



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

In collaborazione con:



Cofinanziato da:



Con il patrocinio di:



RESILIENT2RISK

Gestione dei Rischi Naturali per un Territorio Resiliente

Scenari di cambiamento climatico e ricadute sul rischio alluvionale

Alberto Montanari

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei
Materiali, Università di Bologna

Presentazione disponibile su www.albertomontanari.it

I quesiti che desideriamo discutere in questa conversazione

- Cos'è il cambiamento climatico e da cosa è causato (per risolvere un problema occorre conoscerlo e conoscerne le cause)?
- Quale impatto produce il cambiamento climatico su alluvioni? E su siccità?
- Come possiamo prevedere gli effetti del cambiamento climatico nel futuro?
- Come possiamo progettare interventi di adattamento al cambiamento climatico per la riduzione del rischio?

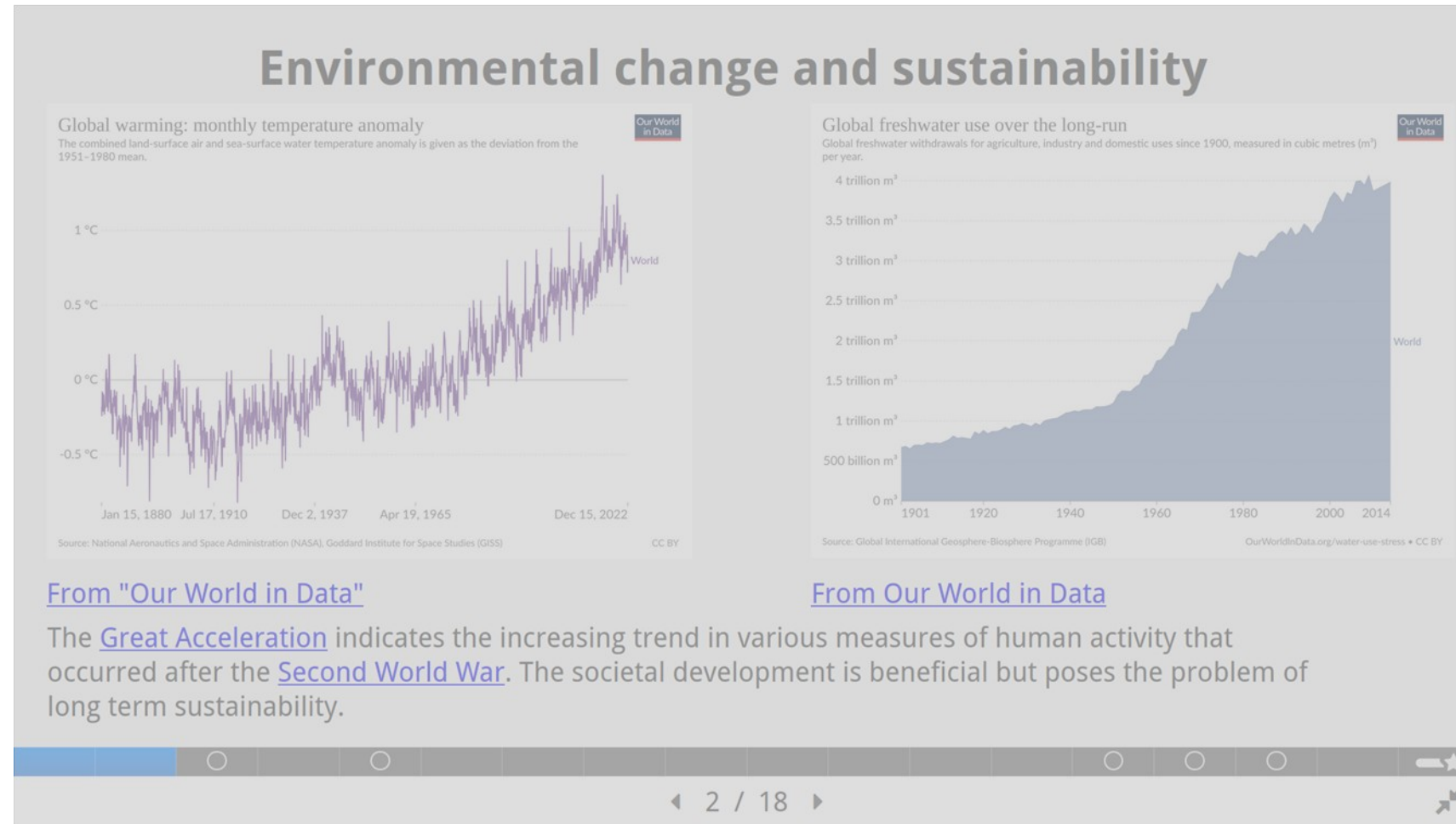
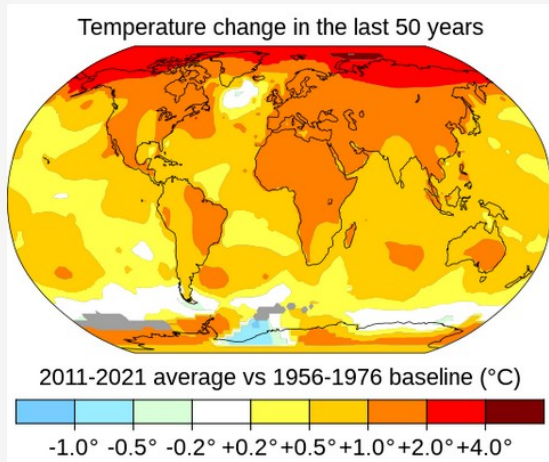


