

Deflusso di bacini imbriferi di mesoscala

Sommario

La mappa mostra i cambiamenti del deflusso medio mensile, stagionale e annuale, come pure i parametri caratterizzanti le portate minime NM7Q e Q_{347} , sotto l'influsso dei cambiamenti climatici per i tre scenari di emissione RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Le proiezioni sono basate sull'insieme-di-deflussi-Hydro-CH2018 e illustrano i cambiamenti in tre futuri periodi: 2035 (2020–2049), 2060 (2045–2074) e 2085 (2070–2099). Come da convenzione [1] i valori del parametro Q_{347} sono rappresentati a metà dei periodi decennali sui quali sono stati calcolati. In questa mappa sono rappresentati i bacini di mesoscala. I deflussi dei grandi bacini idrografici sono trattati nella mappa L02, mentre i bacini alpini con una grande presenza di ghiacciai nella mappa L03. Va notato che la metodologia utilizzata per ricavarle, differisce per ciascuna delle tre mappe.

Autrici e autori: Regula Mülchi¹, Ole Rössler², Jan Schwanbeck¹, Rolf Weingartner¹, Olivia Martius¹

¹ Università di Berna, Istituto di geografia e Oeschger Centre for Climate Change Research, Hallerstrasse 12, CH-3012 Berna

² Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, D-56068 Koblenz

1 Introduzione

Le proiezioni dei deflussi forniscono una base importante per valutare gli impatti idrologici del cambiamento climatico e per pianificare e implementare sulla loro base le misure di adattamento necessarie nei vari settori come l'agricoltura, l'industria, il turismo, l'ecologia, ecc. Inoltre le proiezioni illustrano anche i significativi benefici delle misure per ridurre le emissioni di gas a effetto serra. Questa mappa è basata sull'insieme-di-deflussi-Hydro-CH2018 [2], prodotto come parte del progetto Hydro-CH2018 e finanziato dall'Ufficio federale dell'ambiente. La mappa mostra i cambiamenti previsti nel regime di deflusso medio di 91 bacini di mesoscala le cui aree che vanno da 14 a 1700 km². I bacini presentano i diversi tipi di regime di deflusso dal glaciale al nivale al pluviale [3]. La mappa mostra i cambiamenti nei valori medi mensili, stagionali e annuali, come pure del parametro NM7Q caratterizzante le portate minime, durante tre periodi di 30 anni, per tre diversi scenari di emissioni cioè uno con basse (RCP2.6), uno con medie (RCP4.5) e uno con alte emissioni di gas serra (RCP8.5). Il parametro Q_{347} ha una rappresentazione analoga, i valori si riferiscono però, come da convenzione, a periodi di 10 anni [1].

2 Dati e metodi

L'insieme-di-deflussi-Hydro-CH2018 comprende valori di deflusso giornaliero modellati per i tre scenari di emissione durante il periodo 1981-2099. L'insieme è stato simulato utilizzando il sistema di modellizzazione idrologica PREVAH [4]. PREVAH è stato sviluppato per la modellizzazione idrologica in terreni dalla morfologia complessa e include diversi sottomodelli che incorporano processi come i cambiamenti di umidità del suolo, lo scioglimento della neve e dei ghiacciai. La stima dell'evapotraspirazione potenziale fonda sulla formula di Hamon [5], basata sulla temperatura. Questa scelta è stata dettata dalla sua semplicità, in quanto ha un'unica variabile meteorologica in entrata: la temperatura. PREVAH è stato calibrato e convalidato con successo per ogni bacino. A tal fine, è stato guidato con valori di input meteorologici effettivamente

