.7 Utilizzazione del suolo (incl. le foreste)

Nel settore dell'utilizzazione del suolo vengono rilevati soprattutto i flussi di carbonio liberati o assorbiti dall'utilizzazione delle foreste e dei suoli (selvicoltura e agricoltura) o dai cambiamenti di utilizzazione del suolo (p. es. costruzione di case su terreni una volta coltivati). In questo settore è rilevato anche il bilancio dei suoli non utilizzati per la selvicoltura e l'agricoltura (p. es. dei biotopi palustri o delle aree insediative).

A differenza degli altri settori, che producono esclusivamente emissioni, i suoli e la vegetazione possono immagazzinare più carbonio di quello che rilasciano e fungere così da pozzo di assorbimento. Le fonti di emissione e i pozzi di assorbimento sono rilevati per sei categorie di utilizzazione del suolo: foresta, terreni coltivati, superfici inerbite, zone umide, insediamenti e superfici improduttive (fig. 13). Inoltre, viene considerato il carbonio contenu-

to nei prodotti di legno svizzeri¹⁷. Ogni anno si verificano significative oscillazioni indotte dal variare delle condizioni meteorologiche durante il periodo vegetativo e da decisioni gestionali, tra cui la quantità di legno raccolto.

In questo settore il diossido di carbonio (CO₂) è di gran lunga il principale gas serra. Alle emissioni contribuiscono in piccola parte anche il metano (CH₄) e il protossido di azoto (N₂O) prodotti da incendi, perdita di humus, bacini di ritenuta e suoli torbosi prosciugati.

I boschi occupano il primo posto nel bilancio dei gas serra dell'utilizzazione del suolo svizzero (fig. 13). Il bilancio si compone dell'assorbimento di carbonio nella fase di crescita degli alberi e delle emissioni di CO₂ dovute all'utilizzazione del bosco (raccolta di legname) e alla mortalità naturale degli alberi. A ciò si aggiungono le variazioni del carbonio immagazzinato nel legno morto, nella lettiera e nel suolo boschivo. Dal 1990, la gestione forestale in Svizzera ha comportato nella maggior parte degli anni un'importante riduzione del carbonio, tuttavia questo effetto è limitato, poiché per un utilizzo sostenibile del bosco gli

¹⁷ Conformemente agli impegni assunti dalla Svizzera nell'ambito del Protocollo di Kyoto, nel secondo periodo d'impegno (2013–2020) viene computata la funzione di pozzo di assorbimento della gestione forestale rispetto a un valore di riferimento (*Forest Management Reference Level*). In base alle stime attuali si può partire dal principio che la funzione di pozzo di assorbimento computabile per l'intero periodo ammonta a poche centinaia di migliaia di tonnellate di CO₂ equivalenti.

¹⁶ P. es. incenerimento di fanghi di depurazione e di rifiuti agricoli.

impieghi ritardati del legname non possono essere prolungati a piacimento. L'emissione di notevoli quantità di CO₂ nel 2000 è dovuta alla tempesta Lothar, che ha provocato gravi danni alle foreste. Un'utilizzazione forzata o le aumentate raccolte si riflettono anche negli anni 1990 (tempesta Vivian), 2001, 2006, 2007 e 2014. Ad eccezione del 2000, gli effetti della funzione di pozzo di assorbimento e l'utilizzo del legno hanno regolarmente superato le emissioni complessive prodotte dalle altre categorie di utilizzazione del suolo. Una gestione forestale adeguata dal punto di vista ecologico e nell'ottica della politica climatica sarà possibile con un cosiddetto utilizzo a cascata dell'incremento legnoso, impiegato in un primo tempo in prodotti di legno di qualità e di lunga durata e solo in un secondo tempo come fonte di energia. Dal 1990, ad eccezione del 2013, i prodotti di legno, per esempio usati come materiale da costruzione o per la fabbricazione di mobili, contribuiscono all'assorbimento del carbonio (ossia ogni anno la quantità di legno utilizzata in nuovi prodotti ha superato quella liberata da vecchi prodotti). Negli ultimi anni l'effetto annuo di pozzo di assorbimento dei prodotti di legno è tendenzialmente diminuito.

L'utilizzazione agricola dei terreni coltivati e inerbiti influenza il tenore di carbonio nei suoli. Per esempio, l'aratura

favorisce l'abbattimento del carbonio contenuto nell'humus, mentre lo spandimento di concimi aziendali o i residui di raccolto lasciati nei campi aumentano il tenore di carbonio. Un caso a parte è rappresentato dalle paludi prosciugate: questi suoli fertili liberano quantità elevate di gas serra (CO₂ e N₂O) in caso di utilizzazione agricola intensiva.

Oggi le zone umide costituiscono solo una piccola parte della superficie del Paese. Nelle torbiere alte e, in parte, anche nelle paludi, la biomassa morta si è trasformata in torba nel corso degli ultimi millenni. In questo modo si sono costituite importanti riserve di carbonio. Dal momento che quasi tutte le torbiere alte sono danneggiate dalle conseguenze di precedenti utilizzazioni (soprattutto drenaggi), la formazione di torba si è arrestata e in molti luoghi i pozzi di assorbimento si sono trasformati in fonti di CO₂.

Dal 1990 lo sviluppo di nuove superfici di insediamento e di circolazione ha prodotto quantità relativamente contenute di emissioni. Ciò avviene soprattutto se per i lavori di costruzione devono essere abbattuti alberi.

Fig. 13: Bilancio dei gas serra dell'utilizzazione del suolo (incl. le foreste)

Fonti (valori positivi) e pozzi (valori negativi) annuali di assorbimento in seguito all'utilizzazione del suolo e ai cambiamenti di utilizzazione del suolo, Svizzera, 1990–2018, rappresentati per sei categorie di utilizzazione del suolo e per i prodotti di legno. Il valore «bilancio» non corrisponde alla capacità di assorbimento di carbonio computabile secondo il Protocollo di Kyoto (cfr. nota a piè di pagina 17).

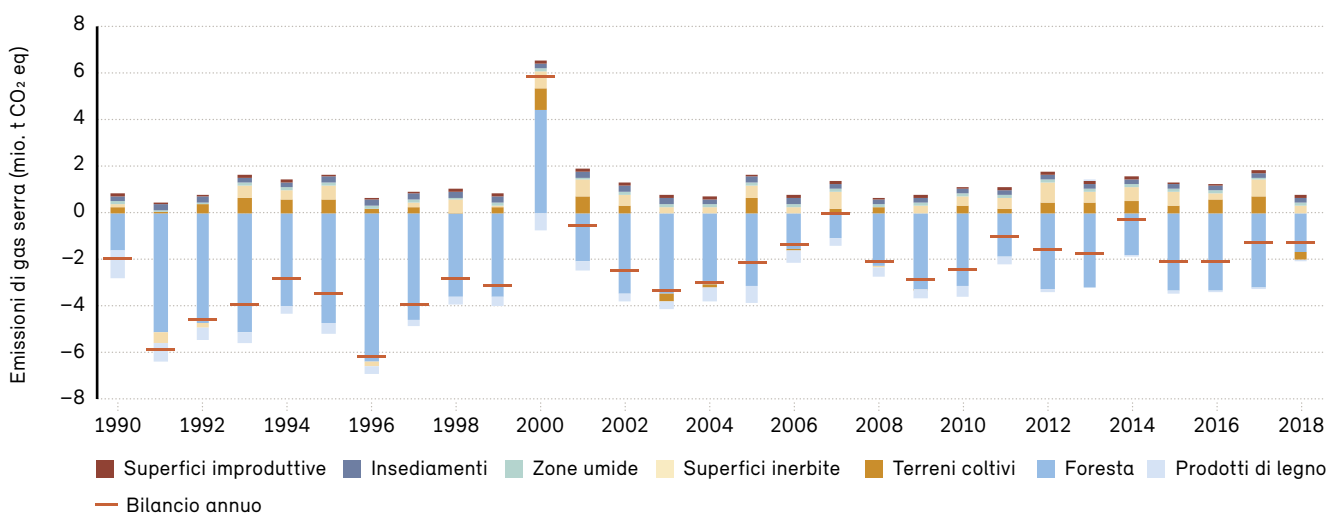
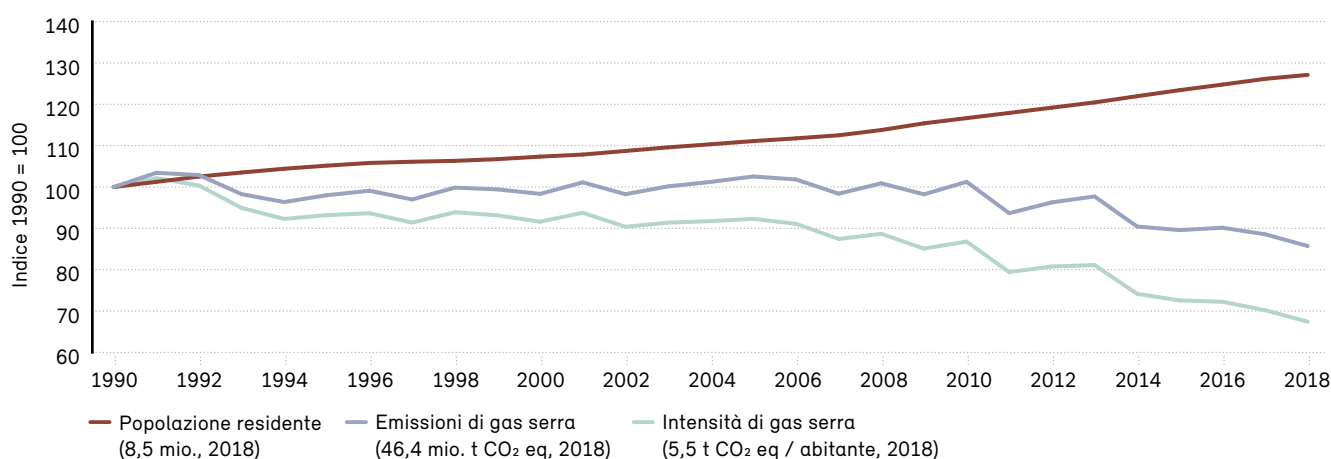


Fig. 14: Emissioni di gas serra e popolazione

Evoluzione delle emissioni nazionali di gas serra della Svizzera in rapporto alla popolazione, 1990–2018. Non sono considerate le emissioni del trasporto aereo internazionale.



Le superfici improduttive come le rocce, le falde detritiche e i margini proglaciali hanno scarsa vegetazione e suoli poco o per nulla sviluppati. Il loro ruolo nel bilancio del carbonio è dunque trascurabile.

2.3 Intensità di gas serra

La quantità di emissioni di gas serra in riferimento agli indicatori socioeconomici, tra cui crescita demografica, prodotto interno lordo (PIL¹⁸) o consumo finale di energia, designa l'intensità di gas serra.

Negli ultimi anni le emissioni di gas serra della Svizzera hanno registrato una leggera flessione (fig. 14) e nel 2018 erano diminuite del 14 per cento rispetto al 1990. Nello stesso periodo la popolazione ha segnato una forte crescita (+27%). L'intensità di gas serra della popolazione (emissioni pro capite) si è ridotta da 8,1 t CO₂ eq nel 1990 a 5,5 t CO₂ eq nel 2018 (diminuzione del 33%). Tale flessione è in parte riconducibile a migliorie tecniche, ma vi ha contribuito anche la maggiore rilocalizzazione delle emissioni all'estero (cfr. cap. 2.5).

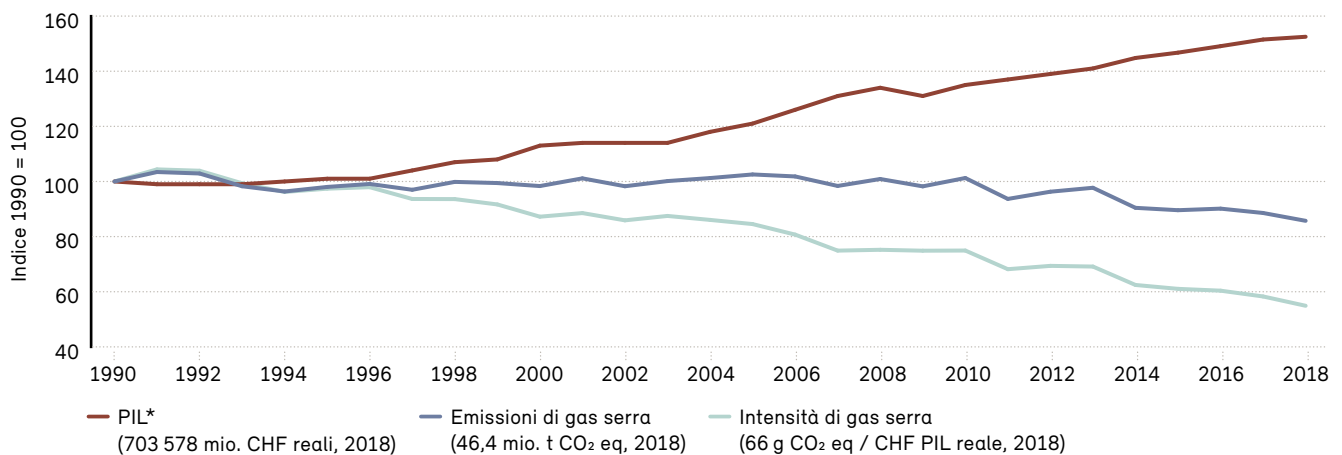
Neppure l'aumento del PIL ha prodotto un incremento delle emissioni nazionali di gas serra (fig. 15). Nel periodo 1990–2018, l'intensità di gas serra per franco di PIL è diminuita del 56 per cento, ossia da 120 a 66 g CO₂ eq / CHF. La regressione è riconducibile all'aumentata efficienza energetica, alla delocalizzazione della produzione di beni ad alto consumo energetico e alla progressiva trasformazione della società da industriale a società di servizi. Nel 2015 il settore dei servizi ha occupato oltre il 75 per cento della popolazione professionalmente attiva e ha contribuito a oltre il 73 per cento del valore aggiunto lordo (UFAM 2018a).

Nonostante la forte crescita demografica, l'incremento del PIL e l'aumento della superficie di riferimento energetico, il consumo finale di energia nel 2018 era solo di poco superiore a quello del 1990 (fig. 16). La flessione dell'intensità di gas serra del consumo finale di energia (diminuzione del 18 % tra il 1990 e il 2018) è in prima linea ascrivibile alla migliorata efficienza energetica, al passaggio dal gasolio al gas naturale e al maggiore impiego di elettricità e di vettori energetici non fossili (UFE 2019d).

¹⁸ Il prodotto interno lordo (PIL) è l'unità di misura che esprime la capacità economica (valore aggiunto) di un'economia nazionale nel corso di un anno. Misura il valore dei beni e servizi prodotti nel Paese, purché non costituiscano prestazioni anticipate per la produzione di altri beni e servizi.

Fig. 15: Emissioni di gas serra e PIL

Evoluzione delle emissioni nazionali di gas serra della Svizzera in rapporto al prodotto interno lordo, 1990–2018. Non sono considerate le emissioni del trasporto aereo internazionale.

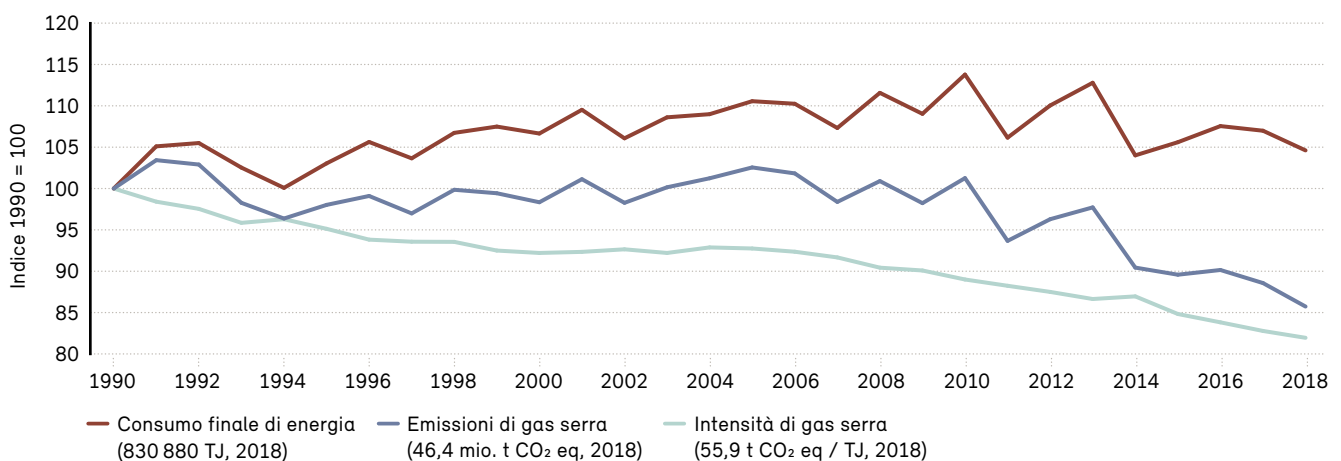


* PIL in mio. CHF, in termini reali, ai prezzi dell'anno precedente, anno di riferimento: 2010.

Fonti: UFAM (2020a), SECO (2020)

Fig. 16: Emissioni di gas serra e consumo finale di energia

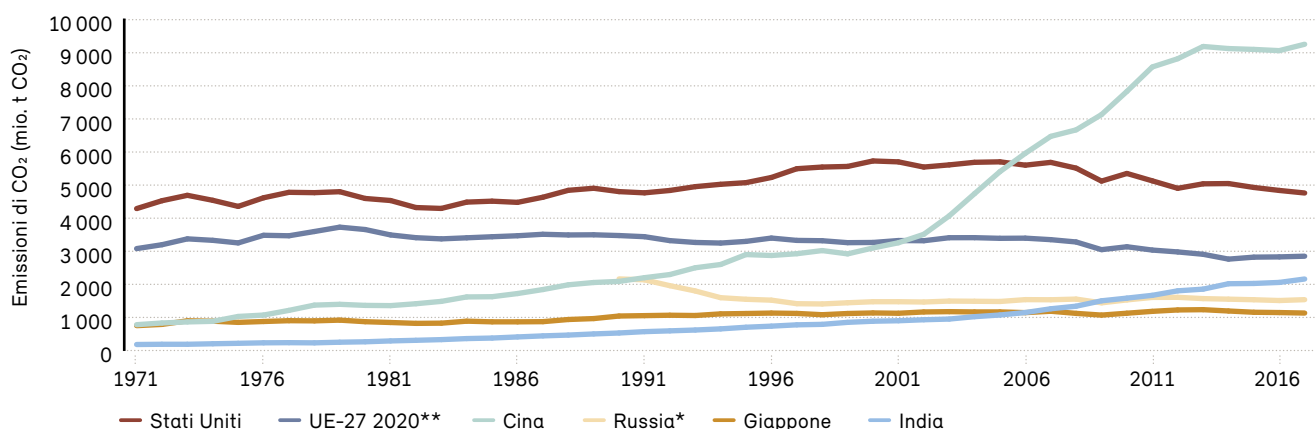
Evoluzione delle emissioni nazionali di gas serra della Svizzera in rapporto al consumo finale di energia, 1990–2018. Non sono considerate le emissioni del trasporto aereo internazionale.



Fonti: UFAM (2020a), UFE (2019e)

Fig. 17: Emissioni di CO₂ dovute al consumo di energia nel confronto internazionale

Evoluzione delle emissioni di CO₂ prodotte dalla combustione di vettori energetici fossili nei cinque principali Paesi emettitori (Cina, Stati Uniti, India, Russia e Giappone) e nell'UE-27 2020.



* Prima del 1990 non erano disponibili dati sulle emissioni della Russia.

** Alcuni dati dei Paesi dell'UE-27 2020 tra il 1971 e il 1990 non sono disponibili: i dati di Estonia, Lettonia, Croazia e Lituania sono disponibili solo dal 1990 e quelli della Slovenia dal 1986.

Fonte: AIE (2019)

2.4 Emissioni nazionali della Svizzera nel confronto internazionale

Le emissioni di CO₂ rappresentano la quota prevalente di tutte le emissioni di gas serra non solo in Svizzera, ma anche nel mondo. Nel 2017 le emissioni di CO₂ prodotte dalla combustione di combustibili fossili in tutto il mondo hanno raggiunto 32,8 miliardi di tonnellate, quindi sono più che raddoppiate rispetto al 1971 e aumentate del 40 per cento rispetto al 2000. Nel 2015 il settore dell'energia ha generato per il 90 per cento emissioni di CO₂. Nel 2017 le emissioni di CO₂ globali legate al consumo di energia sono state prodotte per il 44 per cento dalla combustione di carbone, il 35 per cento dalla combustione di prodotti petroliferi e il 21 per cento dalla combustione di gas naturale. Le principali fonti di emissioni, con una quota del 41 per cento sul totale, sono costituite dagli impianti di produzione di corrente elettrica e calore (AIE 2019).

I sei principali emettitori di CO₂ sono la Cina, gli Stati Uniti, l'Unione europea (UE-27 2020¹⁹), l'India, la Russia e il Giappone: nel 2017 hanno prodotto il 66 per cento delle

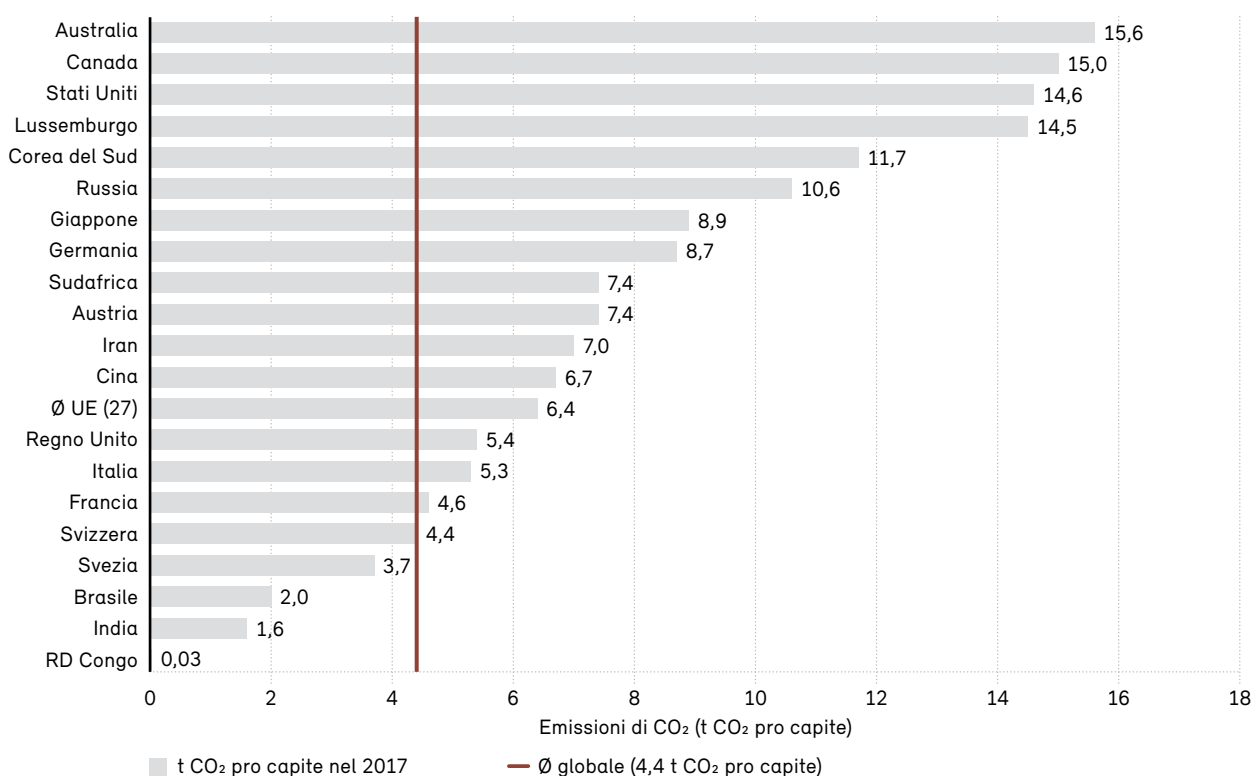
emissioni mondiali (AIE 2019). La Cina ha un ruolo dominante con una quota del 28 per cento.

Fino al 2000, la maggior parte delle emissioni di CO₂ era imputabile agli Stati enunciati nell'allegato I²⁰ alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (Convenzione quadro sul clima, UNFCCC), in particolare gli Stati Uniti, ma dal 2000 sono stati superati dai Paesi asiatici, soprattutto Cina e India (AIE 2019), le cui emissioni hanno registrato una crescita particolarmente sostenuta a causa del loro sviluppo economico (fig. 17). In questi due Paesi densamente popolati, la crescita della produzione industriale, ma anche l'aumento del tenore di vita hanno provocato un consumo di energia molto più elevato.

Negli Stati Uniti, nell'UE-27 2020 e in Russia le emissioni sono oggi inferiori al livello del 1990 (fig. 17). In seguito al declino economico verificatosi con la dissoluzione dell'ex Unione Sovietica (URSS), le emissioni di CO₂ in Russia

¹⁹ UE-27 2020 = Germania, Italia, Francia, Spagna, Paesi Bassi, Belgio, Grecia, Austria, Portogallo, Finlandia, Svezia, Irlanda, Danimarca, Lussemburgo, Repubblica Ceca, Estonia, Ungheria, Lettonia, Polonia, Slovacchia, Slovenia, Bulgaria, Croazia, Cipro, Lituania, Malta e Romania.

²⁰ Paesi enunciati nell'allegato I alla Convenzione quadro sul clima: Australia, Austria, Belgio, Bielorussia, Bulgaria, Canada, Cipro, Croazia, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Giappone, Grecia, Irlanda, Islanda, Italia, Lettonia, Lituania, Lussemburgo, Malta, Norvegia, Nuova Zelanda, Paesi Bassi, Polonia, Portogallo, Principato del Liechtenstein, Principato di Monaco, Regno Unito, Repubblica Ceca, Romania, Russia, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Stati Uniti, Svezia, Svizzera, Turchia, Ucraina e Ungheria.

Fig. 18: Emissioni di CO₂ pro capite nel confronto internazionale*Emissioni di CO₂ pro capite prodotte dalla combustione di combustibili fossili per Paesi selezionati nel 2017.*

Fonte: AIE (2019)

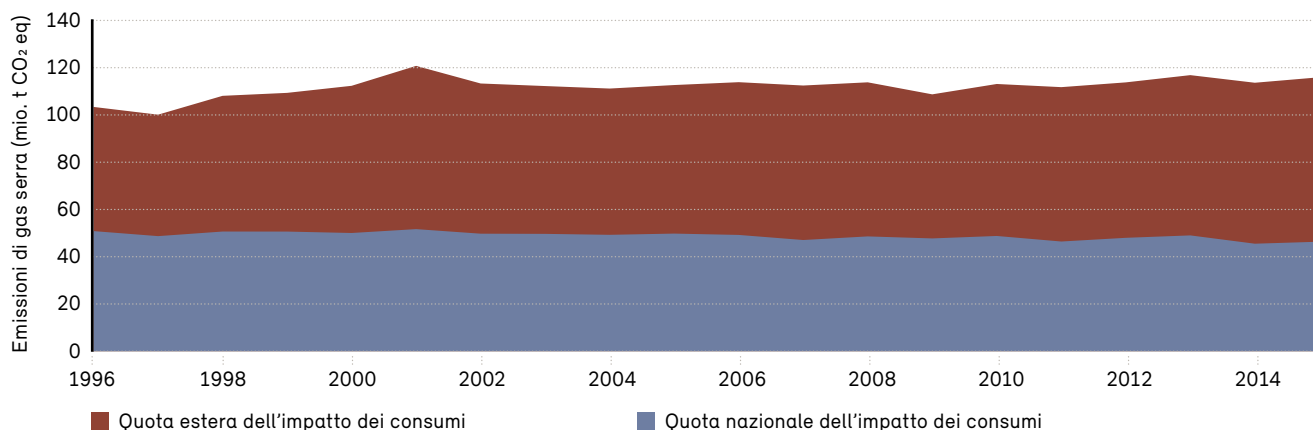
sono diminuite del 35 per cento dal 1990 al 1998 e da allora permangono su questo livello più basso. L'UE è riuscita a ridurre le sue emissioni in particolare con il sistema di scambio di quote di emissioni (SSQE) (AEA 2019). Dal 2005 una quota significativa della diminuzione è stata ottenuta abbattendo le emissioni nella produzione di energia. Nell'UE le emissioni dei settori trasporti, edilizia o agricoltura, che non rientrano nel campo di applicazione del SSQE, sono assoggettate al regolamento sulla condivisione degli sforzi (*Effort Sharing Decision*), nell'ambito del quale l'edilizia ha fornito il maggiore contributo alla riduzione delle emissioni, che sono invece aumentate per i trasporti. Nonostante la sua quota significativa di emissioni nel raffronto internazionale, il Brasile non si annovera tra i principali emettitori, poiché i dati suindicati si riferiscono soltanto alle emissioni prodotte dalla combustione di vettori energetici fossili. In Brasile la maggior parte delle emissioni sono ascrivibili alla deforestazione dell'Amazzonia.

Nel 2017 la media mondiale delle emissioni di CO₂ pro capite era pari a 4,4 tonnellate di CO₂ (fig. 18). Il livello più alto di emissioni pro capite è registrato nei Paesi produttori di petrolio, tra cui il Qatar, con 30,4 tonnellate di CO₂ pro capite. Anche il Canada e gli Stati Uniti (risp. 15 e 14,6 t CO₂ pro capite) si collocano ai vertici della classifica. La Cina (6,7 t CO₂ pro capite), che in valori assoluti occupa il primo posto, produce in termini pro capite all'incirca la stessa quantità di CO₂ dell'UE-27 2020 (6,4 t CO₂ pro capite). L'India si situa molto al di sotto della media mondiale con 1,6 tonnellate di CO₂ pro capite. La Repubblica democratica del Congo (0,03 t CO₂ pro capite) si annovera tra i Paesi con i livelli più bassi di emissioni pro capite insieme con numerosi altri Stati africani. La Svizzera si colloca quasi esattamente nella media mondiale con 4,4 tonnellate di CO₂ pro capite²¹.

²¹ A differenza di quanto indicato nel capitolo 2.3 (5,6 t CO₂ eq pro capite) qui sono considerate unicamente le emissioni di CO₂.

Fig. 19: Quota nazionale ed estera dell'impronta relativa ai gas serra determinata dai consumi

Evoluzione dell'impronta relativa ai gas serra, suddivisa tra le emissioni dovute ai consumi generate in Svizzera e quelle all'estero, 1996–2015.



Fonte: Frischknecht et al. (2018)

2.5 Emissioni causate dai consumi in Svizzera

Nei precedenti capitoli (2.1, 2.2, 2.3 e 2.4) sono state considerate solo le emissioni di fonti indigene, poiché sono rilevanti ai fini dell'inventario nazionale dei gas serra nell'ambito della Convenzione quadro sul clima e del Protocollo di Kyoto (UNFCCC 2014). Nel computo non rientrano le emissioni causate dalla Svizzera oltreconfine. Il bilancio nazionale delle emissioni di economie tra cui quella svizzera, che acquista molti beni e servizi all'estero, mostra tuttavia solo una realtà parziale: le emissioni derivanti dalla produzione dei beni importati figurano nell'inventario dei gas serra del Paese produttore. La figura 19 indica le quote nazionali ed estere dell'impronta relativa ai gas serra²² legata ai consumi della Svizzera. Con questo approccio le emissioni causate dai consumi svizzeri all'estero rappresentano il 70 per cento circa del totale delle emissioni imputabili alla Svizzera (stato 2015).

Le emissioni generate entro i confini nazionali per abitante in Svizzera sono relativamente basse rispetto ad altri Paesi industrializzati (cfr. cap. 2.4), ma il confronto

tra le emissioni di CO₂ in base alla domanda finale²³ offre una diversa prospettiva sulle responsabilità dei singoli Paesi riguardo alle emissioni di gas serra (fig. 20), poiché sono considerate anche le emissioni prodotte all'estero dai consumi interni.

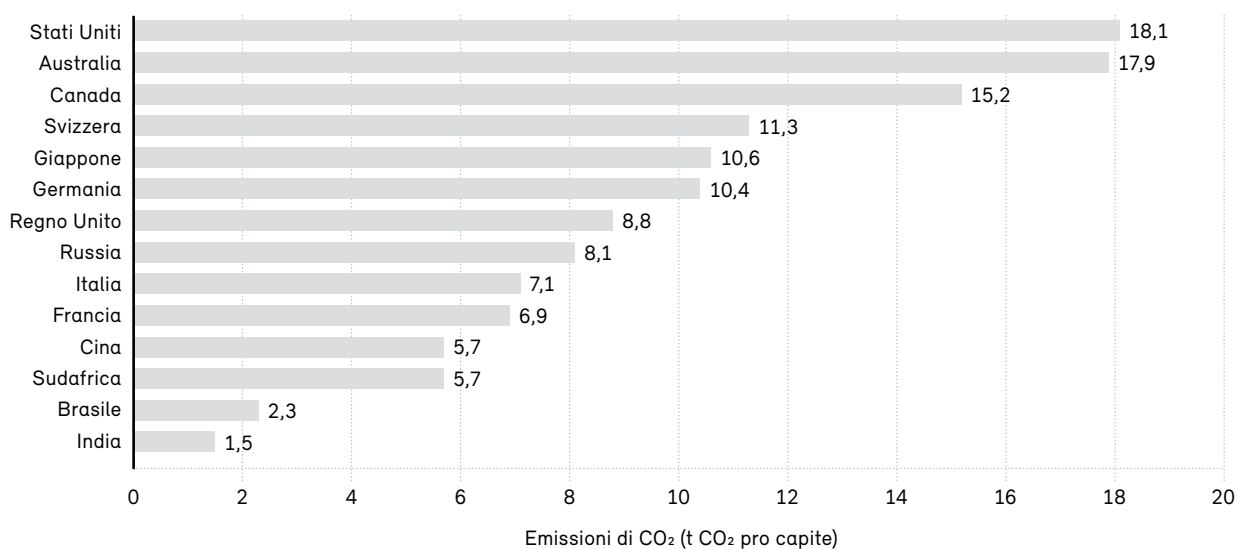
Nel 2015, anno a cui si riferiscono i più recenti dati disponibili per un confronto internazionale, le emissioni di CO₂ imputabili alla domanda finale della Svizzera ammontavano a 11,3 t pro capite. La Cina, che in termini assoluti produce emissioni molto elevate, registra un valore pro capite relativamente basso, pari a 5,7 t CO₂, poiché le emissioni generate per produrre beni destinati all'esportazione sono superiori a quelle della produzione di beni per l'importazione. Questo esempio dimostra che i Paesi occidentali con un livello elevato di consumi contribuiscono in misura significativa alle emissioni di determinati Paesi emergenti.

²² L'impronta relativa ai gas serra è la quantità totale di gas serra emessi da un Paese per soddisfare la sua domanda finale (UFAM 2018b). Sono considerate le emissioni prodotte all'estero dalle merci importate e dalle persone che vivono in Svizzera (p. es. viaggi di vacanza), deducendo le emissioni generate da turisti o beni esportati nel Paese.

²³ Emissioni di CO₂ della domanda finale = emissioni nazionali di CO₂ post-produzione (emissioni generate da economie domestiche e settori economici nella regione) – emissioni di CO₂ entro i confini nazionali, esportate + emissioni di CO₂ all'estero, importate.

Fig. 20: Confronto internazionale delle emissioni di CO₂ imputabili alla domanda finale

Emissioni di CO₂ pro capite imputabili alla domanda finale nel 2015. Le cifre considerano solo le emissioni generate dalla combustione di combustibili e carburanti fossili, senza i carburanti per il trasporto aereo e navale internazionale e la produzione di cemento.



Fonte: OCSE (2019)

3 Evoluzione del clima osservata in Svizzera

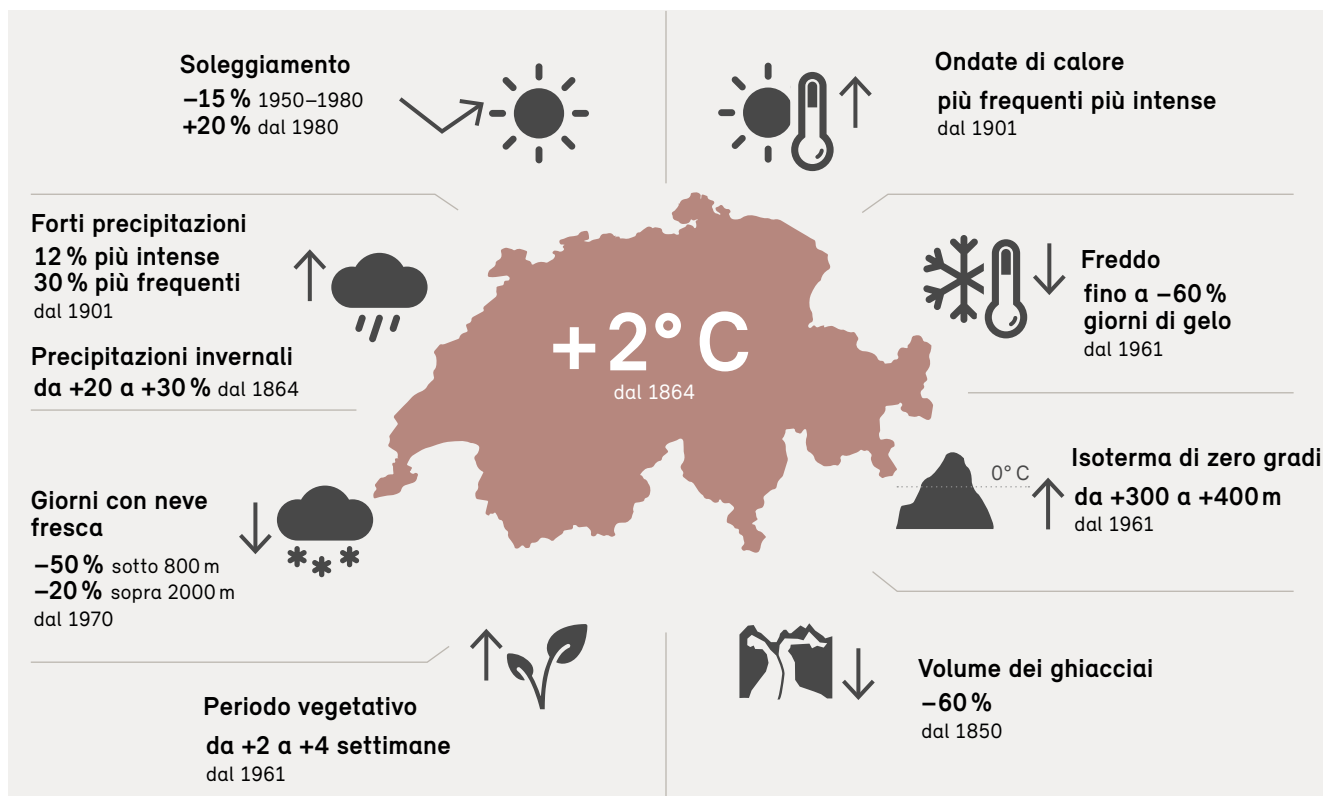
Dal 1864, vale a dire da quando sono cominciate le misurazioni su scala nazionale, a oggi in Svizzera si è registrato un aumento della temperatura media di 2 °C, indotto soprattutto dalle emissioni di gas serra prodotte dalle attività antropiche. Tuttavia, il clima non è costituito solo dalla temperatura media. Basandosi sui dati osservati negli ultimi 156 anni, il presente capitolo mostra in che misura il cambiamento climatico si ripercuote su altri indicatori.

Il capitolo 3.1 descrive l'evoluzione delle temperature medie, annuali e stagionali. Oltre ai valori medi, anche gli estremi di temperatura e i giorni di gelo e di disgelo hanno subito profondi cambiamenti (cap. 3.2). Meno diffusi, ma altrettanto evidenti, sono i mutamenti a livello di precipitazioni e siccità (cap. 3.3). I cambiamenti climati-

ci hanno lasciato tracce inconfutabili anche nella quota dell'isoterma di zero gradi e nella copertura nevosa (cap. 3.4), mentre sono meno evidenti le tendenze riguardanti il soleggiamento e la nuvolosità (cap. 3.5). Tuttavia, non mancano indicatori climatici per i quali il cambiamento è atteso, ma sinora non ancora evidente nei dati osservati. Questo aspetto sarà approfondito nel capitolo 3.6.

La figura 21 fornisce una visione d'insieme sui cambiamenti sinora riscontrati in alcuni importanti indicatori climatici. Dall'inizio del XX secolo le ondate di calore sono diventate molto più frequenti e intense, mentre i giorni di gelo sono diminuiti del 60 per cento dal 1961 (NCCS 2018). Nello stesso periodo l'isoterma di zero gradi è salita di 300–400 metri. Il riscaldamento è particolarmente evidente nel ritiro dei ghiacciai alpini, che dal 1850 han-

Fig. 21: Cambiamenti del clima sinora osservati in Svizzera (stato 2019)



no perso oltre il 60 per cento del loro volume. In pianura i cambiamenti climatici si manifestano chiaramente sulla vegetazione. Oggi il ciclo vegetativo²⁴ dura da 2 a 4 settimane in più rispetto agli anni Sessanta (NCCS 2018).

Anche le precipitazioni evidenziano netti cambiamenti: negli ultimi 150 anni quelle invernali sono molto più abbondanti. Con il riscaldamento le piogge sono diventate più frequenti delle nevicate, pertanto la quantità e la durata della copertura nevosa sono diminuite. Dall'inizio degli anni Settanta i giorni di neve fresca sopra i 2000 metri sono calati del 20 per cento circa e addirittura del 50 per cento a basse quote, al di sotto degli 800 metri. Inoltre, in tutte le stagioni le forti piogge sono oggi più frequenti e più intense rispetto all'inizio del XX secolo (CH2018 2018, NCCS 2018).

Il soleggiamento, strettamente correlato alla nuvolosità, è diminuito del 15 per cento circa dal 1950 al 1980, da allora è risalito del 20 per cento fino a tornare oggi al livello dell'inizio del XX secolo (Scherrer & Begert 2019).

Periodi di riferimento – Parametri per il cambiamento degli indicatori climatici

I dati concernenti il cambiamento delle temperature e delle precipitazioni sono spesso raffigurati come deviazione rispetto al valore medio di un determinato periodo di riferimento. Ciò facilita il confronto dei dati ottenuti dalle misurazioni per diverse regioni e quote.

I periodi di riferimento sono definiti dall'Organizzazione meteorologica mondiale (OMM). Attualmente sono consigliati come riferimenti il periodo 1961 – 1990 (valore di riferimento) per i cambiamenti del clima e il periodo 1981 – 2010 per il clima attuale (OMM 2015; OMM 2007). Basandosi sulle pubblicazioni del Gruppo intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici IPCC²⁵ (p. es. IPCC 2018), per descrivere l'evoluzione a lungo termine delle temperature MeteoSvizzera utilizza anche il periodo di riferimento 1871 – 1900 (Begert et al. 2018) come approssimazione alle condizioni preindustriali con una quantità trascurabile

di gas serra generata da attività antropiche. Nelle valutazioni esposte nel presente rapporto è indicato il periodo di riferimento utilizzato di volta in volta.

I dati climatologici presentati sono attinti dalla rete di misurazione di MeteoSvizzera. Ove possibile, sono utilizzate serie di dati omogenee (Begert et al. 2005), ossia rettifiche dai fattori d'influenza non correlati al clima e al suo cambiamento, tra cui lo spostamento geografico delle stazioni così come la sostituzione dei sensori di misurazione. Le indicazioni sulla rilevanza di una tendenza si basano sul 95 percentile.

3.1 Temperatura media annuale e stagionale

Negli ultimi 150 anni si è registrato un netto innalzamento delle temperature in tutte le regioni della Svizzera. La temperatura media annua su scala nazionale è aumentata di circa 2 °C rispetto all'era preindustriale, che funge da periodo di riferimento (stato fine 2019, fig. 22)²⁶. In questo periodo la temperatura media in Svizzera ha registrato un incremento tendenziale di +0,14 °C per decennio, circa il doppio del valore medio calcolato su scala globale. Il riscaldamento si è accentuato in Svizzera e in tutto il mondo dalla metà degli anni Ottanta. Considerando solo le misurazioni effettuate dal 1961, il rialzo della temperatura in Svizzera, con +0,39 °C per decennio, è triplo rispetto alla tendenza lineare sull'intero periodo di misurazione dal 1864. A queste tendenze lineari si sovrappongono le naturali oscillazioni climatiche (fig. 22).

La causa principale dell'innalzamento osservato a livello globale e locale è da ricercare nelle emissioni antropogeniche di gas serra. I fattori alla base di un aumento più elevato della temperatura in Svizzera rispetto alla media globale sono prevalentemente tre: prima di tutto la distanza della Svizzera dall'Oceano Atlantico che si riscalda meno velocemente (posizione più continentale), secondariamente la relativa vicinanza alle regioni polari che subiscono un riscaldamento più marcato e, in terzo luogo, le possibili interazioni su scala regionale, per esempio in rapporto alla diminuzione della copertura nevosa nelle Alpi. La neve riflette infatti una parte considerevole

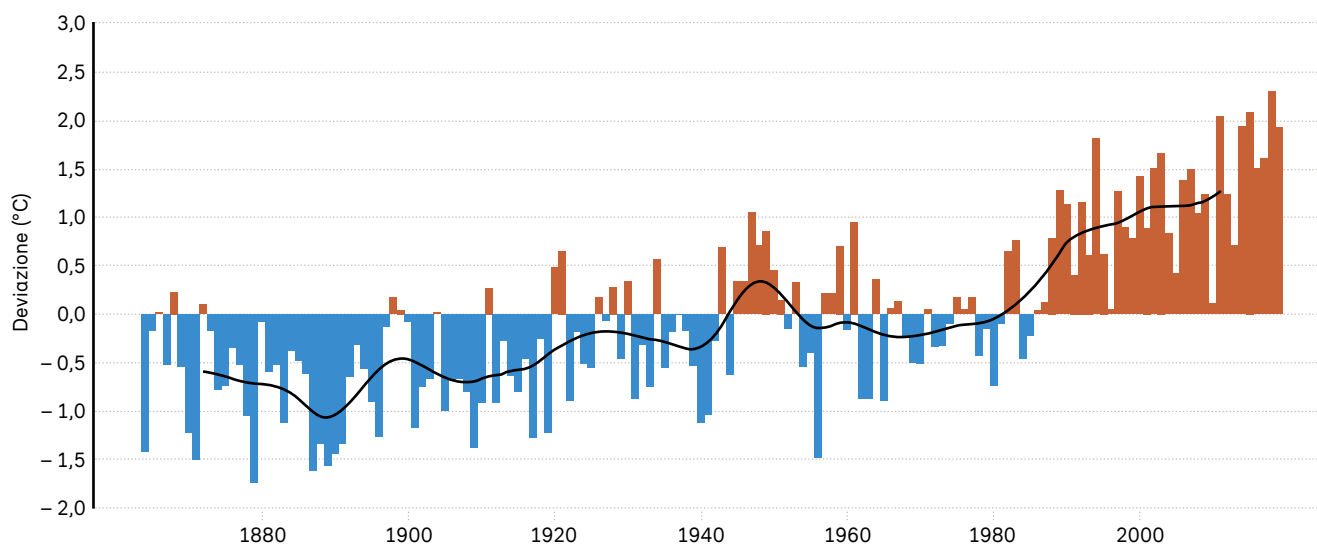
24 Per la definizione utilizzata cfr. Zubler et al. (2014).