Figura da <https://www.albertomontanari.it/lectures>



Cos'è il cambiamento climatico



What is climate change? Select the most appropriate answer 

Climate change is a long-term shifts in weather patterns

It's a global deterioration of climate

It's a global increase of temperature

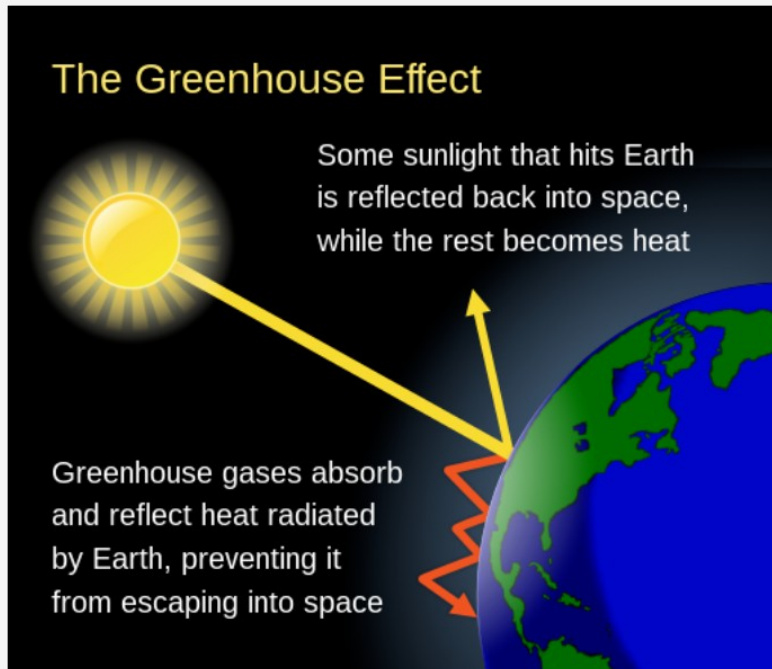
It's the occurrence of unprecedented extreme events

Place the missing word to complete the **definition of weather and climate**. You have to place "climate" (one occurrence) and "weather" (2 occurrences). Use the capital for the first letter of each paragraph.


refers to the day-to-day state of the atmosphere such as the combination of temperature, humidity, rainfall, wind, and other factors. describes the of a place averaged over a period of time, often 30 years.

 Check

Cause del cambiamento climatico



Climate change is one of the major concerns of modern society. It has an impact on the environment in general, and in particular on ecosystems and human societies. Climate change affects the water cycle, oceans, sea and land ice (glaciers), sea level, as well as weather and climate extremes.