misurati; i deflussi simulati sono stati successivamente valutati rispetto ai valori misurati del deflusso. Per la calibrazione sono stati utilizzati come input da un lato i set di dati meteorologici su griglia dei valori giornalieri delle precipitazioni (RhiresD; [6]) e della temperatura (TabsD; [7]), e dall'altro i valori di deflusso giornalieri (Ufficio federale dell'ambiente UFAM [8]). La calibrazione è stata eseguita utilizzando l'algoritmo PEST [9]. A tal fine sono stati utilizzati gli anni pari del periodo 1985–2014. La convalida successiva è stata effettuata sugli anni dispari dello stesso periodo. Nel complesso, i risultati di calibrazione e validazione sono soddisfacenti: l'efficienza media di Nash-Sutcliffe di tutti i bacini è 0.82 e l'efficienza media di Kling-Gupta è 0.89 sia per il periodo di calibrazione che per quello di validazione. Anche le variazioni stagionali della portata nel periodo di calibrazione e validazione concordano bene con i valori misurati.

Per simulare il deflusso nel periodo 1981–2099, sono stati utilizzati come input meteorologico i nuovi scenari climatici svizzeri CH2018. CH2018 fornisce dati su griglia della precipitazione giornaliera e della temperatura dal 1981 al 2099, con una risoluzione di 2 km · 2 km. Le catene di modelli climatici utilizzati, la loro risoluzione e gli scenari di emissione corrispondenti sono elencati nella tabella 1 (vedi mappe K01 e K02). Poiché l'insieme-di-deflusso-Hydro-CH2018 è basato solo sulla temperatura e sulle precipitazioni, il numero di modelli disponibili per ogni scenario di emissione è leggermente più grande che per la mappa L02. Per ulteriori informazioni su CH2018, le catene di modelli associate e le ipotesi di base, si veda il testo di accompagnamento per la mappa K01. Per le simulazioni, l'uso del suolo è stato mantenuto costante nel corso del 21° secolo nei bacini imbriferi non coperti da ghiacciai. Nei bacini glaciali, le aree dei ghiacciai sono state adattate ogni cinque anni secondo le proiezioni di Zekollari et al. ([10]; rappresentato nella mappa L04) per tenere conto del loro ritiro. Ulteriori informazioni sui metodi e sulla valutazione del modello possono essere trovate in Muelchi et al. [2]. Quali indicatori di periodi di portata minima si sono impiegati il valore medio trentennale delle portate minime mediate su 7 giorni consecutivi (NM7Q) nel corso di un anno o di

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	☑		☑		☑	
		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 diverse catene di modelli (simulazioni). Si tratta di una sequenza di modelli climatici globali (GCM) e regionali (RCM), avviati sulla base condizioni iniziali (init) in parte diverse. Il testo di accompagnamento per la mappa **K01** o **K02** fornisce una panoramica di tutti i modelli disponibili in CH2018. Nella metà destra della figura sono contrassegnati (☑) i modelli presi in considerazione nel presente studio per calcolare le statistiche d'insieme (mediana, minima, massima), suddivisi secondo gli scenari di emissione (RCP) e la loro risoluzione spaziale (0.11° o 0.44°). Il confronto di questa tabella con la stessa di altre mappe (K01/K02, L02, L03 e L04) rivela le differenze nelle serie di modelli considerati. Tabella elaborata sulla base di [11].

una stagione e il parametro Q_{347} , calcolato come il 5% percentile dei deflussi giornalieri medi su 10 anni.

3 Risultati

I cambiamenti del deflusso medio mensile causati dal cambiamento climatico mostrano andamenti diversi a seconda del tipo di regime di deflusso. I seguenti bacini selezionati forniscono una panoramica rappresentativa dei cambiamenti dei regimi in Svizzera entro il 2085 sotto RCP8.5 e RCP2.6 (Figura 1): Rosegbach–Pontresina (glaciale, 22% glaciale), Kander–Hondrich (glaciale-nivale, 5% glaciale), Ples-sur–Chur (nivale), Emme–Emmenmatt (pluvio-nivale), Venoge–Ecublens (pluviale) e Verzasca–Lavertezzo (pluviale, sudalpino).

