



AGENZIA PROVINCIALE
PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE



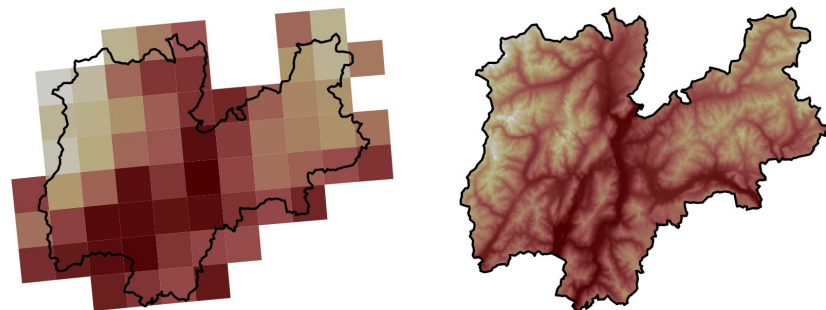
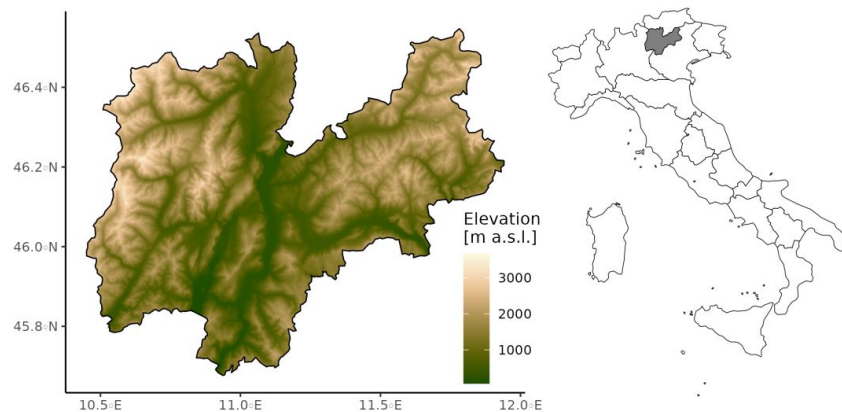
Gli scenari climatici di riferimento per il Trentino: Scelte modellistiche e istruzioni per l'uso

Michael Matiu, Anna Napoli, Alberto Bellin, Dino Zardi, Bruno Majone

19 Maggio, 2026

Trentino e la complessità orografica

- informazione ad alta risoluzione indispensabile
- modelli globali (GCM in CMIP5, CMIP6) o regionali (RCM EURO-CORDEX) insufficienti



Dati e metodi

Osservazioni:

Crespi et. al. 2021 “A high-resolution gridded dataset of daily temperature and precipitation records ...”, ESSD

Modelli climatici:

- RCM EURO-CORDEX (CMIP5)
- VHR-PRO_IT (CMCC)

Metodi statistici applicati ai RCM EURO-CORDEX

- 1) Riduzione del ensemble
- 2) Correzione del bias e downscaling statistico

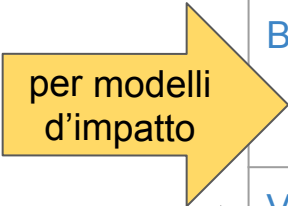


Elaborazione

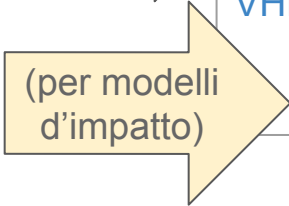
- Aggregazioni temporali (mensile, stagionale, annuale)
- Indici climatici (ETCCDI, PNACC, ...)

Sintesi dati usati e creati

<i>Acronimo</i>	<i>Risoluzione spaziale</i>	<i>Frequenza temporale</i>	<i>Numero modelli</i>	<i>Variabili</i>
EURO-CORDEX	12 km	giornaliero	23 (rcp2.6) 29 (rcp4.5) 52 (rcp8.5)	temperatura, precipitazione
BA-DS*	1 km	giornaliero	5 (rcp2.6) 6 (rcp4.5, rcp8.5)	temperatura, precipitazione
VHR-PRO_IT	2.2 km	orario	1 (rcp4.5, rcp8.5)	temperatura, precipitazione, umidità, radiazione, vento, neve



per modelli
d'impatto



(per modelli
d'impatto)

*BA (bias adjustment) DS (downscaling)

Riduzione del ensemble EURO-CORDEX (1/2)

Perché?

