

# Scenari per le precipitazioni e la temperatura fino al 2100

## Sommario

I dati su griglia per le precipitazioni e la temperatura degli scenari climatici CH2018 rappresentano i possibili sviluppi fino alla fine del secolo. I dati possono essere visualizzati per tre diversi scenari di emissione, sia su base mensile, sia stagionale, che annuale, correlati dalle informazioni sulle loro incertezze. Inoltre sono disponibili le informazioni sulla media spaziale per i bacini imbriferi, di bilanciamento e fluviali. Nell'interpretazione e nell'ulteriore utilizzo dei dati vanno osservate le note restrittive.

Autori: Andreas Fischer<sup>1</sup>, Sven Kotlarski<sup>1</sup>, Alain Bühlmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera, Operation Center 1, 8058 Zürich-Flughafen

<sup>2</sup> Atlante idrologico della Svizzera, Hallerstrasse 12, CH-3012 Berna

## 1 Introduzione

Delle informazioni affidabili e dettagliate sul clima futuro sono una base indispensabile per pianificare le misure di adattamento al clima, come per gli studi e le applicazioni nel campo dell'impatto climatico. Queste informazioni sono fornite a intervalli regolari dall'Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera. Gli attuali scenari climatici CH2018 sono stati pubblicati alla fine del 2018 sotto forma di sei prodotti [1]. Essi tengono conto dei risultati del quinto rapporto di valutazione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [2] e si basano sulle più recenti simulazioni climatiche in Europa secondo tre scenari di emissione.

I dati degli scenari climatici su scala locale e ad alta risoluzione temporale svolgono un ruolo centrale per la pianificazione e per le applicazioni nel settore dell'impatto climatico. Negli scenari climatici CH2018 sono stati generati dati locali in risoluzione giornaliera (ad es. per le precipitazioni o per la temperatura) sia per diversi siti di misurazione distribuiti su tutto il territorio svizzero, sia per un reticolo con una risoluzione spaziale di  $2 \cdot 2 \text{ km}^2$ : questi dati sono disponibili per eventuali simulazioni con modelli climatici tramite il sito [www.klimaszenarien.ch](http://www.klimaszenarien.ch). I dati locali sono stati utilizzati per stimare gli impatti climatici e come base fondamentale per il calcolo dei nuovi scenari idrologici presentati su questa piattaforma dell'Atlante (Mappe L01, L02, L03).

Per le applicazioni pratiche nell'amministrazione e nell'economia, i dati locali CH2018 sono stati ulteriormente elaborati in risoluzione giornaliera calcolando i valori medi nello spazio e/o nel tempo. In questa mappa sono rappresentati i set di dati elaborati, su griglia, riguardanti la temperatura e le precipitazioni. L'intera gamma di set di dati elaborati per gli scenari climatici può essere ottenuta dal [Atlante interattivo](#).

## 2 Dati e metodi

I dati degli scenari locali CH2018 si basano su un insieme di simulazioni climatiche lungo il periodo 1981–2099. A causa dell'ampiezza degli elementi delle griglie, i modelli climatici globali (i «GCM») sono stati affinati a livello spaziale: basandosi sui valori elaborati

dalla simulazione globale per i loro margini, i modelli climatici regionali («RCM») coprono un'area limitata, ma in cambio hanno una risoluzione spaziale più elevata [3].

Questo ridimensionamento su scala europea è stato intrapreso nell'ambito dell'iniziativa Euro-CORDEX ([www.euro-cordex.net](http://www.euro-cordex.net)). Per calcolare gli scenari climatici CH2018<sup>1</sup> sono state prese in considerazione 68 catene di simulazione GCM-RCM. L'insieme del modello è costituito da nove modelli climatici globali e sette regionali (vedi croci nella Tabella 1) che calcolano con una risoluzione lineare di 12 km («alta risoluzione», HR) o di 50 km («bassa risoluzione», LR).

Le ipotesi sullo sviluppo futuro delle emissioni globali di gas serra (i cosiddetti scenari di emissione) fungono da condizioni al contorno per le simulazioni. Per gli scenari climatici CH2018 sono stati considerati tre scenari di emissione:

- RCP8.5: Scenario senza misure di protezione del clima, in cui le emissioni globali continuano ad aumentare costantemente.
- RCP4.5: Scenario intermedio con un aumento meno pronunciato delle emissioni globali fino a circa metà secolo e un successivo livellamento.
- RCP2.6: Scenario coerente di protezione del clima in cui vengono raggiunti gli obiettivi di riduzione delle emissioni dell'Accordo di Parigi.