In generale, il deflusso invernale aumenta a causa dell'aumento delle precipitazioni invernali e dell'aumento della proporzione di quelle liquide sulle totale. Al contrario, il deflusso estivo diminuisce, in parte a

causa dell'aumento dell'evapotraspirazione causato dalle temperature più alte e in parte a causa della diminuzione delle precipitazioni estive. Nei bacini glaciali, la diminuzione del deflusso estivo è amplificata a lungo termine a causa della mancanza di acqua di fusione, poiché il volume dei ghiacciai diminuisce.

Sotto RCP8.5 ed entro la fine del secolo, il regime di deflusso del bacino del Rosegbach, fortemente influenzato dai ghiacciai, cambia da un tipico regime glaciale a uno più nivale, con i massimi deflussi mensili in tarda primavera, rispettivamente a inizio estate, piuttosto che in tarda estate. Il deflusso medio tra giugno e settembre diminuisce drammaticamente a causa del ritiro dei ghiacciai e della riduzione dello scioglimento delle nevi, mentre il deflusso invernale aumenta. Tuttavia, il contributo del deflusso invernale al volume annuale rimane piccolo. Il regime del bacino meno glaciale della Kander mostra pure un aumento del deflusso invernale e una forte diminuzione del deflusso estivo, così come uno spostamento dei maggiori