Why do you think that humans are responsible for climate change? Select the most reasonable answer. 

The media agree on the anthropogenic forcing of climate change

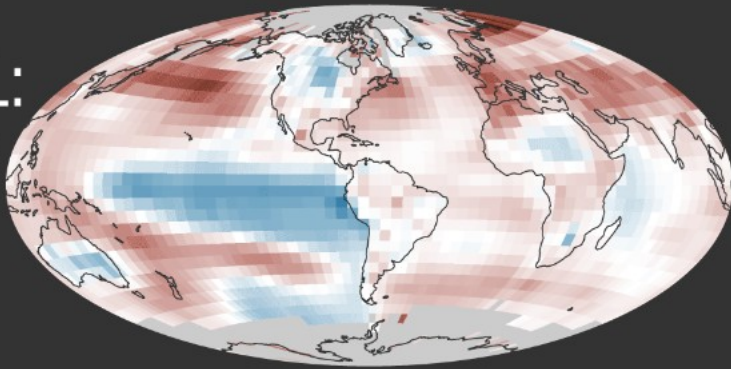
Scientific community agrees that anthropogenic forcing is dominant

Climate models cannot explain current climate change unless anthropogenic forcing is considered.

Global warming is occurring with unprecedented speed

IT'S OFFICIAL:

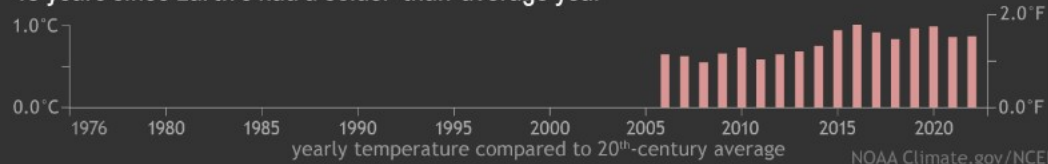
2022 WAS WORLD'S
6th-WARMEST
YEAR ON RECORD
(1880-2022)



Difference from 1991-2020 average (°F)



46 years since Earth's had a colder-than-average year



yearly temperature compared to 20th-century average

NOAA Climate.gov/NCEI

Global population is increased from about 2.5 billions in 1950 to about 8 billions today

Some numbers about climate change

- Global temperature has raised about 1.3 °C since 1880;
- Temperature increased more in the Northern hemisphere;
- Sea level rise from 1880 to 2020 is about 21 cm of global average;
- Global CO₂ emissions have raised from about 5 to about 35 billions of metric tons from 1940 to 2020;
- Global CO₂ emissions per capita increased from 2 tons in 1940 to about 4.5 in 2020;
- CO₂ concentration in the atmosphere increased about 25% from 1980 to 2020;
- Global economic losses from weather catastrophes are about 300 billions of US dollars, steadily increasing.
- 2023 hottest year on record (see [this video from NASA](#)).



Come si progettano interventi di difesa dalle alluvioni e dalle siccità?

- **Alluvioni e siccità sono causate da eventi climatici estremi.** Da sempre costituiscono un pericolo per l'umanità, da sempre l'umanità ha avuto la necessità di difendersi. In presenza di cambiamento climatico, il rischio potrebbe essere aumentato.
- Il cambiamento climatico non è ovunque uguale, si manifesta con **modalità differenti da zona a zona.**
- **L'impatto del cambiamento climatico** sul rischio di alluvione e siccità è pure diverso da luogo a luogo.
- In taluni contesti, il rischio non è aumentato a seguito del cambiamento climatico.
- In altri contesti, anche piccoli cambiamenti possono indurre forte impatto. “**Climate change (impact) amplification**”.
- Approccio classico di progettazione: analisi statistica di dati storici ipotizzando **stazionarietà**, per assegnata frequenza probabile o **tempo di ritorno** (con numerose limitazioni, ma spesso si tratta di procedimenti raccomandati per legge).
- **Domanda:** l'ipotesi di stazionarietà è ancora valida in presenza di cambiamento climatico? Ha ancora senso il tempo di ritorno in presenza di non stazionarietà?
- Se i dati storici non sono più rappresentativi del futuro, come possiamo determinare le sollecitazioni climatiche future?
- **Oggi parliamo di 3 possibilità: (a) utilizzo di modelli climatici; (b) stima con modelli statistici non stazionari; (c) mantenimento dell'ipotesi di stazionarietà.**



Modelli climatici

I modelli climatici globali riproducono il funzionamento del clima con l'obiettivo di ottenere una **migliore comprensione** di come funziona questo sistema complesso, verificando teorie e soluzioni.