- Usare 20-50 modelli climatici può (in alcuni casi) essere complesso

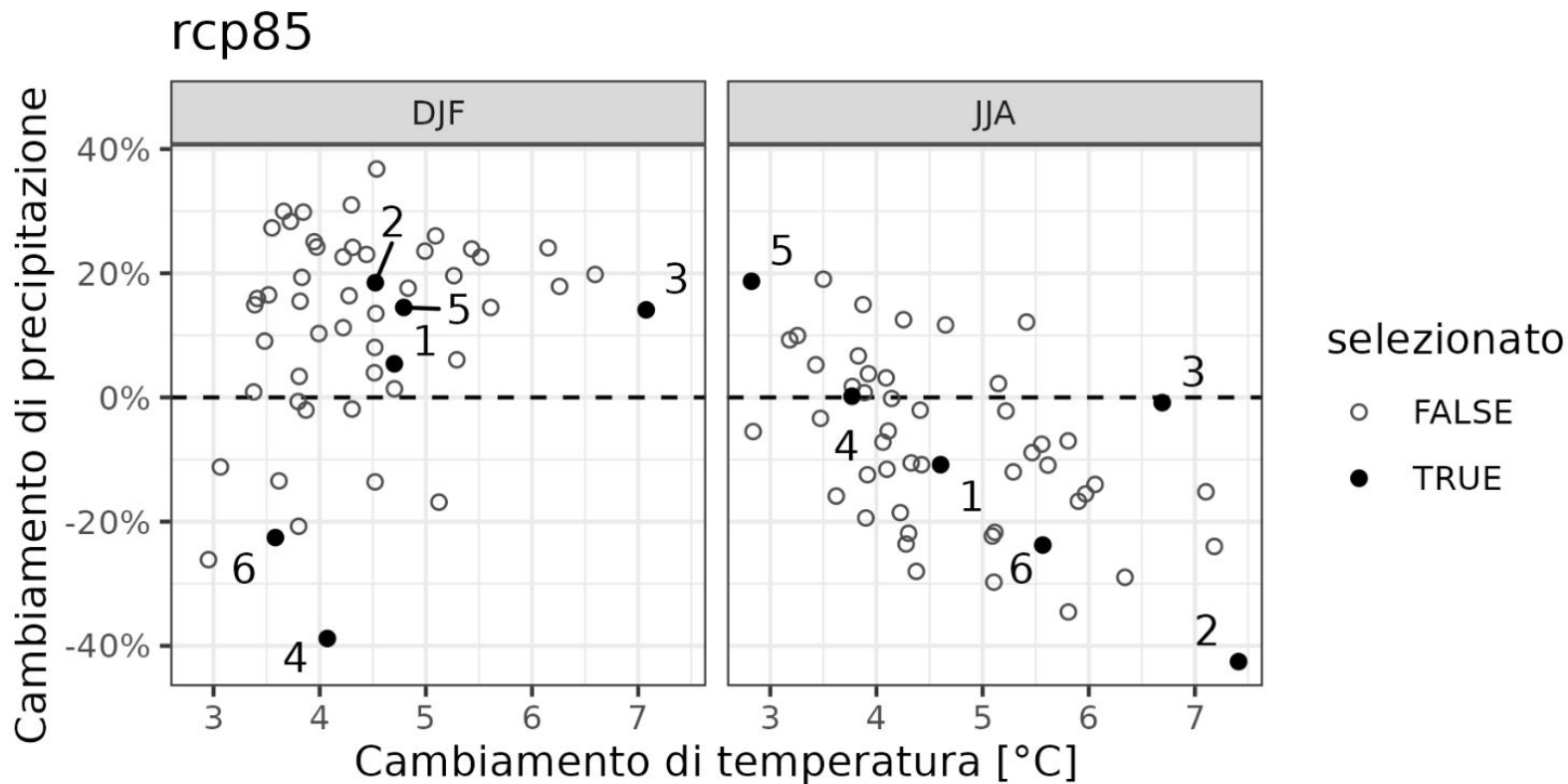
Obiettivo:

- Ridurre l'ensemble
- Mantenere la variazione modellistica dei cambiamenti previsti
- Facilitare l'uso dei dati climatici