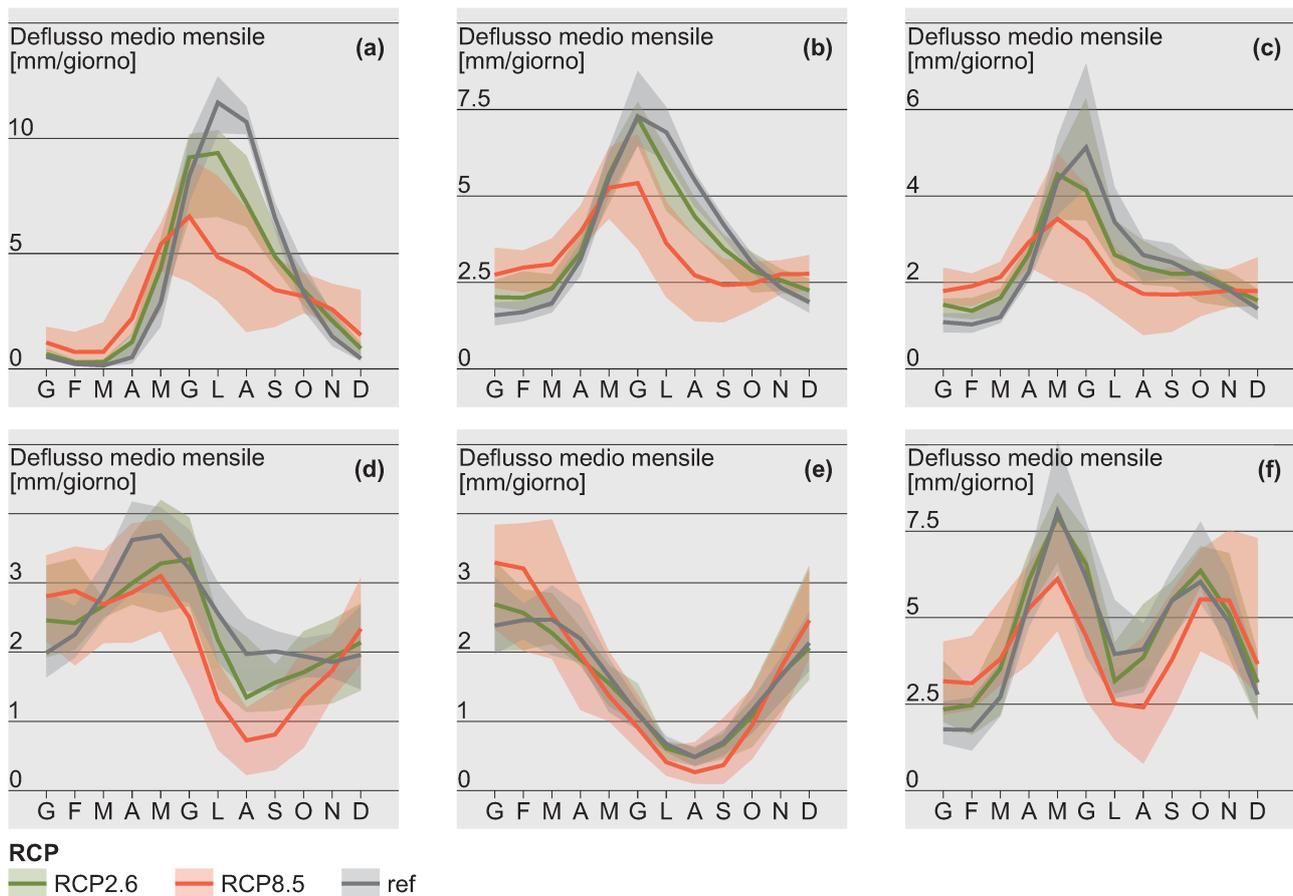


Figura 1. Regimi di deflusso del Rosegbach (a), della Kander (b), della Plessur (c), della Emme (d), della Venoge (e) e della Verzasca (f). Le linee spesse indicano il valore medio di tutti i modelli per il periodo di riferimento (grigio), per il 2085 sotto RCP2.6 (verde) e per il 2085 sotto RCP8.5 (rosso). L'area ombreggiata mostra l'ampiezza di tutti i modelli [12].

deflussi mensili dall'estate alla tarda primavera, rispettivamente a inizio estate. Tuttavia, a differenza del bacino fortemente ghiacciato, qui il deflusso invernale diventa più importante. Nel bacino nivale della Ples-sur, la massima portata mensile si sposta da giugno a maggio. A causa dell'aumento del deflusso in inverno e della diminuzione in estate, la curva di regime si appiattisce, cioè la differenza tra il deflusso mensile medio massimo e minimo diminuisce sotto RCP8.5. Nel bacino pluvio-nivale della Emme, il deflusso diminuisce bruscamente in estate e inizio autunno, e il tipico picco in primavera dovuto allo scioglimento della neve scompare gradualmente. L'andamento pluviale del regime di scarico della Venoge persiste; tuttavia, l'ampiezza del regime aumenta rispetto al periodo di riferimento a causa dei deflussi invernali maggiori e quelli estivi più ridotti. Infine, il bacino pluviale alpino meridionale della Verzasca mostra un regime con due picchi nel periodo di riferimento: uno in tarda primavera e uno in autunno. Questo modello è ancora presente alla fine del secolo, ma i picchi sono meno marcati.

Qualitativamente, la direzione dei cambiamenti (aumento/diminuzione) nello scenario RCP2.6 corrisponde quello in RCP8.5 per quasi tutti i mesi e bacini. Tuttavia, le deviazioni dal rispettivo regime durante il periodo di riferimento 1981–2010 sono significativamente più piccole che nel caso di RCP8.5. Inoltre, si può vedere che i risultati dipendono fortemente dall'altitudine. Mentre i cambiamenti indotti dal clima nei bacini alpini sono più forti in inverno, primavera ed estate, i bacini più bassi sono maggiormente colpiti dai cambiamenti nella tarda estate e in autunno. Questa dipendenza dall'altitudine è evidente anche in situazioni di magra. Sull'Altopiano centrale, nel Giura e sul lato sud delle Alpi, i deflussi in situazioni di magra diminuiranno in futuro. Ciò significa che sarà disponibile meno acqua e le situazioni di mancanza d'acqua diventeranno più frequenti. Nelle Alpi, dove i deflussi finora sono stati più bassi in inverno, essi aumenteranno durante le situazioni di bassa portata. Le simulazioni mostrano così gli impatti diversi che il cambiamento climatico ha a seconda della posizione e delle caratteristiche dei bacini. Ulteriori risultati possono si trovano in Muelchi et al. [12] e Muelchi et al. [13].