25 Intergovernmental Panel on Climate Change.

26 La situazione aggiornata del riscaldamento può essere consultata nel sito di MeteoSvizzera: <https://www.meteosvizzera.admin.ch/home/clima/i-cambiamenti-climatici-in-svizzera.html>

Fig. 22: Evoluzione a lungo termine della temperatura media annua calcolata su tutta la Svizzera

Deviazione annua della temperatura dal periodo di riferimento 1961 – 1990 (rosso = deviazioni positive, blu = deviazioni negative) per il periodo 1864 – 2019. La curva nera indica la media ponderata su 20 anni.



Fonti: MeteoSvizzera (2020b), Begert e Frei (2018)

della radiazione solare direttamente nello spazio e se la copertura nevosa si riduce, la superficie terrestre assorbe una quantità maggiore di energia solare che si trasforma in energia termica.

Il riscaldamento produce un aumento del numero di anni con temperature superiori alla media in Svizzera. Dal 1986 tutte le temperature medie annue hanno superato il periodo di riferimento 1961 – 1990. I cinque anni più caldi della serie di misurazioni dal 1864 al 2019 sono successivi al 2010 (fig. 23). L'evoluzione della temperatura in Svizzera non è un'eccezione, dal momento che anche la temperatura media globale registra recentemente una maggiore frequenza di anni particolarmente caldi.

Negli ultimi 30 anni la temperatura media annua in Svizzera è stata più volte di circa 1 °C superiore al periodo di riferimento 1961 – 1990. Prima del 1990 uno scarto positivo di 1 °C rispetto al periodo di riferimento era molto insolito. Temperature che una volta erano considerate estreme rientrano oggi nella media. Nel contempo, gli anni freddi con scarti negativi di 0,5 °C e oltre rispetto al periodo di riferimento 1961 – 1990 sono spariti dal clima attuale in Svizzera. Dal 1990 la temperatura annua a livello nazionale non è mai scesa sotto il valore norma-

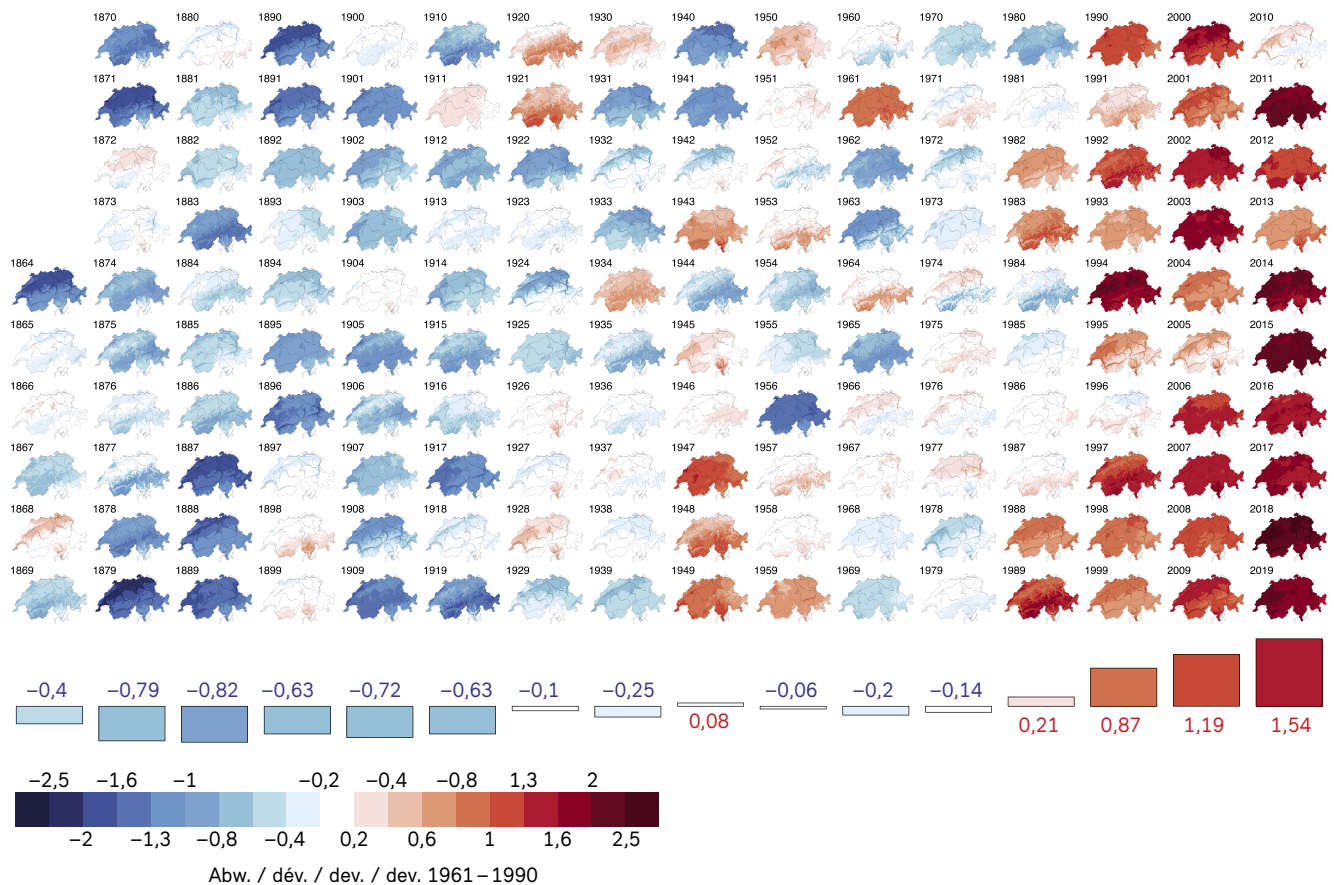
le del periodo 1961 – 1990 neppure negli anni più freddi (fig. 23).

L'osservazione dell'evoluzione stagionale delle temperature rivela che l'estate (media calcolata su giugno, luglio e agosto) e l'autunno (settembre, ottobre, novembre) evidenziano l'aumento più forte della temperatura con +0,14 °C per decennio nell'intero periodo di misurazione 1864 – 2019. La temperatura per decennio è aumentata di 0,13 °C in primavera (marzo, aprile, maggio) e di 0,12 °C in inverno (dicembre, gennaio, febbraio) (fig. 24).

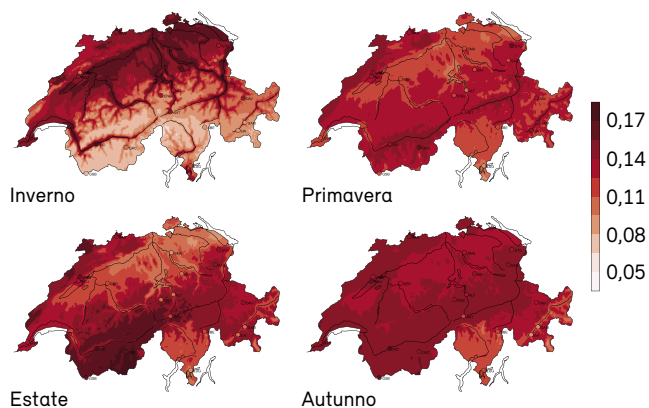
Il sensibile riscaldamento avvenuto a partire dagli anni Ottanta è evidente anche nell'andamento stagionale. Dal 1961 i mesi estivi denotano la tendenza più marcata con +0,54 °C per decennio, seguiti a ruota da quelli primaverili, con +0,46 °C per decennio. A partire dallo stesso anno, il riscaldamento per decennio è nettamente inferiore in inverno, con +0,31 °C, e in autunno, con +0,26 °C.

Fig. 23: Deviazioni annue della temperatura dalla media del periodo 1961 – 1990 in Svizzera

Gli anni al di sotto della media sono raffigurati in blu, quelli al di sopra della media in rosso. Nella parte inferiore del grafico sono riportate le deviazioni dei decenni sotto forma di barre colorate. Dati dall'inizio delle misurazioni nel 1864 fino al 2019.



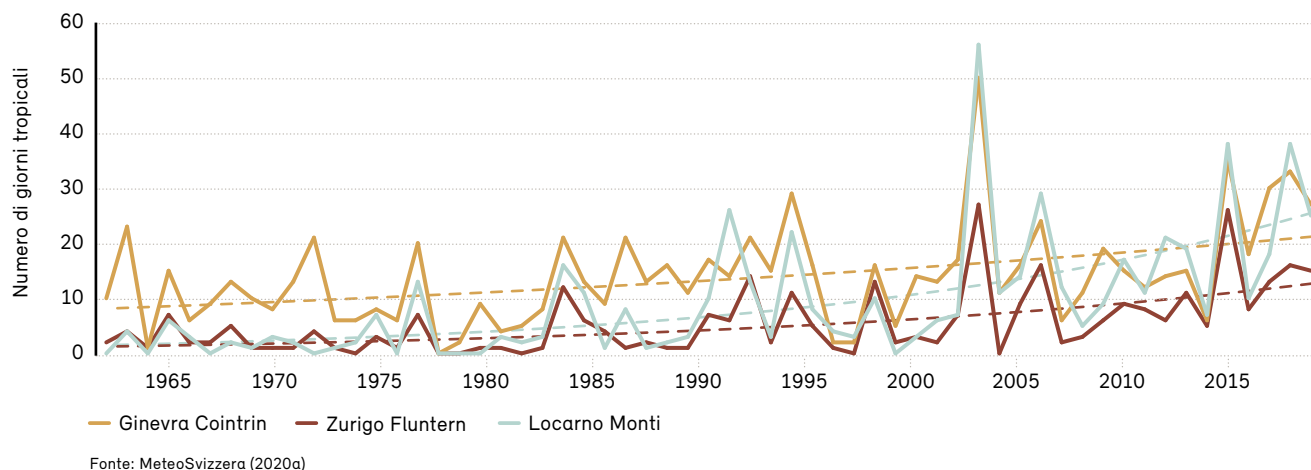
Fonte: MeteoSvizzera (2020)

Fig. 24: Variazione in °C per decennio della temperatura stagionale nel periodo 1864 – 2019

Fonte: MeteoSvizzera (2020a)

Fig. 25: Giorni tropicali

Numero annuo di giorni con una temperatura massima di 30 °C e oltre.



3.2 Ulteriori indicatori delle temperature

Il riscaldamento climatico in Svizzera varia in funzione della regione e della quota. Per la maggior parte degli indicatori, le diverse regioni climatiche della Svizzera sono rappresentate dalle stazioni di misurazione di Locarno Monti (Svizzera meridionale, 367 m s.l.m.), Ginevra Cointrin (Svizzera occidentale, 420 m s.l.m.) e Zurigo Fluntern (Svizzera nordoccidentale, 556 m s.l.m.). Per la presentazione della situazione in alta montagna si ricorre inoltre alle stazioni Säntis (2502 m s.l.m.), Piz Corvatsch (3302 m s.l.m.), e Jungfraujoch (3580 m s.l.m.).

3.2.1 Giorni e notti tropicali

Con l'aumento delle temperature medie si verificano anche più punte di temperatura estreme. Il riscaldamento dovuto ai cambiamenti climatici nuoce alla salute umana (cfr. cap. 6.1.1) e animale.

Il numero annuo di giorni tropicali (giorni con una temperatura massima superiore a 30 °C) è notevolmente aumentato negli ultimi decenni (fig. 25). Se negli anni Sessanta, in Ticino, si registravano in media da uno a due giorni tropicali l'anno, oggi il loro numero arriva spesso a 20 e oltre. Questa tendenza è evidente anche presso le stazioni di misurazione di Ginevra Cointrin e Zurigo Fluntern, tanto che attualmente Ginevra Cointrin registra un numero annuo di giorni tropicali analogo a quello del Ticino. La stazione di Zurigo Fluntern registra oggi circa 10 giorni

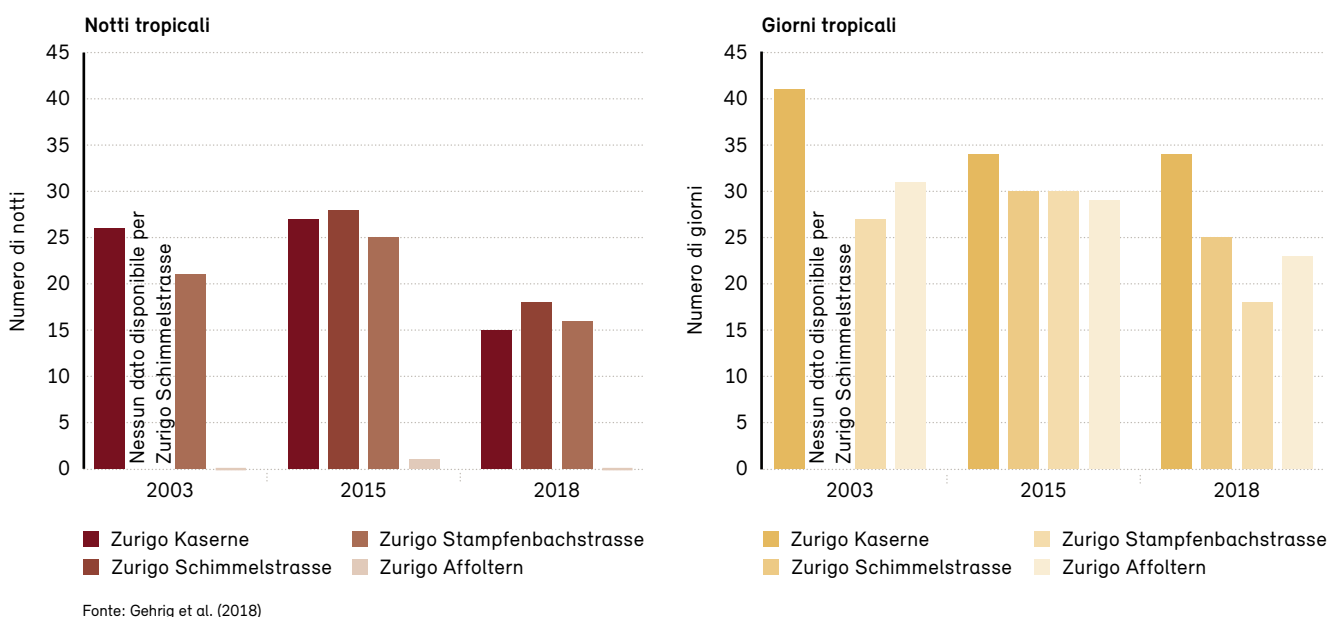
di canicola all'anno. Colpiscono le forti oscillazioni da un anno all'altro. Le tre estati con il maggior numero di giorni tropicali dal 1961 sono il 2003, il 2015 e il 2018 (Meteo-Svizzera 2018; Gehrig et al. 2018).

Nelle notti tropicali la temperatura non scende sotto i 20 °C²⁷. Le temperature notturne elevate sono particolarmente dannose per la salute, in particolare per le persone anziane o debilitate (cfr. cap. 6.1.1). Se nelle zone a bassa quota a sud delle Alpi e nelle regioni percorse dal favonio da sud si verificano ogni anno notti tropicali, nelle zone rurali dell'Altopiano svizzero sono ancora un evento raro. La situazione è diversa nelle grandi città, dove le temperature notturne estive superano quelle delle regioni rurali circostanti in media di 2 °C fino a un massimo di 6–7 °C (Gehrig et al. 2018). Qui le notti tropicali sono già la regola. La figura 26 mostra che a Zurigo Affoltern, un'area a carattere rurale, le notti tropicali non si verificano neppure nelle attuali estati più calde (nessuna negli anni 2003 e 2018, una nel 2015), mentre le stazioni di misurazione urbane hanno registrato tra 15 e 30 notti tropicali nelle estati canicolari del 2003, del 2015 e del 2018. Le stazioni di misurazione che registrano più spesso notti tropicali evidenziano un forte incremento dal 1961, in particolare dall'inizio degli anni Ottanta. Durante l'estate

²⁷ A rigore, per l'analisi delle notti tropicali dovrebbero essere utilizzate solo le temperature minime notturne, tuttavia l'indicatore dell'OMM «notte tropicale» utilizza per semplicità la temperatura minima dell'intero giorno (temperatura minima giornaliera).

Fig. 26: Notti e giorni tropicali negli anni 2003, 2015 e 2018

Confronto tra le diverse stazioni della città di Zurigo: Kaserne, Schimmelstrasse e Stampfenbachstrasse (tutte urbane) e Affoltern (a carattere rurale).



canicolare del 2003 la stazione di Locarno Monti ha registrato 42 notti tropicali.

3.2.2 Freddo

Il riscaldamento climatico si ripercuote anche sulle basse temperature. Infatti, i giorni, i periodi e gli anni freddi sono diminuiti negli ultimi decenni e l'isoterma di zero gradi si è spostata verso l'alto (cfr. cap. 3.4). L'assenza di temperature fredde provoca lo scioglimento del permafrost (cfr. cap. 5.2.2), che in alcune località di alta montagna accentua il rischio di caduta di sassi e di crolli di roccia, mentre il turismo invernale risente della più frequente carenza di neve (cfr. cap. 8.7).

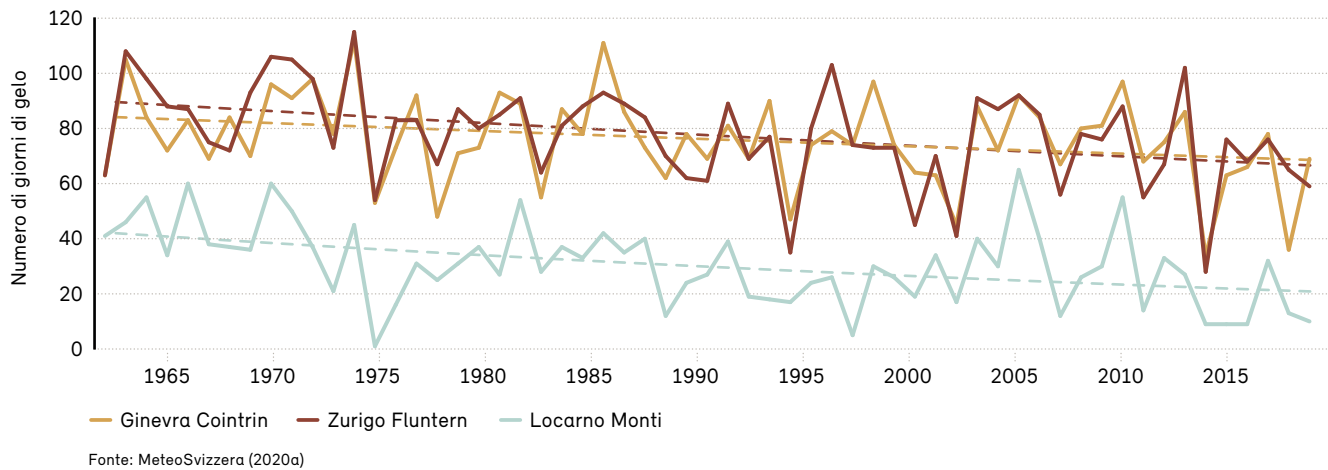
Nei giorni di gelo la temperatura minima scende sotto 0 °C. Dal 1960 il loro numero è fortemente diminuito (fig. 27). A Zurigo Fluntern e Ginevra Cointrin il numero di giorni di gelo è sceso di 3–4 giorni per decennio passando a circa 70. A Locarno Monti il numero annuo atteso di giorni di gelo si è dimezzato rispetto agli anni Sessanta.

Nei giorni di disgelo il termometro non scende sotto 0 °C. Nelle zone di permafrost i giorni di disgelo possono rendere instabile il sottosuolo, aumentando quindi il rischio

di caduta di sassi e crolli di roccia a seconda delle situazioni climatiche locali, topografiche e geologiche. La figura 28 mostra come presso le tre stazioni di misurazione di alta montagna Säntis, Piz Corvatsch e Jungfrauoch si sia registrato un forte incremento dei giorni di disgelo. Sul Säntis il numero dei giorni di disgelo è passato da circa 100 del 1960 agli oltre 130 attuali, con un picco di 163 nell'anno record 2018. Sul Piz Corvatsch il numero dei giorni di disgelo è salito da quasi 45 a circa 65 dal 1980 a oggi e sono sempre più frequenti persino sullo Jungfrauoch, dove sono raddoppiati passando da poco meno di 15 negli anni Sessanta ai quasi 30 attuali.

Fig. 27: Giorni di gelo

Numero annuo di giorni con una temperatura minima inferiore a 0 °C.

**Fig. 28: Giorni di disgelo**

Numero di giorni con una temperatura minima giornaliera superiore a 0 °C nelle tre stazioni di montagna Säntis (2502 m s.l.m.), Piz Corvatsch (3302 m s.l.m.), e Jungfrauoch (3580 m s.l.m.).

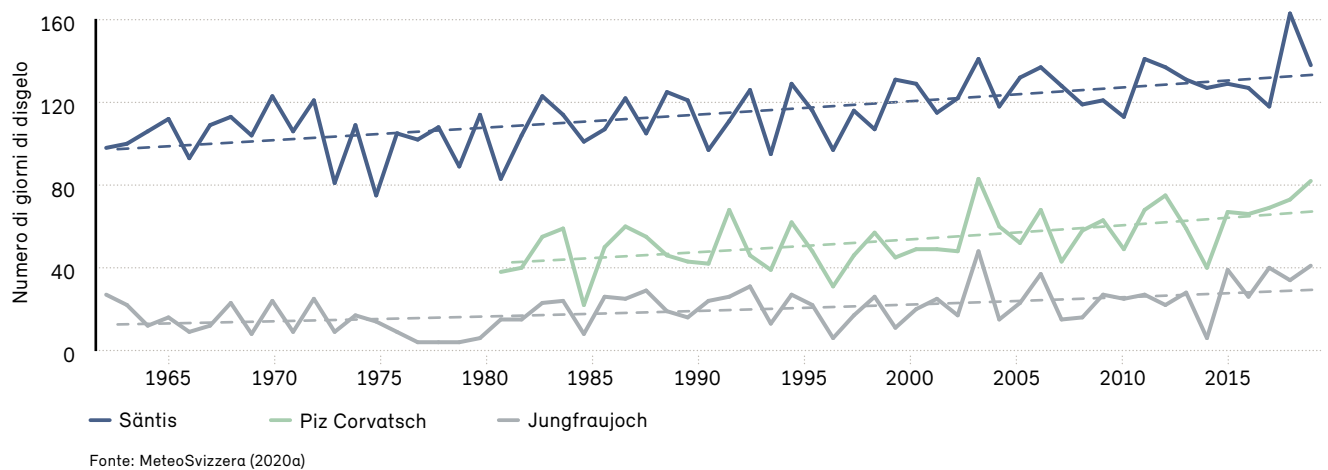
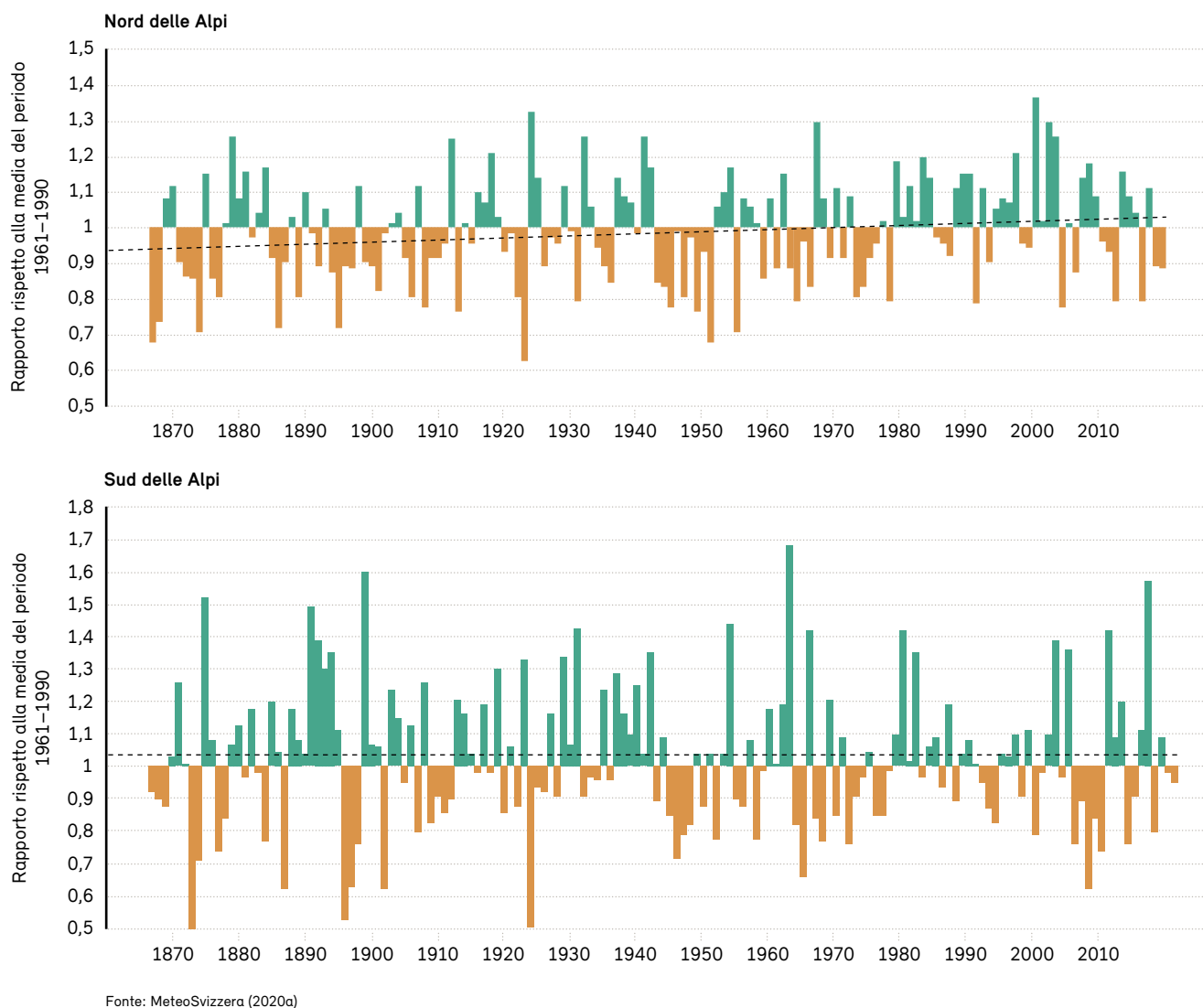


Fig. 29: Precipitazioni annue

Evoluzione delle precipitazioni annue nel periodo 1864–2019 a basse quote della Svizzera settentrionale (<1000 m s.l. m., sopra) e della Svizzera meridionale (sotto). La tendenza per le basse quote della Svizzera settentrionale è significativa ($p=0,04$). Rapporto rispetto alla media del periodo 1961–1990.



3.3 Precipitazioni e siccità

3.3.1 Precipitazione media

La somma annua delle precipitazioni a livello nazionale non evidenzia alcuna tendenza significativa nel lungo termine. Tuttavia, dall'osservazione delle precipitazioni stagionali emerge un aumento statisticamente significativo solo per l'inverno, con un +18 per cento ogni 100 anni. Nelle altre stagioni la variazione della media delle precipitazioni non è significativa, ma si constatano tendenze a livello regionale. Nel periodo 1864–2019 la media

delle precipitazioni annue a nord delle Alpi ha registrato un incremento significativo del 6 per cento circa ogni 100 anni (fig. 29, sopra). Nell'Altopiano centrale questa variazione corrisponde a una quantità di circa 100 millimetri²⁸, ossia le precipitazioni di un mese estivo. Nella Svizzera meridionale non si constatano cambiamenti significativi della precipitazione media, né per le somme annuali (fig. 29, sotto) né per quelle stagionali.

²⁸ L'unità di misura è il millimetro di accumulo (mm), corrispondente a 1 litro caduto su una superficie di un metro quadrato (l/m²).

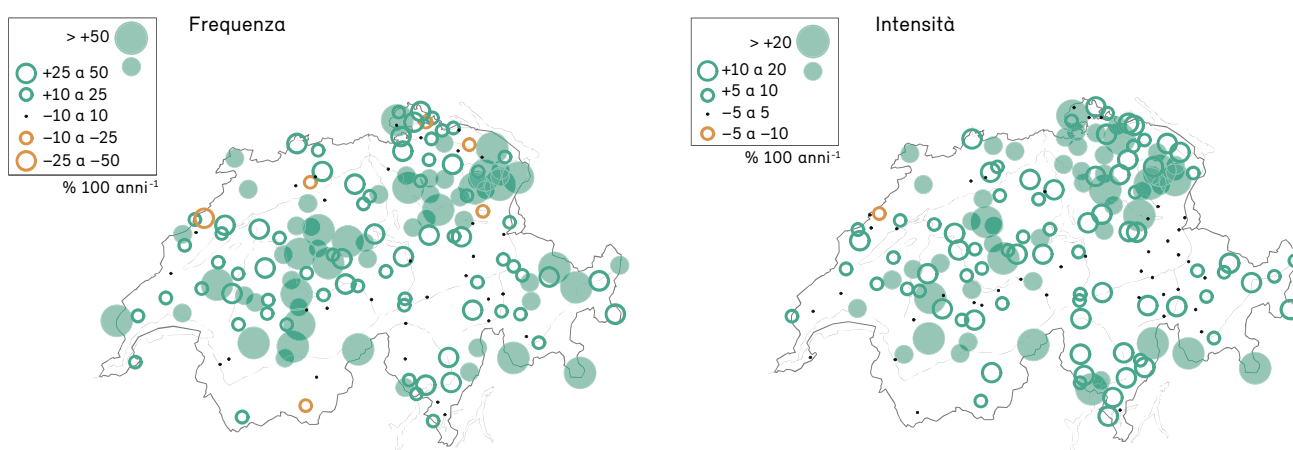
3.3.2 Forti precipitazioni

I cambiamenti climatici influenzano anche l'intensità e la frequenza delle forti precipitazioni. Per descrivere questo fenomeno si considerano, da un lato, il valore massimo delle precipitazioni giornaliere registrate ogni anno (come parametro dell'intensità delle precipitazioni) e, dall'altro, il numero di eventi all'anno che superano una certa soglia di pioggia giornaliera (come indicatore della frequenza delle precipitazioni forti, Scherrer et al. 2016). Simili eventi si verificano da una a tre volte l'anno, quindi non sono eventi estremi molto rari²⁹. Le forti precipitazioni possono provocare ruscellamento superficiale, inondazioni, flussi detritici o scivolamenti, pertanto causare danni materiali.

La stragrande maggioranza delle stazioni di misurazione ha riscontrato che, dal 1901, le forti precipitazioni ricorrono più spesso: la loro frequenza è aumentata in media del 30 per cento rispetto all'inizio del XX secolo (fig. 30, a sinistra). Nello stesso periodo l'intensità delle precipitazioni massime giornaliere è cresciuta in media del 12 per cento (fig. 30, a destra). Le quattro stagioni dell'anno mostrano un quadro analogo. La maggior parte delle stazioni di misurazione ha rivelato un aumento della frequenza e dell'intensità delle forti precipitazioni (Scherrer et al. 2016).

Fig. 30: Variazione della frequenza e dell'intensità delle forti precipitazioni

Variazione della frequenza (a sinistra) e dell'intensità (a destra) delle forti precipitazioni nel periodo 1901–2015 registrata dalle stazioni svizzere di rilevamento delle precipitazioni (variazione percentuale ogni 100 anni)³⁰. Verde: aumento, arancione: diminuzione. Variazioni significative (cerchi pieni) si verificano in oltre il 30 per cento delle stazioni di misurazione.



Fonte: Scherrer et al. (2016)

²⁹ Informazioni concernenti i periodi di ritorno delle precipitazioni estreme nelle condizioni climatiche attuali sono pubblicate nel sito www.climate-extremes.ch.

³⁰ Il calcolo della frequenza si basa sul 99° percentile delle precipitazioni giornaliere, quello dell'intensità sulla somma di volta in volta più elevata di precipitazioni giornaliere ogni anno.

3.3.3 Siccità

Ai fini del raffronto pluriennale della siccità nel semestre estivo viene utilizzato l'indice SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*, Vicente-Serrano et al. 2010), basato sul bilancio idrico, che rappresenta la differenza tra precipitazione ed evaporazione.

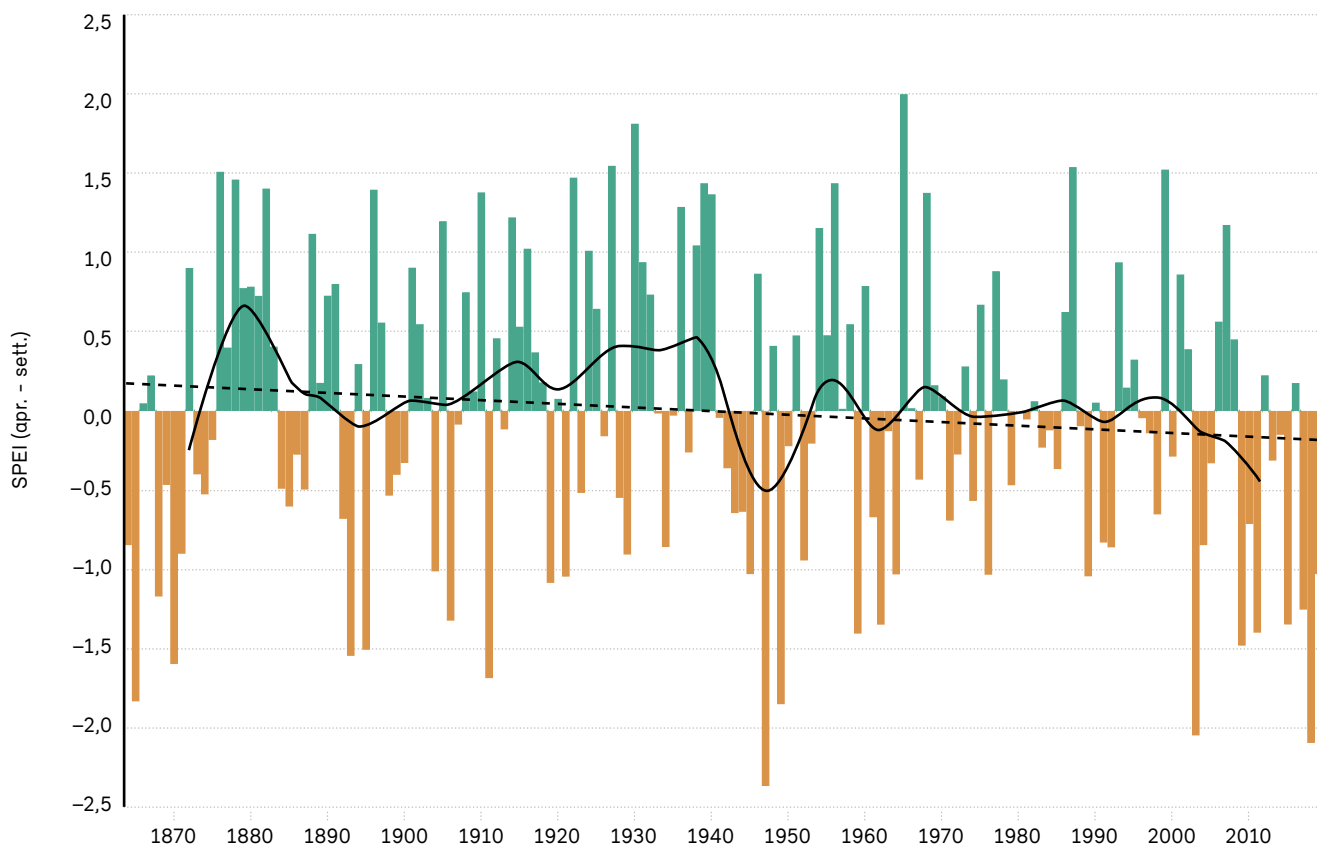
L'indice SPEI evidenzia una leggera flessione nel semestre estivo per il periodo 1864–2018 (fig. 31). Gli eventi di siccità tendono a diventare più frequenti. Ciò può essere facilmente spiegato in termini fisici dal momento che,

con il rialzo delle temperature, aumenta anche l'evaporazione potenziale, tuttavia non è statisticamente rilevante.

Negli ultimi 10–15 anni è evidente una maggiore frequenza di anni secchi (valori negativi dell'indice SPEI). Il dato è confermato dalle misurazioni satellitari della siccità. Il semestre estivo 2018 corrisponde a un anno molto secco nel raffronto pluriennale (indice SPEI inferiore a -2) con il secondo valore più basso dal 1864, anno di inizio delle misurazioni (MeteoSvizzera, 2018).

Fig. 31: Andamento dell'indice di siccità SPEI per il semestre estivo (aprile–settembre)

Media misurata dalle stazioni di Basilea Binningen, Berna Zollikofen, Zurigo Fluntern e Ginevra Cointrin. Il periodo di riferimento va dal 1864, quando sono cominciate le misurazioni, al 2019. I valori fortemente negativi indicano eventi di siccità rari o molto rari. Un indice SPEI compreso tra $-0,5$ e $0,5$ è ritenuto nella norma. La linea nera rappresenta la media mobile e la linea tratteggiata la tendenza lineare.



Fonte: MeteoSvizzera (2020a)

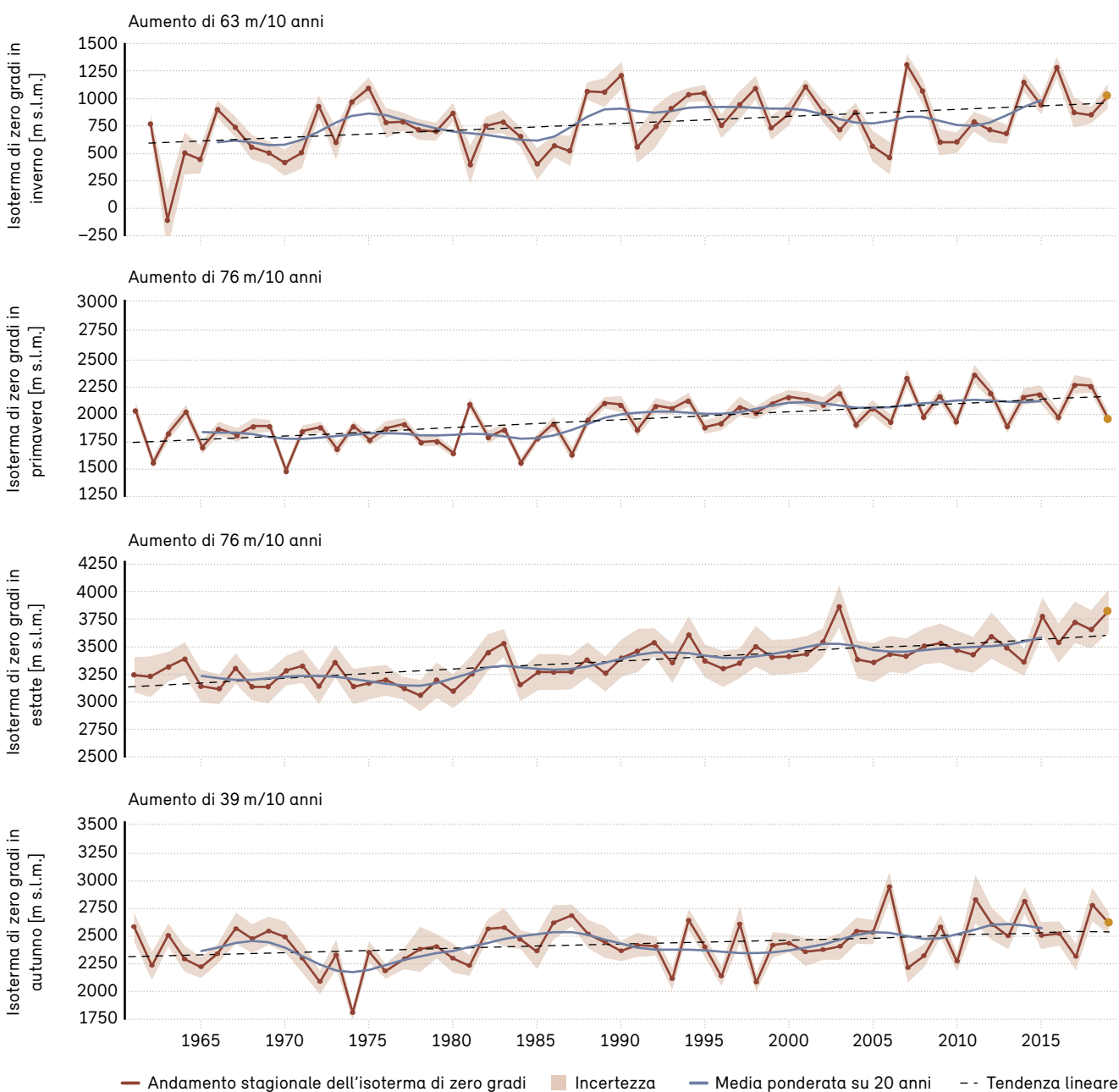
3.4 Isoterma di zero gradi e copertura nevosa

L'innalzamento della quota dell'isoterma di zero gradi rispecchia i cambiamenti climatici in Svizzera. La quota

dell'isoterma di zero gradi è determinata mediante stazioni di misurazione al suolo (per maggiori dettagli cfr. MeteoSvizzera 2020b). Il progressivo riscaldamento in atto in tutte le stagioni sin dal 1961 ha causato un signi-

Fig. 32: Andamento stagionale della quota dell'isoterma di zero gradi

Andamento dei valori stagionali dell'isoterma di zero gradi (in m s.l.m.) negli anni 1961–2019 come media per l'intera Svizzera (linea rossa, anno 2019: puntino arancione) con tendenza lineare (tratteggiato in nero), media ponderata su 20 anni (linea blu). L'ombreggiatura rossa mostra l'area di incertezza della quota dell'isoterma di zero gradi.



ficativo rialzo dell'isoterma di zero gradi (fig. 32), salita in autunno di circa 220 metri, in inverno di quasi 400 e in primavera e in estate rispettivamente di 430 e 480 metri. Da questi dati si deduce che, per 1 °C di riscaldamento, l'isoterma di zero gradi si innalza di 150–200 metri (per la futura evoluzione delle temperature cfr. cap. 4.2).

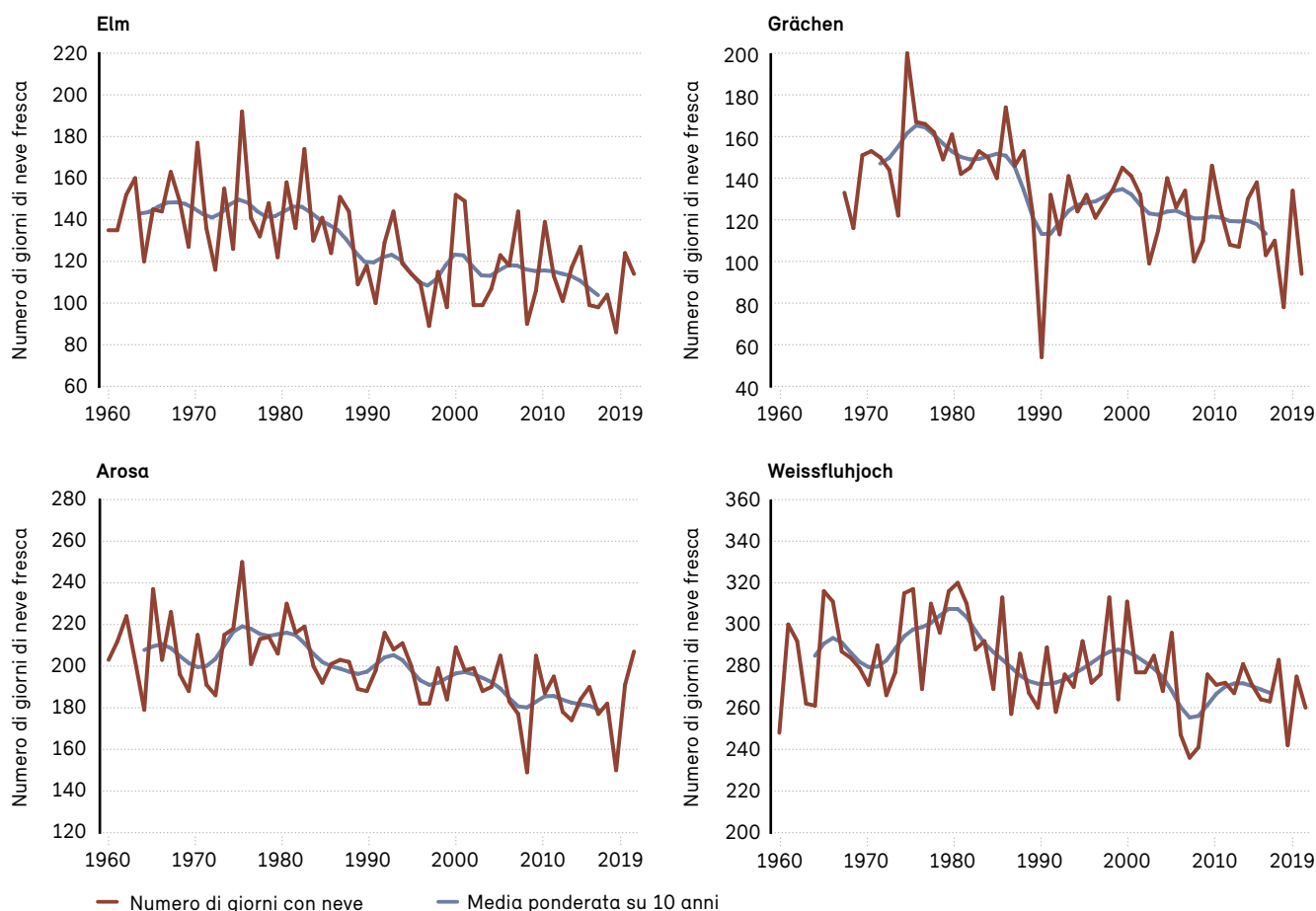
Con l'innalzamento della quota dell'isoterma di zero gradi in inverno, in montagna sono fortemente diminuite la somma della neve fresca, lo spessore e la durata della copertura nevosa (per quest'ultima cfr. fig. 33). Se la quota dell'isoterma di zero gradi è elevata, sono maggiori le precipitazioni sotto forma di pioggia all'inizio e alla

fine dell'inverno nonché a bassa e media quota, inoltre il disgelo in primavera è più rapido.

L'innalzamento delle temperature invernali e, di conseguenza, la decrescente garanzia di innevamento costituiscono una grossa sfida soprattutto per le regioni delle Prealpi fortemente orientate al turismo invernale. Alle quote più alte le condizioni necessarie affinché si verifichino nevicate in inverno sono ancora presenti nella maggior parte dei casi nonostante l'innalzamento delle temperature, pertanto qui il problema è meno diffuso (cfr. cap. 4, 6.4 e 8.7).