Poiché i calcoli dei modelli climatici regionali risultano avere ancora una scala spaziale relativamente grossolana, i loro risultati hanno dovuto essere affinati grazie a una post-elaborazione statistica, così da generare informazioni sul futuro del clima a livello locale [4] [5]. Un prerequisito per questa procedura è la disponibilità di simulazioni di modelli climatici regionali («RCM») e di serie di misura pluriennali in siti di misurazione effettivi, rispettivamente su griglie ad alta risoluzione spaziale. Queste informazioni sono state utilizzate per calibrare i modelli così che riflettano lo stato attuale nel modo più ottimale possibile. Per la localizzazione delle

<sup>1</sup>Corrisponde allo stato del 2017. Da allora sono state intraprese altre simulazioni attraverso Euro-CORDEX, che però non hanno potuto essere considerate per CH2018.

simulazioni del modello alle singole stazioni e su una griglia di  $2 \cdot 2 \text{ km}^2$ , le funzioni di distribuzione simulate per diverse variabili climatiche, con una risoluzione giornaliera, nel periodo di calibrazione 1981–2010 sono state confrontate con la funzione di distribuzione di misurazioni effettive ed è stata derivata una funzione di errore per ogni percentile e per ogni giorno dell'anno. I singoli valori giornalieri della simulazione 1981–2099 sono stati poi corretti con la funzione di errore specifica del modello. Ciò si traduce in serie temporali transienti corrette, a risoluzione giornaliera, dal 1981 al 2099. Questa cosiddetta procedura di «mappatura quantile» è stata applicata individualmente ad ogni simulazione climatica e per ogni variabile. Ne sono risultate 31 simulazioni corrette da errori per lo scenario RCP8.5, 25 per RCP4.5 e 12 per RCP2.6. Questi dati locali costituiscono la base centrale per una serie di analisi legate al calcolo dei nuovi scenari idrologici.

Per un confronto sistematico dei risultati per ogni scenario di emissione, è necessario un insieme coerente di risultati del modello. A causa del diverso numero di simulazioni per ogni scenario, la matrice di simulazione è stata completata nei punti nei quali mancavano simulazioni, grazie a una procedura di scalatura (○ in Tabella 1). Questa procedura, effettuata sia per la temperatura che per le precipitazioni, si basa sullo sviluppo della temperatura globale risultante dal modello globale corrispondente (la cosiddetta procedura di «pattern-scaling») [6]. Allo stesso tempo, sono state eliminati i duplicati di catene di simulazione, cioè quando c'era la stessa combinazione GCM-RCM, anche se su scale spaziali originariamente diverse o con inizializzazioni diverse (✓ senza cerchio). Il risultato è un insieme coerente con in totale 21 simulazioni per ogni scenario di emissione (combinazione di ○ e ● nella Tabella 1).

Infine, per rappresentare i risultati nell'Atlante e per ricavare semplici informazioni climatiche dalle statistiche delle serie temporali giornaliere e locali, sono state applicate varie aggregazioni e parametri:

- Aggregazione temporale
  - Media mensile
  - Media stagionale
  - Media annuale
- Aggregazione spaziale
  - Media sul bacino imbrifero
  - Media sul bacino di bilanciamento
  - Media sul bacino fluviale
- Periodi climatologici (media su 30 anni)
  - 1995 (1981–2010)
  - 2035 (2020–2049)
  - 2060 (2045–2074)
  - 2085 (2070–2099)

- Informazioni sull'incertezza delle 21 simulazioni climatiche (per ciascun scenario d'emissione)
  - percentile 5% («valutazione inferiore»)
  - percentile 50% («valutazione media»)
  - percentile 95% («valutazione superiore»)

### 3 Risultati

Il cambiamento climatico continuerà ad accentuarsi in Svizzera anche in futuro. Nello scenario di emissioni senza protezione del clima (RCP8.5), la temperatura media annua in Svizzera aumenterà in modo continuo rispetto al periodo di riferimento 1981–2010: di  $0.9\text{--}1.9^\circ\text{C}$  entro il 2035, di  $2.0\text{--}3.3^\circ\text{C}$  entro il 2060 e di  $3.3\text{--}5.4^\circ\text{C}$  entro la fine del secolo (Figura 1a e b). Contemporaneamente, le precipitazioni aumenteranno in inverno e diminuiranno in estate (Figura 1e e f). Le simulazioni del modello climatico mostrano per gli scenari climatici basati su RCP8.5 un aumento mediano delle precipitazioni medie invernali di circa +8% a metà secolo e +15% entro la fine del secolo e una diminuzione delle precipitazioni estive di circa -11% a metà secolo e -21% entro la fine del secolo (Figura 1e e f).