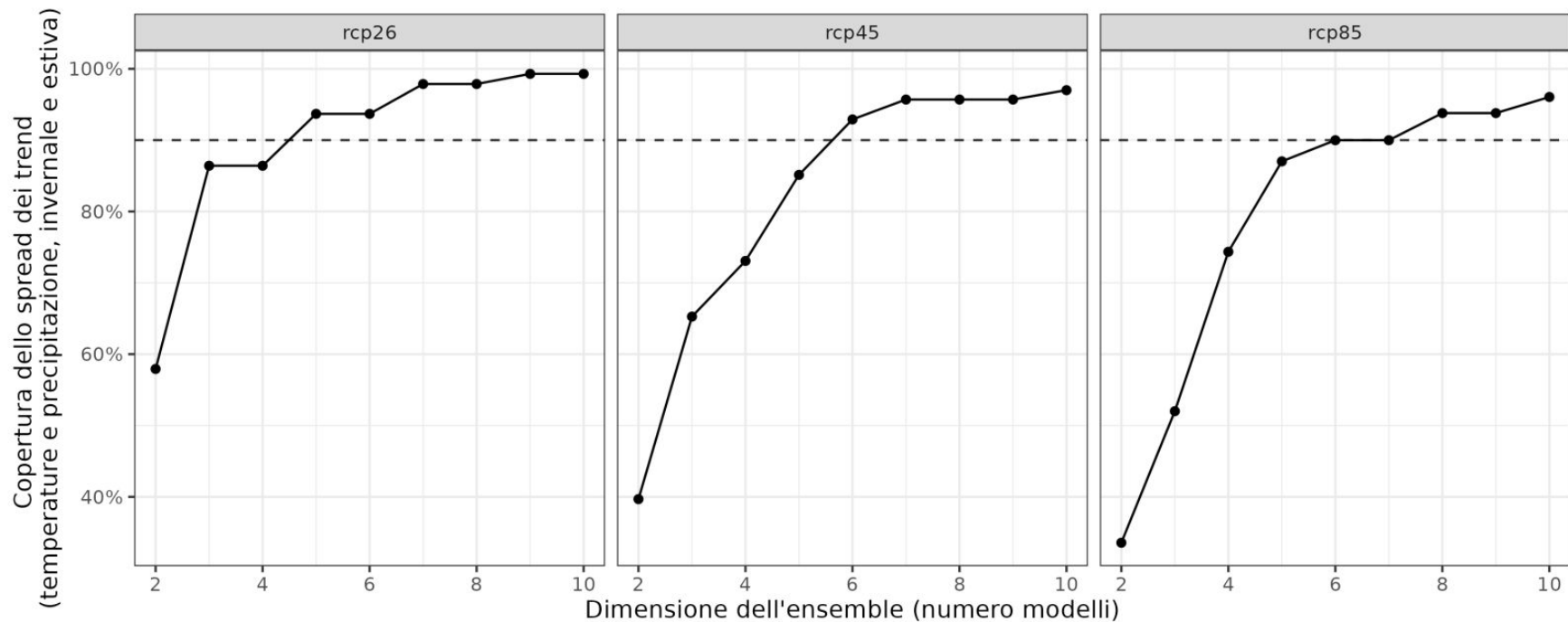
Metodo:

- Statistico basato su k-means clustering
- Considerando le variazioni future (2071-2100 vs 1981-2010) in temperatura e precipitazione invernale e estiva (4 dimensioni)

Riduzione del ensemble EURO-CORDEX (2/2)



Numero dei modelli nel sottoinsieme



Considerazioni importante (sottoinsieme)

- Modello 1 è il modello con cambiamenti nella media del ensemble
- Cambiamento delle temperatura è abbastanza continua per tutti i RCP* e tutto il periodo 1971-2100
- Attenzione! Le precipitazioni stagionali totali sono soggette a una notevole variabilità climatica interna (anche multidecadale)
 - ad es., modello 4 RCP8.5 con “inverni molto secchi” può avere inverni “normali” o “umidi” prima del 2070

Correzione del bias e downscaling

- Quantile Delta Mapping (Cannon et. al. 2015)
- Periodo di riferimento: 1981-2010
- Periodo storico combinato con ogni RCP (serie temporale continue 1950/1970 - 2099/2100, a seconda del modello; calendario gregoriano)
- Applicato per cella, per mese e per decennio
 - finestra mobile con ± 1 mese e ± 1 decennio
 - ad es., per gennaio 2041-2050 sono stati usati dicembre a febbraio 1981-2010 (passato) e dicembre a febbraio 2031-2050 (futuro)