Lo scopo dei modelli climatici è anche quello di riprodurre la distribuzione nello spazio e nel tempo delle variabili chiave del sistema atmosfera, come temperatura, vento, precipitazioni e così via. Queste variabili sono affette da una significativa eterogeneità spaziale - con comportamenti diversi a seconda della variabile specifica - e variano rapidamente nel tempo.

I modelli climatici globali (GCM) si basano su rappresentazione matematica delle dinamiche del sistema climatico. Possono adottare schemi molto semplificati, oppure possono emulare con alta fedeltà l'intero sistema

I GCM sono spesso applicati negli studi sul clima per prevedere il clima futuro a seconda delle condizioni iniziali e al contorno, delle variabili in ingresso e di **parametri**. Introducono comunque ipotesi e semplificazioni che consentono una rappresentazione trattabile.

Applicano un insieme di equazioni fisiche a scala locale, per l'esigenza di rappresentare l'**eterogeneità** dei processi climatici.

Le equazioni utilizzate per descrivere il sistema su scala locale sono essenzialmente **leggi di conservazione** che affermano che una particolare proprietà misurabile di un sistema fisico isolato all'interno di una regione di riferimento dello spazio non cambia man mano che il sistema si evolve nel tempo.

Modelli climatici

Quanti volumi elementari include un GCM?

Estratto dalla risposta di ChatGPT:

“Un modello climatico globale con **risoluzione di $1^\circ \times 1^\circ$** e **30 strati verticali** avrebbe circa **1,94 milioni di volumi elementari**.

I modelli a risoluzione più alta contano molti più volumi elementari poiché le celle di griglia sono più piccole.

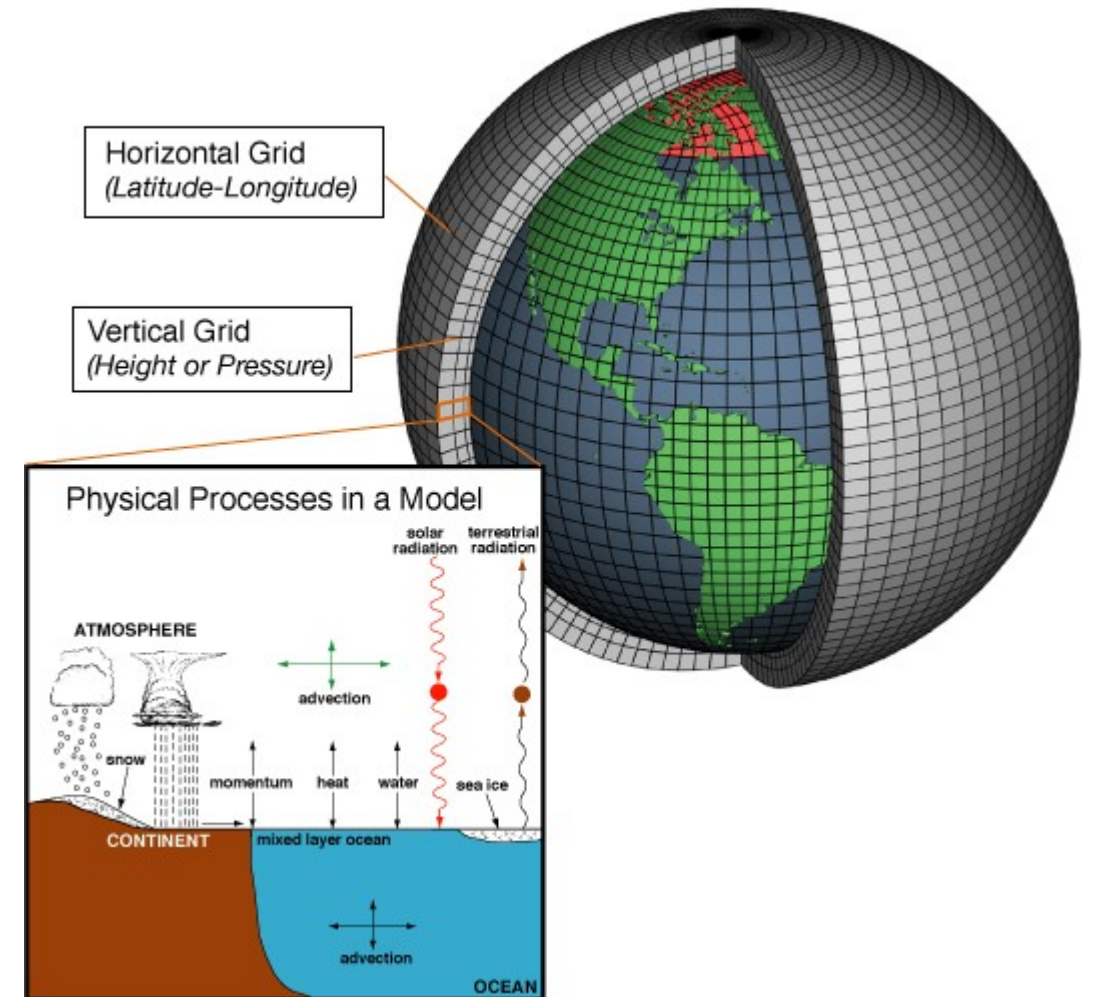
In sintesi, il numero di volumi elementari in un GCM può variare da **milioni a decine di milioni**, a seconda della risoluzione e del numero di strati verticali nel modello.”