4 Indicazioni per l'interpretazione e l'uso

Le seguenti note dovrebbero essere considerate quando si utilizzano i risultati dell'insieme-dei-deflussi-Hydro-CH2018:

- Le proiezioni idrologiche sono basate su una lunga catena di modelli diversi. Questo include gli scenari di emissione, i risultati dei modelli climatici risultanti e i modelli idrologici. Ogni modello in questa catena contiene delle incertezze. Queste incertezze sono prese in considerazione in una certa misura nell'insieme-dei-deflussi-Hydro-CH2018 utilizzando un gran numero di modelli climatici e tre scenari di emissione come

base per la modellizzazione idrologica. Al contrario, è stato utilizzato un solo modello idrologico. L'uso di ulteriori modelli idrologici potrebbe quindi portare a risultati (leggermente) diversi. Tuttavia, un confronto dei risultati del modello per i pochi bacini per i quali erano disponibili i risultati di altri modelli idrologici, ha mostrato un buon accordo per quanto riguarda gli effetti dei cambiamenti climatici sul deflusso [14].

- Si raccomanda fortemente di utilizzare valori medi a lungo termine (per esempio periodi di 30 anni) e di considerare l'intero insieme dei modelli (tutte le catene di modelli). Questo riduce l'influsso della variabilità interna del clima e aumenta la robustezza dei risultati. Così, la mediana di tutte le iterazioni del modello produce la cosiddetta «stima migliore». Tuttavia, ogni proiezione corrisponde a una stima ugualmente probabile del deflusso. La combinazione tra l'uso del valore mediano come migliore stima e la presa in considerazione della distribuzione dei valori dell'intero insieme fornisce un'indicazione della robustezza della proiezione. Si noti che nella mappa, la «stima minima» e la «stima massima» corrispondono effettivamente al rispettivo minimo e massimo di tutti i modelli. Questo rende la presente mappa diversa dalle mappe delle precipitazioni e della temperatura K01 e K02, dove l'intervallo è descritto utilizzando i percentili del 5% e del 95%. Dal momento che erano disponibili meno modelli per il calcolo della presente mappa, i percentili del 5% e del 95% non hanno potuto essere determinati in modo significativo.
- Va anche notato che per ogni scenario di emissione erano disponibili un numero diverso di catene di modelli climatici (Tabella 1): per RCP2.6 ce n'erano otto, per RCP4.5 sedici e per RCP8.5 venti. Queste differenze nella dimensione dell'insieme possono influenzare alcune analisi (per esempio, le statistiche d'insieme).

5 Esempio di applicazione

La mappa L01 mostra tutte le 91 stazioni per le quali sono disponibili simulazioni di deflusso. Dopo aver cliccato su una delle stazioni, il link «Scenari di deflusso» porta attraverso quattro cursori che permettono la rappresentazione di altrettanti parametri, i quali illustrano lo sviluppo futuro del deflusso, come pure a una compilazione dei dati di base.

La prima scheda, «Regimi di deflusso», mostra i deflussi medi mensili e stagionali. È possibile confrontare i regimi di diversi periodi e scenari di emissione. Per una migliore visione d'insieme, le singole curve o l'intervallo di confidenza possono essere mostrate o nascoste usando le caselle di controllo nella legenda. Inoltre, è possibile cambiare l'unità dell'asse y da valori assoluti [mm] a valori relativi [%]. Questi ultimi si riferiscono al periodo di riferimento modellizzato. Infine, lo scenario di emissione desiderato o il perio-

do di tempo può essere selezionato al centro sopra il grafico. La figura 2 mostra l'andamento dei deflussi mensili medi per i diversi periodi usando l'esempio della Reuss a Seedorf sotto lo scenario di emissioni RCP8.5: mentre è da attendersi una diminuzione del deflusso durante i mesi estivi, questo aumenta nei mesi invernali.