Fig. 33: Giorni con neve fresca

Numero di giorni con neve fresca (copertura nevosa > 1 cm) da agosto a luglio per il periodo 1961–2019 presso le stazioni di misurazione di Elm (958 m s.l. m.), Grächen (1605 m s.l. m.), Arosa (1878 m s.l. m.) e Weissfluhjoch (2690 m s.l. m.). Dati non omogeneizzati. La linea blu indica la media ponderata su 10 anni.



Fonte: MeteoSvizzera (2020a)

3.5 Soleggiamento e nuvolosità

Il soleggiamento è notevolmente diminuito nella maggior parte delle stazioni di misurazione dal 1950 al 1980 circa, dopodiché ha registrato un forte incremento nell'Altopiano e nelle regioni a bassa quota a sud delle Alpi (fig. 34). Dal 1980 al 2019, il soleggiamento a Zurigo Fluntern è aumentato di oltre 400 ore (+25 %) e a Locarno Monti di 225 ore (+10 %). La stazione ad alta quota del Säntis, invece, non ha registrato né una netta diminuzione fino al 1980 né un chiaro incremento sino a oggi.

Le tendenze osservate dipendono in primo luogo dalla variabilità delle condizioni meteorologiche. I periodi con uno scarso soleggiamento, quindi una più diffusa nuvolosità, sono maggiormente determinati da condizioni di bassa pressione, mentre sono le condizioni di alta pressione a caratterizzare i periodi con un elevato soleggiamento e una minore nuvolosità. Inoltre, soprattutto nei semestri freddi e nelle regioni a bassa quota, il totale annuo delle ore di sole dipende dai periodi con più o meno nebbia. Non è altresì da escludere che abbia un impatto anche l'inquinamento atmosferico, con un picco raggiunto attorno al 1980, ma non è ancora stato possibile quantificarlo.

3.6 Indicatori climatici sinora senza variazioni visibili

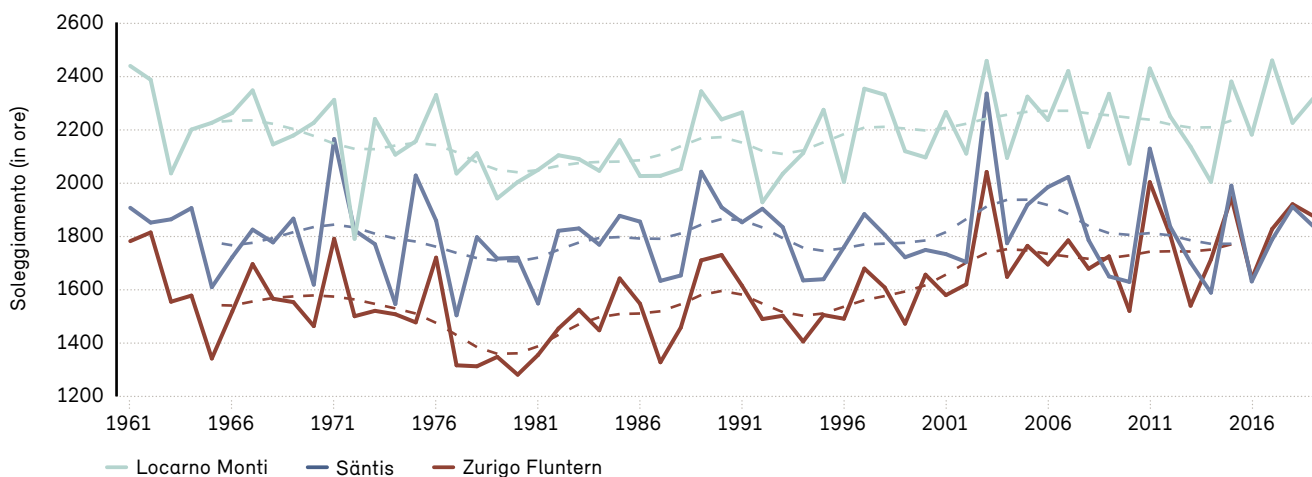
Come menzionato in precedenza, i cambiamenti climatici influenzano numerose grandezze meteorologiche. Tutti i cambiamenti osservati nel passato sono coerenti con l'evoluzione che gli scenari climatici delineano per il futuro (cfr. cap. 4).

Per alcuni parametri, come per esempio le precipitazioni estive o la siccità estiva, i valori osservati non mostrano ancora la tendenza attesa per il futuro. Ciò dipende dal fatto che per questi parametri l'impatto del cambiamento climatico è ancora modesto e l'andamento riscontrato è tuttora dominato dalla notevole variabilità naturale.

Inoltre, vi sono dei limiti nella capacità di identificare e interpretare i cambiamenti graduali, in particolare quando si tratta di fenomeni rari e di portata limitata, che non vengono rilevati adeguatamente né dalle osservazioni né dagli attuali modelli climatici. Ne sono esempi la nebbia alta, il vento, le tempeste invernali, i temporali o la grandine. Per questi fenomeni è opportuno utilizzare la variabilità sinora osservata come riferimento per l'elaborazione di misure di prevenzione o di adattamento. Se l'osservazione del clima sarà ulteriormente perfezionata e i modelli climatici diventeranno più dettagliati ed efficienti, i cambiamenti nel sistema climatico potranno essere rilevati in modo ancora più preciso.

Fig. 34: Soleggiamento

Soleggiamento in ore per il periodo 1961–2019 nelle stazioni di Zurigo Fluntern (linea rossa), Säntis (linea azzurra) e Locarno Monti (linea celeste). Le linee tratteggiate indicano una media mobile su 11 anni.



Fonte: MeteoSvizzera (2020a)

4 Il futuro del clima in Svizzera

In quanto Paese alpino, la Svizzera è particolarmente esposta ai cambiamenti climatici e ai rischi che ne conseguono. La portata del cambiamento è fortemente correlata all'evoluzione delle emissioni di gas serra a livello mondiale. Ma anche se si riuscirà a limitare il riscaldamento globale a 2 °C in più rispetto ai valori preindustriali, la Svizzera deve adattarsi ai cambiamenti climatici e alle sue conseguenze ed è quindi importante sapere dove e come essi produrranno i loro effetti.

Gli scenari climatici CH2018 (NCCS 2018) descrivono come potrebbe cambiare il clima in Svizzera entro la metà di questo secolo e oltre. Essi sono stati elaborati sotto la direzione dell'Ufficio di meteorologia e climatologia (MeteoSvizzera) e del Politecnico di Zurigo tra il 2015 e il 2018 e costituiscono una tematica prioritaria dell'NCCS³¹, che fornisce un accesso unico a tutta una serie di servizi climatici, individua le esigenze e consente il dialogo tra i diversi attori.

Gli scenari di emissioni definiti nell'ambito dei lavori del Gruppo intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) sono il punto di partenza per gli scenari climatici CH2018 (cap. 4.1). La curva delle emissioni che sarà seguita in futuro determina in misura significativa fino a che punto potranno cambiare le temperature in Svizzera (cap. 4.2). Le principali variazioni previste sono illustrate nel capitolo 4.3. I risultati degli scenari climatici servono come base per gli ulteriori studi sugli effetti dei cambiamenti climatici e per pianificare le misure di adattamento (cfr. cap. 8).

4.1 Scenari di emissione e modelli climatici come base

Un indicatore fondamentale per prevedere come cambierà il clima in futuro sono le emissioni di gas serra a livello globale, che a sua volta dipendono dallo sviluppo sociale ed economico. Poiché non è possibile elaborare una previsione esatta di questa evoluzione, vengono utilizza-

ti diversi scenari, che portano a risultati differenti in termini di emissioni di CO₂.

I possibili scenari climatici sono quindi individuati con l'aiuto di modelli climatici e sulla base di diversi scenari di emissione. Essi consentono di esprimersi su come sarà il clima in futuro sulla scorta di determinate ipotesi. In linea con i lavori dell'IPCC, i nuovi scenari climatici CH2018 considerano tre possibili sviluppi delle future emissioni di gas serra, due dei quali sono esposti nel presente rapporto:

- a. Coerente protezione del clima (scenario RCP2.6): la rapida adozione di provvedimenti per ridurre praticamente a zero le emissioni globali di gas serra consentirà di arrestare entro circa 20 anni l'aumento delle loro concentrazioni nell'atmosfera. In tal modo sarà probabilmente possibile raggiungere gli obiettivi dell'Accordo di Parigi e contenere il riscaldamento globale a 2 °C in più rispetto ai livelli preindustriali.
- b. Nessuna protezione del clima (scenario RCP8.5): non vengono adottate misure per salvaguardare il clima. Nonostante i progressi tecnologici, le emissioni climateranti continueranno ad aumentare e, con esse, il riscaldamento.

Per gli scenari di emissione considerati, i risultati ottenuti sono frutto delle simulazioni effettuate con 21 diversi modelli climatici, da cui scaturiscono i valori di massima per stimare gli effetti sullo stato futuro del clima. Nei due capitoli successivi è esposta una sintesi delle conseguenze di questi cambiamenti per la Svizzera.

4.2 Evoluzione della temperatura con e senza protezione del clima

I cambiamenti climatici in atto su scala globale provocano un innalzamento delle temperature anche in Svizzera. Se non sarà posto un freno all'aumento delle emissioni di gas serra (scenario RCP 8.5), i nuovi scenari climatici CH2018 evidenziano un rialzo della temperatura media annua in Svizzera di altri 2 – 3 °C entro la metà del secolo. Una rapida e decisa riduzione delle emissioni mondiali

di gas serra (scenario RCP 2.6), consentirebbe di tenere al di sotto dei 2 °C rispetto a oggi l'ulteriore riscaldamento in Svizzera (fig. 35).

Il riscaldamento atteso entro il 2060 riguarda tutte le regioni della Svizzera e in estate è più marcato che in inverno (fig. 36). Mentre in inverno non si constatano differenze a livello regionale, in estate si delinea un aumento superiore alla media delle temperature nelle regioni alpine.

4.3 Sintesi dei principali risultati degli scenari climatici CH2018

I cambiamenti climatici in Svizzera non si manifestano solo nell'evoluzione delle temperature medie, ma provocano anche altre conseguenze che vengono illustrate da diversi indicatori climatici. Si prevedono per esempio cambiamenti significativi a livello di precipitazioni: anche se non vi sono segnali di un aumento o di una diminuzione rispetto alla media annua, emergono chiare tendenze stagionali. Inoltre, sono attesi cambiamenti negli estremi di temperatura e di precipitazioni.

Fig. 35: Andamento misurato e previsto della temperatura media annua nel periodo 1864–2100 in Svizzera come deviazione rispetto al periodo di riferimento 1981–2010

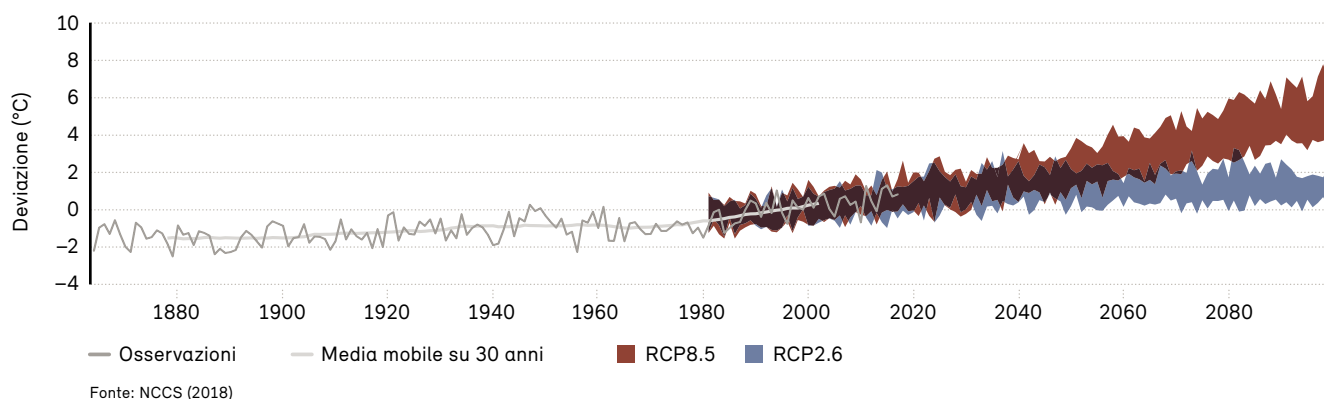
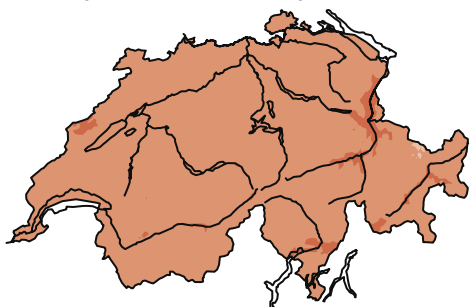


Fig. 36: Variazione assoluta della temperatura in inverno e in estate attorno al 2060 rispetto al periodo di riferimento 1981–2010

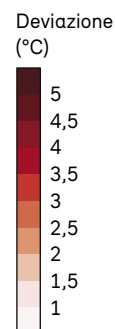
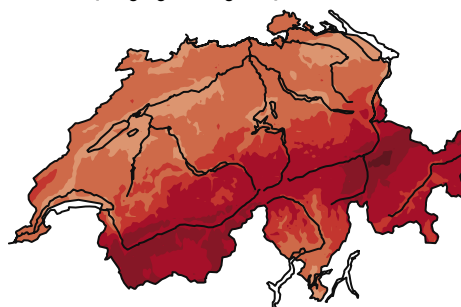
Inverno (a sinistra): dicembre – febbraio, estate (a destra): giugno – agosto. Sono indicati i cambiamenti per uno scenario di emissione senza misure globali di protezione del clima (scenario RCP8.5).

Inverno (da dicembre a febbraio)



Fonte: NCCS (2018)

Estate (da giugno a agosto)



Di seguito sono presentati i quattro risultati principali per la Svizzera alla metà del XXI secolo relativamente allo scenario di un cambiamento climatico incontrollato (RCP8.5).

4.3.1 Estate secche

I quantitativi medi di precipitazioni nei mesi estivi diminuiranno. Entro la metà del secolo è possibile una riduzione fino al 25 per cento delle precipitazioni. Ci saranno meno giorni di pioggia e i periodi senza precipitazioni saranno più lunghi. Nel contempo aumenterà l'evaporazione, quindi il suolo diventerà più secco. I cambiamenti climatici in atto acquiscono la tendenza alla siccità.

4.3.2 Sempre più giorni tropicali

In estate le temperature massime aumentano molto di più delle temperature medie. Intorno alla metà del secolo le temperature massime annue potrebbero essere più elevate di quelle attuali di 2–5,5 °C. Le ondate di calore diventeranno più frequenti e più estreme. Lo stress da calore sarà maggiore nelle zone urbane a bassa quota densamente popolate. Nell'Altopiano e nelle vallate alpine il termometro supera più spesso la soglia dei 30 gradi, fenomeno che definisce un «giorno tropicale». Il riscaldamento sarà avvertito in misura maggiore anche nelle ore notturne, di conseguenza aumenterà il numero delle notti tropicali a bassa quota.

4.3.3 Precipitazioni più frequenti

In futuro le forti precipitazioni potrebbero essere molto più frequenti e più intense di oggi e verificarsi in tutte le stagioni. In estate i singoli eventi saranno più intensi nonostante diminuisca il quantitativo totale delle precipitazioni. Si rafforzeranno anche gli eventi di precipitazione molto rari, che ricorrono approssimativamente una volta ogni 100 anni. Si prevede che, alla metà del secolo, le precipitazioni si intensificheranno del 10–20 per cento.

4.3.4 Inverni poveri di neve

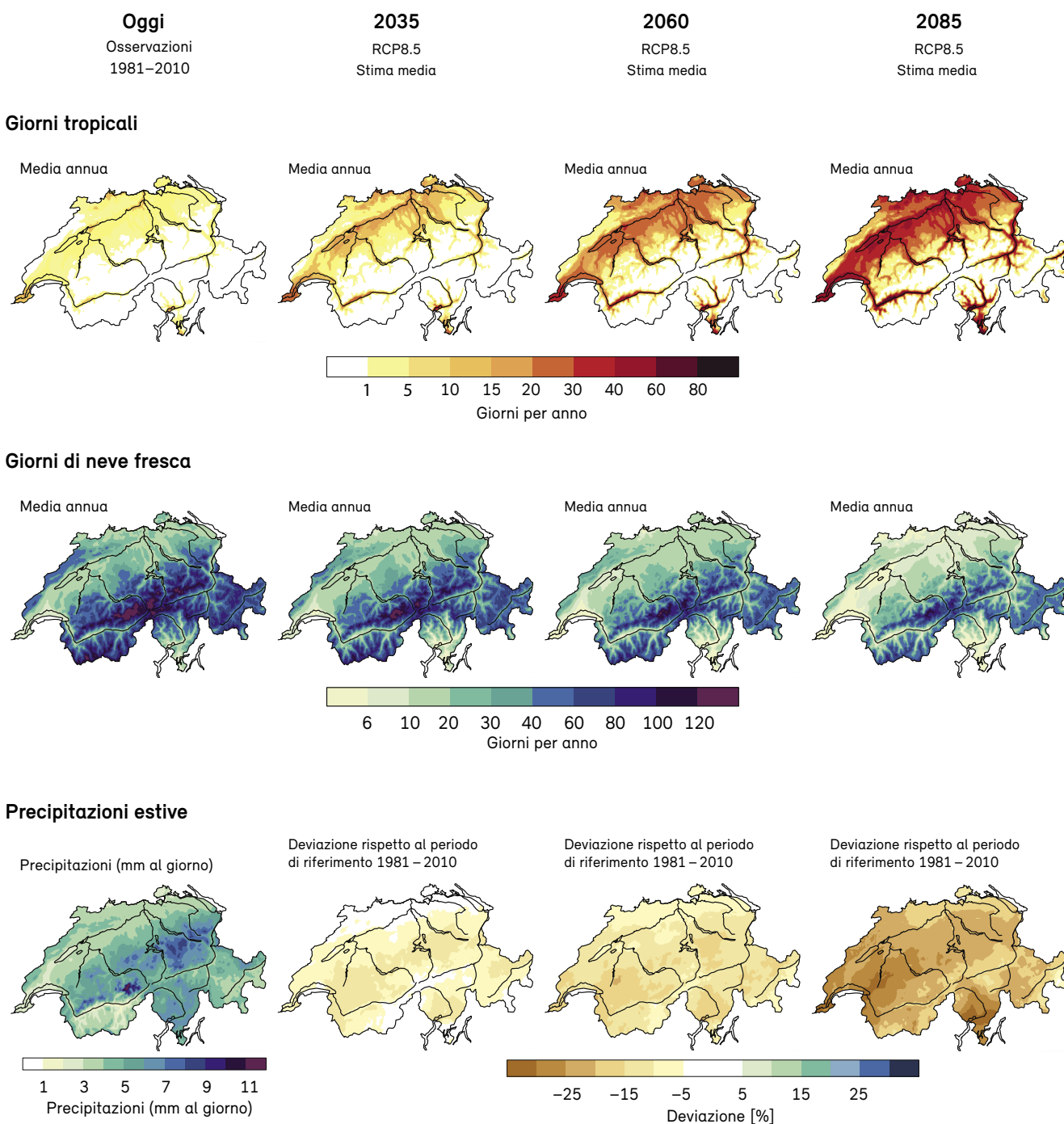
Intorno alla metà del secolo anche gli inverni saranno decisamente più caldi di oggi, in media di 2–3,5 °C. Le precipitazioni aumenteranno, ma cadranno piuttosto sotto forma di pioggia, poiché l'isoterma di zero gradi salirà dagli attuali 850 a 1250–1500 m s.l.m. A basse quote nevierà dunque meno e più raramente, pertanto le zone della Svizzera con abbondanza di neve si ridurranno.

Considerandoli sull'arco dell'intero anno, i giorni di neve fresca diminuiranno. Nell'Altopiano, al di sotto dei 400 m, si prevede che i giorni di neve fresca scenderanno dagli attuali 13 a 8.

Una decisa riduzione delle emissioni globali di gas serra potrebbe limitare efficacemente i cambiamenti climatici anche in Svizzera. Entro la metà del XXI secolo sarebbe possibile evitare la metà dei cambiamenti attesi e due terzi entro la fine del secolo. Ciò riguarda non solo la temperatura, ma anche altri indicatori climatici e le variazioni delle precipitazioni. I cambiamenti climatici proseguirebbero, ma in misura molto più limitata rispetto a quanto avverrebbe in un mondo in cui le emissioni aumentano in modo incontrollato.

Fig. 37: Evoluzione dei giorni tropicali, dei giorni di neve fresca e dei quantitativi di precipitazioni in estate

Evoluzione per uno scenario di emissione senza misure globali di protezione del clima (RCP8.5). Periodi raffigurati: oggi = 1981 – 2010, 2035 = 2020 – 2049, 2060 = 2045 – 2074, 2085 = 2070 – 2099.



Fonte: Atlante interattivo CH2018 (2018) e www.scenariclimatici.ch

4.4 Ulteriori studi e attività

I nuovi scenari climatici CH2018 consentono di ottenere una visione del futuro andamento climatico in Svizzera finora mai così precisa. Confermano e ampliano il quadro emerso dalle precedenti analisi condotte nel 2007 e nel 2011. Sono ora disponibili anche dati quantitativi per varie tendenze che prima erano note solo in termini qualitativi, come nel caso degli estremi delle precipitazioni. I nuovi scenari climatici rappresentano inoltre lo stato più avanzato della scienza, tengono conto dei risultati del quinto rapporto di valutazione dell'IPCC e si basano sulle simulazioni più aggiornate del clima con una risoluzione spaziale quattro volte superiore rispetto alla precedente generazione di scenari climatici.

Dal momento che i nuovi scenari climatici CH2018 sono stati elaborati in stretta collaborazione con gli utilizzatori, possono essere facilmente inseriti in ulteriori studi sugli effetti dei cambiamenti climatici e sulle possibilità di adattamento. Il NCCS assume dunque un importante ruolo di coordinamento. Da un lato si garantisce che i lavori successivi ricorrano a una base di dati uniforme, dall'altro è più facile risalire alle esigenze degli utilizzatori al fine di migliorare i servizi climatici.

Un esempio concreto dei nuovi scenari climatici svizzeri CH2018 è il progetto Hydro-CH2018, dedicato alle risorse idriche e alla loro evoluzione, che costituisce un tema prioritario del NCCS. L'obiettivo è mettere a disposizione basi idrologiche ottimizzate per le misure di adattamento.

I nuovi scenari climatici costituiscono inoltre un'importante base di informazioni e di dati anche per la seconda fase del programma pilota dell'UFAM «Adattamento ai cambiamenti climatici» (cfr. cap. 8.2). Ciò fornisce un importante contributo a sostegno dei Cantoni, delle regioni e dei Comuni chiamati ad affrontare le sfide dei cambiamenti climatici.

5 Effetti dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali

Misurazioni pluriennali documentano il ritiro dei ghiacciai alpini come conseguenza del riscaldamento (cap. 5.2.1). Inoltre, tutta una serie di altri indicatori rivela gli effetti dei cambiamenti climatici sull'ambiente naturale in Svizzera. Mutano infatti il regime dei deflussi e la temperatura delle acque (cap. 5.1), il permafrost si scioglie (cap. 5.2.2), la stabilità dei pendii diminuisce e il processo di erosione è favorito (cap. 5.3). Ma i cambiamenti sono visibili anche nel biota (cap. 5.4).

5.1 Idrosfera

I cambiamenti climatici mutano il tipo, la quantità e la distribuzione temporale delle precipitazioni e provocano un rialzo delle temperature medie. Le portate dei fiumi (cap. 5.1.1) e le temperature dei corsi d'acqua e delle acque stagnanti nonché delle acque sotterranee sono strettamente correlate ai cambiamenti delle condizioni climatiche (cap. 5.1.2).

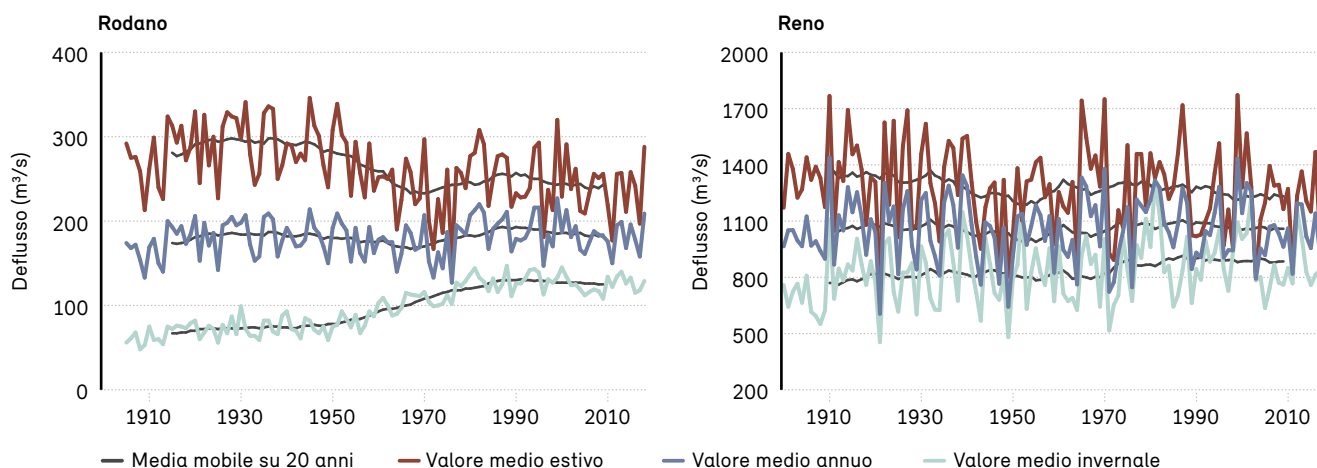
5.1.1 Deflusso

Il regime di deflusso, ossia l'andamento medio stagionale del deflusso di un corso d'acqua, è determinato dal rapporto tra precipitazioni ed evaporazione nonché dal momento e dalla portata dello scioglimento della neve e dei ghiacciai.

I valori medi annui dei deflussi nei bacini imbriferi principali come il Rodano e il Reno sono stati poco influenzati dai cambiamenti climatici, mentre sono mutati i deflussi stagionali. La figura 38 mostra un aumento dei deflussi invernali nei due bacini imbriferi. Ciò dipende, da un lato, dal leggero aumento delle precipitazioni invernali, dall'altro dall'impatto della temperatura sul limite delle nevicate. Una parte crescente delle precipitazioni cade anche in inverno sotto forma di pioggia e defluisce direttamente. Pure l'esercizio dei bacini di accumulazione in montagna, dove in estate sono temporaneamente raccolti notevoli quantitativi di acqua per la produzione di energia in inverno, è un importante fattore d'influsso per questo cambiamento del regime dei deflussi. I deflussi estivi del Reno

Fig. 38: Deflusso nel Rodano e nel Reno

Valori medi annui e stagionali (estate/inverno) tra il 1900 e il 2017 nel Rodano (Porte du Scex) (a sinistra) e nel Reno (Basilea) (a destra).



diminuiscono leggermente a causa della maggiore evaporazione dovuta al rialzo delle temperature e alla minore quantità di acqua proveniente dallo scioglimento della neve. Nel bacino imbrifero del Rodano ciò viene tuttora compensato dai crescenti deflussi dovuti allo scioglimento dei ghiacciai.

A seconda della superficie e della quota del bacino imbrifero, della sua posizione geografica e del grado di glaciazione, le temperature più elevate hanno effetti diversi sul regime dei deflussi (UFAM 2012b).

5.1.2 Temperature dei corsi d'acqua, dei laghi e delle acque sotterranee

Dall'inizio delle misurazioni negli anni Sessanta si registra un aumento delle temperature nei principali corsi d'acqua della Svizzera (fig. 39). Questa tendenza è più marcata nei fiumi dell'Altopiano rispetto a quelli delle regioni alpine. Il rialzo osservato è ascrivibile da un lato ai cambiamenti climatici, dall'altro a fattori tra cui l'immissione di acqua riscaldata dall'industria e dalle centrali termiche. Nella regione alpina l'andamento stagionale delle temperature è influenzato dall'innalzamento stagionale della quota di acqua di scioglimento.

La rete di misurazione delle temperature della Confederazione consente una visione d'insieme dei grandi corsi

d'acqua a livello nazionale e l'osservazione degli influssi climatici. La rete di misurazione viene integrata per migliorare la rilevanza delle valutazioni per i corsi d'acqua di piccole o medie dimensioni (Herold et al. 2018).

Nelle condizioni climatiche registrate sinora le acque stagnanti in Svizzera presentano una caratteristica stratificazione della temperatura a causa dell'irraggiamento termico. Con temperature invernali sufficientemente basse e in funzione della profondità delle acque, una o due volte l'anno si verifica un rimescolamento parziale o totale dei diversi strati. L'aumento delle temperature lacustri dovuto ai cambiamenti climatici può modificare od ostacolare questo processo di rimescolamento, che tuttavia è importante per il funzionamento dei laghi come ecosistemi complessi.

Gli effetti nefasti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi lacustri risultano sempre più evidenti in Svizzera. Nel Lago di Zurigo è stato osservato, dal 1980, un rialzo di 0,4 °C per decennio della temperatura media annua a 5 metri di profondità (fig. 40). Anche il Lago Lemano registra un aumento della temperatura (fig. 41). Ciò comporta un minore rimescolamento e una maggiore carenza di ossigeno nelle acque profonde. Sono documentati anche cambiamenti nella composizione delle alghe (Schmid et al. 2019).

Fig. 39: Evoluzione delle temperature di nove corsi d'acqua

Valori medi annui della temperatura delle acque (punti) in nove stazioni di misurazione dell'UFAM tra il 1954 e il 2018. Le medie annue mobili (linee) sono calcolate su sette anni. Per consentire un raffronto, è indicata la temperatura dell'aria a Basilea (MeteoSvizzera).

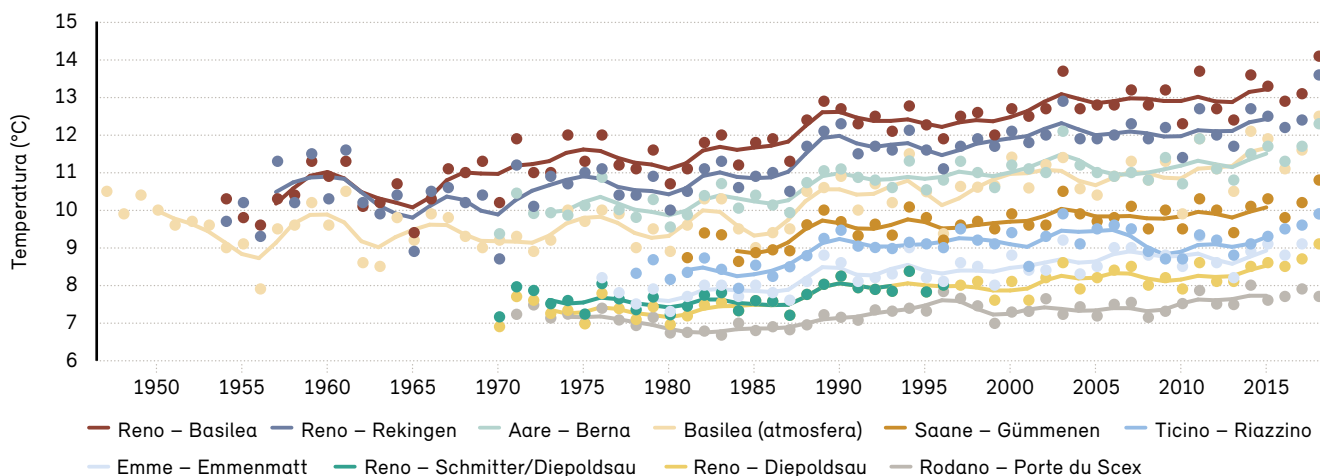
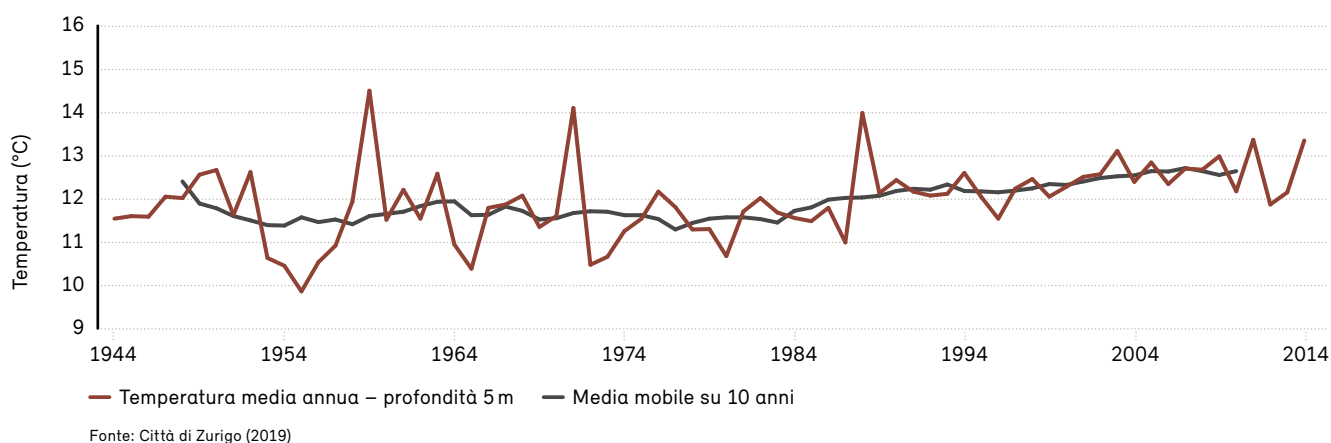
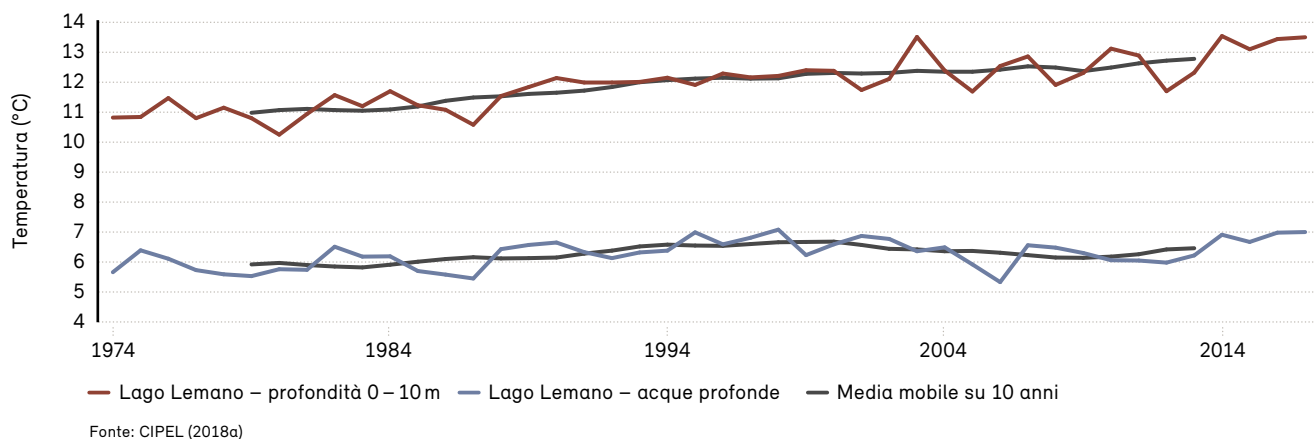


Fig. 40: Evoluzione della temperatura del Lago di Zurigo

Evoluzione della temperatura delle acque (medie annuali) nel Lago di Zurigo a una profondità di 5 metri e nel punto di prelievo di Thalwil tra il 1944 e il 2014.

**Fig. 41: Evoluzione della temperatura del Lago Lemano**

Evoluzione della temperatura delle acque (medie annuali) nel Lago Lemano a profondità di 0–10 metri e nelle acque profonde nel punto di prelievo GE3 tra il 1974 e il 2017.



A seguito del rialzo delle temperature medie, i laghi dell'Altopiano svizzero si ghiacciano più raramente ormai da 40 anni. Negli ultimi 20 anni questi eventi sono diventati molto più sporadici. Tuttavia si constatano significative oscillazioni anche su un breve intervallo temporale. Mentre nel 2007 nessun lago è gelato, la straordinaria ondata di freddo del febbraio 2012 ha fatto sì che su tutta o almeno una parte della superficie di questi laghi si formasse uno spesso strato di ghiaccio.

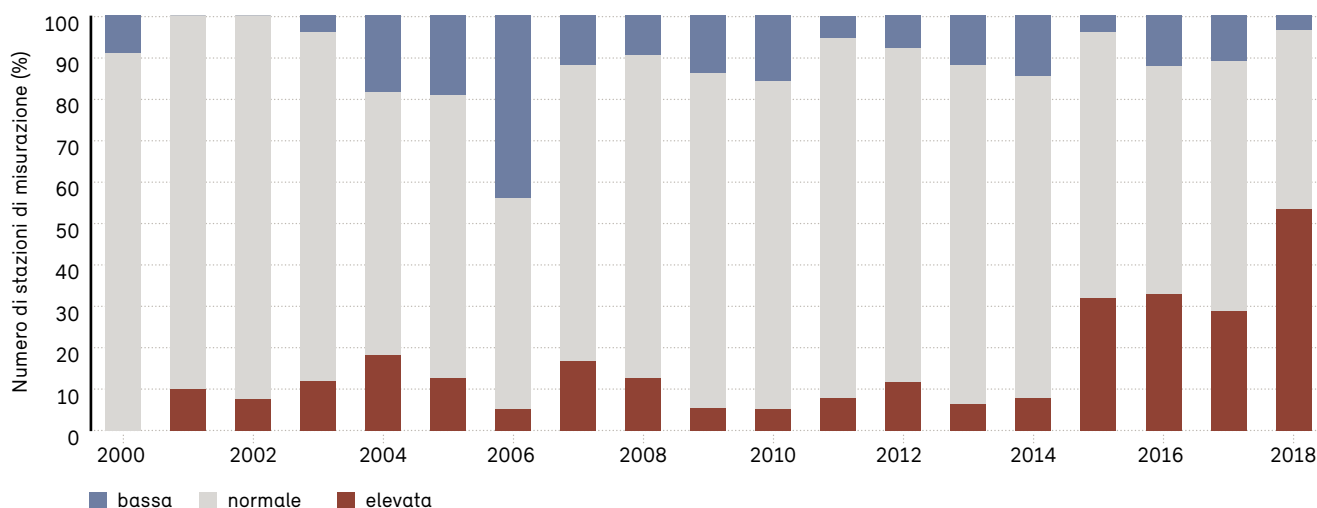
Nel caso dei laghi molto profondi (p. es. i laghi di Brienz o di Walen), che gelano meno spesso, la diminuzione della copertura di ghiaccio è evidente, mentre i laghi poco

profondi (p. es. i laghi di Greifen, Pfäffikon e Ägeri) continuano a ghiacciarsi completamente nella maggior parte degli inverni, sebbene la durata della copertura di ghiaccio si sia notevolmente ridotta dalla metà del XIX secolo.

La temperatura delle acque sotterranee influisce notevolmente sul loro stato chimico e biologico. L'osservazione della temperatura delle acque sotterranee consente di evidenziare un nesso tra l'evoluzione della temperatura e gli effetti antropici diretti (superfici d'insediamento, opere del genio civile, utilizzo dell'energia geotermica ecc.) e indiretti (aumento della temperatura dell'aria).

Fig. 42: Evoluzione della temperatura delle acque sotterranee

Valore medio per stazione di misurazione e anno in rapporto al valore medio pluriennale (2000–2018). Temperatura normale delle acque sotterranee: l'attuale valore misurato è in linea con l'80 % dei valori registrati tra il 2000 e il 2018; elevata: l'attuale valore misurato è in linea con il 10 % dei valori massimi registrati tra il 2000 e il 2018; bassa: l'attuale valore misurato è in linea con il 10 % dei valori minimi registrati tra il 2000 e il 2018.



Fonte: UFAM (2019c)

Nel 45 per cento circa delle 48 stazioni di misurazione gestite dall'Osservazione nazionale delle acque sotterranee (NAQUA), la temperatura delle acque sotterranee è rimasta pressoché invariata nel periodo 2000–2016, mentre per un altro 45 per cento delle stazioni di misurazione è aumentata di oltre 0,2 °C ogni 10 anni. Nel restante 10 per cento è scesa di oltre 0,2 °C ogni 10 anni (UFAM 2019a). Un raffronto pluriennale documenta gli effetti delle elevate temperature dell'aria sulle acque sotterranee nel 2018 (fig. 42).

5.2 Criosfera

La criosfera comprende tutte le zone nelle quali l'acqua è presente sotto forma di ghiaccio. In Svizzera è costituita in particolare da superfici coperte da ghiacciai, da aree dove il sottosuolo è ghiacciato tutto l'anno per molti anni (permafrost) e dalla copertura nevosa stagionale. Con i cambiamenti climatici le superfici dei ghiacciai si riducono e il permafrost si riscalda e si scioglie. Il ritiro dei ghiacciai è documentato tra l'altro dalla misurazione del bilancio materico e dalla variazione della lunghezza (cap. 5.2.1). Lo stato del permafrost è osservato sulla base della temperatura nei fori trivellati, delle variazioni

del contenuto di ghiaccio e delle velocità di scorrimento e di slittamento dei ghiacciai rocciosi (cap. 5.2.2). I cambiamenti della copertura nevosa naturale sono trattati nei capitoli 3.4 e 4.3.

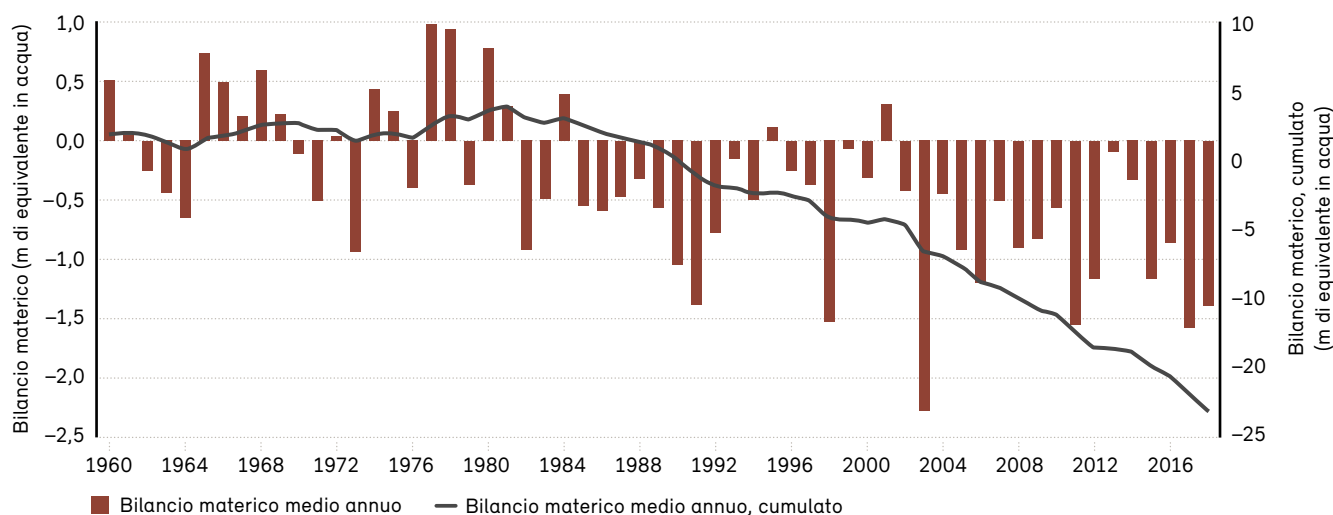
5.2.1 Bilancio materico e variazione della lunghezza dei ghiacciai

Le variazioni delle condizioni climatiche possono essere illustrate sulla scorta del cambiamento del volume e della massa di un ghiacciaio. Il bilancio materico di cinque ghiacciai svizzeri mediato su serie di misurazioni molto lunghe indica che, tra il 1960 e il 1985, gli anni in cui il volume dei ghiacciai è aumentato si compensano sostanzialmente con quelli in cui è diminuito, mentre negli ultimi 30 anni si osserva una chiara tendenza verso una continua e sempre più accelerata perdita di massa (fig. 43).

Dal 2000 i ghiacciai hanno perso in media circa un metro di spessore ogni anno. Negli anni da primato del 2003, 2015, 2017 e 2018, la perdita è stata di circa due metri, per alcuni ghiacciai addirittura superiore. Il volume di ghiaccio rimasto in Svizzera nel 2018 è stimato a 50–55 km³ (Farinotti et al. 2019). Dal 2008 i ghiacciai svizzeri hanno perso ogni anno circa il 2 per cento del loro volume.

Fig. 43: Bilancio materico medio di cinque ghiacciai alpini

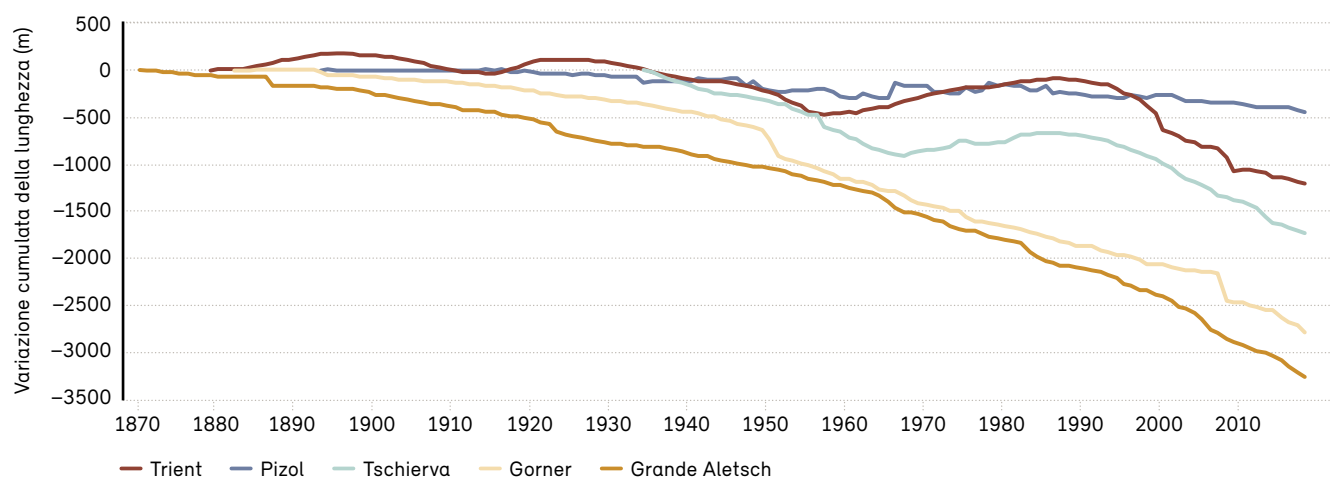
Bilancio materico annuo, medio e cumulato di cinque ghiacciai svizzeri: Allalin (VS), Clariden (GL), Giétro (VS), Gries (VS), Silvretta (GR), 1960–2018.