Tuttavia, gli scenari climatici del CH2018 evidenziano anche le potenzialità degli sforzi globali di protezione del clima: rispetto a uno scenario RCP8.5, una protezione coerente del clima (RCP2.6) eviterebbe circa la metà dei possibili cambiamenti climatici in Svizzera entro la metà del 21° secolo e circa i due terzi entro la fine del secolo (Figura 1c e d) [1].

### 4 Indicazioni per l'interpretazione e l'uso

I dati disponibili forniscono informazioni sul futuro del clima in Svizzera, localizzate su una griglia di  $2 \cdot 2 \text{ km}^2$ . In quanto serie temporali locali corrette, a risoluzione giornaliera, questi dati sono di grande importanza soprattutto per le applicazioni nel campo dell'impatto climatico. Tuttavia l'uso del metodo di «mappatura quantile» per generare i dati locali comporta una serie di ipotesi e di fasi di implementazione pragmatica che limitano l'uso dei dati nelle applicazioni pratiche. È dunque importante tenere conto assolutamente dei seguenti punti:

- **Segnali di un cambiamento climatico**  
I dati dello scenario locale possono dare segnali leggermente diversi rispetto alle simulazioni dei modelli climatici sui quali si basano, dato che questi ultimi hanno una risoluzione spaziale più grossolana. Ciò può pure risultare in gradienti delle quote diversi nel segnale sulle variazioni della temperatura. Non è ancora chiaro fino a che punto questo sia un artefatto statistico o una caratteristica reale.
- **Struttura temporale**  
Sebbene la funzione di distribuzione dei dati dello scenario locale corrisponda a quella delle

GCM	init	RCM	RCP8.5		RCP4.5		RCP2.6	
			0.11°	0.44°	0.11°	0.44°	0.11°	0.44°
ICHEC-EC-EARTH	r1i1p1	KNMI-RACMO22E		✓		✓		⊙
		DMI-HIRHAM5	✓	✓	✓	✓	✓	⊙
	r3i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	✓		✓		⊙	
		CLMcom-CCLM5-0-6		✓		⊙		⊙
		SMHI-RCA4	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MOHC-HadGEM2-ES	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	✓	✓	✓		⊙	
		CLMcom-CCLM5-0-6		✓		⊙		⊙
		ICTP-RegCM4-3		✓		⊙		⊙
		KNMI-RACMO22E		✓		✓		✓
		SMHI-RCA4	✓	✓	✓	✓		✓
MPI-M-MPI-ESM-LR	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	✓	✓	✓	✓	⊙	
		CLMcom-CCLM5-0-6		✓		⊙		⊙
		MPI-CSC-REMO2009	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		SMHI-RCA4	✓	✓	✓	✓		✓
	r2i1p1	MPI-CSC-REMO2009	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MIROC-MIROC5	r1i1p1	CLMcom-CCLM5-0-6		✓		⊙		⊙
		SMHI-RCA4		✓		✓		✓
CCCma-CanESM2	r1i1p1	SMHI-RCA4		✓		✓		⊙
CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	r1i1p1	SMHI-RCA4		✓		✓		⊙
IPSL-IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	SMHI-RCA4	✓	✓	✓	✓	⊙	
NCC-NorESM1-M	r1i1p1	SMHI-RCA4		✓		✓		✓
NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M	r1i1p1	SMHI-RCA4		✓		✓		⊙

**Tabella 1.** L'insieme dei modelli degli scenari climatici CH2018 è il risultato di varie esecuzioni dei modelli (simulazioni). Si tratta di una sequenza di modelli climatici globali (GCM) e regionali (RCM), avviati sulla base di condizioni iniziali (init) in parte diverse. Nella metà destra della figura, i modelli disponibili per CH2018 sono contrassegnati con un buon segno con e senza cerchio (⊙ ✓). Per questi – differenziati per scenari di emissione (RCP) – sono disponibili serie temporali per le precipitazioni e per la temperatura, dal 1981 al 2099, con una risoluzione giornaliera e una risoluzione spaziale di 0.11° e/o 0.44°. Per quanto riguarda il confronto sistematico dei segnali climatici in base ai diversi scenari di emissione, in caso di simulazioni identiche con un modello a bassa (0.44°) e uno ad alta risoluzione spaziale (0.11°), quello a bassa risoluzione non è stato considerato (✓ senza cerchio). Inoltre, per le simulazioni effettuate in duplicato e che si differenziano unicamente per l'inizializzazione, è stata considerata solo una delle due simulazioni (r2i1p1-MPI-CSC-REMO2009). Per ottenere un numero uguale di simulazioni per ogni scenario di emissione, l'insieme del modello è stato completato con una procedura di scalatura (⊙). Le mappe K01 e K02 e le statistiche d'insieme utilizzate in esse (mediana, minima, massima) si basano così sulle simulazioni contrassegnate con un cerchio a tratto solido o punteggiato (⊙ ⊙). Tabella tratta da [1].