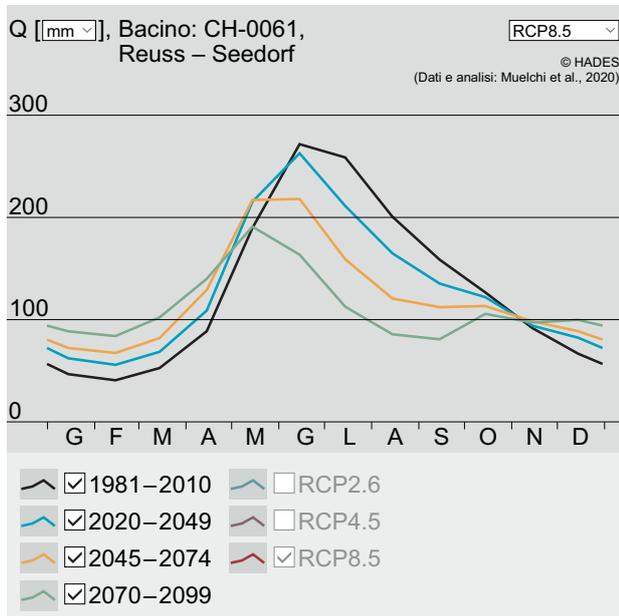


Figura 2. Reuss–Seedorf: Cambiamento del regime di deflusso fino alla fine del 21° secolo

Nella seconda scheda, «Deflussi medi», si possono paragonare lo sviluppo temporale dei deflussi medi di singoli mesi, stagioni o anni può essere confrontato per i tre scenari di emissione. La figura 4 mostra come la portata media annuale della Reuss diminuisca. Questo indica che la diminuzione dei deflussi estivi è maggiore dell'aumento dei deflussi invernali.

Le schede tre e quattro – analogamente alla seconda – permettono la rappresentazione dello sviluppo dei parametri caratterizzanti le portate minime NM7Q, rispettivamente Q_{347} .

La quinta scheda, «Dati di base», è una compilazione degli scenari per le precipitazioni, la temperatura e l'andamento dei ghiacciai presi in considerazione per la modellizzazione del deflusso del bacino prescelto. Queste informazioni possono essere utilizzate per un'ulteriore interpretazione degli scenari di deflusso. Per quanto riguarda la Reuss, queste informazioni mostrano che sia le precipitazioni, sia le temperature aumentano in inverno (aumento del deflusso in inverno), mentre le precipitazioni diminuiscono in estate e l'area dei ghiacciai si riduce (riduzione del deflusso in estate).

Infine è possibile confrontare l'andamento spaziale dei cambiamenti di deflusso in bacini di dimensioni simili. A questo scopo può essere selezionato nella barra laterale sinistra di L01 la voce «Bacini imbriferi» e la dimensione desiderata del bacino imbrifero può essere definita utilizzando il menu a tendina. Ora, nella barra laterale destra, si possono selezionare i para-

metri caratterizzanti il deflusso (MQ, NM7Q, Q_{347}), lo scenario di emissione desiderato, il periodo di tempo, ecc. desiderati. La figura 3 mostra i cambiamenti relativi al deflusso primaverile entro la fine del 21° secolo sotto lo scenario di emissioni RCP 8.5. Nei bacini imbriferi più bassi, il deflusso diminuisce, mentre i bacini più alti e glaciali mostrano un aumento del deflusso primaverile.