La soluzione delle equazioni in ogni cella dipende dalla soluzione nelle celle confinanti. Quindi i milioni di equazioni devono essere risolte contemporaneamente.

SuperComputers, incertezza.

Due supercomputers in Italia:

- Leonardo (Cineca)
- Petaflop (ENI)



Modelli climatici: incertezza

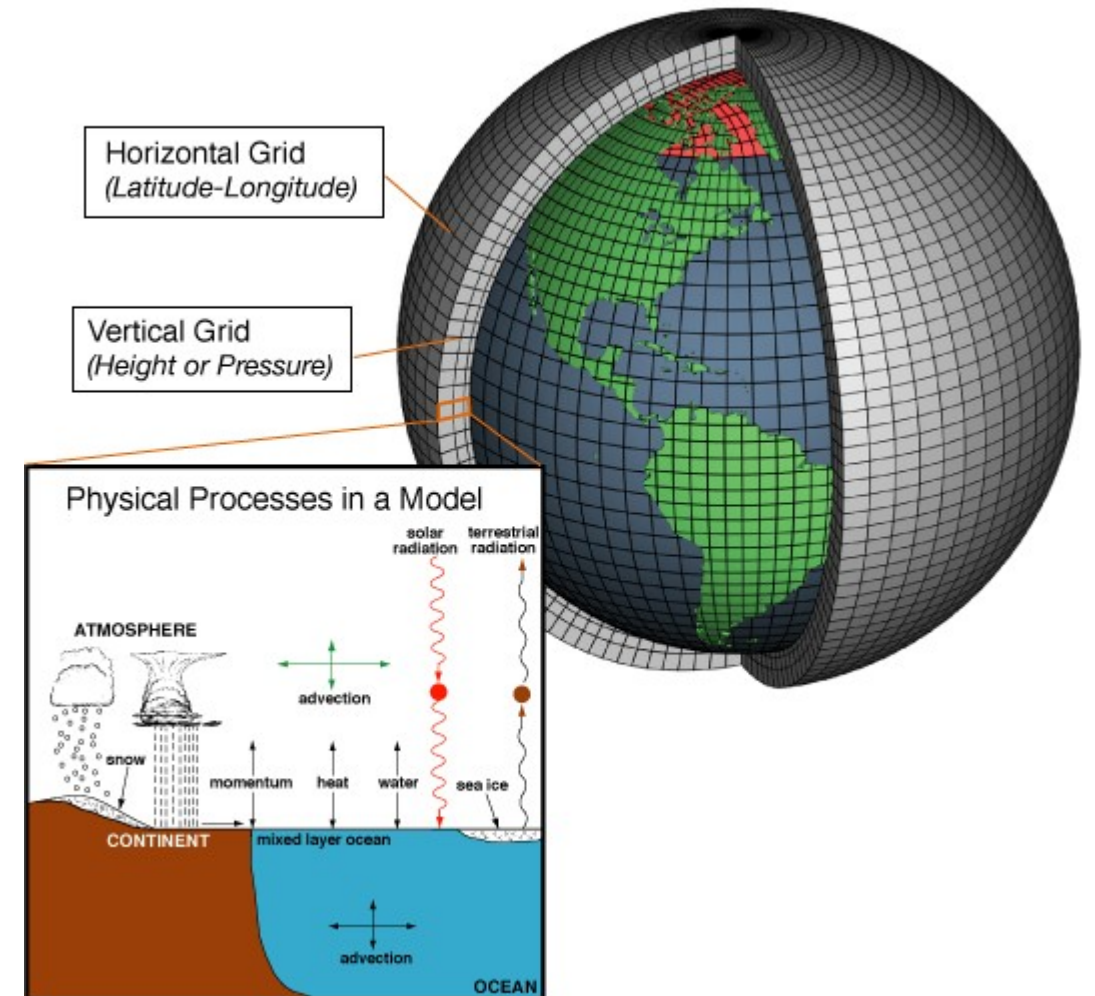
- Eterogenea;
 - Variabile in dipendenza dalle variabili simulate;
 - Maggiore per variabili più eterogenee;
 - Maggiore per variabili altamente non lineari;
- NB: l'unica soluzione ingegneristicamente valida per valutare l'incertezza di un modello è il confronto con la realtà osservata.**

Ragioni dell'incertezza di modelli GCM:

- Semplificazione nella descrizione del clima;
- Ridotta conoscenza di alcuni processi specifici;
- Parametri definiti sulla base di informazione limitata;
- Chaos (ridotta predicibilità).

L'incertezza può condurre a sovrastima o **sottostima**.

Tuttavia: i modelli GCM sono una risorsa in continua evoluzione e rappresentano una fonte di informazione essenziale.



Modelli climatici: incertezza

Incerteza di scenari di emissione futura.

Guidance: Caveats and limitations" of the United Kingdom Climate Programme 2018 (UKCP18) :

“Global climate models provide greater confidence for long-term climate averages than extreme events or time series of daily or sub-daily values. All climate models exhibit systematic differences between model results and observations and you need to consider whether to modify the datasets to correct for these. This is called bias-correction and is a popular approach used by many researchers and climate data users. Take care when applying these methods, as debatable assumptions are often required and bias-correction may not be appropriate.”