**Temperatura (a)**

deviazione dal periodo normale 1981–2010

2085  
inverno

RCP8.5  
stima media



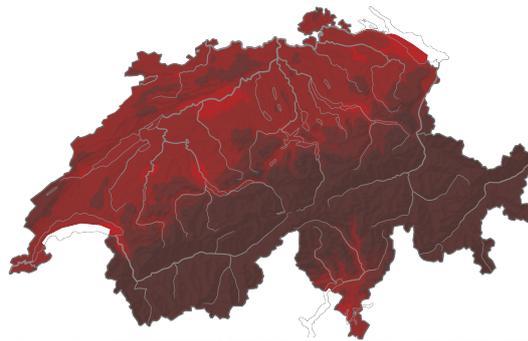
© scenari climatici CH2018

**Temperatura (b)**

deviazione dal periodo normale 1981–2010

2085  
estate

RCP8.5  
stima media



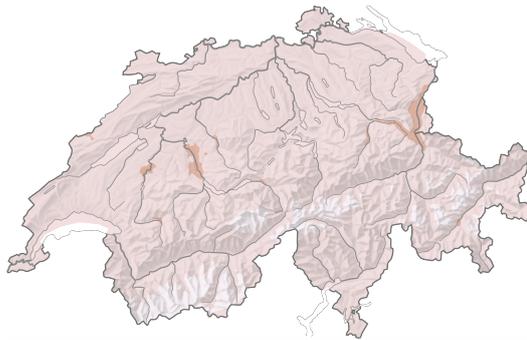
© scenari climatici CH2018

**Temperatura (c)**

deviazione dal periodo normale 1981–2010

2085  
inverno

RCP2.6  
stima media



© scenari climatici CH2018

**Temperatura (d)**

deviazione dal periodo normale 1981–2010

2085  
estate

RCP2.6  
stima media



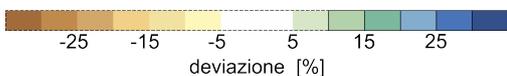
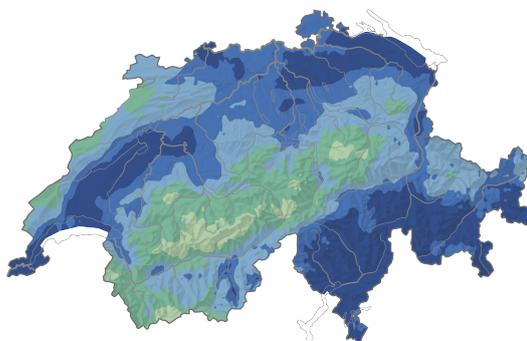
© scenari climatici CH2018

**Precipitazioni (e)**

deviazione dal periodo normale 1981–2010

2085  
inverno

RCP8.5  
stima media



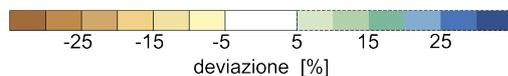
© scenari climatici CH2018

**Precipitazioni (f)**

deviazione dal periodo normale 1981–2010

2085  
estate

RCP8.5  
stima media



© scenari climatici CH2018

**Figura 1.** Variazioni della temperatura (a-d) e delle precipitazioni (e-f) nel 2085 rispetto al 1981–2010. È stata rappresentata il valore medio (stima media) delle simulazioni del modello climatico analizzato (Figure tratte dall'Atlante interattivo).

osservazioni, possono comunque esserci errori sistematici nella sequenza temporale, come ad esempio delle variazioni troppo piccole o troppo grandi da un anno all'altro, o errori nella sequenza dei giorni siccitosi e piovosi. La sequenza temporale non viene corretta esplicitamente dalla procedura statistica. Tuttavia, lavori precedenti suggeriscono che, almeno per le precipitazioni, la sequenza temporale è riprodotta in modo realistico [7] [8].