6 Versioni

Tabella 2. Versioni

Versione	Descrizione
v1.0 (2020)	La base di dati e il metodo di base sono descritti in Muelchi et al.[2]. I dati sono ottenibili all'indirizzo web: https://doi.org/10.5281/zenodo.3937485
v2.0 (2022)	Ampliamento delle mappe con i valori caratterizzanti le portate minime NM7Q e Q_{347} . Adattamento del titolo della mappa

Bibliografia

- [1] L'Assemblea federale della Confederazione Svizzera (1991). Legge federale sulla protezione delle acque, LPac. In: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860_1860_1860/it.
- [2] Muelchi, R., Rössler, O., Schwanbeck, J. e Martius Rompainen, O. (2021a). An ensemble of daily simulated runoff data (1981–2099) under climatechange conditions for 93 catchments in Switzerland (Hydro-CH2018-Runoff ensemble). In: *Geoscience Data Journal*. DOI: 10.1002/gdj3.117.
- [3] Weingartner, R. e Aschwanden, H. (1992). Regime fluviale – base per la stima delle medie di deflusso. In: *Atlante idrologico della Svizzera*. A cura di Ufficio federale dell'ambiente UFAM. Vol. 1. Tavola 5.2. <https://atlanteidrologico.ch/prodotti/versione-cartacea/corsi-d-acqua-e-laghi/tavola-5-2>. Berna: Ufficio federale di topografia swisstopo.
- [4] Viviroli, D., Zappa, M., Gurtz, J. e Weingartner, R. (2009). An introduction to the hydrological modelling system PREVAH and its pre- and post-processing-tools. In: *Environmental Modelling & Software* 24.10. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815209000875>, pp. 1209–1222. ISSN: 13648152. DOI: 10.1016/j.envsoft.2009.04.001.

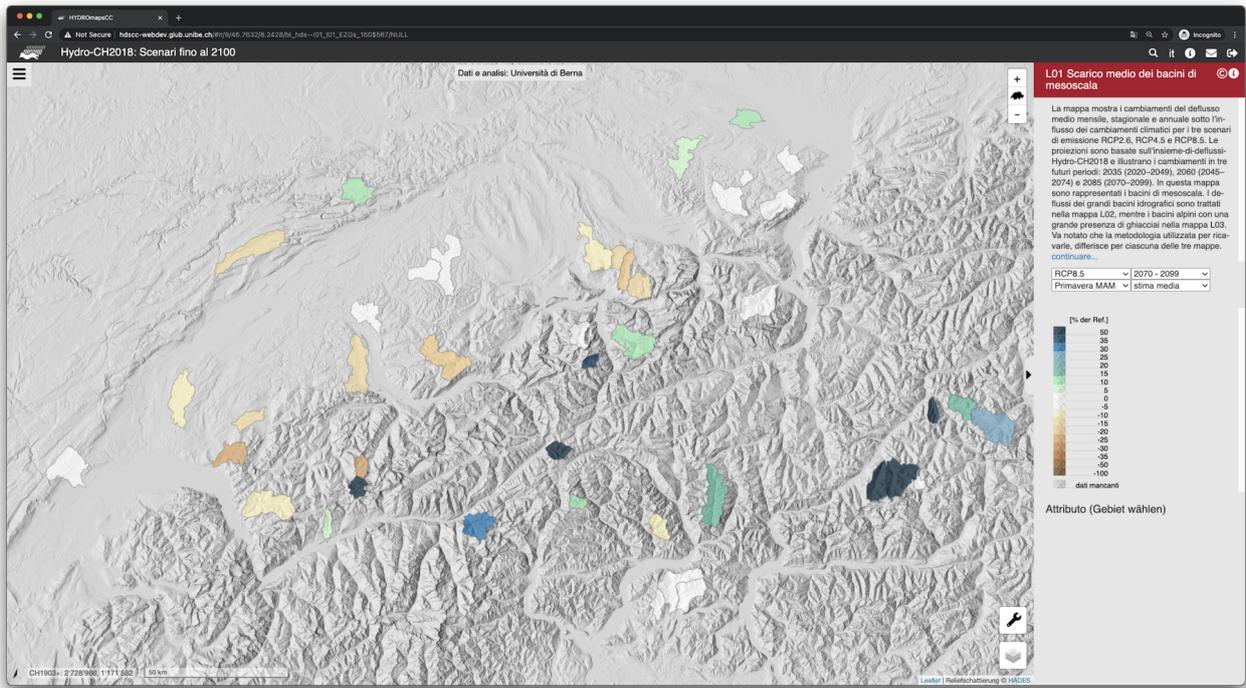


Figura 3. Cambiamento relativo del deflusso primaverile fino alla fine del 21° secolo nello scenario RCP8.5