Istruzioni per l'uso (1/3)

- Licenza:
 - EURO-CORDEX “uso non limitato”
 - dati osservativi di Crespi et al. 2021: CC-BY-4.0
 - VHR-PRO_IT: CC-BY-4.0
 - dati downscalati e corretti del bias: CC-BY-4.0
- Formato dei file: netcdf con griglia regolare lonlat e calendario regolare
- Pubblicazioni di riferimento:
 - Napoli and Matiu et. al. 2026. “Building the scientific basis ...”. Climate Services, <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2025.100629>.

Climate Services 41 (2026) 100629

Contents lists available at ScienceDirect

Climate Services

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cliser

Original research article

Building the scientific basis for the adaptation strategy of an Alpine region: The ‘State of the climate in Trentino’ report

Anna Napoli^{a,*}, Michael Matiu^{a,*}, Lavinia Laiti^b, Roberto Barbiero^c, David Tombolato^d, Silvia Scarian Monsorno^e, Alberto Bellin^f, Dino Zardi^g, Bruno Majone^h

^aCSI - Center Agriculture Food Environment, University of Trento, Via Mach 1, San Michele all’Adige, 38010, TN, Italy
^bFISACM - Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, University of Trento, Via Mesiano 77, Trento, 38123, TN, Italy
^cADRI - Agency for Environmental Protection of the Autonomous Province of Trento, Piazza Vittoria 3, Trento, 38122, TN, Italy
^dMISE - Museo delle Scienze di Trento, Corso del Lavoro e della Scienza 3, Trento, 38122, TN, Italy

HIGHLIGHTS

- Widely accessible state-of-the-art climate information obtained through the collaboration of research and local institutions.
- Overview of the scientific literature availability on climate change impacts over the Trentino territory.
- Benefits and drawbacks of climate scenarios using dynamic and statistical downscaling.

ARTICLE INFO

Keywords:
Mountainous region
Climate scenarios
Trentino
Climate services
European Alps

ABSTRACT

Many regional administrations are currently developing tailored adaptation strategies, based on the unique characteristics of their territories, which includes local climate patterns and, more importantly, environmental and socioeconomic factors. Yet, exploiting this wealth of information to design effective climate strategies remains a challenge.

This study outlines the approach used to establish the basis for the climate strategy in the Autonomous Province of Trento, a mountainous region in northern Italy and part of the European Alps. The approach adopted by the regional government emphasizes the need for a multi-level, multi-stakeholder approach to shape the development of a regional adaptation strategy. Here, we present three major steps of this process, highlighting the collaborative effort between diverse entities: (1) Compilation of an up-to-date scientific review of the existing knowledge about climate change impacts in the region, (2) Creation of reference climate scenario, and (3) Dissemination of a summary of the report to the general public.

The literature review revealed large heterogeneity across socioeconomic sectors in the scientific literature focusing on the impacts of climate change. This disparity was reflected in the informative report, which simplified and summarized the technical information without sacrificing scientific accuracy. The creation of climate scenarios had to balance multiple aspects, including mountain topography, data availability, and needs from stakeholders, by using a layered approach combining spatially aggregated results, statistical downscaling, and high-resolution convection-permitting models.

Practical implications

The climate is undergoing significant changes, profoundly affecting both the environment and society. These impacts include shifts in ecosystems, biodiversity, disruptions in human activities, economies, and livelihoods. The far-reaching consequences underscore the urgency of addressing the impacts of climate change.