“Downscaling – the process of generating model data at higher spatial and/or temporal resolution – adds detail but also increases the level of uncertainty. The additional information content can be useful for applications that wish to understand how small-scale features such as mountains and coastlines or land surface features may influence the local climate and their system of interest. However, finer model spatial resolution does not necessarily provide greater confidence in modelling the climate system unless it has been shown to give a better representation of the underlying physical processes”.

Conclusione: l'incerteza non è necessariamente un problema. In ingegneria sappiamo come trattarla. E' pero' necessario che sia valutata in soluzione attendibile.



Esempio: Copernicus Climate Data Store

<https://cds.climate.copernicus.eu/>

PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION Copernicus Europe's eyes on Earth Climate Change Service IMPLEMENTED BY ECMWF

Info 26 Sep 2024 Watch our [Forum](#) for Announcements, news and other discussed topics. 1/2

Dive into this wealth of information about the Earth's past, present and future climate

Search

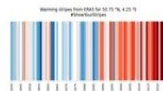
Climate Data Store Datasets Applications User guide Live Background

ERA5 hourly time-series data on single levels from 1940 to present Updated today

ERA5 is the fifth generation ECMWF reanalysis for the global climate and weather for the past 8 decades. Data is available from 1940 onwards. ERA5 replaces the ERA-Interim reanalysis. Reanalysis combines model data with observations from across the world into a globally complete and consistent datas...