• **Effetto isola di calore**

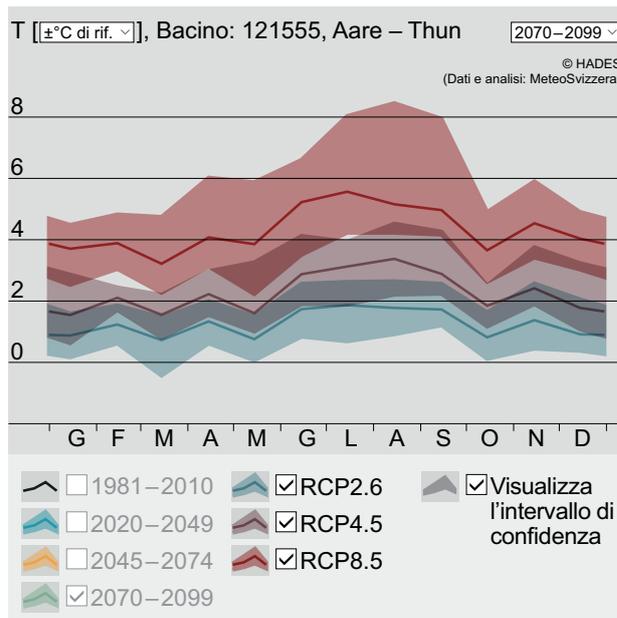
I dati della griglia per la temperatura non includono informazioni sull'effetto di isola di calore in zona urbana, che nelle ore di punta può risultare in una temperatura in centro città più elevata di qualche grado rispetto a quella dell'area circostante [9].

Quando si utilizzano i dati in risoluzione giornaliera, devono essere prese in considerazione ulteriori limitazioni. Oltre a quelle sopra menzionate, esse riguardano anche la struttura spaziale, la coerenza tra le variabili e l'analisi degli estremi. Un trattamento dettagliato dei dati della griglia locale risultante dagli scenari climatici CH2018 è fornito nel rapporto tecnico sugli scenari CH2018 [4].

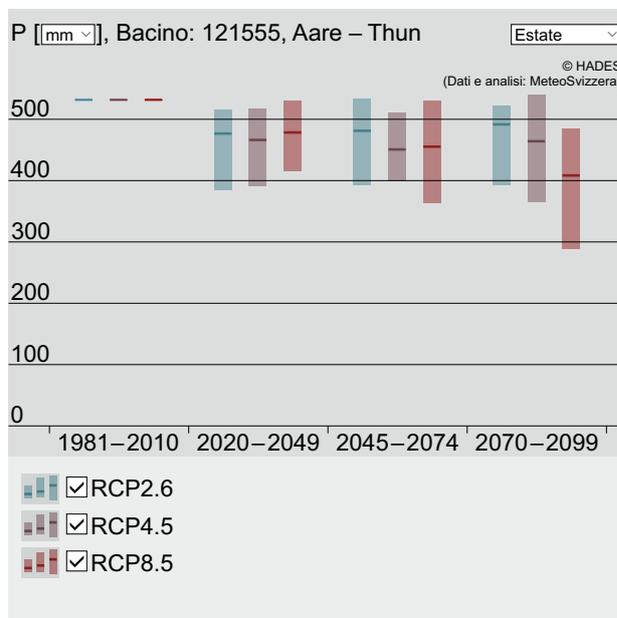
**5 Esempi di applicazioni**

Le mappe «K01 Scenari per le precipitazioni fino al 2100» e «K02 Scenari per la temperatura fino al 2100» mostrano lo sviluppo futuro delle condizioni delle precipitazione e della temperatura per i tre scenari di emissione. Quando una delle due mappe è aperta, cliccando su uno dei punti blu (ingrandire la mappa) è possibile analizzare più dettagliatamente lo sviluppo del parametro corrispondente per il bacino ad esso associato. A questo scopo, seguite il link «Scenari per le precipitazioni» o «Scenari per la temperatura» che vi porterà ai due grafici seguenti.