Fonte: GLAMOS (2018a)

Fig. 44: Variazione cumulata della lunghezza di cinque ghiacciai svizzeri

Variazione annua cumulata della lunghezza dei ghiacciai Pizol (1892–2018: –421 m), Trient (1878–2018: –1152 m), Tschierva (1933–2018: –1666 m), Gorner (1881–2018: –2739 m) e Aletsch (1869–2018: –3261 m).



Fonte: GLAMOS (2018b)

La variazione della lunghezza di un ghiacciaio (avanzamento o ritiro della lingua del ghiacciaio) dipende dalle dimensioni del ghiacciaio (fig. 44): quelli piccoli (p. es. il Pizol³²) reagiscono in fretta alle condizioni meteorologiche anno per anno, mentre le lingue dei ghiacciai montani

più grandi (p. es. Trient, Tschierva) subiscono trasformazioni più lente (diversi anni o decenni) in seguito al variare della temperatura dell'aria. Per i grandi ghiacciai di valle neppure le fasi con un bilancio materico equilibrato, come avvenuto negli anni Sessanta e Settanta, influiscono sulla tendenza a lungo termine della variazione della lunghezza. La lingua del Grande ghiacciaio

³² Considerata la sua ormai troppo esigua superficie residua, nel 2019 è stato deciso di sospendere la misurazione del ghiacciaio del Pizol.

dell'Aletsch, per esempio, si è progressivamente ritirata di oltre 3 km dal 1879.

Il ritiro dei ghiacciai osservato nelle Alpi svizzere può essere ascritto in primo luogo al rialzo delle temperature estive (Zemp et al. 2015). La quantità di neve in inverno e l'irraggiamento solare hanno un'importanza secondaria (Huss et al. 2009). Nei prossimi anni i ghiacciai continueranno a ritirarsi notevolmente a prescindere dall'evoluzione delle temperature. La loro estensione è eccessiva per il clima attuale. Entro il 2100 è previsto che, a seconda dell'andamento della concentrazione delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera, scomparirà tra il 63 e il 94 per cento del volume di ghiaccio nelle Alpi (Zekollari et al. 2019). I ghiacciai perderanno dunque gran parte del loro ruolo di serbatoi idrici, ma verrà meno anche il loro effetto equilibrante sul deflusso dei corsi d'acqua. Nel contempo cambierà la loro rilevanza per la produzione di energia idroelettrica e per il turismo.

5.2.2 Cambiamenti nel permafrost

In Svizzera il permafrost è presente al di sopra dei 2300 m s.l.m. Copre il 5 per cento circa del territorio svizzero e si trova soprattutto nelle falde detritiche, nei ghiacciai rocciosi e nelle pareti rocciose. Dal 2000 la rete svizzera di misurazione del permafrost PERMOS documenta le variazioni del permafrost montano in una trentina di siti. La distribuzione e la variazione del permafrost in alta montagna sono geograficamente molto eterogenee e influenzate dalla topografia, dalle proprietà del terreno e dalla copertura nevosa. Una spessa copertura nevosa, per esempio, isola il sottosuolo rispetto alle condizioni meteorologiche e, a seconda del momento, ha un effetto refrigerante o riscaldante: una nevicata tardiva all'inizio dell'inverno ha un effetto refrigerante, il disgelo precoce riscaldante.

Lo strato attivo³³ del permafrost ha normalmente uno spessore di pochi metri nelle Alpi e le variazioni annuali dipendono dalle caratteristiche del suolo e dalle condizioni meteorologiche. In quasi tutti i siti monitorati da PERMOS lo spessore dello strato attivo è aumentato negli ultimi anni. Nel 2018 le serie temporali quindicinali e trentennali hanno registrato numerosi valori massimi (fig. 45).

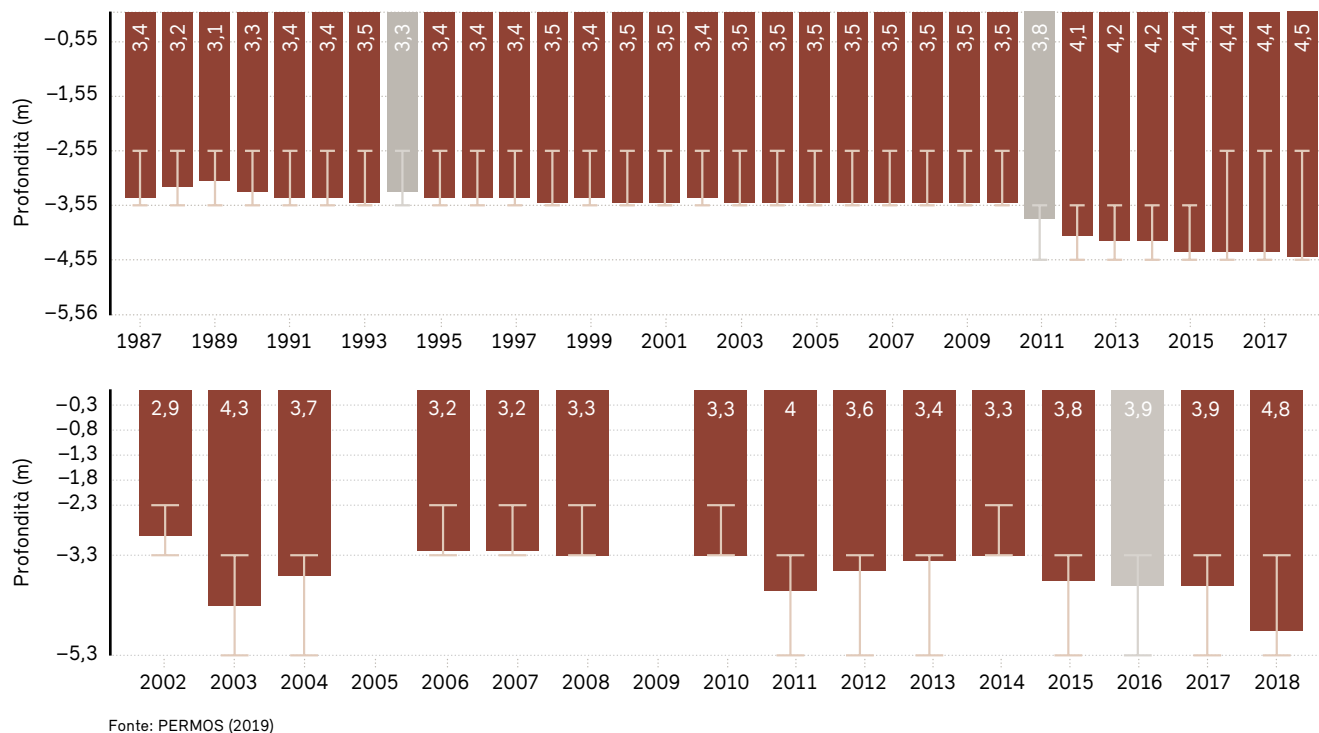
Al di sotto di questo strato attivo le temperature del permafrost nelle Alpi si situano prevalentemente tra -3 e 0 °C nella media annua. Sui versanti ombreggiati al di sopra dei 4000 m s.l.m. possono scendere al di sotto di -10 °C. Le variazioni delle temperature in superficie si manifestano a 10 m di profondità con un ritardo di circa sei mesi (fig. 46). Le misurazioni a questa profondità sono utili per individuare le tendenze a medio termine. Nelle misurazioni a 20 m di profondità le oscillazioni annuali non sono più riconoscibili, mentre emergono le tendenze a lungo termine.

In Svizzera è stato registrato un aumento delle temperature del permafrost soprattutto nell'ultimo decennio. Il rialzo delle temperature non è omogeneo: nel ghiacciaio roccioso Corvatsch-Murtèl è di mezzo grado Celsius a circa 20 metri di profondità, nei siti con temperature prossime a 0 °C è molto ridotto a causa del calore latente, necessario per un cambiamento di fase. Le variazioni del contenuto di ghiaccio possono essere comunque rilevate ricorrendo a metodi geofisici e in numerosi siti di trivellazione è stato misurato un netto calo. Le velocità di scorrimento e di slittamento dei ghiacciai rocciosi (materiale morenico e detritico, compattato dal ghiaccio) evidenziano una tendenza analoga a quella delle temperature del permafrost e un incremento continuo tra il 2007 e il 2015 (Delaloye et al. 2010).

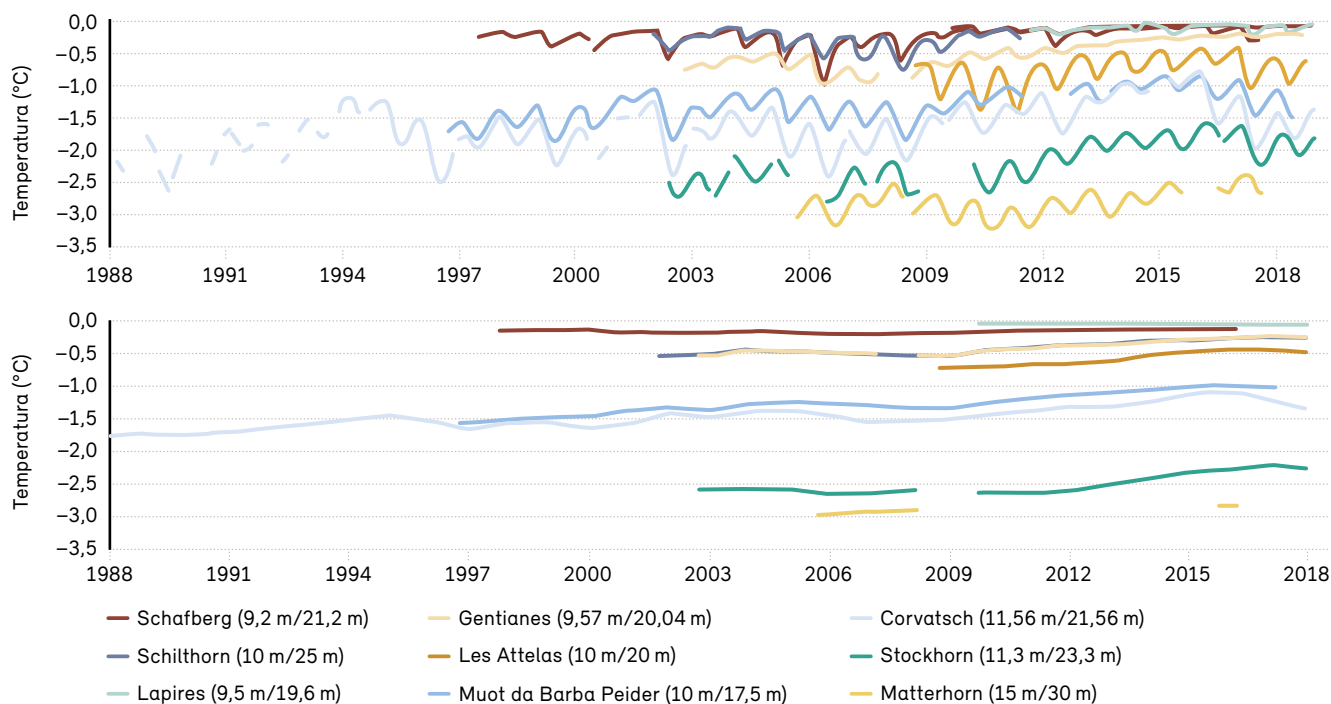
³³ Si definisce strato attivo lo strato superficiale situato sopra il permafrost, che disgela durante l'estate e rigela durante l'inverno.

Fig. 45: Spessore dello strato attivo per due fori trivellati della rete svizzera di misurazione del permafrost

Corvatsch (in alto) e Stockhorn (in basso). Le barre di incertezza mostrano la profondità dei termistori, utilizzati per l'interpolazione dello strato attivo. Le barre grigie indicano gli anni i cui dati sono di qualità incerta.

**Fig. 46: Temperature nei fori trivellati, misurate nel permafrost**

Temperature nei fori trivellati del permafrost nelle Alpi svizzere misurate a una profondità di circa 10 m (in alto) e 20 m (in basso).



5.3 Pedosfera

La conseguenza più rilevante dei cambiamenti climatici sul suolo è l'aumento dell'erosione a causa della maggiore frequenza e intensità delle precipitazioni. Sono due i meccanismi responsabili della mancata dispersione nel suolo dell'acqua piovana e del suo deflusso superficiale. Ciò può avvenire se 1) l'intensità delle precipitazioni supera la capacità di infiltrazione del suolo (eventi con forti piogge di intensità elevata, suolo secco e incrostato, eccedenza di infiltrazione) oppure se 2) il suolo è saturo di acqua (piogge persistenti con quantitativi elevati di precipitazioni, sovrasaturazione idrica). A seconda della pendenza e delle caratteristiche della superficie, l'acqua scorre generando ruscellamenti superficiali e può provocare l'erosione del suolo.

Soprattutto nel semestre estivo è atteso un aumento delle forti piogge, che quindi colpiranno in particolare le colture seminate o piantate in primavera, tra cui mais, barbabietole, patate e verdure. Specialmente in autunno e in inverno sono da prevedere più piogge persistenti e notevoli quantitativi di precipitazioni, che interesseranno pertanto le colture seminate in autunno, come i cereali invernali, le colture intermedie e i terreni dismessi. Poiché secondo gli scenari climatici, le precipitazioni autunnali e invernali tenderanno generalmente ad aumentare e cadranno più sotto forma di pioggia e meno di neve a causa del rialzo delle temperature, si accentua anche l'effetto erosivo delle precipitazioni invernali. Il rischio di erosione per le summenzionate colture è dunque maggiore soprattutto nel semestre invernale.

Il ruscellamento superficiale e l'erosione possono avere conseguenze negative per il suolo stesso (danni *on-site*), ma anche per le superfici adiacenti e gli ecosistemi (danni *off-site*). L'erosione provoca perdite irreversibili di terreno e compromette la fertilità e le funzioni del suolo. I danni *off-site* dovuti all'erosione e al ruscellamento superficiale costituiscono un problema per gli edifici e le infrastrutture nonché per i corsi d'acqua, il cui habitat viene alterato con sedimenti, nutrienti e sostanze inquinanti (Bernet et al. 2018; Prasuhn et al. 2018).

Varie modellizzazioni per diversi scenari climatici rivelano che è da prevedere un incremento dell'erosione del

suolo in Svizzera se in agricoltura non saranno sviluppate opportune strategie di adattamento (Klein et al. 2013). Non sono invece disponibili indicatori quantitativi per rilevare l'erosione del suolo correlata ai cambiamenti climatici.

5.4 Biosfera

La biosfera è l'insieme delle zone del pianeta in cui è presente la vita. In Svizzera si può operare una distinzione tra ecosistemi acquatici (laghi, fiumi e ruscelli) e terrestri (boschi, terreni aperti e insediamenti). Solo l'atmosfera esterna, le zone estremamente ostili alla vita nel ghiaccio eterno e nel sottosuolo e i luoghi chiusi, creati dall'uomo sono privi di forme di vita. Le conseguenze dei cambiamenti climatici sulla biosfera possono essere constatate sulla base delle mutate evoluzioni stagionali (fenologia vegetale, fase delle acque trasparenti nei laghi; cap. 5.4.1/5.4.2), spostamenti nell'habitat di organismi (spostamenti degli areali delle piante; cap. 5.4.3), processi di adattamento all'interno degli ecosistemi (bosco; cap. 5.4.4) o variazioni delle popolazioni (pesci, uccelli nidificanti; cap. 5.4.5/5.4.6).

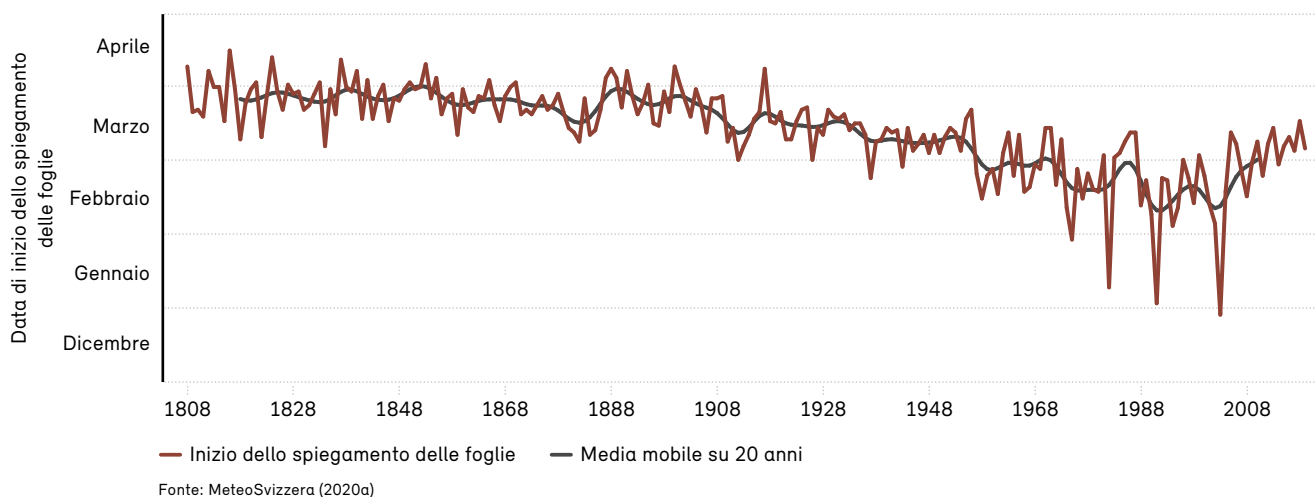
5.4.1 Fenologia vegetale

Lo sviluppo stagionale delle piante è fortemente influenzato dall'andamento delle temperature, pertanto i cambiamenti climatici hanno un impatto sulle fasi di sviluppo di numerosi tipi di piante. I dati fenologici, per esempio la data della fioritura o dello spiegamento delle foglie, sono dunque validi indicatori per determinare gli effetti locali dei cambiamenti climatici sulla vegetazione. Le due serie più lunghe di dati fenologici in Svizzera registrano lo spiegamento delle foglie di un ippocastano a Ginevra (fig. 47) e l'inizio della fioritura di un ciliegio vicino a Liestal (fig. 48).

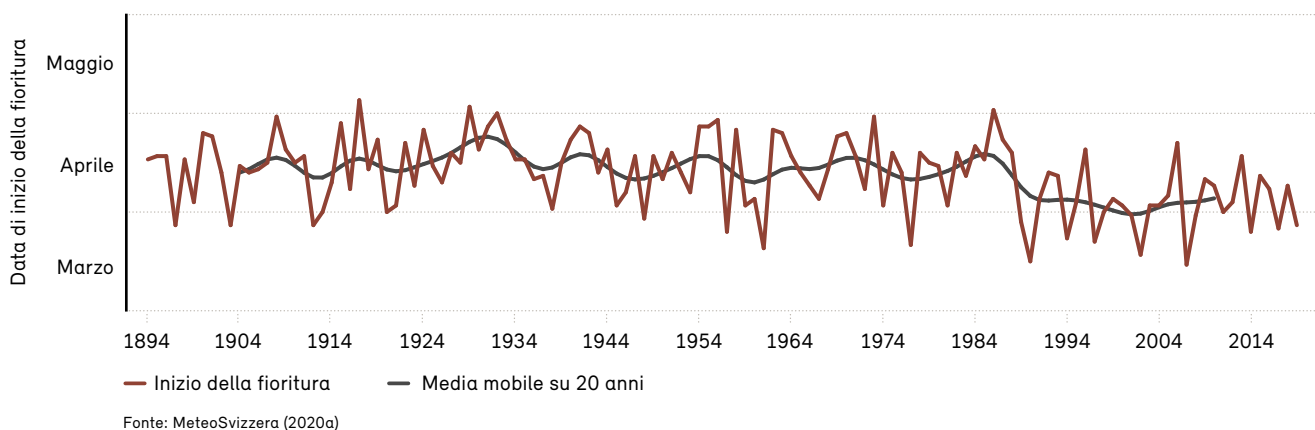
Dall'inizio del XX secolo lo spiegamento delle foglie dell'ippocastano comincia in anticipo. La data più tardiva registrata è stata il 23 aprile 1816, quella più precoce il 29 dicembre 2002. La precocità dello spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra è la conseguenza non solo del generalizzato rialzo delle temperature, ma anche dell'avanzata dell'urbanizzazione e, quindi, del clima urbano localmente più caldo. Alcuni anni fa la tendenza alla precocità si è invertita, ma i motivi non sono

Fig. 47: Inizio dello spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra

Data dello spiegamento della prima foglia nel periodo 1808 – 2019. La linea grigia corrisponde alla media mobile su 20 anni.

**Fig. 48: Inizio della fioritura del ciliegio vicino a Liestal**

Data di inizio della fioritura del ciliegio vicino a Liestal (BL), 1894 – 2019. La linea grigia corrisponde alla media mobile su 20 anni.



ancora noti. L'albero ufficialmente designato per la serie di misurazioni è morto nell'estate 2015 e, da allora, un nuovo albero è oggetto delle osservazioni.

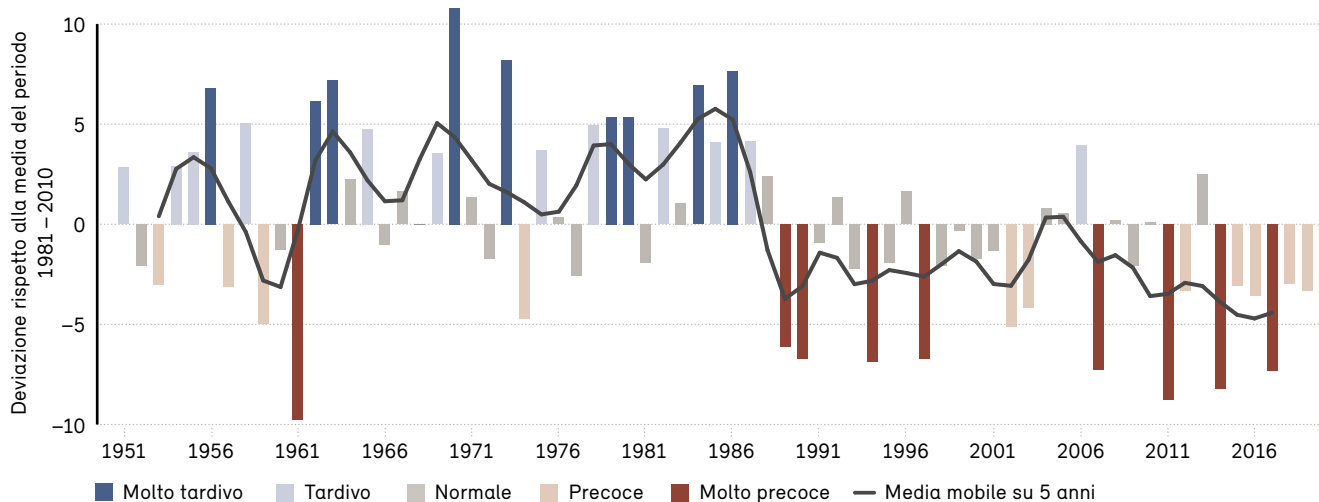
La serie di dati sulla fioritura del ciliegio indica un netto anticipo della fioritura dalla fine degli anni Ottanta: oggi il ciliegio comincia a fiorire circa 12 giorni prima rispetto alla metà del XX secolo. Sia la serie di dati sul ciliegio vicino a Liestal sia quella sull'ippocastano di Ginevra presentano una forte variabilità annuale.

In generale, per i diversi tipi di piante si constata una tendenza alla precocità delle fasi fenologiche primaverili in

tutta la Svizzera, come risulta dai rilevamenti nell'ambito della rete di osservazione fenologica di MeteoSvizzera con circa 160 stazioni di misurazione in tutte le regioni e a diverse quote (Güsewell et al. 2018). L'indice di primavera, che riassume le prime dieci fasi fenologiche osservate nell'anno corrispondente, evidenzia che, dal 1989, la vegetazione si sviluppa molto più precocemente (fig. 49) rispetto a prima. L'andamento dell'indice di primavera negli anni riflette la reazione della vegetazione soprattutto all'andamento delle temperature da febbraio ad aprile.

Fig. 49: Andamento dell'indice di primavera dal 1951

L'indice di primavera è un indicatore integrale della deviazione delle fasi fenologiche primaverili nel periodo 1951–2019 dalla data media di inizio nel periodo di riferimento 1981–2010.



Fonte: MeteoSvizzera (2020a)

5.4.2 Fase delle acque trasparenti nei laghi

I laghi sono caratterizzati da un ciclo stagionale, durante il quale si verifica la fase delle acque trasparenti. In primavera si moltiplica il fitoplancton che comporta una maggiore torbidità dell'acqua del lago. Il fitoplancton viene in seguito mangiato dallo zooplancton e si osserva una fase delle acque trasparenti, il cui inizio dipende dalla temperatura, che a sua volta determina quando lo zooplancton comincia a cibarsi alla fine dell'inverno e all'inizio della primavera (Anneville et al. 2002, Straile et al. 2003). Il momento in cui inizia la fase delle acque trasparenti è un indicatore degli effetti climatici sulla dinamica delle comunità di fitoplancton.

L'impatto del clima sugli organismi acquatici è generalmente difficile da valutare, poiché la loro crescita dipende anche da fattori non climatici (offerta di cibo, torbidità) e da misure di politica ambientale (p. es. rivitalizzazione delle rive lacustri). Il ciclo stagionale legato al clima riveste tuttavia un'importanza decisiva per le condizioni di vita di un ecosistema lacustre (formazione di uno strato di ghiaccio sulla superficie del lago, temperatura dell'acqua, rimescolamento³⁴ e stratificazione termica).

La data in cui comincia la fase delle acque trasparenti nel Lago Lemano e nel Lago Bodanico varia di anno in anno. Tuttavia, dalla fine degli anni Ottanta si osserva una tendenza all'anticipazione (fig. 50). Questa evoluzione è ascrivibile agli inverni più miti e allo sviluppo più precoce dello zooplancton erbivoro. Dall'inizio del nuovo millennio si constata una leggera inversione della tendenza per quanto riguarda l'inizio della fase delle acque trasparenti nel Lago Lemano così come lo spiegamento delle foglie dell'ippocastano a Ginevra (fig. 47).

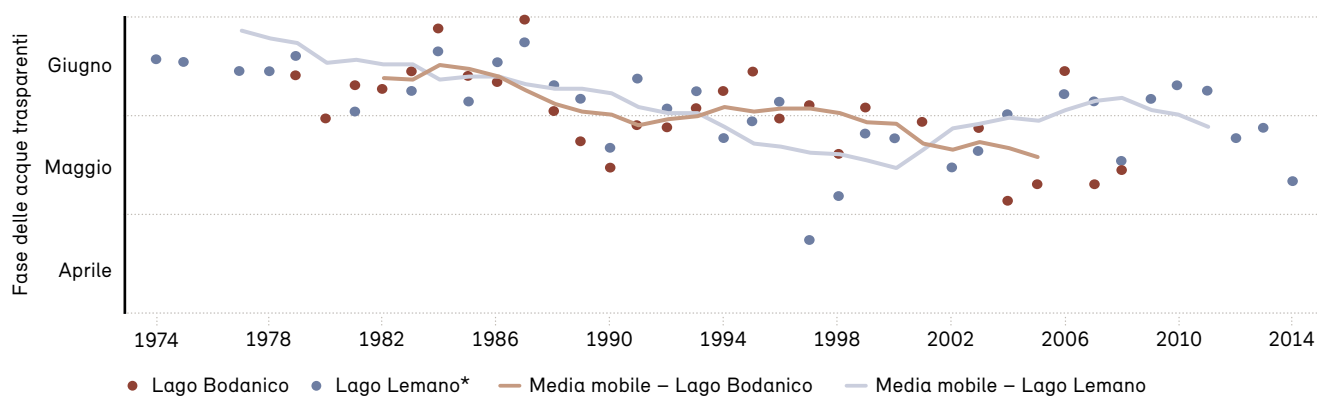
5.4.3 Spostamenti degli areali delle piante

I cambiamenti climatici comportano una diversa diffusione delle specie di piante. La maggiore frequenza dei periodi di penuria di acqua favorisce le specie di piante resistenti alla siccità e consente loro di diffondersi a scapito di specie meno resistenti. Alcune specie riescono a colonizzare luoghi situati più ad alta quota evitando lo stress da calore (Fischer & Spehn 2016). Questi sviluppi provocano modifiche nella composizione delle specie. Il monitoraggio della biodiversità (BDM) rileva, dal 2001, il numero di specie di piante vascolari indigene ed esotiche presenti in circa 2000 siti in Svizzera. Le variazioni della composizione delle specie sono tuttavia documentate già da tempo, ma non tutti i mutamenti osservati sono imputabili ai soli cambiamenti climatici (UFAM 2012a).

³⁴ Nel rimescolamento di un lago (cfr. cap. 5.1.2) le acque profonde si mescolano con le acque superficiali. Questo processo ha luogo quando le acque superficiali sono più dense delle acque profonde.

Fig. 50: Inizio della fase delle acque trasparenti

I dati si basano sulle osservazioni della trasparenza massima del Lago Lemano (1974–2014) e del Lago Bodanico (1979–2008). Le medie mobili sono calcolate su sette anni.

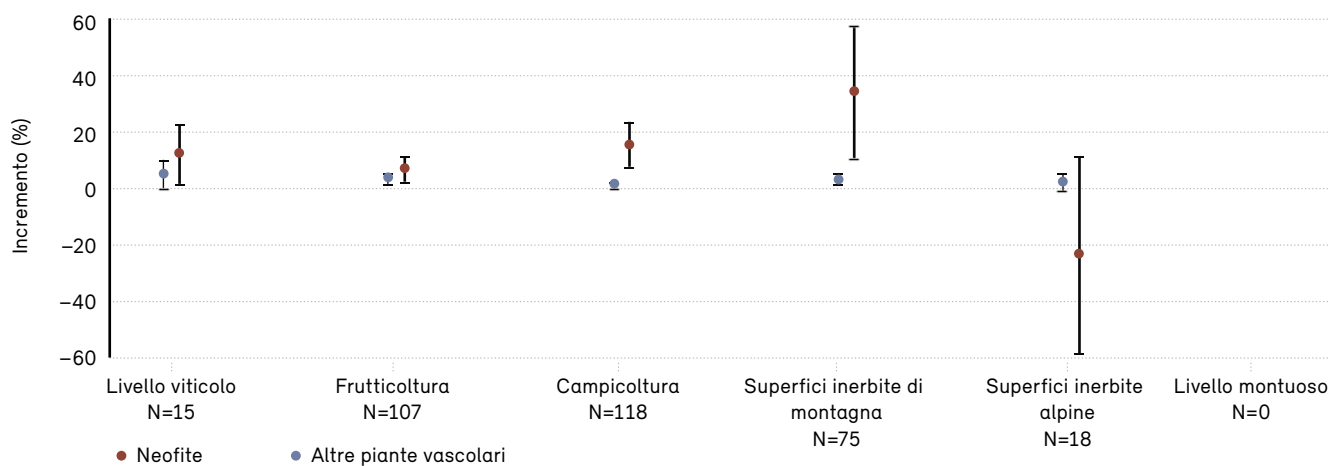


* Dal momento che i dati del 2003, 2004, 2008, 2009 e 2014 si riferiscono a periodi e non a date precise, per gli anni in questione è stato utilizzato come riferimento il giorno situato a metà del periodo.

Fonti: CIPEL (2018b), Università di Costanza (2018)

Fig. 51: Espansione delle piante vascolari esotiche

Evoluzione delle piante vascolari esotiche, introdotte dall'uomo dopo il 1500 (neofite) rispetto alle altre piante vascolari. Distinta per quota, è rappresentata la crescita media del numero di specie per superficie di misurazione tra il primo (2003–2007) e il secondo rilevamento del BDM (2013–2018). Intervallo di fiducia 95 %. Sono state considerate tutte le superfici di misurazione del BDM di 1 × 1 km. N = numero delle superfici di misurazione.

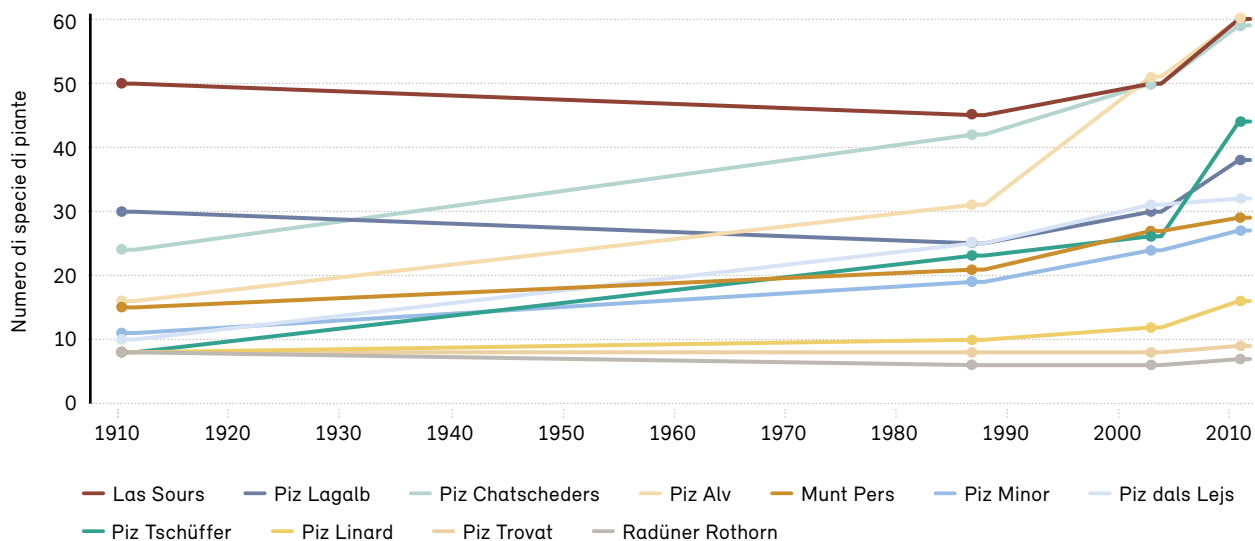


Fonte: Monitoraggio della biodiversità in Svizzera (BDM) (2019)

Per esempio, il crescente numero di neofite³⁵ è giustificato dalle condizioni di vita loro favorevoli negli insediamenti che si espandono.

Da un confronto tra il primo (2003–2007) e il secondo rilevamento del BDM (2013–2018) risulta che nelle regioni più miti dell'Altopiano e delle Prealpi cresce il numero sia delle piante indigene che di quelle esotiche. Per queste ultime, l'aumento è tuttavia più marcato (fig. 51). Le temperature più elevate favoriscono in particolare la dif-

³⁵ La definizione delle neofite è conforme a Flora indicativa (Landolt et al. 2010). Le neofite comprendono le specie invasive e quelle non invasive.

Fig. 52: Numero di specie di piante da fiore sulle vette delle montagne grigionesi*I dati provengono da quattro rilevamenti, 1910–2011.*

Fonte: estratto da Steinbauer et al. (2018)

fusione delle neofite. La forte propagazione delle neofite nei prati e pascoli delle regioni di montagna è un fenomeno relativamente nuovo.

Per la composizione della flora alpina i dati disponibili si riferiscono a un periodo superiore a 100 anni. In questo intervallo di osservazione è evidente che il numero delle specie di piante aumenta notevolmente su tutte le vette (fig. 52). Sotto la pressione dei cambiamenti climatici, particolarmente pronunciati nella regione alpina, le piante di montagna normalmente presenti a quote più basse si espandono ad altitudini più elevate, dove provocano un aumento del numero delle specie. Questa evoluzione ha subito un'accelerazione negli ultimi anni (Steinbauer et al. 2018).

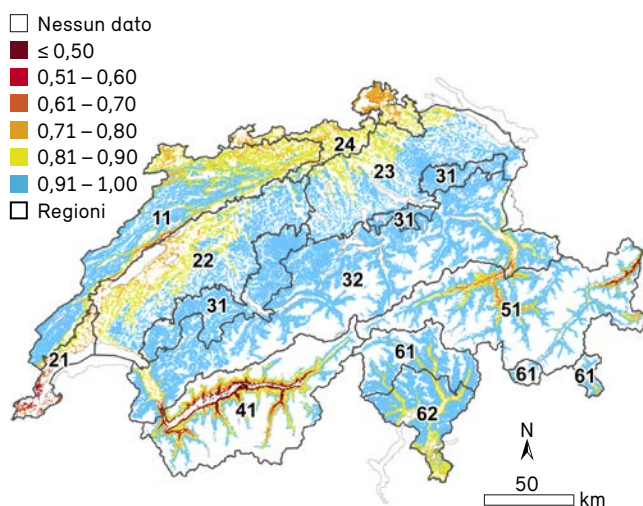
Sinora l'arrivo di nuove specie non sembra avere conseguenze negative sulle piante originariamente presenti. Le specie al limite della distribuzione altitudinale non spariranno nella regione alpina nonostante l'avanzare dei cambiamenti climatici (Körner 2009). Grazie alla diversità topografica delle Alpi dovrebbero riuscire a trovare un'idonea nicchia ecologica, tuttavia è ipotizzabile che la loro area di diffusione si riduca man mano che si ritireranno a quote più elevate.

5.4.4 Cambiamenti nei boschi

La Svizzera è costituita per quasi un terzo da superfici boschive. Per stimare le conseguenze dei cambiamenti climatici sul bosco sono stati studiati diversi parametri nell'ambito del programma di ricerca Bosco e cambiamenti climatici condotto dall'UFAM e dal WSL (2009–2018) con l'obiettivo di descrivere la crescita e la mortalità degli alberi in relazione con il clima e i suoi cambiamenti. Un importante risultato è che, in caso di un innalzamento delle temperature di 3–4 °C, i limiti di vegetazione si sposteranno verso l'alto di 500–700 metri entro la fine del XXI secolo. Ciò avrà un impatto notevole sulle specie arboree oggi ancora adattate alle caratteristiche locali e sui servizi ecosistemici del bosco (Frehner et al. 2018). La figura 53 indica la media dell'indicatore dello stress da siccità sull'intero periodo vegetativo da aprile ad agosto negli anni dal 1981 al 2018. Sono evidenti le zone particolarmente colpite dalla siccità.

Fig. 53: Siccità estiva nei boschi svizzeri

Siccità estiva media nei boschi svizzeri dal 1981 al 2018 per il periodo vegetativo (da aprile ad agosto). L'indice ETa/ETp (rapporto tra l'evapotraspirazione attuale e quella potenziale) indica fino a che punto l'evapotraspirazione può essere limitata a causa della siccità. Valori pari a 0,8 o inferiori sono sempre più critici. Regioni biogeografiche secondo Gonseth et al. 2001: 11 Giura, 21 Ginevra/Vaud, 22 Altopiano occidentale, 23 Altopiano orientale, 24 Svizzera settentrionale, 31 Prealpi, 32 Alpi settentrionali, 41 Alpi centrali occidentali, 51 Alpi centrali orientali, 61 Alpi meridionali, 62 Ticino meridionale.



Fonte: Remund & Augustin (2015), aggiornato nel 2019

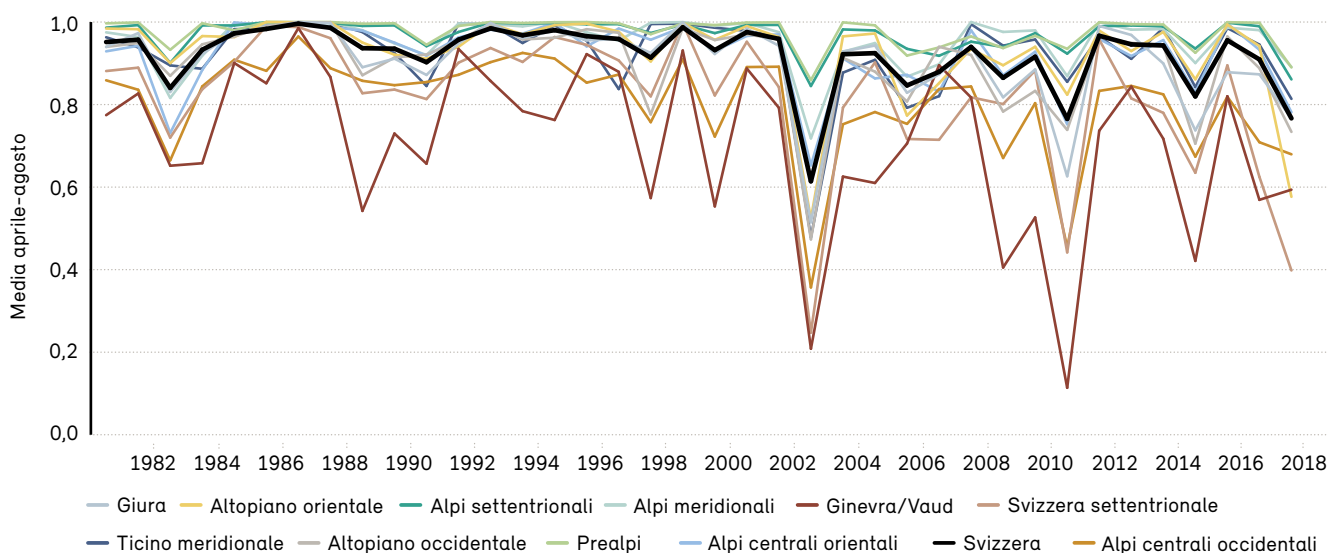
La figura 54 indica l'evoluzione temporale dell'indicatore dello stress da siccità ETa/ETp dal 1981. I valori minimi sono stati toccati negli anni 2003, 2011, 2015 e 2018, soprattutto nei Cantoni Ginevra e Vaud, nelle Alpi centrali occidentali (Vallese), ma anche nella Svizzera settentrionale. Negli ultimi 38 anni si constata la tendenza a una maggiore siccità estiva in tutto il Paese.

I boschi o le singole specie arboree possono beneficiare delle più elevate temperature estive in molti siti, purché vi sia acqua a sufficienza. Nel 2003, anno caratterizzato da una particolare siccità, le piante sono cresciute meglio al di sopra dei 1200 m s.l.m. rispetto a quelle presenti a più bassa quota, dove spesso l'acqua scarseggiava (Dobbertin et al. 2005). Nelle aride vallate del Vallese le roverele più resistenti alla siccità soppiantano sempre più i pini silvestri, meno tolleranti alla penuria di acqua (Bigler et al. 2006).

I popolamenti boschivi non adattati al mutare delle condizioni climatiche sono esposti a un rischio più elevato di subire la crescente siccità. Nelle zone a basse quote dell'Altopiano sono presenti, per esempio, numerosi popolamenti di abete rosso (33 %), sensibile alla penuria di acqua e alle temperature elevate, poiché vivono bene a

Fig. 54: Variazioni dell'indice dello stress da siccità

Variazioni dell'indice dello stress da siccità ETa/ETp nel periodo 1981 – 2018 per le diverse regioni e l'intera Svizzera durante il periodo vegetativo da aprile ad agosto. Quanto più i valori sono bassi, tanto maggiore è lo stress da siccità.



Fonte: Remund & Augustin (2015), aggiornato nel 2019

temperature più fresche e in condizioni di maggiore umidità. Gli abeti, che rappresentano circa il 12 per cento degli alberi nell'Altopiano svizzero, sopportano meglio temperature più elevate, ma hanno bisogno di una sufficiente umidità (atmosferica) (Vitasse et al. 2019). Le querce e gli aceri sono per contro ben adattati a temperature più elevate e a condizioni di maggiore siccità. Nelle estati secche del 2003 e, soprattutto, del 2018, la mortalità degli abeti rossi è temporaneamente aumentata in misura notevole e dopo gli anni contrassegnati dalla siccità si acuisce il rischio di grossi danni provocati dal bostrico. Nel 2018 anche i faggi sono stati fortemente colpiti dalla siccità in molti luoghi. Una sovraconcimazione degli alberi con l'azoto proveniente dall'inquinamento atmosferico e un apporto insufficiente di potassio e magnesio sono altre concause di un potenziale aumento della mortalità dovuta alla siccità (Etzold et al. 2016; Braun et al. 2015, 2018).

Negli ultimi decenni è cresciuto anche il rischio di gelate tardive. Gli alberi germogliano prima a causa dell'innalzamento precoce della temperatura, quindi sono più vulnerabili se sopraggiungono gelate tardive (Vitasse et al. 2018).

5.4.5 Popolazioni ittiche

I cambiamenti climatici hanno un notevole impatto sugli ecosistemi acquatici e sulla distribuzione spaziale delle diverse specie e delle popolazioni ittiche. Di norma, per

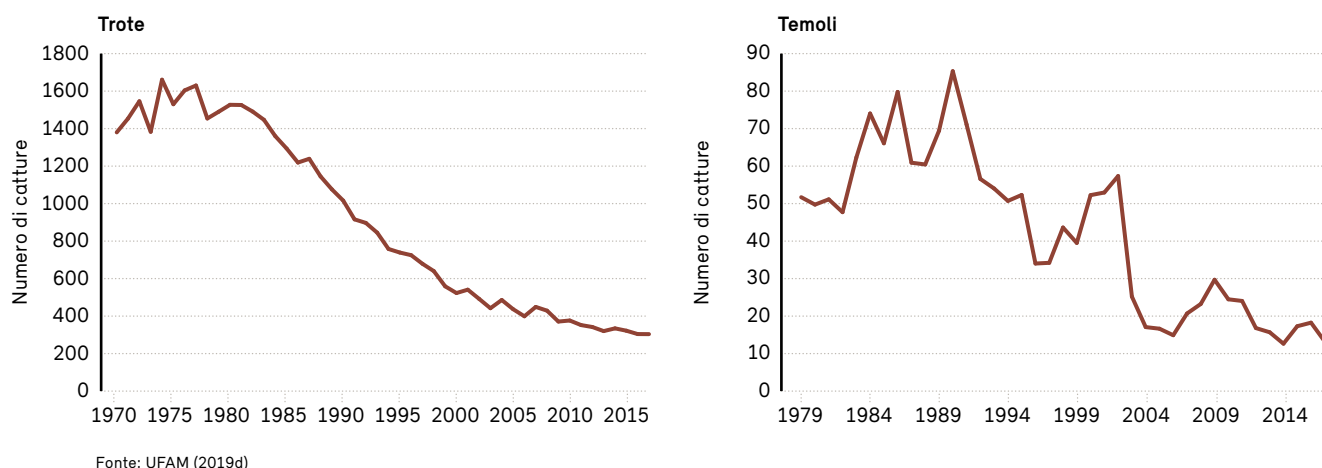
determinare l'evoluzione del patrimonio ittico si fa ricorso al numero delle catture, che dipendono non solo dalle popolazioni di pesci, ma anche dagli sforzi di pesca e dal comportamento dei pescatori. Per la trota e il temolo le catture hanno segnato un drastico calo tra il 1990 e il 2000, ma da allora la flessione è un po' meno marcata (fig. 55). Questo fenomeno è in parte riconducibile alla diminuzione delle loro popolazioni.