Reanalysis Copernicus C3S Global Past Atmosphere (surface) Atmosphere (upper air)

Not only future climate



Esempio di stima di pericolo futuro di magra mediante modelli climatici



Hydrology and Earth System Sciences

ARTICLES & PREPRINTS ▾ SUBMISSION POLICIES ▾ PEER REVIEW ▾ EDITORIAL BOARD ABOUT ▾ EGU PUBLICATIONS ↗

Article

Articles / Volume 27, issue 15 / HESS, 27, 2847–2863, 2023

<https://doi.org/10.5194/hess-27-2847-2023>
 © Author(s) 2023. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

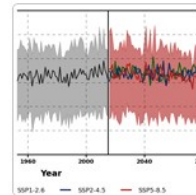
Article Peer review Metrics Related articles

Research article | © ⓘ

01 Aug 2023

Historical rainfall data in northern Italy predict larger meteorological drought hazard than climate projections

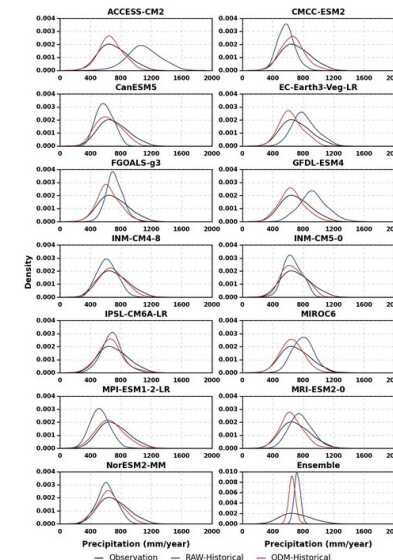
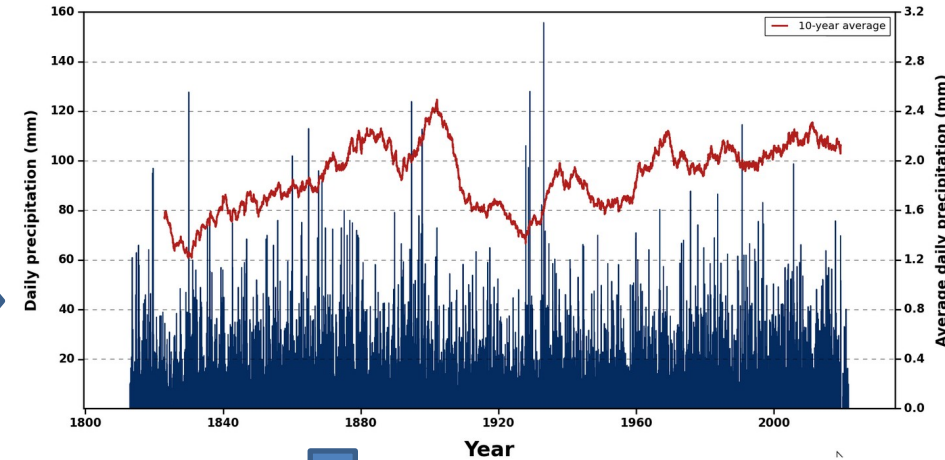
Rui Guo ✉ and Alberto Montanari



- Download**
- ▶ Article (4647 KB)
 - ▶ Full-text XML
 - ▶ BibTeX
 - ▶ EndNote

Short summary

The present study refers to the region of Bologna, where the availability of a 209-year-long...
 ▶ Read more