Nella prima scheda – denominata rispettivamente «Regime delle precipitazioni» e «Regime della temperatura» – lo sviluppo dell'andamento annuale del parametro corrispondente può essere confrontato per diversi valori temporali o scenari di emissione. Per una migliore visione d'insieme, le curve possono essere rimosse dal grafico disattivando le caselle di controllo nella legenda. È anche possibile cambiare l'unità dell'asse y da valori assoluti a valori relativi per il periodo di riferimento o a valori di variazione assoluti. Infine, in alto al centro del grafico, è possibile selezionare lo scenario o il periodo di emissione da visualizzare. La Figura 2 mostra un esempio dell'andamento delle temperature medie mensili fino alla fine del 21° secolo e le confronta per i tre scenari di emissione. In ognuno degli scenari, la temperatura mediana di tutti i mesi aumenta, ma l'aumento è molto più accentuato con il crescere degli scenari di emissione. Il grafico suggerisce inoltre che l'aumento della temperatura tenderà ad essere più pronunciato in estate che negli altri mesi. Nella seconda scheda – chiamata «Precipitazioni medie» o «Temperature medie» – si può esaminare e



**Figura 2.** Variazione relativa della temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ] all'interno del bacino idrografico dell'Aar di Thun per il periodo 2070–2099, rispetto al periodo di riferimento 1981–2010. Sono indicate le variazioni mensili della temperatura, compreso il loro intervallo di confidenza (5% e 95%) per gli scenari di emissione RCP2.6 (blu), RCP4.5 (viola) e RCP8.5 (rosso).



**Figura 3.** Quantità di precipitazioni previste [mm] nel bacino idrografico dell'Aar a Thun nei mesi estivi (giugno, luglio, agosto). Sono indicate le quantità di precipitazioni, compreso il loro intervallo di confidenza (5% e 95%) per gli scenari di emissione RCP2.6 (blu), RCP4.5 (viola) e RCP8.5 (rosso).



confrontare lo sviluppo temporale dei valori medi delle precipitazioni o delle temperature per i singoli mesi, le stagioni o l'anno per i tre scenari di emissione. Come esempio, la Figura 3 mostra lo sviluppo delle precipitazioni estive fino alla fine del 21° secolo. Il segnale è meno chiaro di quello della temperatura. Tuttavia, tutti gli scenari prevedono una diminuzione delle precipitazioni, che sarà più pronunciata verso la fine del secolo, soprattutto nel caso dell'RCP8.5.

## 6 Versioni

**Tabella 2.** Versioni

Versione	Descrizione
v1.0 (2020)	CH2018 Project Team (2018): CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland. National Centre for Climate Services. doi: 10.18751/Climate/Scenarios/CH2018/1.0

## Bibliografia

- [1] CH2018 (2018). *CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report*. Zurich: National Centre for Climate Services.
- [2] IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [3] Giorgi, F., Jones, C. e Asrar, G. R. (2009). Addressing Climate Information Needs at the Regional Level: the CORDEX Framework. In: vol. 58. WMO Bulletin, pp. 175–183.
- [4] Feigenwinter, I. et al. (2018). *Exploring quantile mapping as a tool to produce user-tailored climate scenarios for Switzerland*. A cura di Federal Office of Meteorology and Climatology, MeteoSwiss. Technical Report MeteoSwiss 270.
- [5] Kotlarski, S. e Rajczak, J. (2018). CH2018 2018, Chapter 5: Localized projections. In: Zurich: National Centre for Climate Services. ISBN: 978-3-9525031-4-0.
- [6] Knutti, R. e Soerland, S. (2018). CH2018 2018, Chapter 4: Seasonal mean changes. In: Zurich: National Centre for Climate Services. ISBN: 978-3-9525031-4-0.
- [7] Rajczak, J., Kotlarski, S. e Schär, C. (2016). Does Quantile Mapping of Simulated Precipitation Correct for Biases in Transition Probabilities and Spell Lengths? en. In: *Journal of Climate* 29.5. <https://journals.ametsoc.org/jcli/article/29/5/1605/35084/Does-Quantile-Mapping-of-Simulated-Precipitation>, pp. 1605–1615. ISSN: 0894-8755, 1520-0442. DOI: 10.1175/JCLI-D-15-0162.1.
- [8] Ivanov, M. A. e Kotlarski, S. (2017). Assessing distribution-based climate model bias correction methods over an alpine domain: added value and limitations: ASSESSMENT OF DISTRIBUTION-BASED CLIMATE MODEL BIAS CORRECTION METHODS. en. In: *International Journal of Climatology* 37.5. <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.4870>, pp. 2633–2653. ISSN: 08998418. DOI: 10.1002/joc.4870.
- [9] Burgstall, A. (2019). *Representing the Urban Heat Island Effect in Future Climates*. MeteoSchweiz Scientific Report 105.