Per crescere e riprodursi, la trota ha bisogno di acque fresche e ricche di ossigeno. L'innalzamento delle temperature medie dell'acqua (cfr. cap. 5.1.2) avrà conseguenze a lungo termine sulla diffusione delle specie e sui loro habitat potenziali. Nelle specie criofile, come la trota e il temolo, insorgono problemi di salute nelle acque con temperature superiori ai 25 °C. Sul patrimonio ittico hanno un impatto anche la frequenza e l'intensità delle piene invernali, dei periodi di siccità e delle temperature estreme. Le trote, per esempio, depongono le loro uova in mezzo alla ghiaia tra la fine dell'autunno e l'inizio dell'inverno. Le forti piene invernali rischiano di decimare le uova e, quindi, di pregiudicare il successo della riproduzione naturale.

Nel 2018 due terzi dei Cantoni hanno dovuto affrontare una moria di pesci e gamberi riconducibile alle temperature elevate dell'acqua e alla siccità. Già nel lontano 2003 sono documentati circa 150 casi di moria di pesci imputabili alle condizioni climatiche (UFAM 2019f).

Fig. 55: Cattura di trote e di temoli

Catture di trote 1970–2017 (a sinistra) e di temoli 1979–2017 (a destra) da parte di pescatori non professionisti. I dati antecedenti al 2001 sono stati ricostruiti sulla base delle statistiche obbligatorie delle catture.



5.4.6 Popolazioni di uccelli nidificanti

I cambiamenti climatici hanno molteplici conseguenze sugli uccelli nidificanti, per esempio l'ampliamento o la riduzione dell'area di nidificazione delle specie di uccelli (Maggini et al. 2014). Lo Swiss Bird Index SBI® Climate Change Plus (SBI® CC plus) sintetizza la tendenza annuale delle popolazioni delle 20 specie per le quali si attende l'incremento maggiore dell'area di diffusione in Svizzera. L'indice SBI® Climate Change Minus (SBI® CC minus) sintetizza l'evoluzione delle popolazioni di quelle specie per le quali si prevedono le perdite maggiori (Zbinden et al. 2012). In media e rispetto a tutte le altre specie di uccelli nidificanti, le specie rilevate dall'indice SBI® CC plus sono fortemente aumentate dal 1990 (fig. 56). Alcune di queste specie sono diffuse prevalentemente nella regione del Mediterraneo e si diffondono verso nord (p. es. gruccioni, canapini comuni) (Knaus et al. 2018). D'altro canto, le specie rilevate dall'indice SBI® CC minus non evidenziano una tendenza altrettanto negativa.

Molti studi rilevano che le specie in diminuzione si caratterizzano per una minore frequenza prima che spariscano del tutto a livello locale e il loro areale si restringa, l'aumento della diffusione è pertanto più rapido rispetto a quello della diminuzione della frequenza. Ciò si riflette anche nello Swiss Bird Index: tra la stima delle popolazioni nel periodo 1993 – 1996 e quella nel periodo 2013 – 2016, le 20 specie rilevate dall'indice SBI® CC plus sono aumentate complessivamente di circa 7700 coppie nidificanti (da 25 400 a 33 100). Nel gruppo dell'indice SBI® CC minus, le 20 specie prevalentemente subalpine e alpine sono diminuite complessivamente di circa 91 000 coppie nidificanti (da 453 000 a 362 000) nello stesso periodo (Knaus et al 2019, 2018).

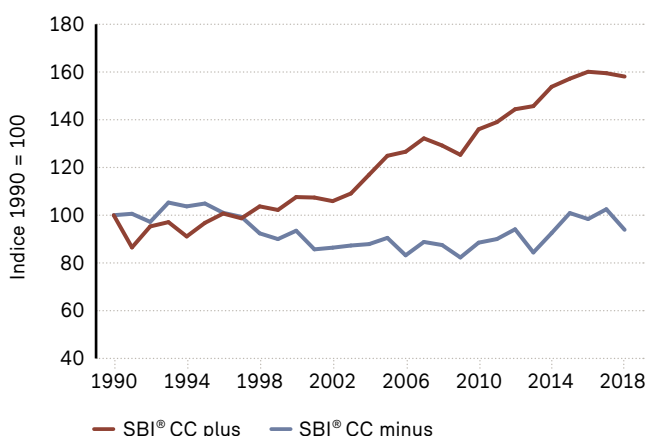
Uno dei motivi della minore frequenza potrebbe essere la mutata distribuzione altitudinale. Da un raffronto tra la distribuzione altitudinale nel periodo 2013 – 2016 e quella del periodo 1993 – 1996 emerge che le 71 specie ornitologiche più frequenti attualmente sono presenti per due terzi a quote più elevate rispetto a 20 anni fa (fig. 57). L'altitudine media del baricentro distributivo di queste specie è salita di 24 metri. Dal momento che in montagna la superficie disponibile e, quindi, anche l'habitat idoneo diminuiscono in funzione dell'altitudine, inevitabilmente si riducono le popolazioni delle specie che migrano

a quote più elevate. Per le specie alpine questa tendenza è particolarmente marcata: delle 71 specie più frequenti, le dieci specie normalmente presenti a una maggiore altitudine sono salite in media di 51 metri (Knaus et al. 2018). Tra questi uccelli di montagna sono molto numerose le specie alpine per le quali la Svizzera ha una particolare responsabilità (Keller et al. 2010).

Oltre all'impatto dei cambiamenti climatici, i cambiamenti osservati sono imputabili anche al mutare degli habitat e delle condizioni di concorrenza con altre specie (Møller et al. 2010, Barbet-Massin et al. 2012). Per esempio, anche l'intensificazione dello sfruttamento agricolo nelle aree favorevoli e l'abbandono dell'utilizzazione con successivo rimboschimento in luoghi con rese modeste hanno conseguenze sulle popolazioni di uccelli nidificanti svizzeri (Knaus et al. 2018).

Fig. 56: Evoluzione delle popolazioni delle specie di uccelli nidificanti

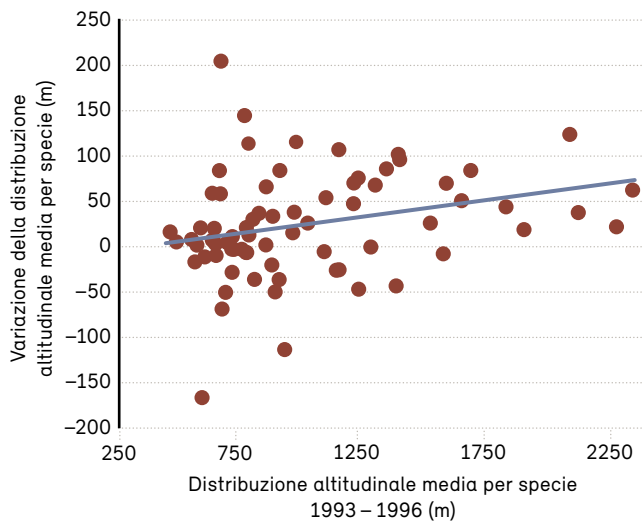
Evoluzione relativa (1990 – 2018) delle popolazioni di due gruppi di specie per i quali è atteso un forte restringimento (SBI® CC minus) o una marcata espansione (SBI® CC plus) dell'area di diffusione in Svizzera entro la fine del XXI secolo. I valori annuali corrispondono alla media geometrica dei valori indicizzati per le singole specie.



Fonte: Knaus et al. (2019)

Fig. 57: Variazione della distribuzione altitudinale delle 71 specie di uccelli nidificanti più frequenti in Svizzera

Variazione della distribuzione altitudinale dal periodo 1993–1996 fino al periodo 2013–2016 delle 71 specie di uccelli nidificanti più frequenti in Svizzera in funzione della loro distribuzione altitudinale media. Le specie con un baricentro distributivo già elevato si contraddistinguono per uno spostamento verso quote particolarmente elevate. Le popolazioni di alcuni di questi uccelli di montagna hanno registrato un netto declino (Knaus et al. 2018).



Fonte: Knaus et al. (2018)

6 Effetti dei cambiamenti climatici sui sistemi antropogenici

I cambiamenti climatici esercitano una pressione particolarmente forte sulla società in Svizzera. Il rapporto «Rischi e opportunità legati ai cambiamenti climatici» sintetizza la situazione (Köllner et al. 2017), evidenziando che gli effetti negativi prevarranno su quelli positivi. Diversi indicatori documentano, per esempio, le conseguenze gravi sulla salute umana (cap. 6.1). Altre conseguenze riguardano l'economia energetica (cap. 6.2), la gestione delle acque (cap. 6.3), il turismo invernale (cap. 6.4) nonché la gestione dei pericoli naturali, lo sviluppo territoriale e l'agricoltura (cap. 6.5). In determinati ambiti i dati disponibili non sono sufficienti a stabilire nessi causali. Due di essi, per i quali gli effetti sono ancora difficili da quantificare, sono i costi economici dei cambiamenti climatici (cap. 6.6) e i rischi internazionali (cap. 6.7).

6.1 Salute umana

6.1.1 Effetti delle ondate di calore sulla mortalità e sulle ammissioni in pronto soccorso

Il caldo nuoce all'organismo umano. L'organismo esposto a temperature elevate cerca di raffreddarsi sudando e aumentando l'irrorazione sanguigna della pelle. Effetti acuti di un'insufficiente regolazione della temperatura corporea sono la disidratazione, i crampi e la perdita di coscienza. La termoregolazione in caso di prolungata esposizione al caldo mette a dura prova il sistema cardiocircolatorio e aumenta la probabilità di complicanze nelle persone con pregresse patologie croniche del cuore, dei polmoni o dei reni. Gli anziani sono particolarmente a rischio a causa di un sistema di termoregolazione meno efficiente, ma anche i neonati sono vulnerabili agli eccessi di calore e alle relative conseguenze.

L'aumento dei decessi durante le ondate di calore registrate nelle estati 2003, 2015 e 2018 documenta le gravi conseguenze che le temperature estreme possono avere sulla salute umana (fig. 58). Nell'estate da record del 2003 l'ondata di calore ha causato circa 70 000 decessi in più in Europa (Robine et al. 2008). Tra giugno e agosto sono

morte in Svizzera 975 persone in più rispetto alle previsioni statistiche per lo stesso periodo. Ciò si traduce in una mortalità aggiuntiva del 6,9 per cento (Grize et al. 2005). È stata osservata una maggiore mortalità anche nell'estate del 2015, la seconda più calda dall'inizio delle misurazioni, nel 1864. Allora si sono registrati circa 800 decessi in più, che si traducono in una mortalità aggiuntiva del 5,4 per cento (UFAM 2016). Nell'estate calda del 2018 lo stress da calore ha provocato in agosto circa 200 decessi in più, ossia un incremento pari al 3,4 per cento di quelli che avvengono normalmente nello stesso periodo. Durante la canicola dell'agosto 2018 i decessi sono aumentati in particolare nella Svizzera tedesca.

Le notti tropicali (temperature minime al di sopra di 20 °C) sono particolarmente nocive per l'organismo, poiché il corpo umano non può riposarsi (Ragettli et al. 2017). Nelle città le notti tropicali sono più frequenti che in campagna. La circolazione dell'aria limitata dalla presenza degli edifici, l'assorbimento dell'irraggiamento solare da parte delle strade e delle costruzioni nonché il calore residuo prodotto dai processi industriali, il traffico e i sistemi di raffreddamento provocano il cosiddetto «effetto delle isole di calore» nelle città. Ciò significa che nelle zone densamente popolate il riscaldamento diurno è maggiore e il raffreddamento notturno è minore rispetto alle aree verdi circostanti.

Le ondate di calore provocano anche un maggior numero di ammissioni in pronto soccorso. Dalle analisi condotte sull'estate canicolare del 2015 emerge che le cause più frequenti dell'aumento dei ricoveri sono le malattie infettive, quelle dell'apparato urogenitale, quelle dell'apparato digerente e le polmoniti. La rapida diffusione di virus e batteri nei giorni molto caldi sembra avere un impatto importante sui ricoveri (Ragettli et al. 2019). Durante le ondate di calore anche la concentrazione di ozono troposferico può avere conseguenze negative sulla salute. Le concentrazioni elevate di ozono vengono messe in relazione con il repentino aumento dei ricoveri ospedalieri per

malattie alle vie respiratorie e dei decessi precoci (Accademie svizzere delle scienze 2016a).

6.1.2 Inizio della stagione dei pollini di graminacee

I pollini di graminacee costituiscono i principali allergeni in Svizzera, pertanto per le persone che soffrono di allergie è importante sapere quando inizia la stagione dei pollini, che è strettamente correlata alle temperature primaverili, soprattutto a quelle da marzo a maggio. Più sono elevate, prima comincia la stagione dei pollini. L'inizio è definito come la data a partire dalla quale i pollini superano per la prima volta una concentrazione media giornaliera di 20 pollini/m³ di aria, che corrisponde al valore soglia a partire dal quale il carico pollinico è considerato medio.

Dal 1982, la data di inizio della fioritura delle graminacee, calcolata come valore medio delle stazioni di misurazione di Basilea, Buchs (SG), Ginevra, Neuchâtel e Zurigo, è anticipata di 9 giorni (fig. 59). La durata della stagione dei pollini di graminacee, che dipende non solo dalle condizioni meteorologiche ma anche dall'agricoltura, è passata dal 105 a 88 giorni dal 1982.

La misurazione delle concentrazioni di pollini da parte di MeteoSvizzera non serve solo a lanciare allerte mirate alle persone allergiche, ma costituisce anche un impor-

tante indicatore per comprendere come i cambiamenti climatici incidono sulla stagione pollinica. L'inizio della stagione dei pollini di altre specie allergeniche come la betulla, il frassino, il nocciolo e l'ontano presenta un andamento molto simile all'indice di primavera (cfr. cap. 5.4.1).

Fig. 59: Inizio della stagione dei pollini di graminacee

Data media di inizio della stagione dei pollini di graminacee nel periodo 1982–2018 per le stazioni di misurazione di Basilea, Buchs (SG), Ginevra, Neuchâtel e Zurigo. La tendenza è raffigurata da una media mobile su 5 anni.

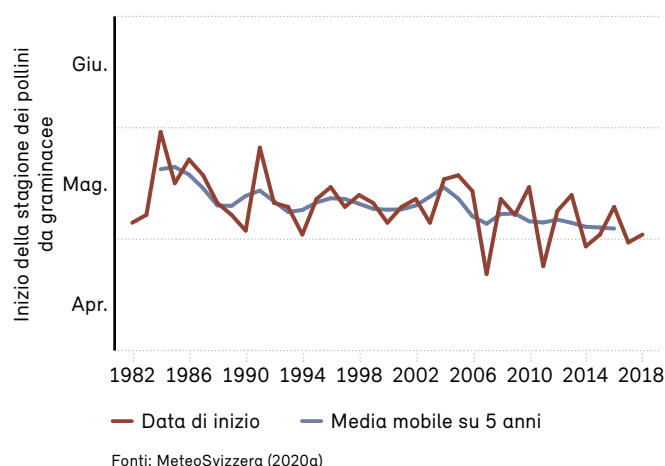
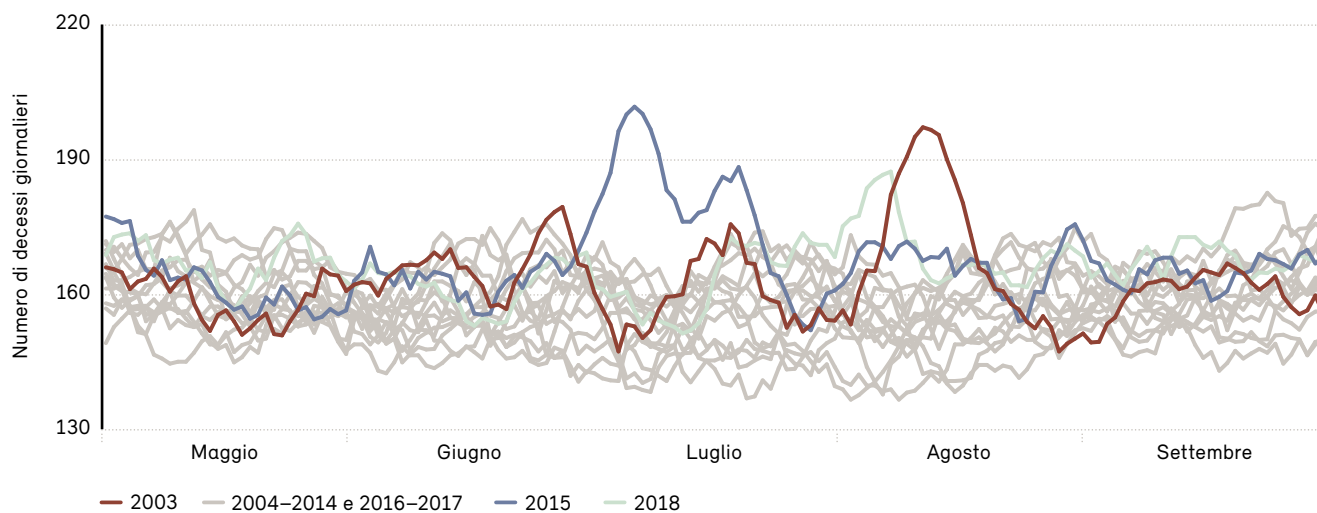


Fig. 58: Numero dei decessi giornalieri nel periodo 2003–2018 durante la stagione calda

Decessi da maggio a settembre in Svizzera. Linee livellate sui valori medi di 7 giorni (sempre 3 giorni prima e dopo il valore indicato). Valori assoluti senza correzione per la crescita demografica tra il 2003 e il 2018.



6.1.3 Diffusione delle zecche e malattie trasmesse dalle zecche

La borreliosi di Lyme e la meningoencefalite primaverile-estiva (FSME) sono le malattie più frequenti trasmesse dalle zecche agli esseri umani in Svizzera. Secondo una stima dell'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP), nel periodo 2008–2018 hanno contratto la borreliosi di Lyme tra 7712 e 21 024 persone ogni anno (UFSP 2019a). Il numero di casi è risultato particolarmente elevato nel 2018 (fig. 60). Pure tra i casi di FSME si registra un netto incremento negli ultimi anni. Più raramente le zecche trasmettono anche altre malattie, tra cui l'anaplasmosi, la rickettsiosi, la babesiosi, la neo-ehrlichiosi o la tularemia.

La comune zecca dei boschi (*Ixodes ricinus*) è il tipo di zecca più diffuso in Svizzera ed è nota come portatrice dell'agente patogeno della borreliosi o della FSME. È attiva soprattutto tra marzo e novembre ed è spesso presente nel sottobosco delle foreste di latifoglie, ai margini dei boschi o nelle radure.

In concomitanza con i cambiamenti climatici, alle nostre latitudini si osservano una diffusione delle zecche a quote più elevate e un prolungamento della loro attività stagionale (Ogden & Lindsay 2016). La maggiore presenza delle zecche potrebbe in parte spiegare l'aumento dei casi di malattia. Parallelamente, con l'aumento delle temperature cambiano anche le attività nel tempo libero e l'abbigliamento delle persone, rendendo più probabile il contatto

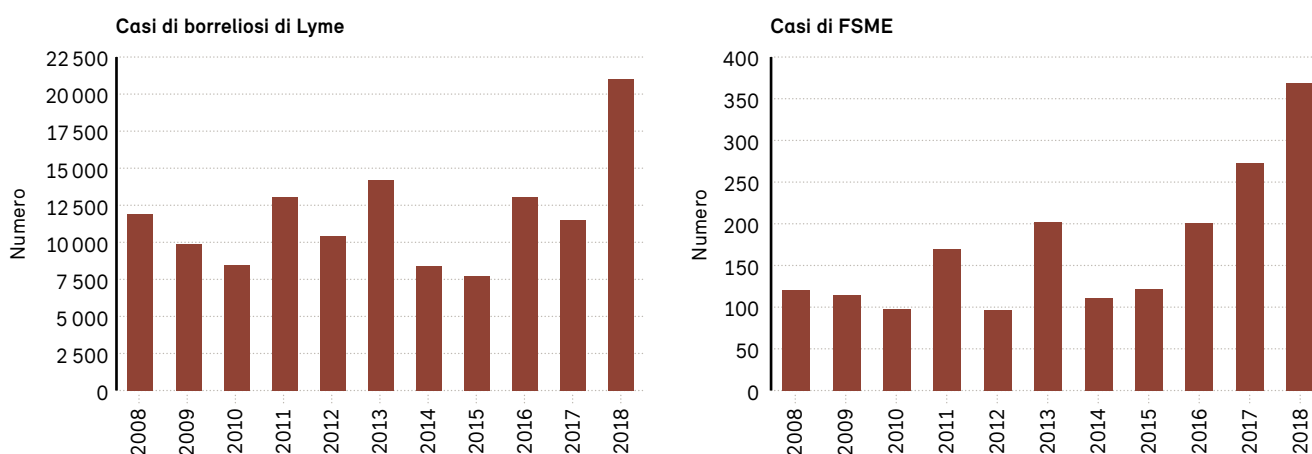
con le zecche (Randolph et al. 2008). Oltre ai cambiamenti climatici, svolgono un ruolo importante anche altri fattori, tra cui i cambiamenti degli habitat naturali che possono avere un impatto molto maggiore sul ritmo di trasmissione delle malattie rispetto al clima (Léger et al. 2013).

In Svizzera gli uccelli migratori introducono di continuo anche specie di zecche esotiche del genere *Hyalomma* (Papadopoulos 2002) che si sono presumibilmente insediate in Ticino (ECDC 2019). Queste zecche presenti nel sud dell'Europa, in Africa e in Asia sono ben adattate a un clima caldo e asciutto e potrebbero pertanto diffondersi anche in Svizzera in seguito ai cambiamenti climatici (Chitimia-Dobler et al. 2019). In Germania è stata dimostrata per la prima volta nel 2019 la presenza di zecche del genere *Hyalomma* prima dell'arrivo degli uccelli migratori, il che induce a credere in un loro svernamento a nord delle Alpi (Università di Hohenheim 2019). In teoria queste zecche potrebbero trasmettere il batterio della rickettsiosi o il virus della febbre di Crimea-Congo.

6.1.4 Diffusione della zanzara tigre asiatica

La zanzara tigre asiatica (*Aedes albopictus*) è una specie esotica invasiva che rappresenta una minaccia per la salute umana poiché può trasmettere tra l'altro i virus dengue, chikungunya e zika. In Svizzera non sono stati ancora osservati casi di trasmissione delle malattie, tuttavia la zanzara tigre asiatica è comunque molto fasti-

Fig. 60: Numero di malati di borreliosi di Lyme (a sinistra) e di FSME (a destra)

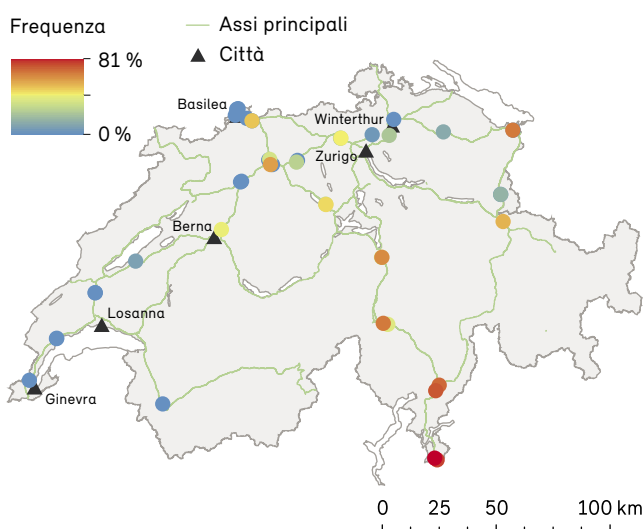


Fonte: UFSP (2019c)

diosa, perché punge anche di giorno ed è presente negli insediamenti.

Questa specie è originaria del sud-est asiatico e si è diffusa nel mondo a seguito della globalizzazione del commercio (in particolare di pneumatici usati e piante ornamentali) e del turismo internazionale. La zanzara tigre asiatica è stata introdotta in Svizzera con il traffico internazionale di merci e persone (fig. 61). È stata avvistata per la prima volta in Ticino nel 2003 (Flacio et al. 2004) e, da allora, si diffonde verso nord (Flacio et al. 2016). L'aumento delle temperature in Svizzera induce a prevedere che la zanzara tigre asiatica si insedierà anche in regioni dove le condizioni climatiche sono per il momento tuttora sfavorevoli (Neteler et al. 2013).

Fig. 61: Introduzione della zanzara tigre asiatica lungo le principali vie di comunicazione



Fonte: Müller et al. (2019), Base map: swisstopo

Un clima più caldo potrebbe abbreviare anche la formazione delle generazioni di zanzare, le cui popolazioni aumenterebbero dunque più in fretta. Nel contempo, le temperature più elevate sono favorevoli agli agenti patogeni, quindi si acuisce il rischio di una trasmissione dei virus dengue e chikungunya. I cambiamenti climatici potrebbero favorire anche altri agenti patogeni trasmessi dalle specie di zanzare indigene, tra cui il virus del Nilo occidentale (Shlomit 2015). Tuttavia, oltre al clima, la diffusione delle zanzare e degli agenti patogeni è influenza-

ta pure da altri fattori, pertanto è quasi impossibile fare previsioni esatte.

6.2 Produzione e consumo di energia

I cambiamenti climatici hanno un impatto sulla produzione energetica. I mutamenti nella distribuzione delle precipitazioni (cfr. cap. 3.3), l'intensificazione degli eventi meteorologici estremi (cfr. cap. 3.3.2) o anche lo scioglimento dei ghiacciai (cfr. cap. 5.2.1) si annoverano tra i fattori in grado di alterare la produzione di energia idroelettrica (Confederazione Svizzera 2012), che potrebbe aumentare in inverno e diminuire in estate a causa della siccità (Köllner et al. 2017). La maggiore frequenza e intensità degli eventi naturali (cfr. cap. 6.5), in particolare i movimenti di versante, rischiano inoltre di danneggiare alcune condotte dell'elettricità e del gas (Confederazione Svizzera 2012). A ciò si aggiunge che anche le infrastrutture per la produzione e il trasporto dell'energia importata in Svizzera sono esposte alle conseguenze dei cambiamenti climatici (cfr. cap. 6.7).

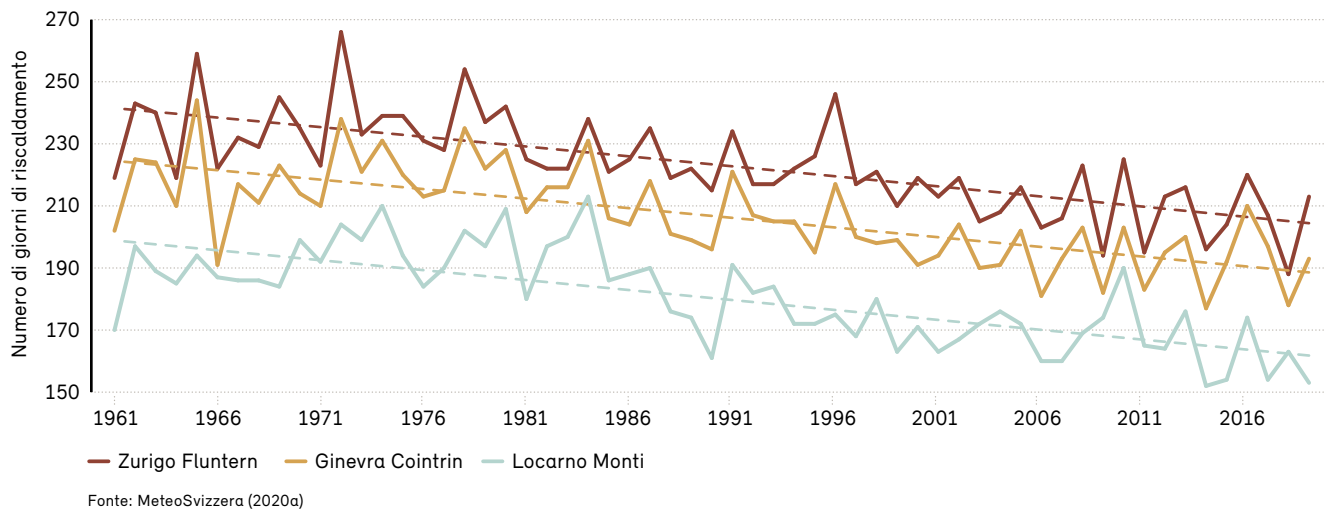
A causa delle condizioni meteorologiche, tra il 2000 e il 2018 il consumo finale di energia è diminuito di 13,6 PJ considerando tutti i vettori energetici. Ciò corrisponde a un calo dell'1,6 per cento dal 2000 (Prognos, TEP, Infras 2019a). L'innalzamento della temperatura media e, di conseguenza, la maggiore frequenza di inverni miti comporteranno un ulteriore calo del consumo invernale di energia per il riscaldamento. Nelle stazioni climatologiche dell'intero Paese si osserva un forte calo dei giorni di riscaldamento, in media di 6 giorni per decennio pari a -16,6 per cento per il periodo 1961 – 2019 (fig. 62).

D'altro canto è prevedibile che, in estate, il rialzo delle temperature medie comporterà un maggiore consumo di energia per il raffreddamento (Confederazione Svizzera 2012). L'evoluzione dei giorni di raffreddamento³⁶ evidenzia la tendenza a un forte aumento di 6,8 giorni per decennio ossia +93 per cento nel periodo 1961 – 2019 (fig. 63).

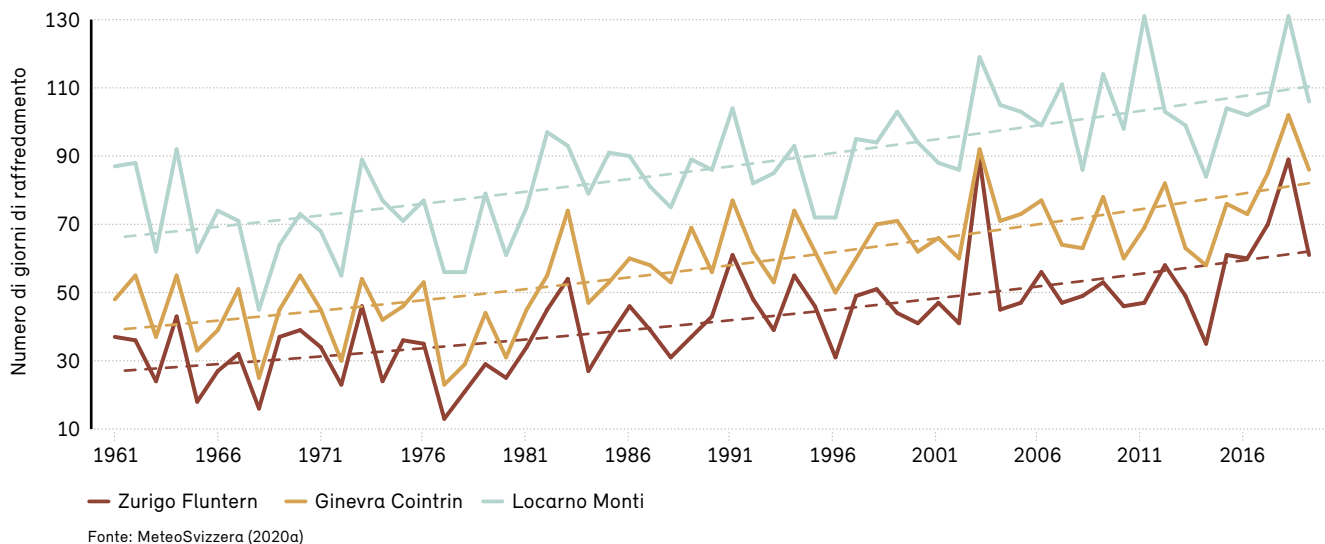
³⁶ Giorni nei quali la temperatura media esterna supera i 18,3 °C, pertanto può sorgere il desiderio di raffreddare gli ambienti.

Fig. 62: Giorni di riscaldamento

Numero annuo di giorni di riscaldamento con temperature medie giornaliere inferiori a 12 °C nel periodo 1961 – 2019. Le linee tratteggiate indicano le tendenze lineari.

**Fig. 63: Giorni di raffreddamento**

Numero annuo di giorni di raffreddamento con temperature medie giornaliere superiori a 18,3 °C nel periodo 1961 – 2019. Le linee tratteggiate indicano le tendenze lineari.



6.3 Gestione delle acque

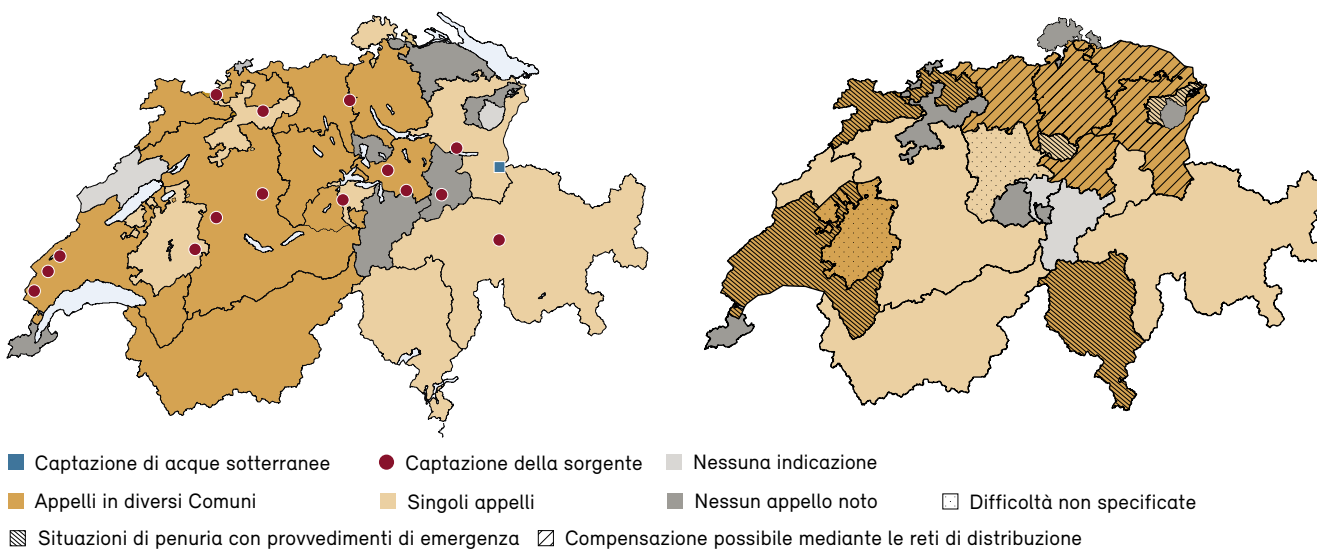
Il recente passato ha evidenziato che anche in Svizzera l'approvvigionamento idrico può subire limitazioni temporali o locali durante i periodi di caldo intenso o di siccità. Sono state particolarmente secche le estati 2003, 2015 e 2018. Con l'avanzare dei cambiamenti climatici e la cre-

scente siccità, le situazioni di penuria idrica potrebbero diventare più frequenti, pertanto le risorse idriche sono sempre più sollecitate.

Durante l'estate canicolare 2015 diversi Comuni di dieci Cantoni si sono appellati alla popolazione invitandola a un uso parsimonioso dell'acqua (UFAM 2016, fig. 64). Anche

Fig. 64: Appelli a un uso parsimonioso dell'acqua e difficoltà di approvvigionamento nel 2015 e nel 2018

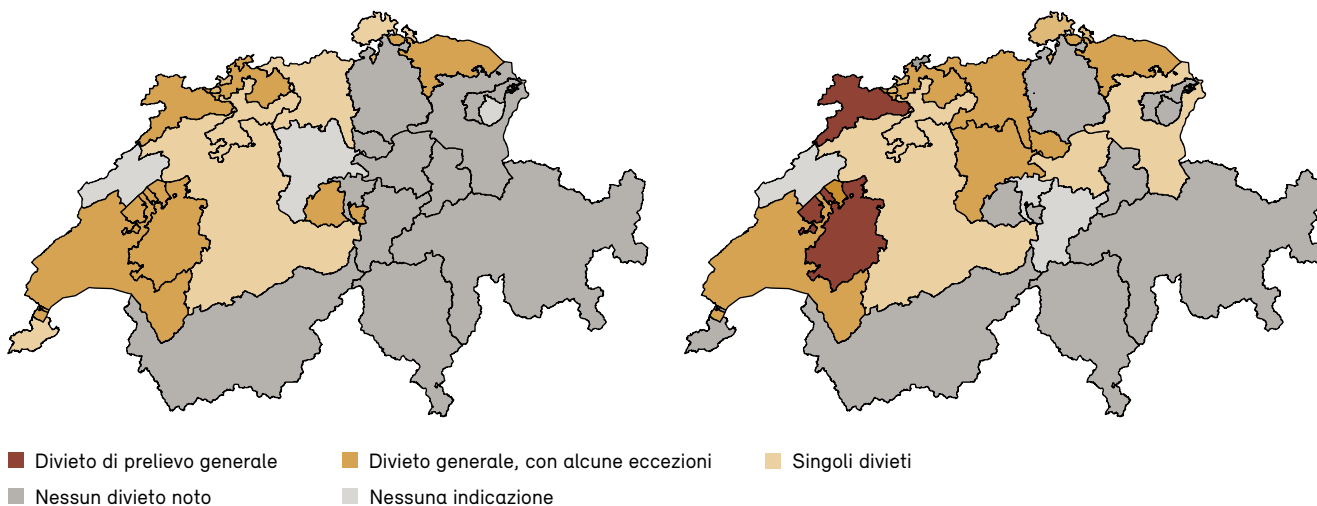
A sinistra: situazione nel 2015; a destra: situazione nel 2018.



Fonti: a sinistra: UFAM (2016); a destra: UFAM et al. (2019)

Fig. 65: Prelievi di acqua: divieti e limitazioni nel 2015 e nel 2018

A sinistra: situazione nel 2015; a destra: situazione nel 2018.



Fonti: a sinistra: UFAM (2016); a destra: UFAM et al. (2019)

nell'estate 2018 alcune regioni del Paese, in particolare della Svizzera nordoccidentale, hanno vissuto situazioni di penuria idrica (UFAM et al. 2019). A causa delle scarse precipitazioni, a partire dalla primavera le portate delle sorgenti sono progressivamente diminuite. Nell'agosto 2018 sono stati raggiunti livelli minimi in molte località e alcune sorgenti si sono addirittura prosciugate. Nella maggior parte dei casi, le difficoltà di approvvigionamento idrico hanno potuto essere compensate con il rifornimento da reti di approvvigionamento limitrofe, tuttavia in sei Cantoni si sono dovuti adottare provvedimenti di emergenza.

Nelle estati 2015 e 2018, hanno dovuto essere vietati o limitati i prelievi di acqua dell'agricoltura soprattutto nei Cantoni lungo l'arco giurassiano, nel Seeland bernese e nella Svizzera nordoccidentale (UFAM 2016, UFAM et al. 2019, fig. 65).

Anche l'immissione di acqua di raffreddamento nei corsi d'acqua può causare problemi nei periodi di caldo intenso e di siccità. L'acqua di raffreddamento immessa può riscaldare l'acqua al massimo di 3 °C, nelle zone delle trote non più di 1,5 °C (ordinanza sulla protezione delle acque; OPAC; RS 814.201). Per osservare le disposizioni di legge concernenti l'immissione di acqua a scopi di raffreddamento, nel 2015 la centrale nucleare di Mühleberg, per esempio, ha dovuto ridurre la propria potenza del 20 per cento per 16 giorni (UFAM 2016).

6.4 Turismo invernale

Nella Strategia del turismo della Confederazione la minore certezza della presenza di neve a causa dei cambiamenti climatici rappresenta un rischio per il turismo svizzero (Confederazione Svizzera 2017). Nel turismo invernale la presenza della neve e lo spessore della copertura nevosa (cfr. cap. 3.4) sono determinanti per il successo economico (König & Abegg 1997). Il numero dei giorni di esercizio dei comprensori sciistici varia molto da una stagione all'altra a causa delle condizioni meteorologiche, tuttavia l'evoluzione tra le stagioni 2009/10 e 2017/18 evidenzia una tendenza alla diminuzione. Se nella stagione 2009/10 si sono contati in media 135 giorni di esercizio

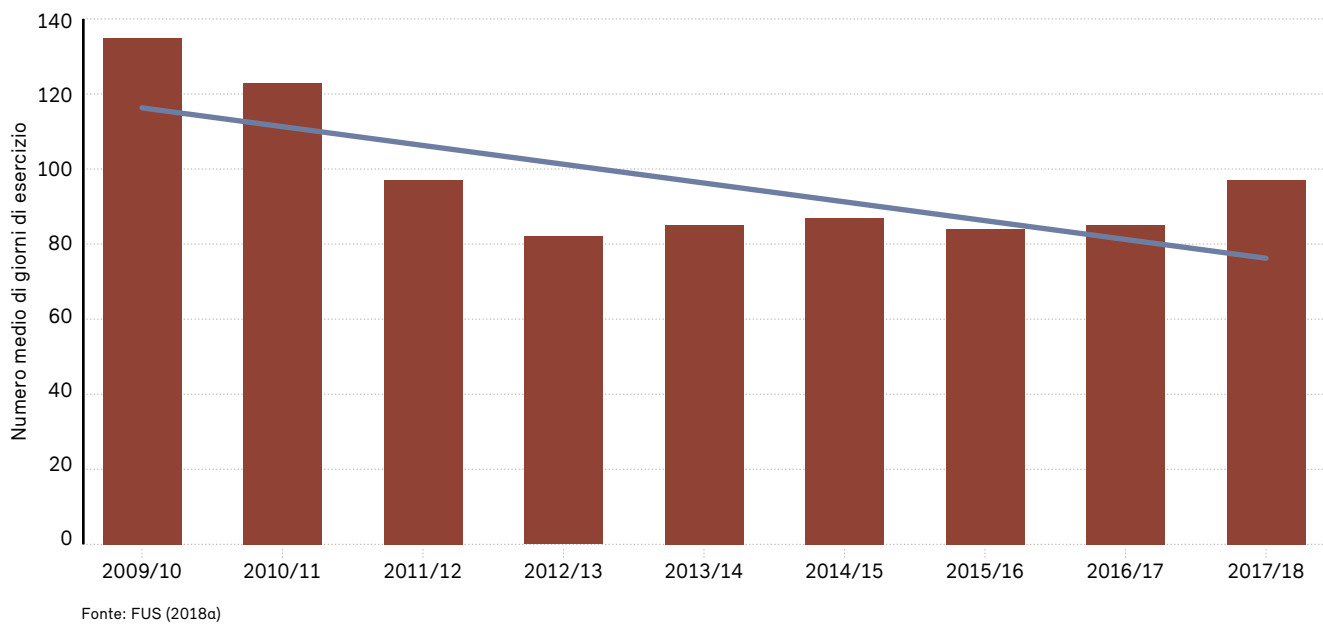
per ogni comprensorio sciistico, nella stagione 2017/18 il loro numero è sceso a 97 (fig. 66).

In futuro la presenza di neve e, quindi, il numero di giorni di esercizio per stagione potrebbero diminuire ulteriormente almeno a bassa e media quota (Uhlmann et al. 2009, cfr. cap. 3.4). Se non saranno adottate misure di protezione del clima, entro il 2060 la copertura nevosa naturale potrebbe restringersi del 40 per cento circa a un'altitudine di 1500 – 2000 m s.l.m. e addirittura del 55 per cento tra 1000 e 1500 m s.l.m. (NCCS 2018). In Svizzera numerosi comprensori sciistici si trovano a un'altitudine superiore e dovrebbero quindi essere colpiti in misura minore dai cambiamenti climatici rispetto a quelli di altri Paesi della regione alpina. La figura 67 mostra che, nella maggior parte dei comprensori sciistici vallesani e grigionesi, la neve dovrebbe essere assicurata in caso di un aumento di 4 °C rispetto a oggi del riscaldamento globale. La situazione è più problematica per i comprensori sciistici situati a più bassa quota, dove la presenza della neve è solo parzialmente certa anche qualora venisse adottata una politica climatica molto ambiziosa³⁷.

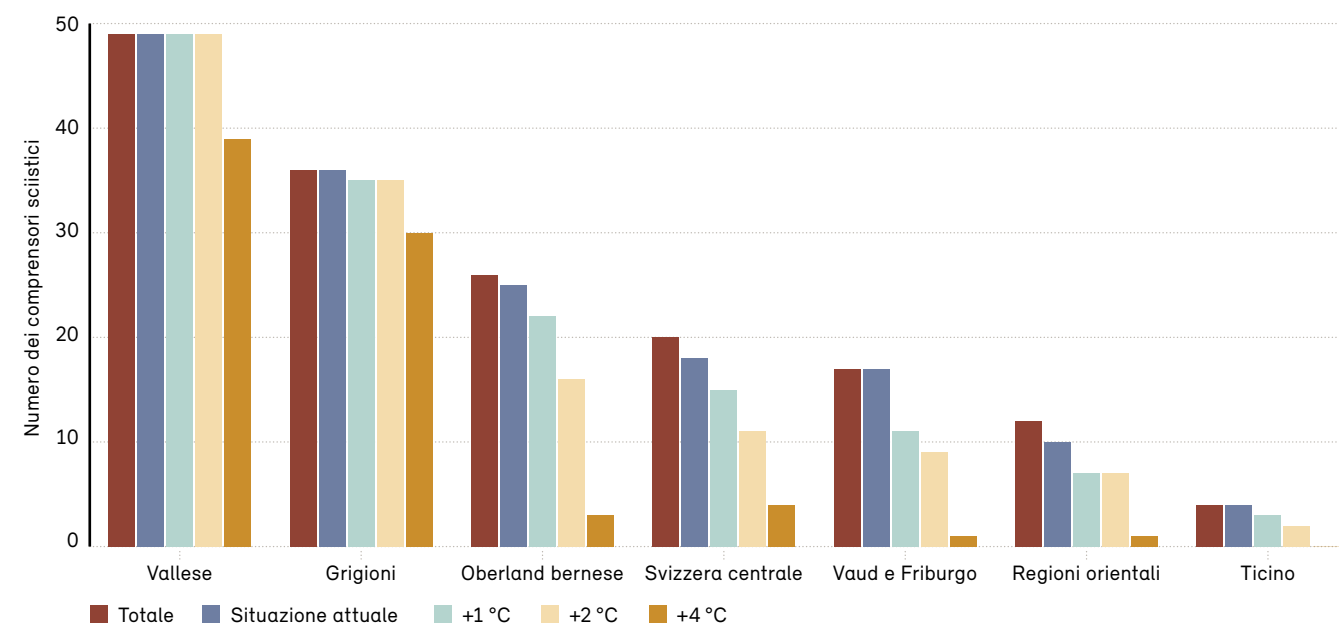
³⁷ Secondo lo scenario di emissioni RCP2.6 ossia al massimo +2 °C di riscaldamento globale rispetto all'era preindustriale, cfr. cap.4.2

Fig. 66: Numero medio di giorni di esercizio dei comprensori sciistici svizzeri

Evoluzione del numero medio di giorni di esercizio nel periodo 2009/10 – 2017/18. Il campione considerato è composto di 63 comprensori sciistici.