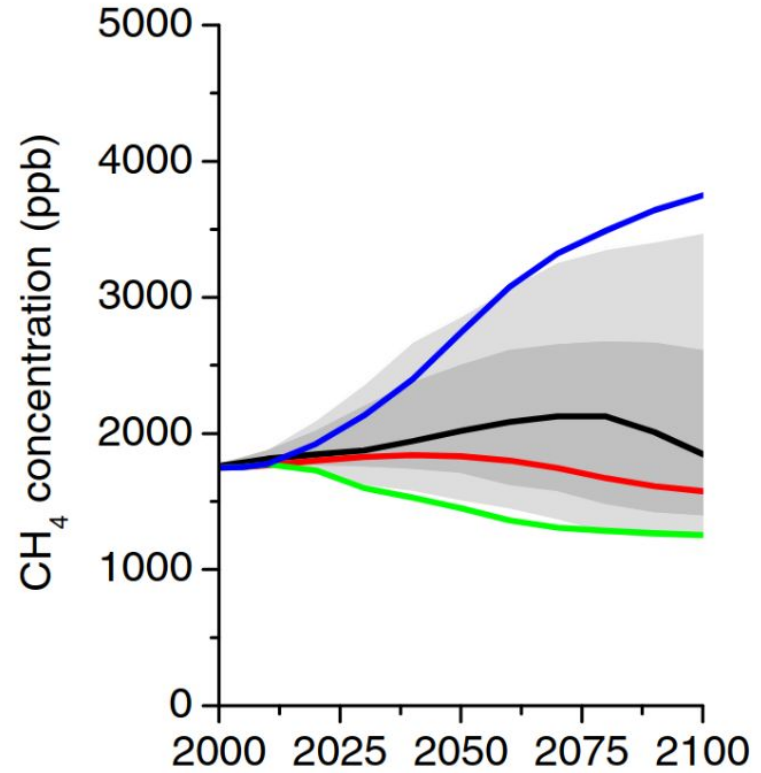
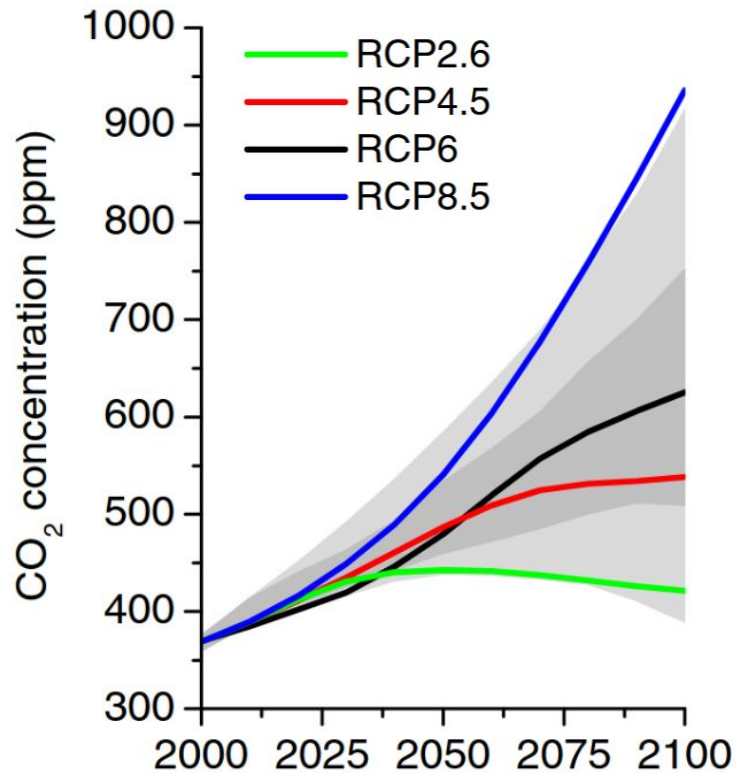
1. Local adaptation strategies are essential. The case of the Autonomous Province of Trento (for brevity, Trentino hereafter) highlights the importance of regionally tailored climate adaptation strategies. It prioritizes localized planning that considers specific environmental and socioeconomic contexts, particularly in vulnerable regions like mountainous areas.

Istruzioni per l'uso (2/3)

Considerazioni generali per tutti i dati da simulazioni mediante modelli climatici

1. Nessuna sincronia temporale (corrispondenza giornaliera) con le osservazioni o tra i modelli.
2. Si consiglia di utilizzare più di 30 anni di dati dei modelli climatici.
3. Comprendere le motivazioni alla base degli scenari climatici RCP e la dipendenza dal tempo negli scenari RCP.

Scenari RCP e concentrazioni gas serra



Istruzioni per l'uso (3/3)

Per i dati corretti dal bias e downscalati statisticamente

1. Prendere il modello numero 1 per il cambiamento medio.
2. Scegliere altri modelli per tenere conto dell'incertezza modellistica e verificare la sensibilità a climi diversi.
 - Valutare l'andamento di ogni modello relativo al periodo di interesse, se diverso dal 2071-2100.
3. Valutare i risultati per il passato di ciascun modello.
 - Gli scenari RCP iniziano nel 2006, il periodo precedente è comune a tutti gli RCP per la stessa combinazione GCM-RCM.
4. Gli estremi devono essere trattati con prudenza.