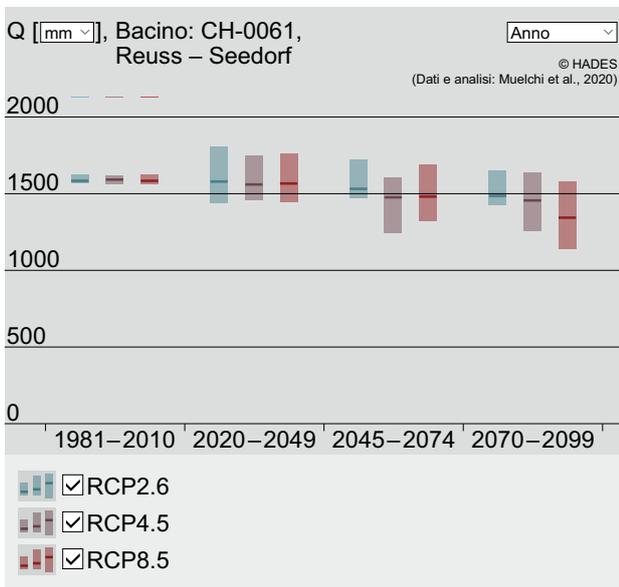


Figura 4. Reuss-Seedorf: Diminuzione del deflusso annuale fino alla fine del 21° secolo nel caso RCP2.6 (blu), RCP4.5 (viola) e RCP8.5 (rosso)

[5] Hamon, W. (1961). Estimating Potential Evapotranspiration. In: *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 87, pp. 107-120.

[6] MeteoSwiss ed. (2019a). *Daily Precipitation (field analysis): RhiresD*. https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publikationen/produkt/raeumliche-daten-niederschlag/doc/ProdDoc_RhiresD.pdf.

[7] MeteoSwiss ed. (2019b). *Daily Mean, Minimum and Maximum Temperature: TabsD, TminD, TmaxD*. https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publikationen/produkt/raeumliche-daten-temperatur/doc/ProdDoc_TabsD.pdf.

[8] Bundesamt für Umwelt BAFU (2021a). *Datenservice Hydrologie für Fließgewässer und Seen*. In: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/daten/messwerte-zum-thema-wasser-beziehen/datenservice-hydrologie-fuer-fluessgewaesser-und-seen.html>.

[9] Dorthey, J. (2005). *PEST: Model-Independent Parameter Estimation, User Manual*. Brisbane, Australia: Watermark Numerical Computing.

[10] Zekollari, H., Huss, M. e Farinotti, D. (2019). Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. In: *The Cryosphere* 13.4. <https://tc.copernicus.org/articles/13/>

- 1125/2019/, pp. 1125–1146. ISSN: 1994-0424. DOI: 10.5194/tc-13-1125-2019.
- [11] CH2018 (2018). *CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report*. Zurich: National Centre for Climate Services.
- [12] Muelchi, R., Rössler, O., Schwanbeck, J., Weingartner, R. e Martius, O. (2021b). River runoff in Switzerland in a changing climate—runoff regime changes and their time of emergence. In: *Hydrology and Earth System Sciences* 25.6, pp. 3071–3086. DOI: 10.5194/hess-25-3071-2021.
- [13] Muelchi, R., Rössler, O., Schwanbeck, J., Weingartner, R. e Martius Rompainen, O. (2021c). River runoff in Switzerland in a changing climate – changes in moderate extremes and their seasonality. In: *Hydrology and Earth System Sciences* 25.6, pp. 1209–2021. DOI: 10.5194/hess-25-3577-2021.
- [14] Bundesamt für Umwelt BAFU (2021b). *Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft*. Umwelt-Wissen. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-hydroszenarien/synthesebericht.html>. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.