**Fig. 67: Evoluzione della presenza di neve nei comprensori sciistici svizzeri**

Numero totale dei comprensori sciistici della Svizzera e numero dei comprensori sciistici dove la presenza della neve è sicura in funzione dell'innalzamento della temperatura media globale rispetto a quella attuale.



6.5 Conseguenze in altri settori

I cambiamenti climatici non interessano solo la salute, l'energia, il turismo e la gestione delle acque, bensì coinvolgono altri settori della nostra società che saranno brevemente trattati di seguito.

Eventi naturali estremi: la Svizzera è esposta a numerosi pericoli naturali, tra cui piene, flussi detritici, scivolamenti, cadute di massi, valanghe e tempeste. In quanto Paese alpino, subisce particolarmente le conseguenze dei cambiamenti climatici. Il rialzo dell'isoterma di zero gradi (cfr. cap. 3.4) e la minore quantità di neve hanno un impatto sui ghiacciai e sul permafrost (cfr. cap. 5.2), quindi sulla stabilità dei pendii e sui movimenti di versante (NCCS 2018). Le infrastrutture in alta montagna rischiano di essere danneggiate a causa di assestamenti al di sopra delle lenti di ghiaccio o della mobilitazione del sottosuolo. La maggiore intensità e frequenza degli eventi di precipitazione estremi aggraverà la situazione delle piene (NCCS 2018). Senza opportune strategie di protezione, aumenteranno i danni alle persone, ai beni e all'ambiente, spesso con costi di milioni.

Sviluppo territoriale: l'innalzamento della temperatura in seguito ai cambiamenti climatici, in particolare le ondate di calore, colpiscono soprattutto le città e gli agglomerati. L'obiettivo di una densificazione qualitativa delle zone d'insediamento (sviluppo centripeto degli insediamenti) minaccia gli spazi liberi importanti per il clima locale. Inoltre aumenta l'impermeabilizzazione delle superfici nelle aree urbane e l'edificazione si fa più compatta, acuendo ulteriormente l'effetto delle isole di calore. Oltre al caldo, anche le forti precipitazioni costituiscono una sfida per le città e le aree urbane. Si prevede che la frequenza e l'intensità degli estremi delle precipitazioni si amplificheranno di concerto con i cambiamenti climatici (4.3.3). Con l'impermeabilizzazione del suolo le possibilità di infiltrazione delle precipitazioni sono molto limitate, il che accentua il fenomeno del ruscellamento superficiale.

Agricoltura: gli inverni miti e l'innalzamento della temperatura media favoriscono la sopravvivenza e la diffusione di organismi nocivi, con il rischio di maggiori perdite di raccolto (Köllner et al. 2017). Inoltre, la produzione può subire danni anche a causa della siccità e delle forti piog-

ge (cfr. cap. 3.3 e 4.3). Tuttavia, non tutte le conseguenze sono negative per l'agricoltura. L'innalzamento della temperatura media, la diminuzione dei giorni di gelo e il prolungamento del periodo vegetativo potrebbero avere un impatto positivo sullo sviluppo delle colture agricole (Köllner et al. 2017).

6.6 Costi economici

Una stima dei costi dei cambiamenti climatici è generalmente difficile e suscettibile di notevoli incertezze a causa dei numerosi fattori che possono influenzarli e del lungo orizzonte temporale. Ciò vale in particolare se si tratta di stime su piccola scala. Un approccio diffuso per esprimere le conseguenze economiche dei cambiamenti climatici è quello dei cosiddetti costi dell'inazione («costs of inaction»). Già nel 2006 l'economista Nicholas Stern aveva denunciato che, senza fare nulla per arginare i cambiamenti climatici nei prossimi due secoli, i danni per l'economia mondiale sarebbero equivalenti a una riduzione annua del PIL globale di 5–20 punti percentuali. I costi per stabilizzare le emissioni su un livello collegato a un riscaldamento massimo di 2 °C si limitano ad appena il 2 per cento annuo del PIL globale (Stern 2006).

Anche l'OCSE (Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico) conferma in un suo rapporto sulle conseguenze economiche dei cambiamenti climatici che i costi dell'inazione sono di gran lunga superiori a quelli dell'azione. In uno scenario di cambiamenti climatici incontrollati, prevede fino al 10 per cento di perdita del PIL globale entro il 2100 (OCSE 2015).

I costi dei cambiamenti climatici sono comunque già oggi considerevoli. Nel 2010, i danni subiti nell'Unione europea da infrastrutture critiche e in settori direttamente coinvolti hanno superato i 3 miliardi di euro. Entro il 2050 potrebbero sestuplicarsi ed entro il 2100 decuplicarsi se non si riuscirà a contenere efficacemente i cambiamenti climatici (Unione europea 2016).

Per la Svizzera sono disponibili poche informazioni quantitative in materia. Il Politecnico di Losanna ha studiato gli effetti dei cambiamenti climatici su sei settori selezionati (salute, edifici e infrastrutture, energia, approvvig-

gionamento idrico, agricoltura, turismo) e ha calcolato i costi derivanti da un riscaldamento più o meno contenuto rispetto al limite di 2 °C. In base a questa analisi, nel 2060 i costi risulteranno aumentati complessivamente di 2,8 miliardi di franchi, per esempio come conseguenza del calo della produttività o delle perdite subite dal turismo invernale (PFL 2017). Un altro studio ha stimato le perdite in termini di benessere in Svizzera indotte dai cambiamenti climatici in una forchetta tra lo 0,37 e l'1,37 per cento (Vöhringer et al. 2019). A più lungo termine, ossia sino alla fine del secolo, il PIL svizzero potrebbe subire un calo fino al 12 per cento se l'attuale andamento delle emissioni globali prosegue incontrollato (Kahn et al. 2019).

Intervenire sui cambiamenti climatici ha, invece, costi molto inferiori. L'attuazione del pacchetto di misure secondo la revisione totale della legge sul CO₂ dovrebbe avere un impatto solo minimo sulla crescita economica. Se fossero considerati anche gli effetti positivi delle misure (p. es. gli incentivi all'innovazione oppure la minore spesa sanitaria), i vantaggi macroeconomici potrebbero superare i costi diretti del pacchetto di misure (UFAM 2017b).

6.7 Conseguenze indirette

Nella sua strategia di adattamento ai cambiamenti climatici e nelle sue analisi delle opportunità e dei rischi dei cambiamenti climatici, la Confederazione si è sinora focalizzata sulle conseguenze dirette, immediate in Svizzera (Confederazione Svizzera 2012 e 2014, Köllner et al. 2017, INFRAS & Egli Engineering 2015). Ma la Svizzera, fortemente interconnessa sul piano internazionale, è interessata in misura notevole anche dai cambiamenti climatici che avvengono negli altri Paesi e dalle loro ripercussioni (fig. 68, Kohli et al. 2018, Accademie svizzere delle scienze 2016b). Le conseguenze di eventi climatici all'estero possono propagarsi tramite diverse aree d'influenza e lunghe catene degli effetti (fig. 68).

Di seguito sono illustrate le aree d'influenza che rivestono una notevole rilevanza per la Svizzera.

Prestazione economica: l'esposizione ai rischi dei cambiamenti climatici si differenzia a seconda dell'impresa,

della catena di fornitura e della sostituibilità delle merci importate. I rischi riguardano soprattutto le imprese con esportazioni elevate nei Paesi vulnerabili o una forte dipendenza da beni provenienti da regioni sensibili al clima. D'altro canto scaturiscono opportunità per l'esportazione di prodotti e conoscenze sull'adattamento ai cambiamenti climatici (Infras 2018).

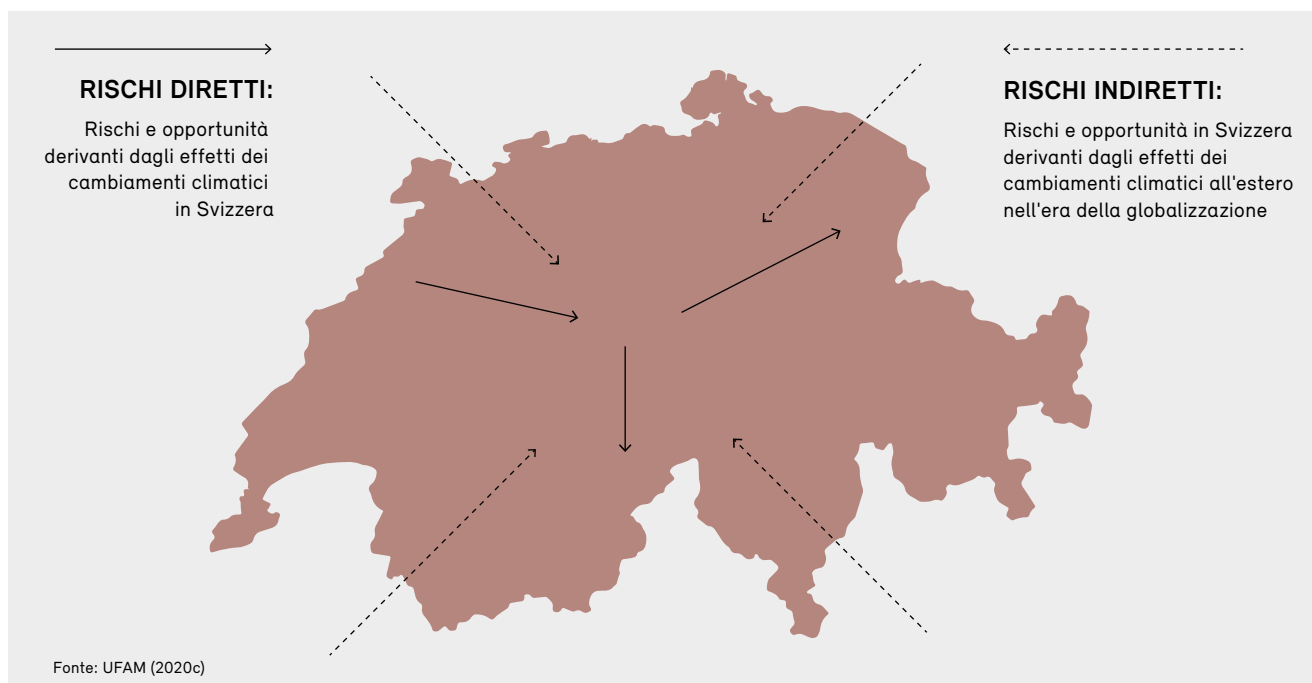
Approvvigionamento di generi alimentari: considerando il foraggio importato, il grado di autoapprovvigionamento della Svizzera è oscillato tra il 50 e il 59 per cento negli ultimi anni (1995 – 2014) (UFAG 2016). Tra i 14 Paesi dai quali la Svizzera importa la maggior parte dei prodotti agricoli si annoverano Paesi piuttosto vulnerabili, tra cui il Ghana o l'India. In particolare importanti prodotti intermedi di generi alimentari, come le fave di cacao o caffè, derivano da aree vulnerabili nei confronti dei cambiamenti climatici (p. es. El Salvador, Nicaragua, Costa d'Avorio). Le concentrazioni sul mercato, come la soia dal Brasile, aumentano i rischi climatici.

Approvvigionamento energetico: la Svizzera dispone di scarse risorse energetiche, pertanto dipende dalle importazioni in misura del 75 per cento circa per soddisfare il suo fabbisogno. Tra le fonti energetiche che acquista all'estero si annoverano petrolio, gas naturale, carbone e prodotti derivati, combustibili nucleari e, nel semestre invernale, elettricità. Esse provengono in parte da Paesi vulnerabili nei confronti dei cambiamenti climatici (p. es. il petrolio), che può quindi avere importanti conseguenze sugli impianti estrattivi, le raffinerie e i percorsi di trasporto delle energie fossili, ma anche sulle reti elettriche e la produzione di elettricità da energie rinnovabili.

Servizi finanziari: la piazza finanziaria svizzera occupa una posizione di primo piano nel mondo per la gestione transfrontaliera di patrimoni privati e costituisce uno dei dieci maggiori mercati assicurativi d'Europa. Le conseguenze dei cambiamenti climatici potrebbero arrecare danni a facoltosi clienti bancari (esteri), poiché i rischi legati all'attività di gestione patrimoniale sono sinora assunti soprattutto dai clienti. Tuttavia possono essere minacciati anche gli investimenti svizzeri all'estero, dove i cambiamenti climatici hanno una notevole rilevanza, soprattutto negli investimenti a lungo termine, come le infrastrutture e il ramo assicurativo. Le compagnie sviz-

Fig. 68: Rischi diretti e indiretti

La Svizzera è esposta non solo ai rischi diretti, ma anche a quelli indiretti dei cambiamenti climatici.



zere di assicurazione devono prevedere perdite, poiché operano e sono esposte in Paesi spesso colpiti da eventi estremi.

Sicurezza: l'effetto moltiplicatore dei cambiamenti climatici può accrescere i rischi per la sicurezza delle persone e alimentare conflitti violenti all'estero. Sono colpiti anche Paesi vulnerabili con strutture fragili, nei quali la Svizzera è impegnata, per esempio con attività economiche, interessi politici o nella cooperazione allo sviluppo. Basti citare la regione del Corno d'Africa (Etiopia, Eritrea, Somalia). Dal più recente rapporto della Svizzera sulla politica di sicurezza emerge che i cambiamenti climatici hanno acuito la fragilità degli Stati negli ultimi anni.

Migrazione: i cambiamenti climatici sono uno dei numerosi fattori che influenzano la migrazione. Amplifica i problemi sociali, economici e politici e, se combinato con altri fattori, può favorire la migrazione delle persone. La Svizzera non è uno dei principali Paesi di destinazione per la migrazione «influenzata dal clima», che di norma avviene su distanze più brevi (p. es. città – campagna, Paesi limitrofi) e ha carattere temporaneo. Tuttavia può diven-

tare una meta per i rifugiati provenienti da Paesi vulnerabili e per coloro che si trovano ad affrontare la mancanza di prospettive economiche. A causa degli squilibri economici e dei conflitti politici, la pressione migratoria aumenterà anche in direzione dell'Europa.

Cooperazione allo sviluppo: la protezione del clima e l'adattamento ai cambiamenti climatici sono due capisaldi per la Svizzera nelle sue attività di cooperazione allo sviluppo, le cui priorità riguardano prima di tutto Paesi sensibili. I cambiamenti climatici minacciano le basi vitali dei gruppi target della cooperazione allo sviluppo in molti luoghi e può mettere a repentaglio i progressi già raggiunti.

7 Riduzione delle emissioni

La Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, il Protocollo di Kyoto e l'Accordo di Parigi sono le risposte politiche della comunità internazionale all'avanzare dei cambiamenti climatici (cap. 7.1). Il loro obiettivo consiste sostanzialmente nel ridurre le emissioni globali di gas serra e potenziare le capacità di adattamento ai cambiamenti climatici. Con la ratifica di questi accordi la Svizzera si è impegnata a livello internazionale a ridurre le sue emissioni (cap. 7.2). La legge sul CO₂ è la base principale per consentire alla Svizzera di conseguire i suoi obiettivi. Traspone nel diritto nazionale gli obiettivi raggiunti a livello internazionale e stabilisce diverse misure per ridurre le emissioni di gas serra (cap. 7.3). Infine, vi contribuiscono anche altri settori e quadri legislativi (cap. 7.4).

tura di 1,5 °C. A differenza del Protocollo di Kyoto, l'Accordo di Parigi non distingue più tra Paesi industrializzati e Paesi in via di sviluppo. Tra questi ultimi, quelli che lo hanno ratificato sono quindi formalmente tenuti, per la prima volta, a contribuire alla riduzione delle emissioni. Tutti gli Stati membri devono stabilire obiettivi nazionali di riduzione, inasprirli periodicamente e riferire periodicamente (ogni due anni) sui risultati dei loro sforzi. Ogni cinque anni deve essere fatto un bilancio a livello internazionale sui progressi compiuti in vista del raggiungimento degli obiettivi dell'Accordo.

7.1 Obiettivi internazionali di riduzione

La pubblicazione del primo rapporto stilato dall'IPCC nel 1990 ha risvegliato la consapevolezza che occorrono interventi urgenti per contenere gli effetti dei cambiamenti climatici. Due anni più tardi è stata adottata la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC). Con il Protocollo di Kyoto e l'Accordo di Parigi la politica internazionale sul clima ha creato le basi per vincolare i singoli Paesi a ridurre le loro emissioni di gas serra. La figura 69 fornisce una visione d'insieme dei capisaldi della politica svizzera e internazionale sul clima.

Il Protocollo di Kyoto è stato adottato nel 1997 nell'ambito dell'UNFCCC. Gli Stati che lo hanno ratificato si sono impegnati a ridurre le loro emissioni di gas serra in base a obiettivi stabiliti. Ai fini dell'adempimento del loro impegno, sono ammessi il computo della funzione di pozzo di assorbimento dei boschi e, entro certi limiti, l'acquisto di certificati esteri di riduzione delle emissioni. Alcuni Paesi si sono accordati su un secondo periodo d'impegno nel quadro del Protocollo di Kyoto.

Il 12 dicembre 2015 l'Accordo di Parigi è stato adottato da 196 Stati membri dell'UNFCCC. Questo accordo intende limitare ben al di sotto dei 2 °C il riscaldamento medio globale e puntare a un aumento massimo della tempera-

Fig. 69: Visione d'insieme della politica svizzera e internazionale sul clima

Mondo		Svizzera
Pubblicazione del 1° rapporto dell'IPCC sui cambiamenti climatici	1990	
Adozione della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC)	1992	
Adozione del Protocollo di Kyoto	1997	
Per i Paesi industrializzati sono fissati obiettivi vincolanti per la riduzione delle emissioni. I Paesi industrializzati si impegnano a ridurre le loro emissioni di gas serra in media del 5,2 % rispetto al 1990.	2003	Ratifica del Protocollo di Kyoto
	2008	Introduzione della tassa sul CO ₂
Primo periodo d'impegno del Protocollo di Kyoto	2008 – 2012	Analogamente all'UE, anche la Svizzera si impegna a ridurre le sue emissioni di gas serra dell'8 % rispetto al 1990 tra il 2008 e il 2012.
	2013	Entrata in vigore della revisione della legge sul CO ₂
Secondo periodo d'impegno del Protocollo di Kyoto	2013 – 2020	La Svizzera si impegna a ridurre le sue emissioni di gas serra del 20 % entro il 2020 rispetto al 1990.
Adozione dell'Accordo di Parigi	2015	
Uno dei principali obiettivi è limitare il riscaldamento medio globale ben al di sotto dei 2 °C. Tutti i Paesi che hanno ratificato l'Accordo sono tenuti a stabilire un obiettivo nazionale di riduzione e a riferire in merito alle attività di attuazione.	2017	Ratifica dell'Accordo di Parigi
	2019	Il Consiglio federale decide che il bilancio netto delle emissioni deve essere azzerato entro il 2050.
Attuazione dell'Accordo di Parigi	2021 – 2030	La Svizzera si impegna a ridurre le sue emissioni di gas serra del 50 % rispetto al 1990 entro il 2030.
	2050	Saldo netto delle emissioni pari a zero

Fonte: adattato da UFAM (2018b)

7.2 Obiettivi nazionali di riduzione

La Svizzera ha ratificato il Protocollo di Kyoto nel 2003. In linea con l'UE, per il primo periodo d'impegno (2008 – 2012) si è impegnata a ridurre le sue emissioni di gas serra dell'8 per cento in media rispetto al 1990. L'obiettivo è stato raggiunto grazie alle misure adottate sul piano nazionale, al computo dei certificati esteri di riduzione delle emissioni e alla tenuta in considerazione della funzione di pozzo di assorbimento dei boschi.

In Svizzera gli impegni internazionali sono attuati nell'ambito della legge sul CO₂. Per il periodo dal 2008 al 2012, nella prima legge sul CO₂, entrata in vigore nel 2000, erano stati stabiliti un obiettivo di riduzione delle emissioni di CO₂ del 10 per cento in media rispetto al 1990 e obiettivi parziali per le emissioni di CO₂ generate da combustibili (–15 %) e carburanti fossili (–8 %). Considerando i certificati di riduzione delle emissioni acquistati all'estero, è stato raggiunto l'obiettivo complessivo che prevedeva una diminuzione del 10 per cento, tuttavia sono stati mancati gli obiettivi parziali per i carburanti e i combustibili.

Per il secondo periodo d'impegno del Protocollo di Kyoto è stata rivista la legge sul CO₂ al fine di coprire il periodo 2013 – 2020. Nella legge riveduta è stato inserito l'obiettivo di riduzione del 20 per cento (somma di tutte le emissioni di gas serra, non più solo del CO₂) rispetto al 1990 entro il 2020³⁸. La legge prevede che questo obiettivo debba essere pienamente raggiunto con misure di riduzione sul piano nazionale. I dati dell'inventario nazionale dei gas serra del 2020 (che considera le emissioni fino al 2018) indicano che questo obiettivo sarà probabilmente mancato (fig. 70).

Il rapporto esplicativo concernente l'ordinanza sul CO₂ contiene inoltre obiettivi assegnati a diversi settori per il 2020 (in % rispetto al 1990):

- –40 % per gli edifici (economie domestiche e servizi) (ossia ancora max. 10,3 mio. t CO₂ eq);
- –15 % per l'industria (ossia ancora max. 11,1 mio. t CO₂ eq);
- –10 % per i trasporti (ossia ancora max. 13,4 mio. t CO₂ eq);
- –10 % per le altre fonti di emissione (agricoltura, rifiuti e gas sintetici) (ossia ancora max. 7,9 mio. t CO₂ eq).

Dai più recenti dati sulle emissioni emerge che l'obiettivo del settore degli edifici sarà probabilmente mancato e quello dell'industria è ancora incerto. Per i trasporti e le altre fonti di emissione gli obiettivi non saranno sicuramente raggiunti (fig. 71).

La Svizzera ha ratificato l'Accordo di Parigi il 6 ottobre 2017 e si è impegnata a dimezzare entro il 2030 le sue emissioni di gas serra rispetto al 1990. A livello nazionale l'attuazione di questo impegno ha richiesto una nuova revisione della legge sul CO₂ per il periodo 2021 – 2030. Almeno tre quarti della riduzione delle emissioni necessaria dovrà essere conseguito in Svizzera. Ciò corrisponde a un obiettivo di riduzione delle emissioni nazionali del 37,5 per cento entro il 2030 rispetto al 1990.

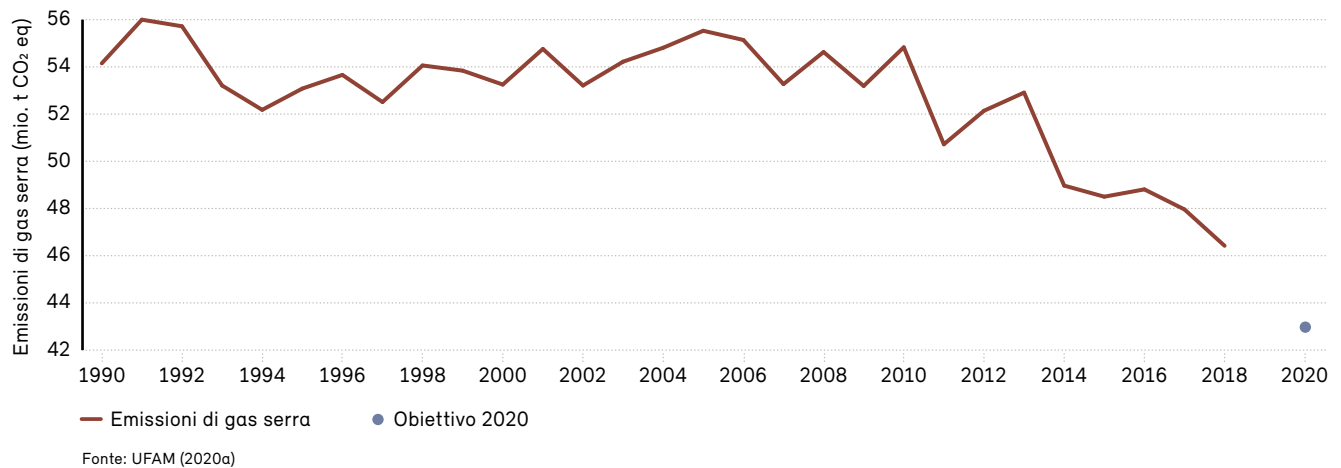
Il 28 agosto 2019 il Consiglio federale ha deciso che la Svizzera dovrà azzerare il bilancio netto delle sue emissioni entro il 2050. Al più tardi entro tale data, la quantità di gas serra prodotti non dovrà superare quella assorbita dai serbatoi naturali e tecnici (equilibrio tra le emissioni dalle fonti e gli assorbimenti dei pozzi). Il Consiglio federale non ha definito in quale proporzione la riduzione deve essere conseguita all'estero o in Svizzera³⁹.

³⁸ L'inventario dei gas serra viene ricalcolato ogni anno, il che può portare a variazioni dei valori delle emissioni degli anni precedenti (anche per il valore del 1990). Gli obiettivi di riduzione sono tuttavia dichiarati rispetto a un determinato valore di riferimento (53,71 mio. t CO₂ eq), fissato in modo definitivo nel secondo rapporto iniziale (*Second Initial Report*) (cfr. UFAM 2020b).

³⁹ Maggiori informazioni concernenti l'obiettivo climatico 2050 e ulteriori aspetti sono pubblicate nel sito <https://www.bafu.admin.ch/clima2050>

Fig. 70: Emissioni di gas serra dal 1990 e obiettivo della legge sul CO₂ per il 2020

Evoluzione delle emissioni nazionali di gas serra, Svizzera, 1990–2018. Qui non sono considerati la scarsa funzione di assorbimento computabile del settore forestale e i certificati di riduzione delle emissioni acquistati all'estero. Il punto blu corrisponde al valore obiettivo stabilito nella legge sul CO₂. L'obiettivo 2020 comprende la deduzione della funzione di pozzo di assorbimento computabile.

**Fig. 71: Emissioni di gas serra per settori e contributo al raggiungimento dell'obiettivo atteso dai singoli settori**

Evoluzione delle emissioni nazionali di gas serra per settori, Svizzera, 1990–2018 e contributo al raggiungimento dell'obiettivo atteso dai singoli settori.

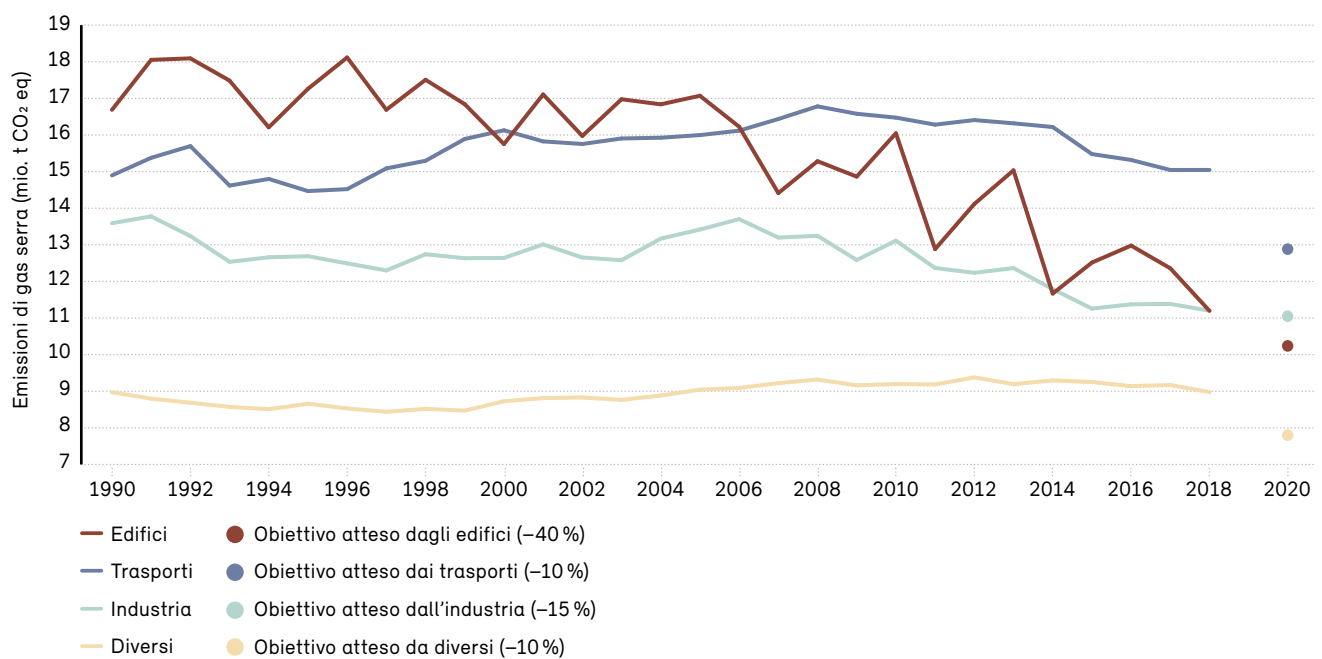
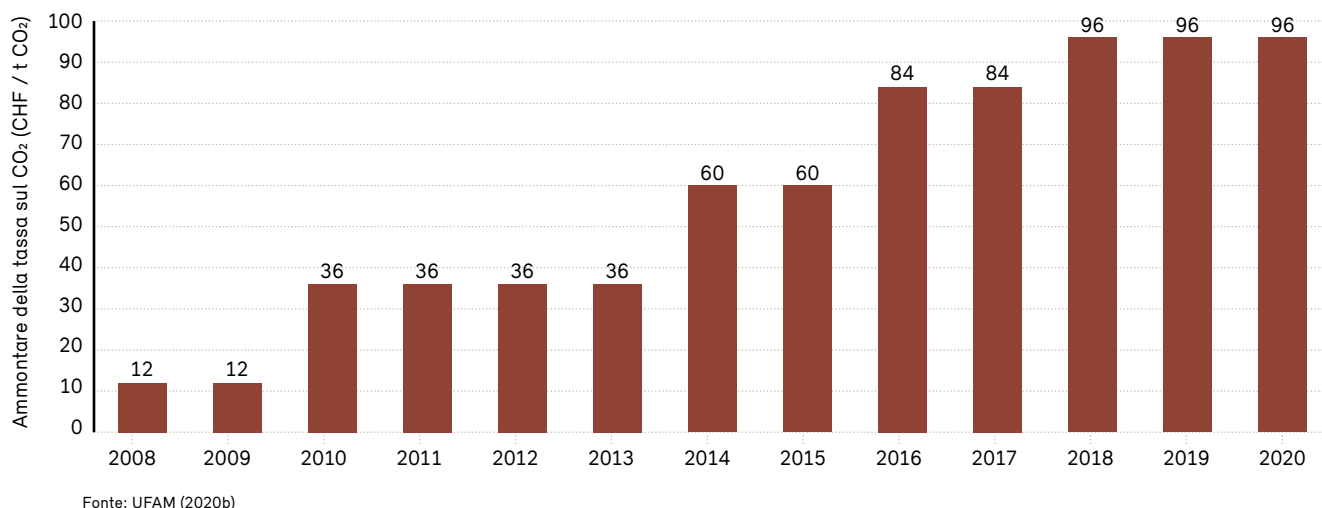


Fig. 72: Evoluzione dell'ammontare della tassa sul CO₂

Progressivo aumento della tassa sul CO₂ a causa del mancato raggiungimento degli obiettivi di riduzione intermedi.



7.3 Misure per ridurre le emissioni secondo la legge sul CO₂

L'attuale legge sul CO₂⁴⁰ prevede diverse misure per conseguire gli obiettivi di riduzione delle emissioni.

7.3.1 Tassa sul CO₂

La tassa sul CO₂ è una tassa d'incentivazione applicata dal 2008 ai combustibili fossili (come l'olio da riscaldamento o il gas naturale) se vengono utilizzati per la produzione di calore, per la produzione di energia elettrica o per il funzionamento di impianti di cogenerazione. I carburanti non sono soggetti a questa tassa. La legge sul CO₂ prevede un aumento della tassa se gli obiettivi di riduzione predefiniti non vengono raggiunti (fig. 72). Sinora è successo quattro volte. Al momento dell'introduzione era pari a 12 franchi per tonnellata di CO₂, dal 2018 ha raggiunto i 96 franchi per tonnellata di CO₂.

Ogni anno circa due terzi dei proventi della tassa sul CO₂ sono ridistribuiti proporzionalmente alla popolazione e alle imprese, mentre il resto (un terzo fino a un max. di 450 mio. CHF) confluisce nel Programma Edifici (cfr. cap. 7.3.3). Altri 25 milioni di franchi sono destinati al fondo per le tecnologie. Le imprese con elevate emissioni di gas serra possono chiedere l'esenzione dalla tassa sul CO₂ a condizione che si impegnino a ridurle.

⁴⁰ Legge federale del 23 dicembre 2011 sulla riduzione delle emissioni di CO₂, entrata in vigore il 1° gennaio 2013

7.3.2 Sistema di scambio di quote di emissioni

Le imprese con elevate emissioni di gas serra partecipano al sistema svizzero di scambio di quote di emissioni (SSQE) e sono esentate dalla tassa sul CO₂. Nel SSQE viene determinata una quantità assoluta di diritti di emissione disponibili («cap») e una parte di essa viene assegnata gratuitamente alle imprese che vi aderiscono. Le imprese che producono più CO₂ di quanto consentito in base ai loro diritti di emissione devono acquistare diritti presso altre aziende partecipanti al SSQE. Il «cap» diminuisce ogni anno, quindi anche le emissioni complessivamente ammesse si riducono di anno in anno.

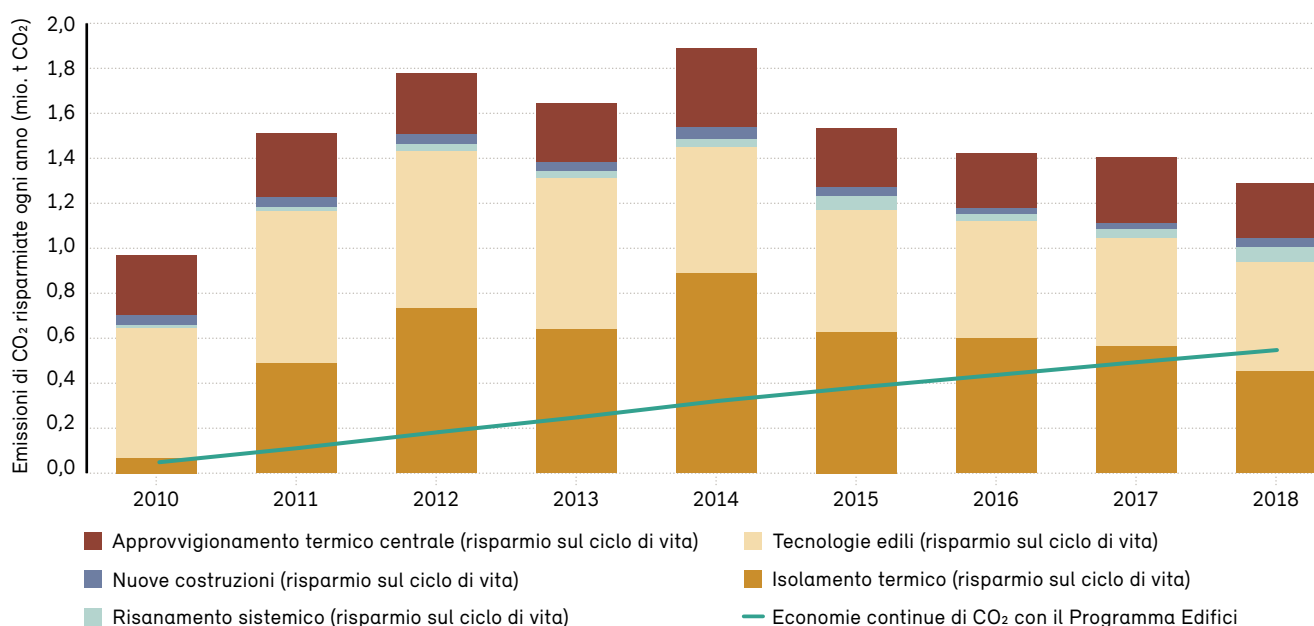
Il 1° gennaio 2020 è stato completato il collegamento tra il sistema di scambio di quote di emissione della Svizzera e quello dell'UE. In tal modo le imprese svizzere hanno accesso a un mercato più vasto e più liquido per i diritti di emissione. Infine, anche l'aviazione svizzera è stata integrata nel SSQE, quindi assoggettata alle regolamentazioni imposte dalla politica climatica.

7.3.3 Programma Edifici

Il 30 per cento delle emissioni di CO₂ in Svizzera e del consumo energetico sono imputabili al settore degli edifici. Circa due terzi degli edifici sono riscaldati con combustibili fossili (UST 2019) e oltre un milione di case devono essere risanate dal punto di vista energetico (Il Programma Edifici 2018). La Confederazione e i Cantoni intendono-

Fig. 73: Economie di CO₂ con il Programma Edifici

Economie di CO₂ sull'intera durata di vita delle misure per ambito di finanziamento ed economie di CO₂ durature⁴¹ dell'intero Programma Edifici ogni anno (circa 0.5 mio. t CO₂ / anno).



Fonte: Il Programma Edifici (2018)

no sfruttare di più questo potenziale e, nell'ambito della legislazione sul CO₂ e sull'energia, attuano diverse misure per ridurre le emissioni di CO₂ e il consumo energetico degli edifici.

Dal 2000 la Confederazione versa già ogni anno ai Cantoni contributi finanziari globali a favore di programmi di incentivazione per promuovere un impiego parsimonioso e razionale dell'energia e per utilizzare energie rinnovabili e calore residuo. Nel 2010 si è aggiunto il Programma Edifici nazionale e, nel 2017, i due strumenti sono stati riuniti. Il Programma Edifici è sostenuto congiuntamente da Confederazione e Cantoni.

I Cantoni sono responsabili della sua attuazione. Vengono incentivati interventi edilizi, tra cui l'isolamento termico degli involucri degli edifici, la sostituzione di riscaldamenti fossili o elettrici diretti con l'allacciamento a una rete termica o a sistemi di riscaldamento con energie rinnovabili, come pure completi risanamenti energetici e nuove costru-

zioni secondo lo standard Minergie-P. Dal 2018, sempre nell'ambito del Programma Edifici, è prevista la possibilità di incentivare anche misure indirette tra cui manifestazioni specialistiche, corsi di formazione e formazione continua, analisi e consulenza, garanzia della qualità, certificati (p. es. CECE, Minergie, Aree 2000 Watt, SNBS) ecc.

In base all'analisi dell'impatto del Programma Edifici, nel 2018 il parco immobiliare svizzero ha consumato 2,1 miliardi di kilowattora (kWh) di energia in meno e ha prodotto 0,55 milioni di tonnellate di CO₂ in meno rispetto al 2010 (fig. 73). Sull'intera durata di vita, l'impatto sull'energia e sul CO₂ delle misure incentivate raggiunge cumulativamente quasi 55 miliardi di kWh e oltre 13 milioni di tonnellate di CO₂.

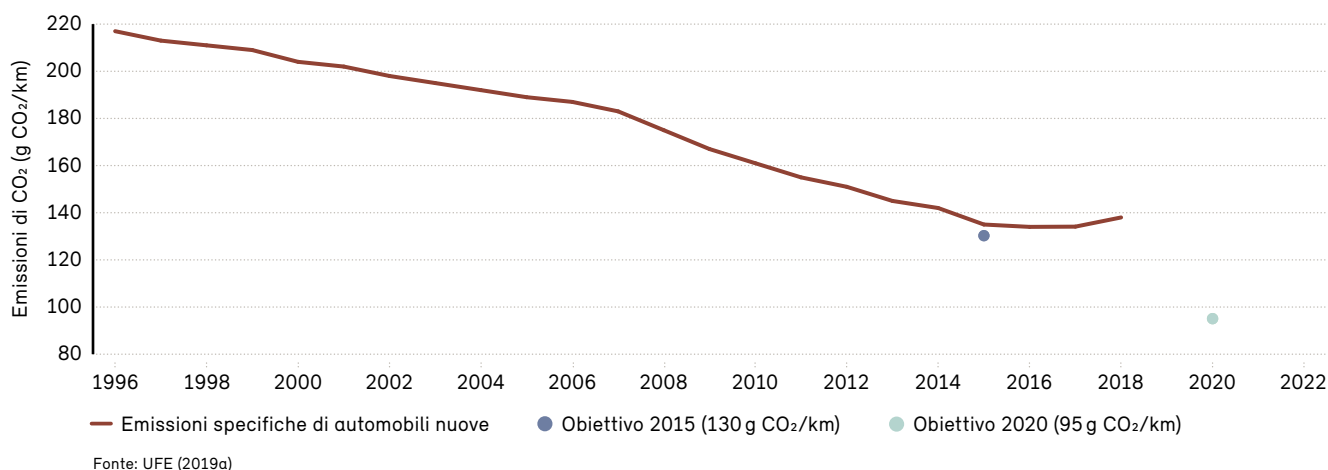
7.3.4 Prescrizioni in materia di emissioni di CO₂ applicabili ai veicoli

In analogia con i provvedimenti adottati dall'Unione europea, nel 2012 la Svizzera ha introdotto prescrizioni in materia di emissioni di CO₂ applicabili alle automobili nuove. Gli obiettivi di riduzione per i veicoli nuovi vengono periodicamente inaspriti. Per le automobili è stato sta-

⁴¹ Gli effetti del Programma Edifici persistono fino al raggiungimento della fine della vita utile degli elementi di costruzione e degli impianti incentivati (Il Programma Edifici 2018).

Fig. 74: Evoluzione delle emissioni medie delle automobili di nuova immatricolazione

Evoluzione dei valori medi delle emissioni generate dalle automobili di nuova immatricolazione in Svizzera nel periodo 1996–2018.



bilito un valore obiettivo riguardante la media del parco veicoli nuovi di 130 g CO₂/km per il 2015 e 95 g CO₂/km per il 2020 (fig. 74). Ai furgoni e ai trattori a sella leggera ammessi alla circolazione per la prima volta si applica un valore obiettivo di 147 g CO₂/km nel 2020. Gli importatori che non rispettano l'obiettivo prescritto devono pagare una sanzione per ogni grammo di CO₂ che supera il valore obiettivo. L'obiettivo per il 2015 non è stato raggiunto e le emissioni medie di CO₂ per chilometro sono addirittura leggermente aumentate tra il 2016 e il 2018.

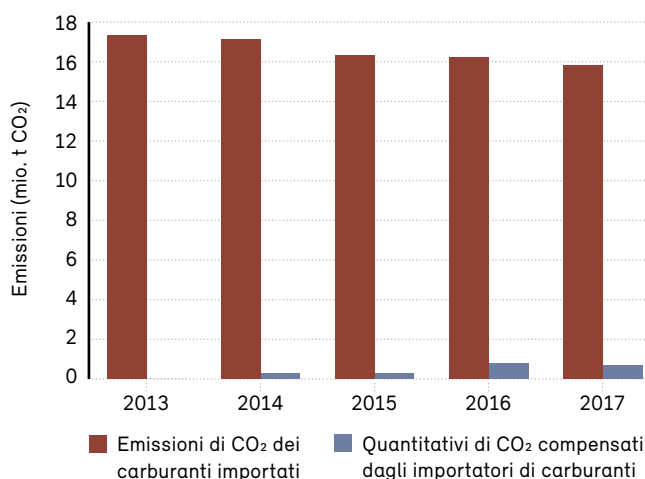
7.3.5 Compensazione delle emissioni di CO₂

La legge sul CO₂ impone agli importatori di carburanti e ai gestori di centrali termiche a combustibili fossili di compensare in Svizzera una parte delle loro emissioni. L'UFAM emette attestati per i progetti di riduzione delle emissioni in Svizzera che possono essere computati ai fini della compensazione nazionale. Nel 2017, con questi progetti di riduzione sono state compensate 795 380 t CO₂ (fig. 75).

Per poter essere attestate nell'ambito di un progetto in Svizzera, le riduzioni delle emissioni devono soddisfare numerosi requisiti. L'attestato è rilasciato soltanto se il progetto o il programma non sarebbe redditizio né realizzato senza i proventi della vendita degli attestati. Inoltre, la prestazione di riduzione del progetto o del programma deve portare a una riduzione delle emissioni supplementare rispetto a uno sviluppo di riferimento (addizionalità).

Fig. 75: Compensazione di emissioni da parte degli importatori di carburanti

Evoluzione dei quantitativi di emissioni dei carburanti importati e dei quantitativi di emissioni compensate dagli importatori.



I progetti di compensazione possono essere realizzati in diversi ambiti. Ne sono un esempio l'utilizzazione e la prevenzione del calore residuo (come l'utilizzazione del vapore nell'industria o l'utilizzazione del calore residuo degli impianti di depurazione delle acque), l'utilizzo efficiente del calore di processo da parte dell'utente finale, l'ottimizzazione degli impianti (come l'integrazione del processo energetico o l'abbassamento del livello della temperatu-

ra), l'utilizzo di biogas o il miglioramento dell'efficienza nel trasporto di persone o merci (UFAM 2019e).

7.3.6 Misure attualmente in discussione per la futura politica sul clima

Il 25 settembre 2020 il Parlamento ha approvato la revisione della legge sul CO₂ per il periodo 2021 – 2030 (cfr. cap. 7.2). Per conseguire gli obiettivi si prevede in primo luogo di proseguire e rafforzare gli strumenti esistenti. Nuove misure importanti sono l'introduzione di valori limite di CO₂ nel settore degli edifici, le tasse nel settore del trasporto aereo e l'istituzione di un fondo per il clima.

Secondo l'IPCC, il bilancio netto globale delle emissioni (emissioni prodotte meno il quantitativo di emissioni che vengono di nuovo sottratte dall'atmosfera in modo duraturo) dovrà essere azzerato entro il 2070 per limitare il riscaldamento al di sotto dei 2 °C. In aggiunta alle misure volte a ridurre le emissioni, è dunque importante valutare anche il potenziale delle misure che consentono la cattura e lo stoccaggio duraturo delle emissioni di CO₂. Il 2 settembre 2020, il Consiglio federale ha approvato il rapporto sull'importanza delle emissioni negative di CO₂ per la futura politica climatica della Svizzera, adempiendo in tal modo il postulato 18.4211 della consigliera agli Stati Adèle Thorens Goumaz. Per rimuovere in modo duraturo il CO₂ dall'atmosfera (le cosiddette emissioni negative) occorrono tecnologie speciali, finora disponibili solo in parte. Il rapporto raccomanda al Consiglio federale di creare sin da ora le condizioni quadro per la forte espansione di queste tecnologie.

Con l'elaborazione di una strategia per il clima sul lungo periodo, la Svizzera adempie un compito assunto con la ratifica dell'Accordo di Parigi. La strategia dovrà illustrare come la Svizzera può raggiungere l'obiettivo di emissioni nette pari a zero entro il 2050.