Per i dati VHR-PRO_IT

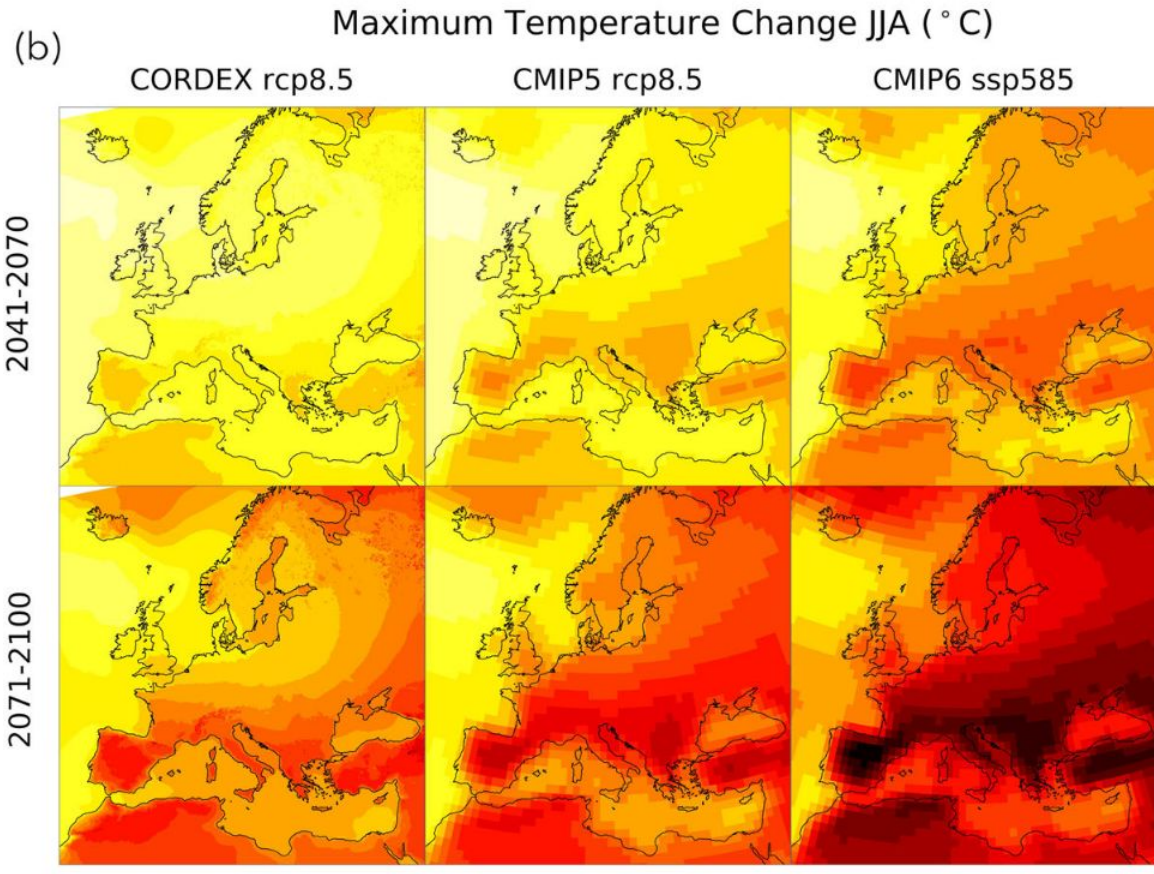
1. Non sono stati corretti per eliminare il bias modellistico.
2. Con un solo modello, manca la stima dell'incertezza modellistica.