7.4 Altri importanti contributi per la riduzione delle emissioni

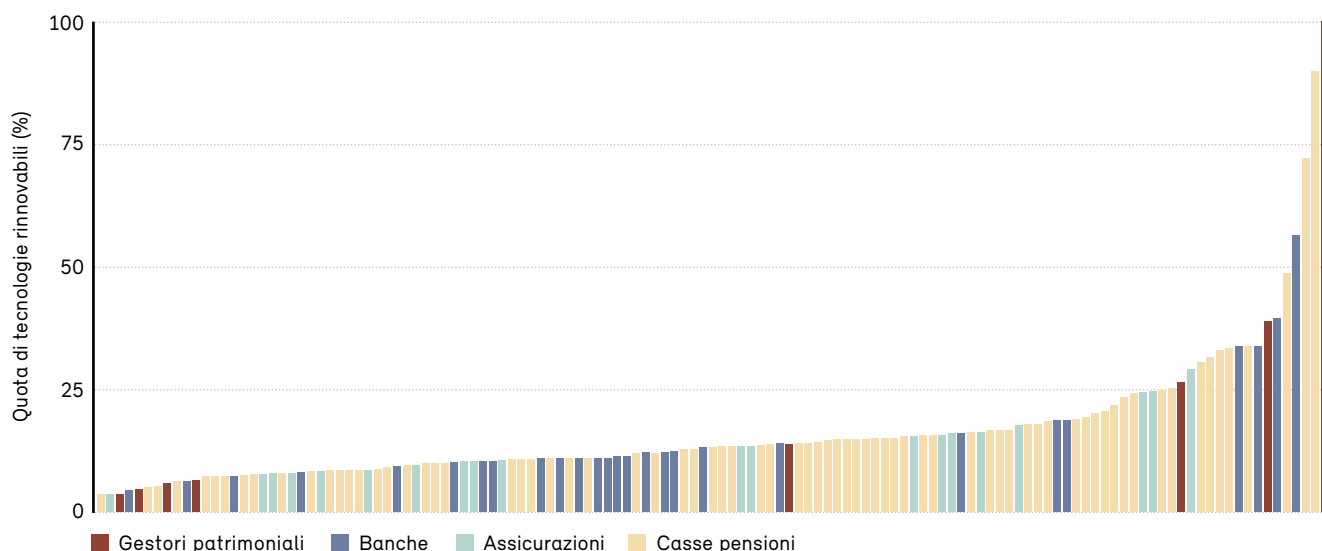
Oltre alle misure previste dalla legge sul CO₂, vi sono ulteriori contributi e legislazioni che concorrono alla riduzione delle emissioni.

7.4.1 Mercato finanziario: misurazione dei progressi sui flussi finanziari clima-compatible

Secondo l'articolo 2.1.c dell'Accordo di Parigi la comunità di Stati si è impegnata a rendere clima-compatible i flussi finanziari globali. Questo obiettivo riveste una notevole importanza per la Svizzera. La piazza finanziaria svizzera, con una quota superiore al 9 per cento del prodotto interno lordo, rappresenta un settore importante per l'economia del Paese. Con le loro decisioni di investimento e di finanziamento, gli investitori istituzionali, tra cui banche, gestori di patrimoni, assicurazioni e casse pensioni, possono favorire o frenare il passaggio a un'economia mondiale sostenibile per il clima. Dal punto di vista climatico, per esempio, è determinante se continueranno a essere investiti ingenti capitali in imprese che producono energia elettrica dal carbone oppure se gli investimenti saranno convogliati in imprese che puntano sulle energie rinnovabili. Gli investimenti e i finanziamenti sono clima-sostenibili se in linea con l'obiettivo climatico sancito a livello internazionale di mantenere il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2 °C. Questo obiettivo, che per il momento deve essere raggiunto attraverso misure volontarie del settore finanziario, è stato esplicitamente inserito dal Parlamento nell'articolo di scopo della legge sul CO₂ sottoposta a revisione totale. Il Consiglio federale ha istituito anche un gruppo di lavoro con il compito di esaminare le condizioni quadro che consentono alla piazza finanziaria svizzera di essere competitiva nell'ambito della finanza sostenibile.

Per stimare la sostenibilità climatica della piazza finanziaria svizzera, l'UFAM e la Segreteria di Stato per le questioni finanziarie internazionali (SFI) hanno avviato nel 2020 un secondo ciclo di test esaustivi volti a valutare la compatibilità climatica dei portafogli finanziari. Le banche svizzere, i gestori di patrimoni, le casse pensioni e le assicurazioni hanno potuto far analizzare i loro portafogli, in forma facoltativa e anonima. Ben 179 istituti finan-

Fig. 76: La figura illustra le tecnologie rinnovabili nel settore dell'energia come quota dell'esposizione generale del settore
 Ogni linea rappresenta il risultato di un singolo partecipante. L'altra percentuale indica sia i carburanti con elevato tenore di carbone sia le alternative a basso tenore di carbone associate ad altre fonti controverse per l'ambiente (p. es. energia idroelettrica e nucleare).



ziari, più del doppio rispetto alla prima tornata svoltasi nel 2017, hanno partecipato a questo ciclo di test facoltativi.

Per i test è stato applicato il metodo PACTA (Paris Agreement Capital Transition Assessment)⁴², che consente un'analisi standardizzata di azioni globali, obbligazioni aziendali e portafoglio di crediti. I piani di investimento e di produzione delle società detenute nei portafogli per i prossimi cinque anni sono confrontati con gli obiettivi⁴³. In tal modo sarà possibile determinare la composizione ideale di un portafoglio affinché sia clima-compatibile. Un modulo supplementare ha permesso di analizzare nel 2020 anche i portafogli immobiliari e ipotecari svizzeri. Con l'analisi di questi settori clima-rilevanti è stato possibile registrare il 70–90 per cento delle emissioni collegate indirettamente ai mercati dei capitali.

I risultati (2° Investing Initiative et al. 2020) mostrano non solo che il mercato finanziario svizzero ha investito in misura massiccia nel settore dell'estrazione di petrolio e di carbone ma anche che addirittura ne cofinanzia l'amplia-

mento. Ciò è contrario all'obiettivo dell'Accordo di Parigi di rendere clima-compatibili i flussi finanziari. Inoltre, questi investimenti celano rischi finanziari nel caso in cui i vettori energetici fossili divenissero meno attrattivi a seguito di misure nel quadro della politica climatica. Sono tuttavia stati registrati dei progressi: i partecipanti che hanno indicato di essere intervenuti a seguito dei test 2017, nel 2020 ottengono risultati migliori rispetto alla concorrenza. Inoltre, numerosi istituti finanziari detengono nei loro portafogli un numero maggiore di società attive nel settore delle energie rinnovabili e dell'elettromobilità.

Due terzi dei partecipanti ai test hanno indicato di perseguire strategie climatiche. Sussiste tuttavia la necessità d'agire affinché queste mostrino i loro effetti e la clientela sia sufficientemente informata sui rischi climatici e sulle ripercussioni dei propri investimenti. Più della metà degli istituti che, secondo quanto affermato, non considerano il carbone nei loro investimenti detengono ancora azioni e obbligazioni di aziende che estraggono carbone o producono energia dal carbone.

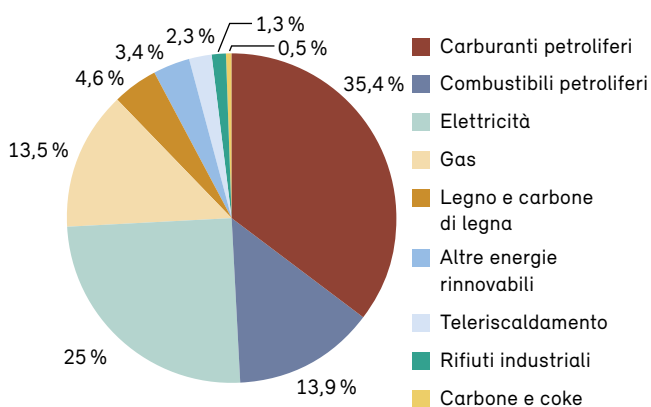
⁴² www.transitionmonitor.com/pacta-2020

⁴³ Il modello PACTA utilizzato nel test della sostenibilità climatica si basa sullo scenario dei 2 gradi sviluppato dall'Agenzia internazionale dell'energia (AIE 2017) e lo traduce in strategie regionali tecnologiche e di decarbonizzazione per i settori economici particolarmente rilevanti per il clima.

7.4.2 Strategia energetica 2050

Nel 2018 quasi due terzi dell'approvvigionamento energetico finale della Svizzera derivavano da vettori energetici fossili (carburanti petroliferi, combustibili petroliferi e gas) (fig. 77). Per la salvaguardia del clima è indispensabile ridurre questo predominio delle energie fossili.

Fig. 77: Quote dei singoli vettori energetici nell'approvvigionamento energetico del 2018



Fonte: UFE (2019d)

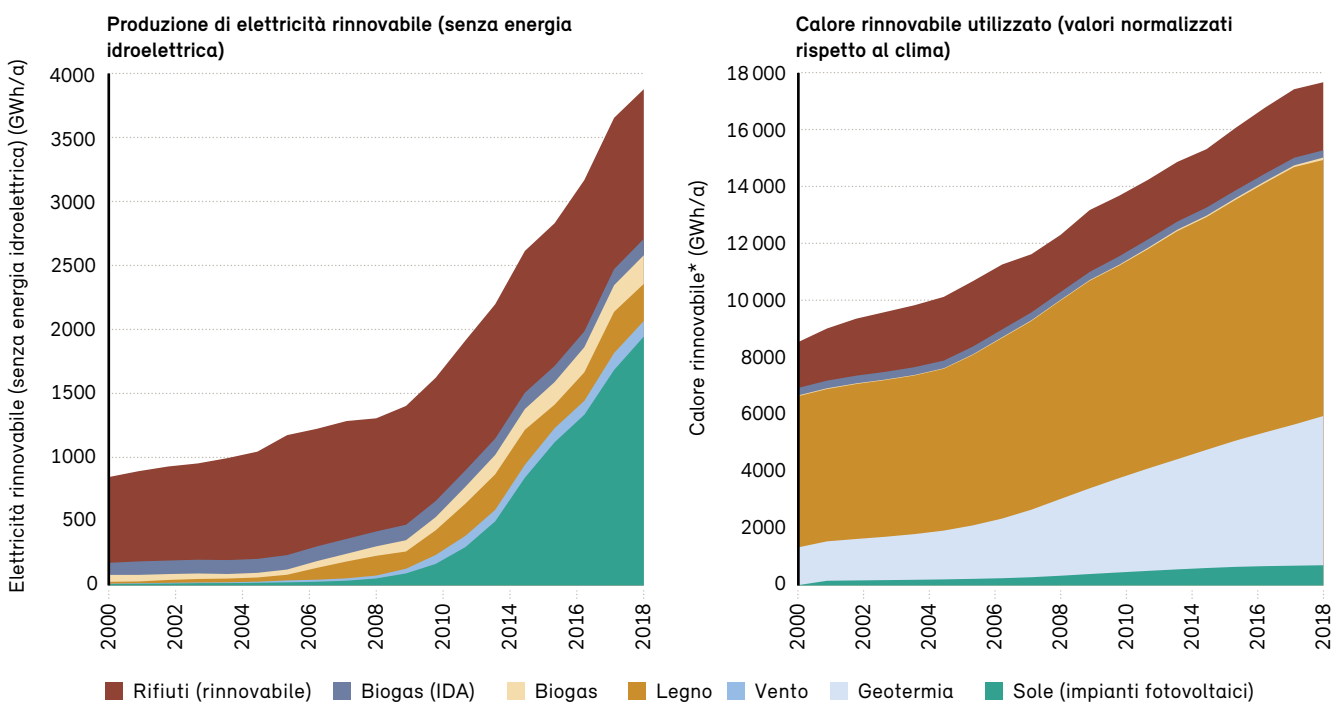
Un minore consumo di vettori energetici fossili e, contemporaneamente, la progressiva uscita dal nucleare, come proposto nella nuova legislazione sull'energia entrata in vigore nel 2018, richiedono diversi adattamenti. La Strategia energetica 2050 vuole trasformare gradualmente il sistema svizzero dell'approvvigionamento energetico (UFE 2019d). La nuova legge sull'energia (LEne) prevede segnatamente la promozione delle energie rinnovabili. Oltre all'energia idroelettrica, gli altri vettori energetici rinnovabili, come il sole o il vento, producono solo una quota esigua di elettricità (2018: 6,1 %) (UFE 2019d). Le energie rinnovabili hanno comunque registrato un forte sviluppo (fig. 78).

Il solo aumento delle energie rinnovabili non riuscirà probabilmente a sostituire completamente l'energia fossile e nucleare, quindi la LEne prevede maggiori sforzi volti al risparmio energetico. Entro il 2035 il consumo finale di energia pro capite all'anno dovrà diminuire del 43 per cento rispetto al livello del 2000. Dal 2000 si osserva una riduzione del consumo finale di energia pro capite,

Fig. 78: Utilizzo di energie rinnovabili per singoli vettori energetici

Evoluzione della produzione di elettricità da energie rinnovabili (senza l'energia idroelettrica) e da calore rinnovabile, 2000–2017 (GWh/a).

* Valori normalizzati rispetto al clima



Fonte: UFE (2019c)

cui hanno contribuito non solo le misure politiche e il progresso tecnologico (isolamento termico, illuminazione o riscaldamento più efficienti), ma anche la sostituzione di sistemi di riscaldamento fossili con sistemi di riscaldamento rinnovabili (fig. 79) (UFE 2019e; UST 2020b; Prognos, TEP, Infrac 2019a+b).

7.4.3 Riduzione delle emissioni in agricoltura

La riduzione delle emissioni di gas serra generate dall'agricoltura è di pertinenza della legislazione in materia. Il 12 febbraio 2020 il Consiglio federale ha approvato il messaggio sullo sviluppo ulteriore della Politica agricola a partire dal 2022 (PA22+). La PA22+ consentirà di ridurre le emissioni di gas serra e di mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura.

Già dal 2011 è stata approntata la «Strategia sul clima per l'agricoltura» che interessa una prospettiva temporale più lunga (UFAG 2011). Questa strategia climatica ha come obiettivo prioritario la riduzione di almeno un terzo delle emissioni entro il 2050 rispetto al livello del 1990. Diverse misure sono tese a conseguire tale obiettivo, tra l'altro l'aumento dell'efficienza della produzione animale, la riduzione delle emissioni nello stoccaggio e nello spandimento di concimi nonché il maggior impiego di energie rinnovabili. La sfida consiste anche nel raggiungere l'obiettivo e, contemporaneamente, coprire il crescente fabbisogno di generi alimentari (UFAG 2011). Presupponendo, oltre alle misure menzionate, cambiamenti nei

consumi e nell'alimentazione, secondo la Strategia sul clima per l'agricoltura è possibile ridurre le emissioni anche di due terzi entro il 2050 rispetto al 1990.

7.4.4 Cambiamento di comportamento

In aggiunta alle misure politiche e giuridiche, per ridurre le emissioni occorre cambiare il comportamento individuale. Uno dei maggiori ostacoli a un comportamento ecologico è che, per il singolo, implica spesso notevoli vantaggi diretti, tra cui l'allungamento dei tempi di viaggio, spese più elevate o, generalmente, la rinuncia a determinate abitudini energivore (p. es. i viaggi in aereo) considerate importanti. D'altro canto, le conseguenze positive non sono percepibili direttamente e, spesso, si esplicano solo in seguito.

A rendere più difficile il cambiamento del comportamento individuale è anche il fatto che il contributo del singolo non produce praticamente alcun effetto se molti altri mantengono un comportamento pregiudizievole per l'ambiente. La rinuncia da parte del singolo si scontra con il senso di giustizia sino a quando anche gli altri non sono disposti a cambiare il proprio comportamento. Inoltre, l'essere umano tende ad attribuire un peso maggiore alle conseguenze a breve termine rispetto a quelle a lungo termine del proprio agire. Questo ordine di priorità, senz'altro ragionevole nella logica evolutiva, è piuttosto ben radicato e deve essere considerato negli sforzi di influenzare il comportamento.

Fig. 79: Evoluzione del consumo finale di energia pro capite

Evoluzione del consumo pro capite dal 2000 (escl. agricoltura, traffico aereo internazionale, consumo di gas per il funzionamento dei compressori del gasdotto di transito per il gas naturale). Le marcate oscillazioni sono dovute alle condizioni meteorologiche.

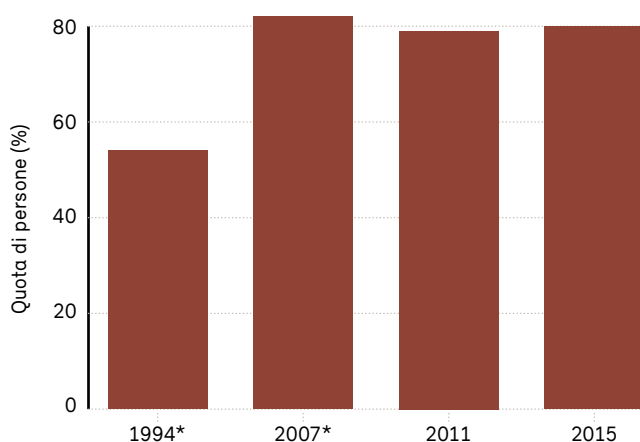


Fonti: UFAC (2019), UFE (2019e), UST (2020b), Prognos, TEP, Infrac (2019a)

Ammettere che il cambiamento climatico è un problema serio è una condizione imprescindibile per indurre gli esseri umani a contribuire alla soluzione. I sondaggi consentono di comprendere l'atteggiamento della popolazione nei confronti dei cambiamenti climatici. Negli ultimi dieci anni circa l'80 per cento degli interpellati era del parere che il cambiamento climatico rappresentasse un pericolo «piuttosto elevato» o «molto elevato». Nel 1994 solo il 54 per cento condivideva questa opinione (fig. 80).

Fig. 80: Atteggiamento nei confronti dei cambiamenti climatici

Quota di persone convinte che il cambiamento climatico rappresenti un pericolo «piuttosto elevato» o «molto elevato». 1994 e 2007: risultati dello studio svizzero sull'ambiente (PFZ); 2011 e 2015: sondaggio «Percezione della qualità dell'ambiente e comportamento ambientale» dell'UST.



* Nel 1994 e nel 2007 è stata utilizzata una scala a cinque livelli invece che a quattro, pertanto i risultati non sono del tutto confrontabili.

Fonti: UST (2011, 2015), PFZ (1994, 2007)

Informazione, formazione e sensibilizzazione sono gli approcci più comuni per indurre le persone ad adottare un comportamento più rispettoso dell'ambiente. Le migliori possibilità di successo si otterranno stabilendo un nesso personale con i rischi legati ai cambiamenti climatici. Per evitare che le persone si sentano impotenti ed eccessivamente sollecitate, è importante mostrare soluzioni concrete e possibili contributi al miglioramento della situazione.

Un altro importante fattore di motivazione per il comportamento è l'inclusione sociale. Le misure collettive, per le quali i gruppi si pongono per esempio obiettivi concordati e il contributo dei singoli può addirittura essere reso pubblico, sono spesso più incisive di quelle che si rivolgono alle persone individualmente. Le persone considerano spesso il comportamento altrui come un'indicazione di quale comportamento sia appropriato e auspicabile, in altre parole tendono a orientare il loro comportamento a quello della maggioranza. Piuttosto che sottolineare quante persone continuano a comportarsi in modo dannoso per il clima, sarebbe quindi più opportuno richiamare i comportamenti esemplari.

Come misure di protezione del clima sono efficaci anche piccoli, ma importanti cambiamenti nelle situazioni interessate da un determinato comportamento. L'obiettivo è rendere l'approccio clima-compatibile più semplice, più comodo, più allettante e più vantaggioso. Tali misure, spesso definite «spinta gentile» (in inglese: *nudging*) stanno diventando sempre più popolari poiché di solito hanno un impatto immediato, indipendente dalla consapevolezza ambientale individuale.

Un esempio efficace di spinta gentile sono i cosiddetti «default» (impostazioni predefinite), secondo cui le persone, quando sono poste di fronte a una scelta, preferiscono la variante (standard) più semplice e ovvia. Se, per esempio, un'azienda elettrica fornisce corrente ecologica come standard, saranno relativamente poche le persone che optano attivamente per un'altra variante meno ecologica, anche se più economica.

8 Adattamento ai cambiamenti climatici

In Svizzera i cambiamenti climatici hanno già dato origine a numerosi mutamenti (cfr. cap. 5 e 6). In futuro non potranno essere evitati, ma soltanto limitati. Per questo motivo l'adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici in Svizzera assume un'importanza sempre maggiore.

Dal 2012 l'adattamento ai cambiamenti climatici è sancito nella legge sul CO₂⁴⁴. Detta legge attribuisce alla Confederazione il mandato di coordinare le misure di adattamento e di predisporre le basi necessarie all'adattamento. Anche l'Accordo di Parigi sottolinea l'importanza dell'adattamento. Con la sua strategia «Adattamento ai cambiamenti climatici in Svizzera», il Consiglio federale ha posto le basi per una procedura coordinata a livello federale che faccia fronte alle conseguenze dei cambiamenti climatici. Gli obiettivi della strategia sono:

- ridurre al minimo i rischi dovuti al clima;
- sfruttare le opportunità dei cambiamenti climatici;
- aumentare la capacità di adattamento di società, economia e ambiente.

La strategia di adattamento si compone di due parti: la prima, che risale al 2012, contiene obiettivi, sfide e campi d'intervento nell'adattamento ai cambiamenti climatici (Confederazione Svizzera 2012). Su tale base sono stati elaborati due piani d'azione con misure concrete di adattamento per i periodi 2014–2019 (Confederazione Svizzera 2014) e 2020–2025 (Confederazione Svizzera 2020) riguardanti la gestione dei pericoli naturali, la protezione del suolo, la gestione delle acque, l'agricoltura e l'economia forestale, l'energia, il settore dell'alloggio, il turismo, la gestione della biodiversità, la sanità e lo sviluppo territoriale.

Il presente capitolo illustra alcuni esempi di attività di adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici. Il piano d'azione (cap. 8.1) e il programma pilota (cap. 8.2) forniscono una visione d'insieme delle diverse attività di adattamento a livello locale e regionale. Infine sono presentate alcune misure concernenti la gestione delle acque (cap. 8.3), lo sviluppo territoriale (cap. 8.4), la gestione dei

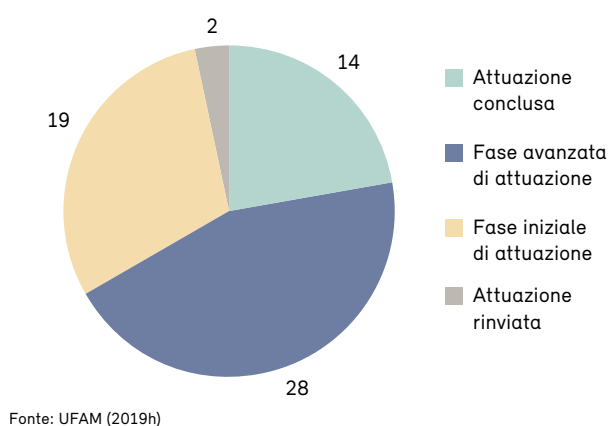
pericoli naturali (cap. 8.5), l'economia forestale (cap. 8.6) e il turismo invernale (cap. 8.7) menzionando brevemente anche le attività di adattamento in altri settori (cap. 8.8).

8.1 Piano d'azione

Il piano d'azione 2020–2025 contiene 75 misure degli uffici federali per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Di queste, 63 sono volte a verificare e migliorare le condizioni quadro per l'adattamento ai cambiamenti climatici nelle politiche settoriali, a migliorare le basi di conoscenze attraverso il monitoraggio e la ricerca e ad attuare gli adattamenti. Le altre 12 hanno un orientamento inter-settoriale. Mirano a migliorare le basi di conoscenze e la capacità d'intervento mediante il coordinamento, l'informazione e la sensibilizzazione.

Il bilancio finale del piano d'azione 2014–2019 è positivo. Sono state portate a termine 14 delle 57 misure⁴⁵, 28 sono in fase avanzata di attuazione⁴⁶ e 19 si trovano nella fase iniziale. L'attuazione di due misure è stata rinviata.

Fig. 81: Stato di attuazione delle misure a livello federale, 2019⁴⁷



⁴⁵ La figura 81 include 60 risposte, poiché per le misure n1 e n7 sono state considerate le risposte di tutti gli uffici competenti.

⁴⁶ Include tutti i compiti permanenti

⁴⁷ Lo stato di attuazione delle misure l1–l6 non è riportato nella figura 81.

⁴⁴ Legge sul CO₂ (RS 641.71).

Una valutazione della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici (Landis et al. 2017) giunge alla conclusione che la strategia ha fornito un contributo importante all'adattamento. Da un lato, ha creato un quadro di riferimento comune per l'azione coordinata da parte degli uffici federali coinvolti e dei Cantoni. Dall'altro, lo sviluppo della strategia, inclusa l'elaborazione sistematica di tematiche rilevanti ai fini dell'adattamento, ha sensibilizzato gli uffici federali in materia e li ha spinti ad agire.

8.2 Programma pilota «Adattamento ai cambiamenti climatici»

Il programma pilota sostiene l'attuazione della strategia di adattamento a livello locale e regionale. Promuove progetti di adattamento innovativi, esemplari e intersettoriali. Inoltre sensibilizza i Cantoni, le città e i Comuni all'importanza dell'adattamento ai cambiamenti climatici e alle possibilità di intervento che già esistono.

Il programma pilota è un'attività comune promossa da diversi uffici federali. Nella prima fase, dal 2014 al 2017, sono stati realizzati 31 progetti (UFAM 2017a). Alla seconda fase del programma, che è cominciata nel 2019 e sostiene 50 progetti, partecipano dieci uffici federali⁴⁸. I progetti sono distribuiti geograficamente in tutto il Paese e suddivisi in sei tematiche prioritarie (fig. 82).

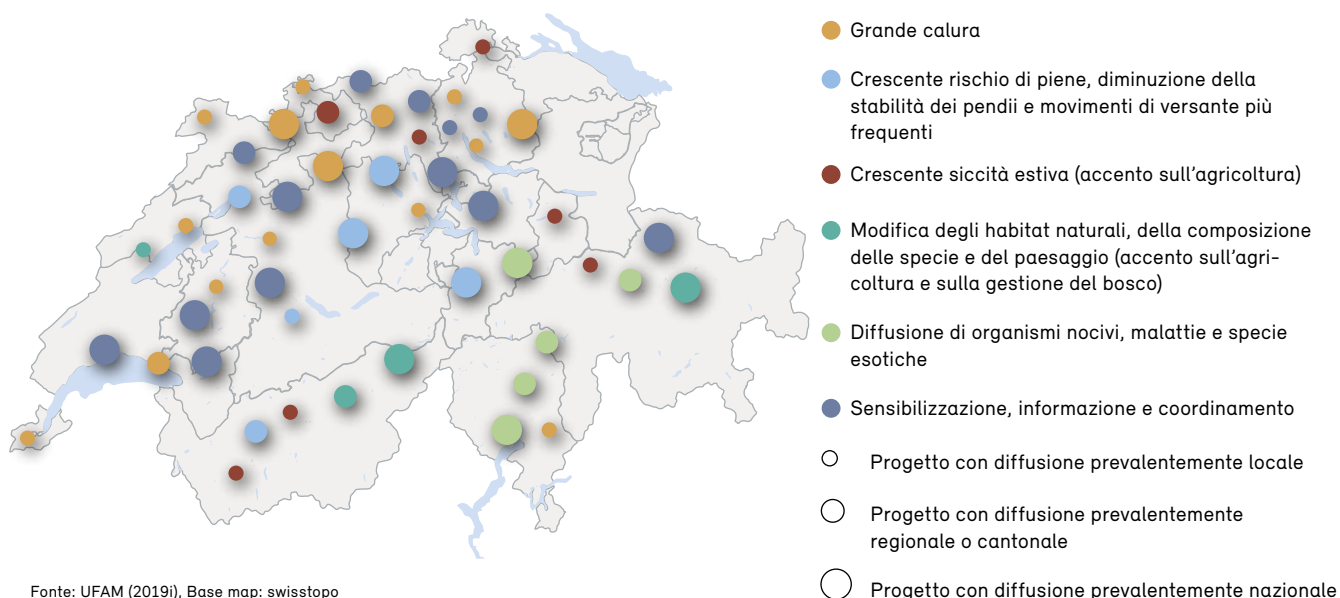
La molteplicità delle sfide e delle soluzioni ipotizzabili si riflette anche nei 50 progetti sostenuti, che perseguono diversi approcci, tra cui l'efficienza dei materiali, la sperimentazione di processi di pianificazione, la creazione di nuove reti e lo sviluppo di strumenti di sensibilizzazione e di partecipazione. Alla conclusione dei progetti, le esperienze acquisite confluiranno in attività di adattamento in altri Cantoni, regioni e Comuni⁴⁹.

48 UFAM, ARE, USTRA, UFPP, UFE, UFSP, USAV, UFAG, UFAB e MeteoSvizzera

49 Per maggiori informazioni: www.nccs.admin.ch/programma-pilota

Fig. 82: Progetti pilota di adattamento ai cambiamenti climatici

Distribuzione geografica e tematica dei 50 progetti pilota.



8.3 Adattamento nella gestione delle acque

Nella strategia di adattamento ai cambiamenti climatici adottata dal Consiglio federale, la gestione delle acque orientata all'offerta è indicata come uno dei requisiti per conseguire gli obiettivi formulati (Confederazione Svizzera 2012). Con l'adozione del rapporto «Gestione della penuria di acqua a livello locale in Svizzera» (UFAM 2012c), il Consiglio federale ha deciso alcune misure per la gestione delle risorse idriche che consentiranno di fare fronte alle situazioni di penuria a breve e a lungo termine secondo un approccio integrato. Successivamente l'UFAM ha elaborato diversi strumenti⁵⁰ concernenti i problemi di penuria di acqua. Queste basi pratiche sostengono i Cantoni nella gestione integrata delle acque. I Cantoni che approntano una lungimirante pianificazione delle risorse idriche a livello regionale possono individuare tempestivamente i problemi, affrontarli ed evitare conflitti di utilizzo.

Le strategie cantonali di gestione delle acque, la gestione regionale delle risorse idriche e la pianificazione dell'approvvigionamento idrico sono elementi essenziali per un approccio sostenibile (UFAM et al. 2019). Dieci Cantoni hanno già proprie strategie di gestione dell'acqua, quattro Cantoni le stanno elaborando e in due Cantoni sono previste (UFAM et al. 2019).

La rinaturazione dei corsi d'acqua è, in molti casi, una misura opportuna per limitare gli effetti negativi sul loro bilancio termico. Vasche profonde e l'assenza di soglie elevate consentono ai pesci di ritirarsi in acque profonde fredde oppure di risalire i corsi d'acqua. La vegetazione ripariale ha un effetto positivo sulla temperatura dell'acqua ed è molto importante per gli organismi acquatici che prediligono acque fredde. I cespugli e gli alberi non solo creano strutture differenziate ed ecologicamente importanti, ma l'ombra che producono riduce anche il riscaldamento delle acque (Rutherford et al. 2004, Maison de la Rivière 2012, Bowler et al. 2012).

⁵⁰ P. es. Grundlagen für die Wasserversorgung 2025 (UFAM 2014a, solo in tedesco), basi pratiche per la gestione delle risorse idriche: strumenti per la diagnosi precoce di problemi di penuria di acque (carte della penuria d'acqua) (Chaix et al. 2016), Erarbeitung von Massnahmen zur langfristigen Sicherstellung der Wasserressourcen (proposte di misure volte a garantire sul lungo termine le risorse idriche; Wehse et al. 2017), Umgang mit Wasserressourcen in Ausnahmesituationen (cassetta degli attrezzi finalizzata a superare in breve tempo situazioni di penuria d'acqua; Zahner & Guhl 2017).

8.4 Adattamento nello sviluppo territoriale

Anche le misure di pianificazione territoriale svolgono un ruolo importante nell'adattamento ai cambiamenti climatici. L'Ufficio federale dello sviluppo territoriale (ARE) ha come tematica prioritaria l'elaborazione di basi per i pianificatori, l'ampliamento e l'adattamento dei propri strumenti di pianificazione territoriale, la promozione di progetti pilota innovativi e la sensibilizzazione a tematiche tra cui lo sviluppo urbano adattato al clima e una pianificazione territoriale basata sui rischi. L'effetto delle isole di calore dovrà essere ridotto con le possibilità offerte dagli strumenti di pianificazione territoriale⁵¹. Gli spazi non edificati e le aree verdi agevolano la circolazione dell'aria e contribuiscono a migliorarne la qualità.

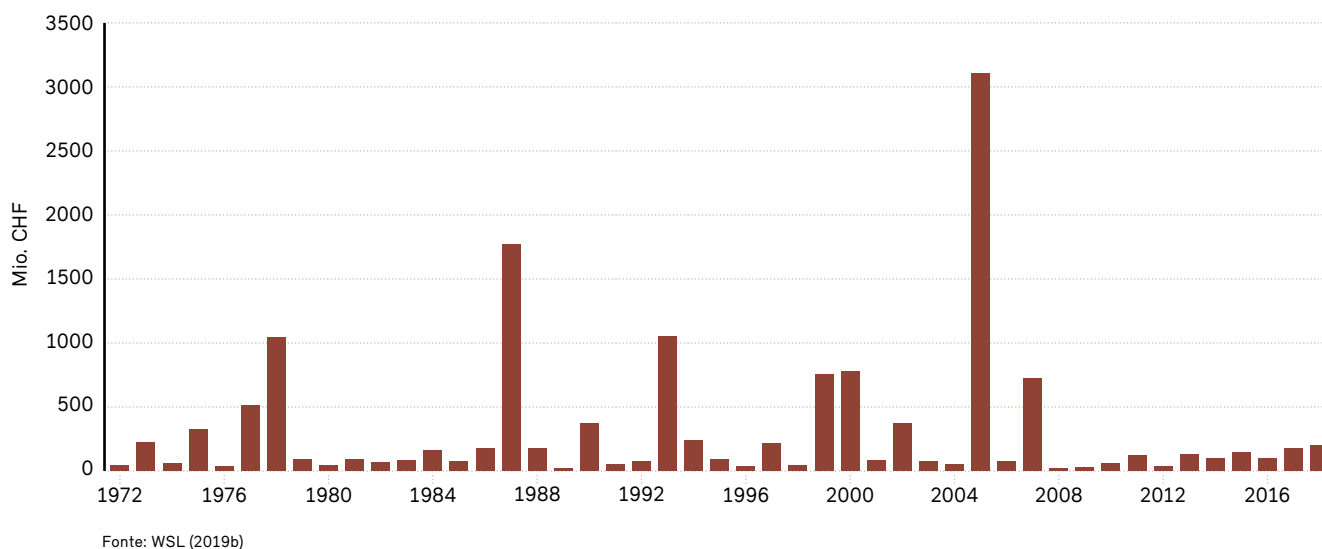
Un progetto realizzato a Sion nell'ambito del progetto pilota «Adattamento ai cambiamenti climatici» (cfr. cap. 8.2), è un ottimo esempio per dimostrare come le ondate di calore possono essere affrontate con misure di pianificazione territoriale. Negli ultimi decenni Sion era la città svizzera che ha registrato il maggior rialzo delle temperature. Non è dunque un caso che vi sia stato realizzato il progetto di uno sviluppo urbano adattato al clima, con l'appropriato nome di *ACCLIMATATION*. Sono state messe in pratica diverse misure per impedire la formazione di isole di calore, contenere le conseguenze negative sugli habitat naturali e migliorare la qualità di vita della popolazione: in una scuola, con l'aiuto degli alunni è stato creato un biotopo a effetto refrigerante. In una casa privata è stato realizzato il rinverdimento del tetto per favorire la biodiversità. Un'area centrale destinata a parcheggio è stata smantellata e trasformata in una piacevole piazza. Il principale progetto svolto a Sion è stata la riqualificazione del Cours Roger Bonvin, lungo 1 km, trasformato in un'oasi gradevole persino nelle giornate di caldo intenso grazie all'ombra della vegetazione, agli specchi d'acqua e agli allettanti giochi installati.

Anche diversi progetti della seconda fase del programma pilota della Confederazione riguardano lo sviluppo territoriale. Il progetto «Ottimizzare gli edifici urbani» della cit-

⁵¹ Per maggiori informazioni: UFAM e ARE 2018: Ondate di calore in città. Basi per uno sviluppo degli insediamenti adattato ai cambiamenti climatici. Ufficio federale dell'ambiente. Berna. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/clima/publicazioni-studi/publicazioni/ondate-di-calore-in-citta.html>

Fig. 83: Danni degli eventi naturali

Costo totale annuo dei danni (al netto dell'inflazione, anno di riferimento 2018) causati da piene, colate detritiche, scivolamenti, caduta di massi e rocce, frane, 1972 – 2018.



tà di Zurigo analizza le possibilità di influenzare il clima urbano locale con i propri progetti edilizi già nei concorsi di architettura e nelle procedure di pianificazione. I criteri legati al clima devono essere inseriti già nel capitolato d'oneri dei concorsi e utilizzati per lo sviluppo di progetti futuri. Nel quadro della pianificazione direttrice del Cantone del Giura, il progetto «La vegetazione arborea e la natura in città» sviluppa un piano per la salvaguardia, la manutenzione e lo sviluppo degli habitat naturali nella città di Porrentruy. Sulla base di una panoramica della situazione, vengono stabiliti obiettivi e designati gli spazi pubblici da riqualificare in riferimento alla loro biodiversità e all'importanza che rivestono per il clima locale.

8.5 Adattamento agli eventi naturali estremi

L'evoluzione dei costi dei danni causati dagli eventi naturali può fungere da indicatore dell'efficacia delle misure di protezione adottate. A prescindere dalle piene verificatesi nell'agosto 2005, l'evento naturale sinora più costoso della Svizzera, non si registra un aumento dei danni causati da eventi estremi (fig. 83). I fenomeni di maltempo registrati tra il 1972 e il 2018 hanno causato danni pari a 14,3 miliardi di franchi. L'aumento dei costi annui constatato dal 1970 non è affatto proporzionale all'espansione

demografica, alle zone edificate e alla densità dei beni materiali. Questa conclusione rassicurante è in gran parte frutto dell'efficacia delle misure di protezione adottate (UFAM e WSL 2007).

Per gestire meglio i pericoli naturali e, quindi, ridurre i danni provocati dagli eventi naturali, la Confederazione persegue l'approccio della gestione integrale dei rischi, che funge da riferimento anche per la strategia nazionale aggiornata per i pericoli naturali⁵² nella quale sono considerate le condizioni quadro, tra cui l'aumento degli eventi meteorologici estremi causati dai cambiamenti climatici (forti precipitazioni, ondate di calore ecc.) o la maggiore utilizzazione di aree esposte a rischi. Sono tenuti in considerazione anche i nuovi scenari climatici (CH2018 2018).

Ai fini della gestione integrale dei rischi è importante che i programmi di protezione siano progettati secondo criteri di solidità e realizzati all'insegna della flessibilità, inoltre deve essere considerato il rischio di sovraccarico. In tal modo le misure di protezione rimangono operative anche in caso di un cambiamento dei processi indotto dal mutamento del clima (p. es. intensità delle precipitazioni, portata, deflusso, materiale solido di fondo, legname gal-

⁵² Per maggiori informazioni: <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/53006.pdf>

leggiante). Con l'imminente modifica della legge federale sulla sistemazione dei corsi d'acqua (RS 721.100) vengono integrati, tra l'altro, i principi dell'utilizzazione del territorio basati sui rischi e diventa possibile promuovere tutte le misure nell'ottica della gestione integrale dei rischi.

Anche le misure menzionate nel piano d'azione «Adattamento ai cambiamenti climatici» nell'ambito della gestione dei pericoli naturali sono in sintonia con la gestione integrale dei rischi (Confederazione Svizzera 2014). Il monitoraggio continuo dei processi e degli eventi pericolosi rappresenta la base fondamentale per tutti gli ambiti della prevenzione dei pericoli e per i settori interessati dai pericoli naturali (p. es. l'agricoltura, i trasporti, l'energia).

I cambiamenti climatici pongono una notevole sfida alla protezione della popolazione. La preparazione agli eventi e l'intervento in caso di catastrofe ed emergenza sono compiti di primaria importanza, per i quali occorre individuare tempestivamente i rischi. A tal fine, i responsabili della prevenzione delle catastrofi ai vari livelli di Confederazione, Cantoni e Comuni lavorano servendosi di analisi dei rischi.

Nell'ambito del programma KATAPLAN, negli scorsi anni 20 Cantoni hanno svolto questo tipo di analisi dei rischi considerando anche l'impatto dei cambiamenti climatici. Alcuni Cantoni svolgono analisi in forma semplificata anche in ambito comunale. A livello di Confederazione viene applicato lo stesso metodo nel quadro dell'analisi nazionale dei rischi «Catastrofi e situazioni d'emergenza in Svizzera».

In considerazione dei rischi crescenti, un sistema ben funzionante di informazione, allerta e allarme della popolazione riveste una notevole importanza. La popolazione è messa a conoscenza dei pericoli naturali mediante l'apposito portale e l'app di MeteoSvizzera, da cui vengono lanciate anche le eventuali allerte. In aggiunta, l'UFPP gestisce insieme ai suoi partner la piattaforma nazionale «Alertswiss» che esiste anche come app per smartphone. I Cantoni possono in tal modo allarmare la popolazione e diffondere allerte e informazioni su catastrofi ed emergenze.

Nell'ambito dell'NCCS è stato analizzato il nesso tra le forti precipitazioni e gli interventi della divisione di protezione e soccorso della città di Zurigo (Schutz & Rettung Zürich; SRZ). L'analisi rivela una chiara correlazione tra la precipitazione e il numero di interventi di SRZ. Nel contempo ha evidenziato che nel prossimo futuro (20 anni) la crescita demografica e lo sviluppo degli insediamenti rappresentano per SRZ una sfida maggiore rispetto ai cambiamenti climatici. Gli effetti dei cambiamenti climatici potrebbero tuttavia assumere maggiore rilevanza nella seconda metà del secolo⁵³.

8.6 Economia forestale adattata al clima

Nel periodo 2009 – 2018 l'UFAM e il WSL hanno condotto il programma di ricerca «Bosco e cambiamenti climatici» con il quale hanno creato basi specifiche per stazione per la gestione forestale (Plüss et al. 2016). I risultati del programma sono stati discussi con numerosi esperti forestali le cui osservazioni sono quindi confluite nelle modellizzazioni dello sviluppo delle specie di piante in diverse condizioni climatiche (Frehner et al. 2018).

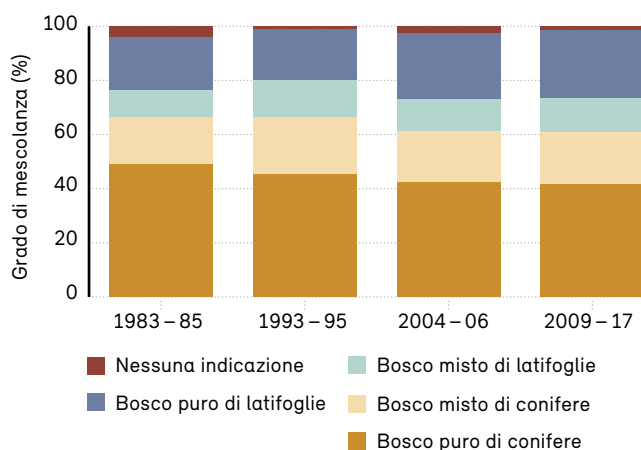
Un bosco misto prossimo allo stato naturale con una percentuale elevata di legni di latifoglie indigeni si adatta meglio alle temperature più elevate e alla siccità dei boschi puri o misti di conifere. Da una valutazione dei quattro Inventari forestali nazionali (IFN)⁵⁴ si evince che in Svizzera sta aumentando la quota di boschi misti o puri di latifoglie mentre diminuisce quella dei boschi puri di conifere (fig. 84). Questa evoluzione rivela che la gestione forestale considera maggiormente i criteri ecologici (ritorno a mescolanze di piante più o meno naturali sull'Altopiano). Da allora dovrebbe essersi confermata la tendenza all'aumento della percentuale di latifoglie nell'Altopiano.

⁵³ Per maggiori informazioni: <https://www.babs.admin.ch/it/publikservice/downloads/gefrisiken.html> e <https://www.nccs.admin.ch/nccs/it/home/il-nccs/le-tematiche-prioritarie/cambiamenti-climatici-e-protezione-della-popolazione.html>

⁵⁴ I quattro Inventari forestali nazionali riportano lo stato nei periodi 1983–1985 (IFN1), 1993–1995 (IFN2), 2004–2006 (IFN3) e 2009–2017 (IFN4). Dal 2009 è possibile consultare i risultati anno per anno.

Fig. 84: Superficie boschiva ripartita per grado di mescolanza

Rapporto percentuale tra i boschi di latifoglie e di conifere e la superficie boschiva sulla base dei quattro Inventari forestali nazionali (IFN), 1983–1985, 1993–1995, 2004–2006 e 2009–2013.



Fonte: Abegg et al. (2014)

In futuro la selvicoltura dovrà tenere maggiormente conto dei cambiamenti climatici. Oltre all'incerta evoluzione dei boschi, aumentano i rischi di incendi boschivi e la probabilità di eventi di forte vento fino alle tempeste. In diverse regioni del Paese sono attuate le prime misure di adattamento. Ecco alcuni esempi:

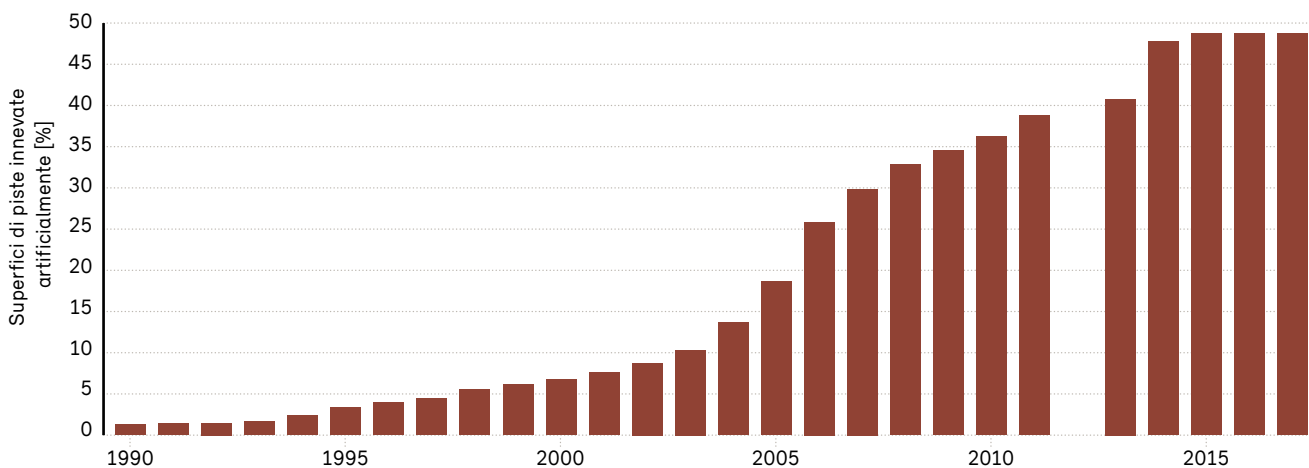
- Nei servizi forestali cantonali e nelle aziende forestali l'adattamento dei boschi ai cambiamenti climatici è tematizzato ovunque. Nell'azienda forestale della città di Baden, per esempio, viene promossa la quercia riducendo, in cambio, la quota di piante a rischio, soprattutto l'abete rosso. Si creano così boschi con specie indigene, adatte alla stazione (città di Baden 2005).
- In Vallese le estati calde e asciutte indeboliscono i pini provocandone una mortalità elevata, soprattutto a basse quote, al di sotto dei 1200 m s.l.m. Tale processo può essere influenzato solo in misura limitata con l'eliminazione dei pini infestati da insetti e funghi o il diradamento. Nei siti in questione cresce meglio la roverella, pianta indigena abituata alla siccità. Dal momento che non è più presente ovunque, dovrebbe essere introdotta attivamente dal servizio forestale a salvaguardia del bosco, che potrà così continuare a svolgere la sua funzione di protezione (Wohlgemuth 2006).

8.7 Adattamento nel turismo invernale

Sono sempre più numerosi i comprensori sciistici che ricorrono all'innevamento artificiale per prolungare la stagione e tenere aperte le piste poste a più basse quote (WSL 2019a). Se nel 1990 solo 2,3 km² di piste dispo-

Fig. 85: Quota delle superfici di piste con impianti di innevamento

Rapporto percentuale tra la superficie delle piste che possono essere innestate artificialmente e la superficie complessiva delle piste rilevate (100% = 180 km²), 1990–2017 (per il 2012 non vi sono dati disponibili). Il campione comprende 63 comprensori sciistici e copre l'80 per cento della superficie totale delle piste in Svizzera (totale 225 km²).



Fonte: FUS (2018a)

nevano di impianti di innevamento (1,3 % delle piste), nel 2017 sono aumentate a 88,2 km², ossia quasi la metà della superficie delle piste (fig. 85). Tuttavia il ricorso alla neve artificiale è dovuto anche ad altri fattori, per esempio la garanzia di piste di qualità elevata.

L'innervamento artificiale non è sostenibile. Non rappresenta una soluzione duratura dal momento che esige temperature dell'atmosfera vicino a zero gradi (WSL 2019a). Inoltre necessita di energia e acqua, il che può causare conflitti d'interesse di fronte alla penuria sempre più marcata di risorse idriche (cfr. cap. 8.3). Infine, alcune località sciistiche tendono a espandere il loro comprensorio a quote più elevate, con il rischio di pregiudicare il paesaggio o la biodiversità (Abegg et al. 2007).

Nelle regioni degli sport invernali anche la diversificazione dell'offerta offre prospettive di adattamento, ponendo in primo piano proposte per il turismo estivo o per le persone che non sciano. In Svizzera le entrate generate dagli impianti di risalita (funivie, funicolari, seggiovie ecc.) sono quasi raddoppiate in estate dal 2008, mentre quelle della stagione invernale hanno registrato una contrazione del 20 per cento (FUS 2018b).

8.8 Adattamento in altri settori

La Confederazione attua le misure di adattamento ai cambiamenti climatici anche in altri settori interessati (cfr. cap. 5 e 6).

Salute: l'UFSP promuove l'adattamento fornendo informazioni e raccomandazioni per proteggersi dalle ondate di calore. Fatta eccezione per il Cantone del Giura, dal 2003 tutti i Cantoni della Svizzera francese e il Ticino hanno sviluppato piani di misure per proteggere la popolazione dalle ondate di calore. Le analisi statistiche dimostrano che questi piani contribuiscono a prevenire i decessi dovuti al forte caldo (Ragetti & Rösli 2019, UFAM et al. 2019). Inoltre, la diffusione della zanzara tigre asiatica (cfr. cap. 6.1.4) è costantemente monitorata in diversi Cantoni e le malattie infettive trasmesse da vettori patogeni sono soggette all'obbligo di dichiarazione. Ciò consente di adottare misure mirate di lotta ove necessario. In seguito all'aumento dei casi di FSME e di

borreliosi (cfr. cap. 6.1.3), nel 2019 l'UFSP ha dichiarato l'intera Svizzera, ad eccezione dei Cantoni di Ginevra e Ticino, una zona a rischio per la FSME (UFSP 2019b). Viene così raccomandato in tutta la Svizzera di vaccinarsi contro la FSME alle persone che potrebbero entrare in contatto con le zecche nello svolgimento del loro lavoro o nel tempo libero. Mentre esiste un vaccino efficace contro il virus della FSME, in Svizzera non è disponibile alcun vaccino contro la borreliosi.

Biodiversità: l'adattamento degli animali e delle piante dipende dalla loro capacità naturale di adattamento e dall'intervento dell'uomo. Tra le possibili misure che favoriscono l'adattamento, si annoverano la creazione e il mantenimento di zone protette nonché l'interconnessione di habitat (Köllner et al. 2017). Nel 2012 il Consiglio federale ha adottato la Strategia Biodiversità Svizzera e, nel 2017, il relativo piano d'azione⁵⁵ che prevede misure volte a tutelare la biodiversità e aumentare la capacità di adattamento.

Energia: l'UFE, nell'ambito del piano d'azione Adattamento ai cambiamenti climatici, osserva l'evoluzione del fabbisogno di energia di riscaldamento e raffreddamento ed è in contatto con il settore per garantire la sicurezza dell'approvvigionamento.

Agricoltura: l'UFAG sostiene l'adattamento nell'agricoltura con la ricerca sulle specie adatte alla stagione e la loro gestione nonché con misure di sensibilizzazione. L'adozione di lungimiranti misure di adattamento può consentire di sfruttare le opportunità che si presentano e di mitigare gli effetti negativi su proventi e ambiente.

Conseguenze indirette: a seconda delle aree d'influenza, la Svizzera ha diverse possibilità di gestire i rischi e le opportunità causate dai cambiamenti climatici all'estero. L'economia privata può reagire diversificando le filiere di fornitura e i mercati di sbocco oppure collaborando con i fornitori per aumentare la resilienza. I rischi climatici devono essere inoltre integrati nei processi di acquisto. Per le prestazioni anticipate di generi alimentari è possibile una parziale diversificazione. Nell'ambito

⁵⁵ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/biodiversita/info-specialisti/misure-per-conservare-e-promuovere-la-biodiversita/strategia-e-piano-dazione-biodiversita.htm>

dell'approvvigionamento energetico sono state costituite scorte obbligatorie di vettori fossili, tra cui il petrolio. Alcuni gasdotti e l'allacciamento a serbatoi di gas naturali diversificano il rischio. L'elevata capacità marginale nel settore elettrico può compensare eventuali interruzioni dovute al clima. Nel settore finanziario e assicurativo i rischi climatici sono già parzialmente considerati, ma c'è ancora margine di miglioramento. Per rafforzare la sicurezza in Stati fragili la Svizzera deve intervenire con la cooperazione allo sviluppo, l'aiuto umanitario e i suoi sforzi diplomatici. Nella migrazione indotta da ragioni economiche avrà un ruolo importante soprattutto la politica svizzera del mercato del lavoro. La cooperazione allo sviluppo ha già integrato il cambiamento climatico come tema trasversale.

9 Conclusione

Avvalendosi di numerosi indicatori, il presente rapporto espone l'evoluzione del clima, le cause e gli effetti dei cambiamenti climatici nonché le misure di riduzione delle emissioni e di adattamento in Svizzera. Grazie alla costante ottimizzazione delle basi scientifiche in merito alle condizioni climatiche passate, attuali e future e alle loro conseguenze su ambiente, economia e società, offre una base importante per la pianificazione e l'attuazione delle misure.

Per molti settori trattati in questa sede esiste una solida e dettagliata base di dati. L'evoluzione delle emissioni di gas serra in Svizzera si basa sull'inventario nazionale dei gas serra stilato dall'Ufficio federale dell'ambiente, una banca dati sistematica che copre un arco temporale piuttosto lungo. Sono disponibili anche dati meteorologici, climatologici e idrologici di elevata qualità relativi a un lungo periodo. MeteoSvizzera gestisce da oltre 150 anni una rete capillare di misurazione che serve come base delle analisi climatiche. Esistono inoltre lunghe serie di misurazioni anche per i diversi ambiti delle conseguenze dei cambiamenti climatici sull'ambiente naturale, tra l'altro per l'andamento della temperatura di laghi e fiumi, per la variazione dei ghiacciai o per la fenologia delle piante.

Il rapporto evidenzia pure le lacune esistenti nell'osservazione dei cambiamenti climatici in Svizzera. Esistono settori per i quali i dati disponibili sono insufficienti oppure gli elementi di incertezza sono ancora troppi, come nel caso di eventi su scala ridotta o molto ridotta, di temporali o grandine. Le informazioni climatiche sul verificarsi di simili eventi sono oggetto di un costante sviluppo. Pure gli scenari climatici vengono aggiornati e migliorati a scadenze regolari, considerando i più recenti percorsi di emissione dell'IPCC o integrando nei modelli climatici le nuove conoscenze e le possibilità matematiche. Si spera così di poter valutare meglio l'evoluzione futura di fenomeni microterritoriali e renderla accessibile per le misure di adattamento.

Per alcuni aspetti delle conseguenze dei cambiamenti climatici sull'ambiente naturale, il rilevamento quantitativo degli sviluppi è ancora all'inizio, per esempio per quanto riguarda il suolo e il mondo animale. Anche le conse-

guenze sulla società sono spesso difficili da individuare o da quantificare in modo univoco. Per esempio, in merito alla diffusione della zanzara tigre asiatica è tuttora arduo valutare l'impatto dei cambiamenti climatici rispetto ad altri fattori d'influenza. Le stime dei costi economici dei cambiamenti climatici sono suscettibili di notevoli incertezze. Mentre l'effetto delle misure adottate per ridurre le emissioni può essere verificato e valutato sistematicamente, è piuttosto difficile stabilire l'efficacia delle misure di adattamento a causa della durata spesso breve dei progetti e delle misure concepite sul lungo termine. L'UFAM sta lavorando a un catalogo degli indicatori di adattamento, di cui potrà avvalersi la prossima versione del presente rapporto.

Nonostante le lacune, il rapporto offre una panoramica quantitativa molto ampia dei cambiamenti climatici, delle sue cause e delle misure attuate in Svizzera. Consente di valutare gli interventi necessari e indica i settori particolarmente vulnerabili. Queste informazioni sono rilevanti per numerosi attori del mondo politico, economico, accademico e sociale. È dunque previsto di aggiornare la pubblicazione periodicamente, considerando i dati e le conoscenze più recenti. Nel frattempo l'evoluzione di alcuni indicatori può essere seguita sui siti di UFAM⁵⁶, MeteoSvizzera⁵⁷ e NCCS⁵⁸.

56 <https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/stato/indicatori>

57 <https://www.meteosvizzera.admin.ch/home/clima/il-clima-svizzero-nei-dettagli/indicatori-climatici.html>

58 www.nccs.ch

10 Elenco delle abbreviazioni

AEA	Agenzia europea dell'ambiente	SFI	Segreteria di Stato per le questioni finanziarie internazionali
AIE	Agenzia internazionale dell'energia	SPEI	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
ARE	Ufficio federale dello sviluppo territoriale	SRZ	Schutz & Rettung Zürich
CFC	Clorofluorocarburi	SSQE	Sistema di scambio di quote di emissioni
CH ₄	Metano	Swiss TPH	Swiss Tropical and Public Health Institute
CHF	Franchi svizzeri	UE	Unione europea
CIPEL	Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman	UFAB	Ufficio federale delle abitazioni
CO ₂	Diossido di carbonio	UFAC	Ufficio federale dell'aviazione civile
CO ₂ eq	CO ₂ equivalenti	UFAG	Ufficio federale dell'agricoltura
DATEC	Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni	UFAM	Ufficio federale dell'ambiente
DEFR	Dipartimento federale dell'economia, della formazione e della ricerca	UFE	Ufficio federale dell'energia
ECDC	European Centre for Disease Prevention and Control	UFPP	Ufficio federale della protezione della popolazione
FSME	Meningoencefalite primaverile-estiva	UFSP	Ufficio federale della sanità pubblica
FUS	Funivie Svizzere	UNFCCC	Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)
GFCS	Global Framework for Climate Services	USAV	Ufficio federale della sicurezza alimentare e di veterinaria
GIR	Gestione integrale dei rischi	USC	Unione svizzera dei contadini
H ₂ O	Vapore acqueo	UST	Ufficio federale di statistica
HFC	Idrofluorocarburi parzialmente alogenati	USTRA	Ufficio federale delle strade
IFN	Inventario Forestale Nazionale	WSL	Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio
IPCC	Comitato intergovernativo per i cambiamenti climatici (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)		
LEne	Legge sull'energia		
MBD	Monitoraggio della biodiversità		
N ₂ O	Protossido di azoto		
NAQUA	Osservazione nazionale delle acque sotterranee		
NCCS	National Center for Climate Services		
NF ₃	Trifluoruro di azoto		
OCSE	Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico		
OMM	Organizzazione meteorologica mondiale		
ONU	Organizzazione delle Nazioni Unite		
PFC	Perfluorocarburi		
PFL	Politecnico federale di Losanna		
PFZ	Politecnico federale di Zurigo		
PIL	Prodotto interno lordo		
SBI®	Swiss Bird Index		
SECO	Segreteria di Stato dell'economia		
SF ₆	Esafluoruro di zolfo		

11 Bibliografia

2° Investing Initiative, Wüest Partner 2020: Bridging the gap: Measuring climate goal alignment and climate actions of Swiss financial institutions (in inglese con riassunto in tedesco e francese), su mandato dell'UFAM.

Abegg B., Agrawala S., Crick F., de Montfalcon, A. 2007: Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In Agrawala, A. (Ed.), *Climate Change in the European Alps. Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management*, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, pp. 25 – 60.

Abegg M., Brändli U.-B., Cioldi F., Fischer C., Herold-Bonardi A., Huber M., Keller M., Meile R., Rösler E., Speich S., Traub B., Vidondo B. 2014: Inventario Forestale Nazionale – Tabella dei risultati n. 123807: superficie forestale. Birmensdorf, Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio WSL. <https://doi.org/10.21258/1025176>

Accademie svizzere delle scienze 2016a: Ozon und Sommersmog: Klimawandel gefährdet heutige Erfolge. Swiss Academies Factsheet. 11(5), 1 – 6 (non disponibile in italiano).

Accademie svizzere delle scienze 2016b: Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Swiss Academies Reports 11 (5) (non disponibile in italiano).

AEA 2019: Trends and projections in Europe 2019. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets. Agenzia europea per l'ambiente. EEA Report No 15/2019.

AIE 2017: Energy Technology Perspectives 2017. Parigi.

AIE 2019: CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights 2019, Parigi.

Anneville O., Souissi S., Ibanez F., Druart J.-C., Angeli N. 2002: Temporal mapping of phytoplankton assemblages in Lake Geneva: annual and interannual changes

in their patterns of succession. *Limnol. Oceanogr.* 47(5): 1355 – 1366.

Atlante interattivo CH2018 (2018): scenari climatici per la Svizzera, CH2018, ed. NCCS. 2018. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/it/home/dati-e-libreria-multimediale/dati/atlane-interattivo-ch2018.html> [Stato: 25 luglio 2019].

Barbet-Massin M., Thuiller W., Jiguet F. 2012: The fate of European breeding birds under climate, land-use and dispersal scenarios. *Glob Change Biol* 18: 881 – 890.

Begert M, Frei C. 2018. Long-term area-mean temperature series for Switzerland – Combining homogenized station data and high resolution grid data. *International Journal of Climatology*, 38: 2792 – 2807. <https://doi.org/10.1002/joc.5460>.

Begert M, Stöckli R, Croci-Maspoli M. 2018: Klimaentwicklung in der Schweiz – Vorindustrielle Referenzperiode und Veränderung seit 1864 auf Basis der Temperaturmessung. *Rapporto tecnico di Meteo-Svizzera*, 274, 23 pagine.

Begert M., Schlegel T., Kirchhofer W. 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *Int. J. Climatol.*, 25, 65 – 80.

Bernet D.B., Sturny R.A., Berger C., Kipfer A., Prasuhn V., Staub B., Stoll S., Thomi L. 2018: Werkzeuge zum Thema Oberflächenabfluss als Naturgefahr – eine Entscheidungshilfe. *Beiträge zur Hydrologie der Schweiz*, n. 42, Berna, 95 pagine.

Bigler C., Bräker O. U., Bugmann H., Dobberty M., Rigling A. 2006: *Ecosystems*, 9: 330. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0126-2>.

Bowler D. E., Mant R., Orr H., Hannah D. M., Pullin A. S. 2012: What are the effects of wooded riparian zones on stream temperature? *Environmental Evidence* 1, pag. 9.

Braun S., Hopf S., de Witte L. 2018: Wie geht es unserem Wald? 34 Jahre Walddauerbeobachtung. IAP, Schönenbuch.

Braun S., Remund J., Rihm B. 2015: Indikatoren zur Schätzung des Trockenheitsrisikos in Buchen- und Fichtenwäldern. Schweiz. Zeitschr. Forstwes. 166: 361 – 371.

CH2018 2018: CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurigo, 271 pagine.

Chaix O., Wehse H., Gander Y., Zahner S. 2016: Bestimmung von Regionen mit Handlungsbedarf bei Trockenheit. Expertenbericht zum Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente. Berna (non disponibile in italiano).

Chitimia-Dobler L., Schaper S., Rieß R., Bitterwolf K., Frangoulidis D., Bestehorn M., Springer A., Oehme R., Drehmann M., Lindau A., Mackenstedt U., Strube Ch., Dobler G. 2019: Imported Hyalomma ticks in Germany in 2018. Parasites & Vectors 12: 134. doi: 10.1186/s13071-019-3380-4.

CIPEL 2018a: Température moyenne annuelle de la couche 0 – 10m et du fond du lac Léman. [cipel.comoe.fr/pages/principale/principale.aspx?ressource=lot de données12237240921413456662](http://cipel.comoe.fr/pages/principale/principale.aspx?ressource=lot%20de%20donnees12237240921413456662) [stato: 7 maggio 2019].

CIPEL 2018b: Suivi du Phytoplancton du Léman. Dati predisposti da CIPEL.

Città di Baden 2005: Klimawanderungen. Klima und Wald früher - heute - morgen. www.klimawanderungen.ch/downloads/Klimadossier_Erwachsene.pdf [Stato: 11 aprile 2019].

Città di Zurigo 2019: dati predisposti da Olivier Köster. <https://www.stadt-zuerich.ch/wasserversorgung> [Stato: 13 maggio 2019].

Confederazione Svizzera 2012: Adattamento ai cambiamenti climatici in Svizzera. Obiettivi, sfide e campi d'intervento. Berna, 64 p.

Confederazione Svizzera 2014: Adattamento ai cambiamenti climatici in Svizzera. Piano d'azione 2014 – 2019. Berna, 100 p.

Confederazione Svizzera 2017: Strategia del turismo della Confederazione. Berna, 15 novembre 2017. <https://www.seco.admin.ch/seco/it/home/seco/nsb-news.msg-id-68814.html> [Stato: 2 ottobre 2019].

Confederazione Svizzera 2020: Adattamento ai cambiamenti in Svizzera. Piano d'azione 2020 – 2025. Berna, 164 p.

Delaloye R., Lambiel C., Gärtner-Roer I. 2010: Overview of rock glacier kinematics research in the Swiss Alps: seasonal rhythm, interannual variations and trends over several decades. Geographica Helvetica 65: 135 – 145.

Dobbertin M. 2005: Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. Eur J For Res 124: 319 – 333.

ECDC 2019: European Centre for Disease Prevention and Control. Tick maps. <https://ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/tick-maps> [Stato: 14 giugno 2019].

Etzold S., Wunder J., Braun S., Rohner B., Bigler C., Abegg M., Rigling A. 2016: Mortalität von Waldbäumen: Ursachen und Trends. In: Plüss, A.R., Augustin, S., Brang, P. (Red.) 2016. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Ufficio federale dell'ambiente, Berna; Istituto federale di ricerca WSL, Birmensdorf; Haupt, Berna, Stoccarda, Vienna. 447 pagine (non disponibile in italiano).

Farinotti D., Huss M., Fürst J. J., Landmann J., Machguth H., Maussion F., Pandit A. 2019: A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on Earth. Nature Geoscience, 12(3), 168.

Fischer M., Spehn E. 2016: Biodiversität und Ökosystemleistungen. In: Accademie svizzere delle scienze. Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Swiss Academies Reports 11 (5) (non disponibile in italiano).

Flacio E., Engeler, L., Tonolla M., Müller P. 2016: Spread and establishment of *Aedes albopictus* in southern Switzerland between 2003 and 2014: an analysis of oviposition data and weather conditions. *Parasites & Vectors* 9:304. doi: 10.1186/s13071-016-1577-3.

Flacio E., Lüthy P., Patocchi N., Guidotti F., Tonolla M., Peduzzi R. 2004: Primo ritrovamento di *Aedes albopictus* in Svizzera. *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali* 92: 141 – 142.

Frehner M., Brang P., Kaufmann G., Küchli C. 2018: Standortkundliche Grundlagen für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel, WSL Ber. 66: 43 pagine (non disponibile in italiano).

Frischknecht R., Nathani C., Alig M., Stolz P., Tschümperlin L., Hellmüller P. 2018: Le impronte ambientali della Svizzera. Evoluzione dal 1996 al 2015. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Stato dell'ambiente n. 1811: 131 pagine.

FUS 2018a: dati predisposti da Beat Wolfensberger.

FUS 2018b: Fakten und Zahlen zur Schweizer Seilbahnbranche. <https://www.seilbahnen.org/de/Branche/Statistiken/Fakten-Zahlen> [Stato: 13 maggio 2019] (non disponibile in italiano).

Gehrig R., König N., Scherrer S. 2018: Städtische Wärmeinsel in der Schweiz- Klimatologische Studie mit Messdaten in fünf Städten, rapporto specialistico di MeteoSvizzera, 273, 61 pagine.

GLAMOS 2018a: Swiss Glacier Mass Balance, release 2018, Glacier Monitoring Switzerland, doi:10.18750/massbalance.2018.r2018.

GLAMOS 2018b: Swiss Glacier Mass Balance, release 2018, Glacier Monitoring Switzerland, doi:10.18750/lengthchange.2018.r2018.

Gonseth Y., Wohlgemuth T., Sansonnens B., Buttler A. 2001: Die biogeographischen Regionen der Schweiz. Erläuterungen und Einteilungsstandard. *Umwelt Materialien* Nr. 137., 48 pagine. Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio. Berna (non disponibile in italiano).

Grize L., Huss A., Thommen O., Schindler C., Braun-Fabrlander C. 2005: Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medical Weekly*, 135(13 – 14), 200 – 205.

Güsewell S., Pietragalla B., Gehrig R., Furrer R. 2018: Representativeness of stations and reliability of data in the Swiss Phenology Network, Technical Report Meteo-Swiss, 267, 100 pp.

Herold T. 2019: Temperaturmonitoring Oberflächen-gewässer Schweiz (editoriale). *Aqua & Gas* 04–2019: 36 – 39.

Herold T., Schaffner M., Chaix O. 2018: Temperaturmonitoring der Fließgewässer, Anpassung an zukünftige Herausforderungen. *Aqua & Gas* 12–2018: 54 – 59.

Huss M., Funk M., Ohmura A. 2009: Strong Alpine glacier melt in the 1940s due to enhanced solar radiation. *Geophysical Research Letters*, 36(23).

Il Programma Edifici: rapporto annuale 2018. Su incarico dell'Ufficio federale dell'energia, Berna.

Indermühle M., Raetz P., Volz R. 2005: LOTHAR – Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. *Umwelt-Materialien* Nr. 184, Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio, Berna, 145 pagine (non disponibile in italiano).

Infras 2018: Auswirkungen des Klimawandels im Ausland. Risiken und Chancen für die Schweiz.

Infras, Egli Engineering 2015: Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz. Regionale Fallstudie Kanton Basel-Stadt, su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente.

IPCC 2013/2014: Klimaänderung 2013/2014: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Beiträge der drei Arbeitsgruppen zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Traduzioni tedesche dell'ufficio di coordinamento dell'IPCC, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Vienna/Berna, 2016.

IPCC 2014a: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC 2014b: Climate Change 2014. Synthesis Report. Summary for Policymakers.

IPCC 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]

Kahn M. E., Mohaddes K., Ng. R., Pesaran M. H., Raissi M., Yang J-C. 2019: Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis, National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper No. 26167. DOI 10.3386/w26167.

Keller V., Ayé R., Müller W., Spaar R., Zbinden N. 2010: Die prioritären Vogelarten der Schweiz: Revision 2010. Ornithol.Beob. 107: 265 – 285.

Klein T., Holzkämper A., Calanca P., Seppelt R., Fuhrer J. 2013: Adapting agricultural land management to climate change: a regional multi-objective optimization approach. Landscape ecology, 28(10), 2029 – 2047.

Knaus P., Antoniazza S., Wechsler S., Guélat J., Kéry M., Strebel N., Sattler T. 2018: Atlante degli uccelli nidificanti in Svizzera 2013 – 2016. Distribuzione ed evoluzione degli effettivi degli uccelli in Svizzera e nel Liechtenstein. Stazione ornitologica, Sempach.

Knaus P., Sattler T., Schmid H., Strebel N., Volet B. 2019: Situazione dell'avifauna in Svizzera: rapporto 2019. Stazione ornitologica, Sempach.

Kohli A., Steinemann M., Guyer M., Füssler J. 2018: Relevanz des Klimawandels für die Schweizer Sicherheitspolitik. Herausforderungen und mögliche Handlungsfelder. Rapporto finale del 20 febbraio 2018 di INFRAS, su incarico del Dipartimento federale degli affari esteri.

Köllner P., Gross C., Lerch J., Nauser M. 2017: Rischi e opportunità legati ai cambiamenti climatici. Sintesi nazionale Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Studi sull'ambiente n. 1706: 148 pagine.

König U., Abegg B. 1997: Impacts of Climate Change on Winter Tourism in the Swiss Alps, Journal of Sustainable Tourism, 5:1, 46 – 58, DOI: 10.1080/09669589708667275.

Körner, C. 2009: Mountain vegetation under environmental change. In R. Jandl, A. Borsdorf, H. van Miegroet, R. Lackner, R. Psenner, Global change and sustainable development in mountain regions. Proceedings of the COST Strategic Workshop April 7 – 9, 2008, Congress Innsbruck, Innsbruck University Press, 25 – 30.

Landis F., Hertig V., Haefeli U., Balthasar A., Raible C. 2017: Schlussbericht Evaluation der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel: Modul A. Rapporto finale su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente. Interface Politikstudien Forschung Beratung und Oeschger Centre for Climate Change Research, Lucerna/Berna.

Landolt E., Bäumler B., Erhardt A., Hegg O., Klötzli F., Lämmli W., Nobis M., Rudmann-Maurer K., Schwein-gruber F., Theurillat J.-P., Urmi E., Vust M., Wohlgemuth T. 2010: Flora indicativa = Ecological indicator values and biological attributes of the flora of Switzerland and the Alps: indicatori ecologici e attributi biologici della flora in Svizzera e nelle Alpi. Berna (non disponibile in italiano).

Léger E., Vourc'h G., Vital L., Chevillon Ch., McCoy K. D. 2013: Changing distribution of ticks: causes and consequences. *Experimental and Applied Acarology* 59: 219 – 244. doi: 10.1007/s10493-012-9615-0.

Maggini R., Lehmann A., Zbinden N., Zimmermann N. E., Bolliger J., Schröder B., Foppen R., Schmid H., Beniston M., Jenni L. 2014: Assessing species vulnerability to climate and land use change. The case of the Swiss breeding birds. *Diversity and Distribution* 20: 708 – 719.

Maison de la Rivière 2012: Rapport Clim-arbres. La Maison de la Rivière, hépia Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève, su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente, pagine. 173.

MeteoSvizzera 2018: Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Rapporto tecnico di MeteoSvizzera, 272, 38 pagine.

MeteoSvizzera 2020a: dati e grafici predisposti da MeteoSvizzera.

MeteoSvizzera 2020b: Rapporto sul clima 2019. Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera, Zurigo, 96 pagine.

Møller A. P., Fiedler W., Berthold P. (ed.) 2010: Effects of climate change on birds. Oxford Biology. Oxford University Press, Oxford [etc.].

Monitoraggio della biodiversità in Svizzera (BDM) 2019: dati predisposti da Hintermann & Weber AG.

Müller P., Suter T., Engeler L., Vavassori L., Guidi V., Flacio E., Tonolla M. 2018: Programma nazionale di sorveglianza della zanzara tigre asiatica. Rapporto 2016. Su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente. 24 pagine.

NCCS 2018: CH2018 – Scenari climatici per la Svizzera. National Centre for Climate Services, Zurigo, 24 pagine. Numero ISBN 978-3-9525031-0-2.

Neteler M., Metz M., Rocchini D., Rizzoli A., Flacio E., Engeler L., Guidi V., Lüthy P., Tonolla M. 2013: Is Switzerland suitable for the invasion of *Aedes albopictus*? *PLoS One* 8:e82090. doi: 10.1371/journal.pone.0082090.

North N., Kljun N., Kasser F., Heldstab J., Maibach M., Reutimann J., Guyer M. 2007: Il cambiamento climatico in Svizzera. Indicatori riguardanti cause, effetti e misure. Stato dell'ambiente n. 0728. Ufficio federale dell'ambiente, Berna, 77 pagine.

OCSE 2015: The Economic Consequences of Climate Change, OECD Publishing, Parigi.

OCSE 2017: Growth, Investment and the Low-Carbon Transition, OECD Publishing, Parigi.

OCSE 2019: Trade in Embodied CO₂ Database (TECO₂). https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=IO_GHG_2019# www.oecd.org/sti/ind/carbondioxideemissionsembodiedininternationaltrade.htm [Stato: 6 maggio 2019].

Ogden N. H., Lindsay L. R. 2016: Effects of climate and climate change on vectors and vector-borne diseases: ticks are different. *Trends in Parasitology* 32: 646– 656. doi: 10.1016/j.pt.2016.04.015.

OMM 2007: The role of climatological normals in a changing climate, WMO/TD-No. 1377 (2007). Scaricabile da: www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/WCDMPNo61.pdf [Stato: 25 luglio 2019].

OMM 2015: Seventeenth World Meteorological Congress (WMO-No. 1157). Ginevra.

Papadopoulos B., Humair P. F., Aeschlimann A., Vaucher C., Buttiker W. 2002: Ticks on birds in Switzerland. *A. Acarologia* 42: 3 – 19.

PERMOS 2019: dati predisposti da Jeannette Noetzli. www.permos.ch [Stato: 5 dicembre 2019].

Perroud M., Bader S. 2013: Il cambiamento climatico in Svizzera. Indicatori riguardanti cause, effetti e misure. Stato dell'ambiente n. 1308 (non disponibile in italiano). Ufficio federale dell'ambiente, Berna e Ufficio federale di meteorologia e climatologia, Zurigo, 86 pagine.

PFL 2017: Assessing the impacts of climate change for Switzerland, Politecnico federale di Losanna, im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Lausanne.

PFZ 1994:, 2007 Der Schweizer Umweltsurvey. www.socio.ethz.ch/forschung/umweltsurvey.html [Stato: 29 maggio 2019].

Pluess A.R., Augustin S., Brang P. 2016: Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien, Berna, Stoccarda. Ufficio federale dell'ambiente UFAM, Istituto federale di ricerca WSL, Haupt, 447 pagine.

Prasuhn V., Doppler T., Spycher S., Stamm. C. 2018: Pflanzenschutzmitteleinträge durch Erosion und Abschwemmung. *Agrarforschung Schweiz* 9(2), 44 – 51 (non disponibile in italiano).

Prognos, TEP, Infrac 2019a: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2018 nach Verwendungszwecken. Su incarico dell'Ufficio federale dell'energia (non disponibile in italiano).

Prognos, TEP, Infrac 2019b: Ex-Post-Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 bis 2018 nach Bestimmungsfaktoren. Su incarico dell'Ufficio federale dell'energia, Berna (non disponibile in italiano).

Ragetti M. S., Rösli M. 2019: Hitzeaktionspläne zur Prävention von hitzebedingten Todesfällen – Erfahrungen aus der Schweiz. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*. 1 – 7.

Ragetti M. S., Vicedo-Cabrera A. M., Schindler C., Rösli M. 2017: Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. *Environmental Research* 10;158: 703 – 709.

Ragetti M.S., Vicedo-Cabrera A.M., Flückiger B. et al. 2019: Impact of the warm summer 2015 on emergency hospital admissions in Switzerland. *Environ Health* 18: 66. <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0507-1>.

Randolph S. E., Asokliene L., Avsic-Zupanc T., Bormane A., Burri C., Gern L., Golovljova I, Hubalek Z., Knap N., Kondrusik M., Kupca A., Pejcoch M., Vasilenko V., Žygutiene M. 2008: Variable spikes in tickborne encephalitis incidence in 2006 independent of variable tick abundance but related to weather. *Parasites & Vectors* 1: 44. doi: 10.1186/1756-3305-1-44.

Remund J., Augustin S. 2015: Zustand und Entwicklung der Trockenheit in Schweizer Wäldern. *Rivista forestale svizzera* 166: 352 – 360.

Robine J.-M., Cheung S. L. K., Le Roy S., Van Oyen H., Griffiths C., Michel J.-P., Herrmann F. R. 2008: Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*. 331(2), 171 – 178.

Rutherford J. C., Marsh N. A., Davis P. M., Bunn S. E. 2004: Effects of patchy shade on stream water temperature: how quickly do small streams heat and cool? *Marine and Freshwater Research* 55: 737 – 748.

Scherrer S. C., Fischer E. M., Posselt R., Liniger M. A., Croci-Maspoli M., Knutti R. 2016: Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in

Switzerland, J. Geophys. Res. Atmos., 121, 2626 – 2637, doi:10.1002/2015JD024634.

Scherrer, S.C., Begert, M. 2019: Effects of large-scale atmospheric flow and sunshine duration on the evolution of minimum and maximum temperature in Switzerland. Theoretical and Applied Climatology. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02823-x>.

Schmid M., Dami J., Bouffard D. 2019: Beobachtung der Seetemperaturen. Aqua & Gas (in press).

Scripps 2019: CO₂ Beobachtungen des Mauna Loa Observatory Hawaii im Rahmen des Scripps CO₂ Programms. DOI: doi.org/10.6075/J08W3BHW. Sito Internet (stato 25 luglio 2019): scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2/primary_mlo_co2_record, descritto in: C. D. Keeling, S. C. Piper, R. B. Bacastow, M. Wahlen, T. P. Whorf, M. Heimann, and H. A. Meijer, Atmospheric CO₂ and 13CO₂ exchange with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000: observations and carbon cycle implications, pages 83 – 113, in «A History of Atmospheric CO₂ and its effects on Plants, Animals, and Ecosystems», editors, Ehleringer, J.R., Cerling T.E., Dearing M.D., Springer Verlag, New York, 2005.

SECO 2020: dati trimestrali sul PIL, lato della produzione, dati grezzi, stato gennaio 2020.

Shlomit P. 2015: Climate change impacts on West Nile virus transmission in a global context. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 370: 20130561. [dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0561](https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0561).

Steinbauer M. J., Grytnes J.-A., Jurasinski G., Kulonen A., Lenoir J., Pauli H., Rixen C., Winkler M., Bardy-Durchhalter M., Barni E., Bjorkman A. D., Breiner F. T., Burg S., Czortek P., Dawes M. A., Delimat A., Dullinger S., Erschbamer B., Felde V. A., Fernández-Arberas O., Fossheim K. F., Gómez-García D., Georges D., Grindrud E. T., Haider S., Haugum S. V., Henriksen H., Herreros M. J., Jaroszewicz B., Jaroszynska F., Kanka R., Kapfer J., Klanderud K., Kühn I., Lamprecht A., Matteodo M., di Cella U. M., Normand S., Odland A., Olsen S. L., Palacio S., Petey M., Piscová V., Sedlakova B., Steinbauer K., Stöckli V., Svenning J.-C., Teppa G., Theurillat

J.-P., Vittoz P., Woodin S. J., Zimmermann N. E., Wipf S. 2018: Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming, Nature, 2018, 556, 231 – 234.

Stern N. 2006: Stern Review on the Economics of Climate Change, HM Treasury, Londra.

Straile D., Livingstone D. M., Weyhenmeyer G. A., George D. G. 2003: The response of freshwater ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. In J. W. Hurrell, Y. Kushnir, G., Ottersen, M. Visbeck (eds), The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact. Geographical Monograph, 134, 263 – 279.

Swiss TPH 2019: dati predisposti da Pie Müller.

UFAC 2019: dati preventivi sul traffico aereo internazionale 2018 nell'ambito dell'inventario dei gas serra.

UFAG 2011: Strategia sul clima per l'agricoltura. Protezione del clima e adattamento ai cambiamenti climatici per una filiera agroalimentare svizzera sostenibile. <https://www.blw.admin.ch/blw/it/home/nachhaltige-produktion/umwelt/klima.html> [stato: 3 maggio 2019].

UFAG 2016: Scheda sulla sicurezza alimentare, N. 1: Grado di autoapprovvigionamento.

UFAM 2012a: Spuren des Klimawandels in der Vegetation? BDM Facts 4. Ufficio federale dell'ambiente, Berna (non disponibile in italiano).

UFAM 2012b: Effetti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche e i corsi d'acqua. Rapporto di sintesi del progetto «Cambiamenti climatici e idrologia in Svizzera» (CCHydro). Studi sull'ambiente n. 1217, Ufficio federale dell'ambiente, Berna, 76 pagine.

UFAM 2012c: Gestione della penuria di acqua a livello locale in Svizzera. Rapporto del Consiglio federale in adempimento del postulato 10.353 «Acqua e agricoltura. Le sfide del futuro», depositato dal consigliere nazionale Walter Hansjörg il 17 giugno 2010. Ufficio federale dell'ambiente, Berna.

UFAM 2014a: Grundlagen für die Wasserversorgung 2025. Risiken, Herausforderungen und Empfehlungen. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Studi sull'ambiente, n. 1404: 116 pagine (non disponibile in italiano).

UFAM 2016: Canicola e siccità dell'estate 2015-2018. Effetti sull'uomo e l'ambiente. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Stato dell'ambiente n. 1629: 108 pagine.

UFAM 2017a: Impulsi per una Svizzera adattata al clima. I risultati di 31 progetti pilota di adattamento ai cambiamenti climatici. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Informazione ambientale n. 1703: 96 pagine.

UFAM 2017b: Rapporto di sintesi: Volkswirtschaftliche, Beurteilung der klimapolitischen Massnahmen nach 2020. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. 90 pagine (non disponibile in italiano).

UFAM 2018a: Switzerland's seventh national communication and third biennial report under the UNFCCC, Swiss Federal Office for the Environment, Bern, Switzerland, 1 January 2018.

UFAM 2018b: La politica climatica della Svizzera. Attuazione dell'Accordo di Parigi sul clima. Ufficio federale dell'ambiente, Berna.

UFAM 2019a: Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA. Stato 2016. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Stato dell'ambiente n. 1901, 138p. (non disponibile in italiano).

UFAM 2019b: dati predisposti dalla divisione Idrologia dell'Ufficio federale dell'ambiente.

UFAM 2019c: dati dell'Osservazione nazionale delle acque sotterranee NAQUA.

UFAM 2019d: dati predisposti dalla divisione Specie, ecosistemi, paesaggi, sezione Habitat acquatici.

UFAM 2019e: Progetti e programmi di riduzione delle emissioni in Svizzera. Un modulo della comunicazione dell'UFAM in veste di autorità esecutiva dell'ordinanza

sul CO₂. 5a edizione aggiornata, gennaio 2019. Ufficio federale dell'ambiente.

UFAM 2019f: Statistiche di pesca. Ufficio federale dell'ambiente, sezione Habitat acquatici. <https://www.fischereistatistik.ch/it/home> [Stato: 17 maggio 2019]

UFAM 2019 g: dati predisposizioni dalla divisione Protezione dell'aria e prodotti chimici.

UFAM 2019h: dati della divisione Clima dell'Ufficio federale dell'ambiente.

UFAM 2019i: la cartina è stata creata su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente.

UFAM 2020a: Inventario svizzero dei gas serra, Ufficio federale dell'ambiente. Presentazione 2020.

UFAM 2020b: Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013 – 2020). Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Ultimo aggiornamento: aprile 2020 (non disponibile in italiano).

UFAM 2020c: Auswirkungen des Klimawandels im Ausland – Risiken und Chancen für die Schweiz. Zusammenfassung. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Informazione ambientale n. 2002: 18 pagine (non disponibile in italiano).

UFAM et al. 2019: Canicola e siccità dell'estate 2018. Effetti sull'uomo e l'ambiente. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Stato dell'ambiente n. 1909: 92 pagine.

UFAM e ARE 2018: Ondate di calore in città. Basi per uno sviluppo degli insediamenti adattato ai cambiamenti climatici. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/clima/pubblicazioni-studi/pubblicazioni/ondate-di-calore-in-citta.html> [stato: 12 giugno 2019].

UFAM e MeteoSvizzera 2019: dati predisposti dalla divisione Idrologia.

UFAM e WSL 2007: Ereignisanalysen Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Studi sull'ambiente n. 0707, Ufficio federale dell'ambiente, Berna (non disponibile in italiano).

UFE 2019a: Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen und leichten Nutzfahrzeuge 2018. 23. Berichterstattung im Rahmen der Energieeffizienzverordnung (con sintesi in italiano). Ufficio federale dell'energia, Berna.

UFE 2019b: dati forniti dall'UFE, Jährliche Veränderung des Bestandes EBF, dati prodotti da Wüest Partner AG (non disponibile in italiano).

UFE 2019c: Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Edizione 2018. Ufficio federale dell'energia, settembre 2019.

UFE 2019d: Strategia energetica 2050 – Rapporto di monitoraggio 2019 (in italiano è disponibile la versione sintetica). Ufficio federale dell'energia, Berna.

UFE 2019e: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2018. Ufficio federale dell'energia, Berna.

UFSP 2019a: dati predisposti da Ekkehardt Altpeter.

UFSP 2019b: Meningoencefalite primaverile-estiva (FSME) <https://www.bag.admin.ch/bag/it/home/krankheiten/krankheiten-im-ueberblick/fsme.html> [Stato: 14 giugno 2019].

UFSP 2019c: dati predisposti dall'UFSP.

Uhlmann B., Goyette S., Beniston M. 2009: Sensitivity analysis of snow patterns in Swiss ski resorts to shifts in temperature, precipitation and humidity under conditions of climate change. Royal Meteorological Society. International Journal of climatology. 29: 1048 – 1055. DOI: 10.1002/joc.1786.

UNFCCC 2014: Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention. Decision 24/CP.19 (FCCC/CP/2013/10/Add.3).

Unione europea (2016): Resilience of large investments and critical infrastructures in Europe to climate change, by JSR, Ispra, Italia.

Università di Costanza, 2019: dati predisposti dal Dr. Dietmar Streile.

Università di Hohenheim, 2019: Tropische Zecken: Neu eingewanderte Art überwintert erstmals in Deutschland [Pressemeldung]. 11.06.2019. https://www.uni-hohenheim.de/pressemittteilung?tx_ttnews%5Btt_news%5D=43734&cHash=5fd3c0e9da33d842f4ee-127beaf7b078 [Stato: 24 giugno 2019].

USC 2019: Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung, 2018. Unione svizzera dei contadini, Brugg (non disponibile in italiano).

UST 2011: Percezione della qualità dell'ambiente e comportamento ambientale. Risultati della rilevazione omnibus 2011. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/it/home/statistiche/cataloghi-banche-dati/publicazioni.assetdetail.350745.html> [stato: 29 maggio 2019].

UST 2015: Rilevazione omnibus 2015: qualità dell'ambiente e comportamento ambientale. Percezione dell'ambiente e comportamento della popolazione quasi sempre in sintonia. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/it/home/statistiche/cataloghi-banche-dati/publicazioni.assetdetail.415336.html> [stato: 29 maggio 2019].

UST 2019: Settore energetico. Tipo di riscaldamento e vettori energetici. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/it/home/statistiche/costruzioni-abitazioni/edifici/settore-energetico.html> [Stato: 25 settembre 2019].

UST 2020a: Conti nazionali, conto della produzione, settori economici, Ufficio federale di statistica. Estratto gennaio 2020.

UST 2020b: statistica della popolazione in Svizzera, popolazione residente permanente, Ufficio federale di statistica. Estratto gennaio 2020.

UST 2020c: Statistica dei trasporti pubblici, statistica del trasporto merci, parco veicoli stradali, prestazioni del trasporto di persone, Ufficio federale di statistica. Estratto gennaio 2020.

UST, Swiss TPH 2019: UST, popolazione residente permanente in Svizzera, Swiss TPH. Dati predisposti da Martina Ragettli.

Vicente-Serrano S. M., Bagueña S., López-Moreno J. I. 2010: A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI, *J. Clim.*, 23: 1696 – 1718.

Vitasse Y., Bottero A., Rebetez M., Conedera M., Augustin S., Brang P., Tinner W. 2019: What is the potential of silver fir to thrive under warmer and drier climate? *European Journal of Forest Research* 138: 547 – 560.

Vitasse Y., Schneider L., Rixen C., Christen D., Rebetez M. 2018: Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology* 248: 60 – 69.

Vöhringer F., Vielle M., Thalmann P., Frehner A., Knoke W., Stocker D., Thurm B. 2019: Cost and benefits of climate change in Switzerland. *Climate Change Economics*, Vol. 10, n. 02, 1 – 34.

Wehse H., Chaix O., Gander Y., Birrer A., Fritsch M., Meylan B., Zahner S. 2017: Erarbeitung von Massnahmen zur langfristigen Sicherstellung der Wasserressourcen. Ein Vorgehen gestützt auf bestehende Planungsinstrumente. Su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente, Berna (non disponibile in italiano).

Wohlgemuth T. (Red.) 2006: Wald und Klimawandel. Forum für Wissen 2006: 71 pagine.

WSL 2019a: Technischer Schnee. <https://www.slf.ch/de/schnee/schneesport/schnee-und-ressourcen-management/technischer-schnee.html> [Stato: 13 maggio 2019].

WSL 2019b: rilevamento dei dati su piene, flussi detritici e scivolamenti (dal 1972) e su caduta di sassi e rocce (dal 2002), su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente.

Zahner S., Guhl F. 2017: Haushälterischer Umgang mit Wasser-Ressourcen. *Aqua & Gas*, Nr 6. www.bafu.admin.ch/wasserressourcenmanagement [Stato: 12 aprile 2019] (non disponibile in italiano).

Zbinden N., Maggini R., Keller V., Schmid H. 2012: Swiss Bird Index SBI Climate Change. Stazione ornitologica Sempach.

Zekollari H., Huss M., Farinotti, D. 2019: Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Cryosphere*, 13(4), 1125 – 1146.

Zemp M., Frey H., Garnert-Roer I., Nussbaumer S. U., Hoelzle M., Paul F., ... Baroni C. 2015: Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. *Journal of Glaciology*.

Zubler E.M., Scherrer S.C., Croci-Maspoli M., et al. 2014: Climatic Change (2014) 123: 255. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1041-8>.