Conclusioni

- dati sul cambiamento climatico specificamente per il Trentino
 - temperatura (media, minima, massima) e precipitazione giornaliera
 - periodo 1970-2100
 - grigliati a 1 km
 - scenari RCP2.6, 4.5, e 8.5
- corretti per bias modellistico, quindi pronto per essere usati in modelli d'impatto
- un ensemble di modelli
 - modello 1 per le condizioni climatiche medie future
 - altri modelli per stimare l'incertezza modellistica oppure per valutare la sensitività dei modelli di impatto a condizioni climatiche più o meno estreme
- basato sui più recenti dati disponibili dei modelli climatici regionali in Europa e realizzato utilizzando metodi ampiamente diffusi nei paesi alpini

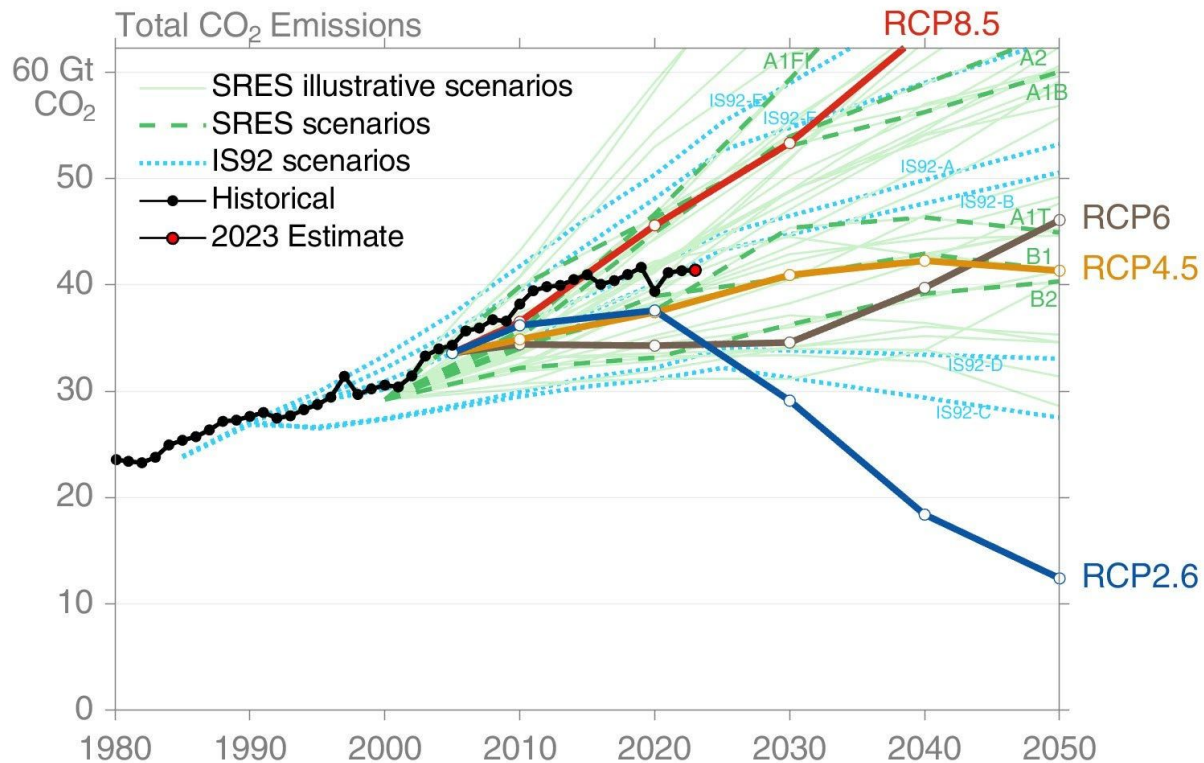
Appendice

CMIP5 vs CMIP6



Coppola et. al. 2021
“Assessment of the
European Climate
Projections as
Simulated by the
Large
EURO-CORDEX
Regional and Global
Climate Model
Ensemble”, JGR-A

Emissioni CO2 storici



© Figure: @robbie_andrew, @Peters_Glen

The Climate Brink

<https://www.theclimatebrink.com/p/emissions-are-no-longer-following>

(Zeke Hausfather, Glen Peters)

Modelli nel sottoinsieme

Scenario	N°	GCM	RCM	GCM ensemble	DS
rcp26	1	NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	r1i1p1	v1
	2	MOHC-HadGEM2-ES	SMHI-RCA4	r1i1p1	v1
	3	NOAA-GFDL-GFDL-ESM2G	GERICS-REMO2015	r1i1p1	v1
	4	ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	r12i1p1	v1
	5	ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	r12i1p1	v1
rcp45	1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	r1i1p1	v2
	2	MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	r1i1p1	v1
	3	MOHC-HadGEM2-ES	SMHI-RCA4	r1i1p1	v1
	4	IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	r1i1p1	v1
	5	IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL-WRF381P	r1i1p1	v1
	6	MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	r1i1p1	v1
rcp85	1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	r1i1p1	v2
	2	MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	r1i1p1	v1
	3	MOHC-HadGEM2-ES	SMHI-RCA4	r1i1p1	v1
	4	NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	r1i1p1	v1
	5	IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL-WRF381P	r1i1p1	v1
	6	NCC-NorESM1-M	CNRM-ALADIN63	r1i1p1	v1

Indici climatici considerati (1/2)

Indice	Nome (EN)	Nome (IT)	Descrizione
FD	Frost Days	Giorni di gelo	Numero di giorni con $t_{min} < 0^{\circ}\text{C}$
ID	Icing Days	Giorni con ghiaccio	Numero di giorni con $t_{max} < 0^{\circ}\text{C}$
SU	Summer Days	Giorni estivi	Numero di giorni con $t_{max} > 25^{\circ}\text{C}$
SU30	Summer Days (30°C)	Giorni estivi (30°C)	Numero di giorni con $t_{max} > 30^{\circ}\text{C}$
TR	Tropical Nights	Notti tropicali	Numero di giorni con $t_{min} > 20^{\circ}\text{C}$
heatDD	Heating Degree Days	Gradi giorno di riscaldamento	Somma della differenza tra 18°C e t_{mean} , solo quando $t_{mean} < 18^{\circ}\text{C}$
coolDD	Cooling Degree Days	Gradi giorno di raffreddamento	Somma della differenza tra t_{mean} e 22°C , solo quando $t_{mean} > 22^{\circ}\text{C}$
Humidex3/4	Hours with cat 3/4 humidity index	Indice di disagio termico	Numero di ore con indice humidex $> 30^{\circ}\text{C}$ (cat 3) o $> 40^{\circ}\text{C}$ (cat 4)

Tabella 2.4: Sintesi degli indici climatici (prima parte): t_{mean} è la temperatura media giornaliera, t_{min} la temperatura minima giornaliera, t_{max} la temperatura massima giornaliera.

Indici climatici considerati (2/2)

Indice	Nome (EN)	Nome (IT)	Descrizione				
SDII	Simple Precipitation Intensity Index	Indice di intensità di precipitazione giornaliera	Precipitazione media giornaliera sui giorni piovosi ($pr \geq 1\text{mm}$)				
Rx1day	Maximum 1-day precipitation	Precipitazione massima giornaliera	valore massimo della precipitazione giornaliera				
Rx5day	Maximum 5-day precipitation	Precipitazione massima per 5 giorni	valore massimo della precipitazione sommato per 5 giorni consecutivi				
RR1	Wet Days	Giorni piovosi	Numero di giorni con $pr \geq 1\text{mm}$				
R10mm, R20mm	Very Wet Days	Giorni con precipitazioni intense	Numero di giorni con $pr \geq 10\text{mm}, 20\text{mm}$				
CDD	Consecutive Dry Days	Giorni consecutivi secchi	Numero massimo di giorni consecutivi con $pr < 1\text{mm}$				
R95p, R99p	Very Wet Days	Giorni di precipitazioni intense	Numero di giorni con precipitazione $> 95/99$ esimo percentile della precipitazione, calcolato su giorni piovosi ($pr \geq 1\text{mm}$) nel periodo di riferimento	R95pTOT, R99pTOT	Precipitation fraction due to very wet days	Frazione di precipitazione nei giorni di precipitazioni intense	Precipitazione totale al di sopra del 95/99esimo percentile, calcolato sui giorni piovosi ($pr \geq 1\text{mm}$) nel periodo di riferimento
				SPIx, SPEIx	x-month Standardized Precipitation (Evapotranspiration) Index	Indice standardizzato di precipitazione (e evapotraspirazione) per periodi di x mesi	Calcolato per periodi (x) di 3, 6, 12, 24 mesi
				HNd	Snowfall days	Giorni con nevicate	Numero di giorni di nevicate, cioè $t_{\text{mean}} < 2^\circ\text{C}$ e $pr \geq 1\text{mm}$
				HN	Snowfall	Neve fresca	Altezza (cm) di neve nuova/-fresca
				EWS	Extreme Wind Speed	Vento estremo	98esimo percentile della velocità massima giornaliera del vento

Tabella 2.5: Sintesi degli indici climatici (seconda parte): pr è la precipitazione giornaliera.