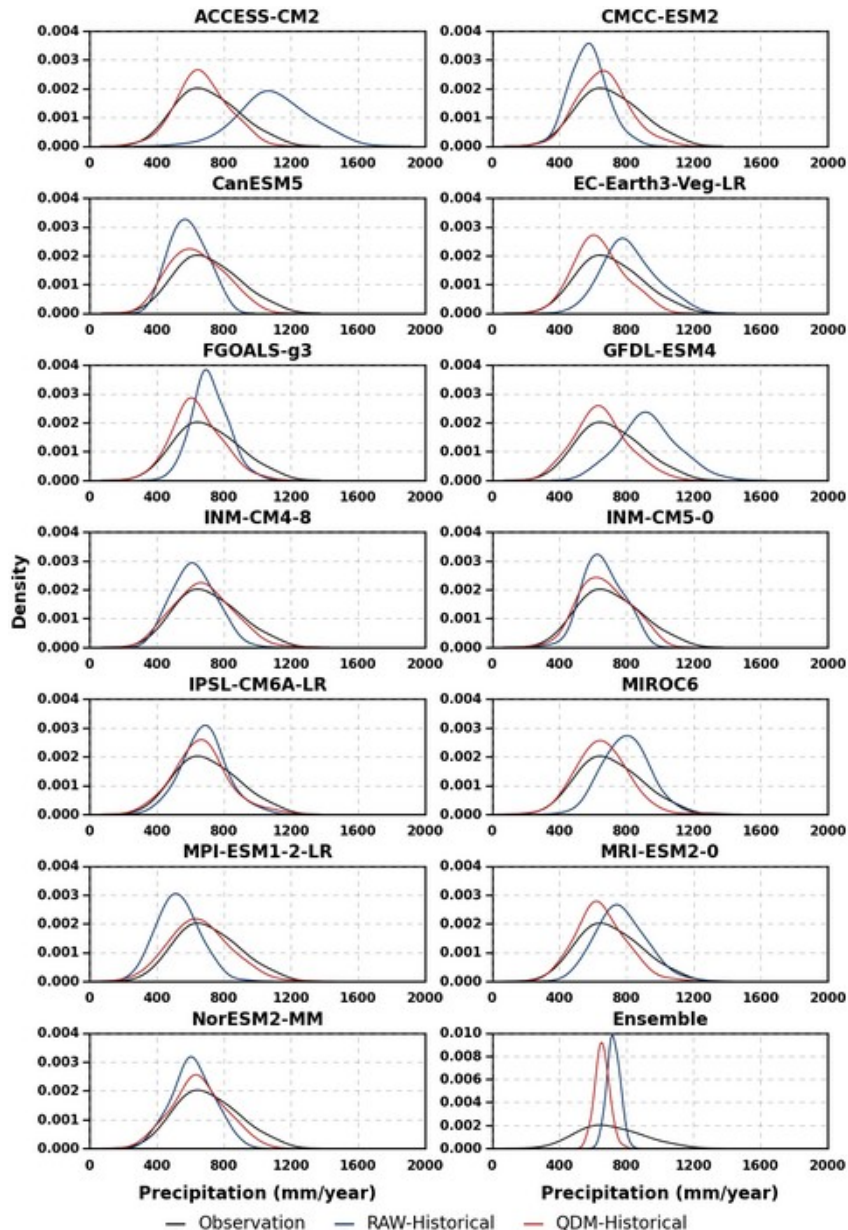


Presentazione disponibile su www.albertomontanari.it



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Esempio di stima di pericolo futuro di magra mediante modelli climatici



Conclusione: le stime di frequenza, durata e gravità delle magre di lungo periodo ottenute con analisi statistica della serie di pioggia annuale a Bologna (1813-2020) risultano più cautelative

“Therefore, the identification of future drought risk, which one would expect to be increased under climate change, remains a challenge.....

For some situations, classical engineering methods for critical event estimation under the assumption of stationarity, with appropriate integration of the information provided by climate models to account for climate change, may still be the most precautionary approach”

Esempio di simulazione di dati storici di precipitazione estrema mediante modelli a convezione permessa (CPM):

EGU European Geosciences Union

Hydrology and Earth System Sciences

Article

Articles / Volume 27, Issue 5 / HESS, 27, 1133–1149, 2023

https://doi.org/10.5194/hess-27-1133-2023

© Author(s) 2023. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Research article | ©

15 Mar 2023

How well does a convection-permitting regional climate model represent the reverse orographic effect of extreme hourly precipitation?

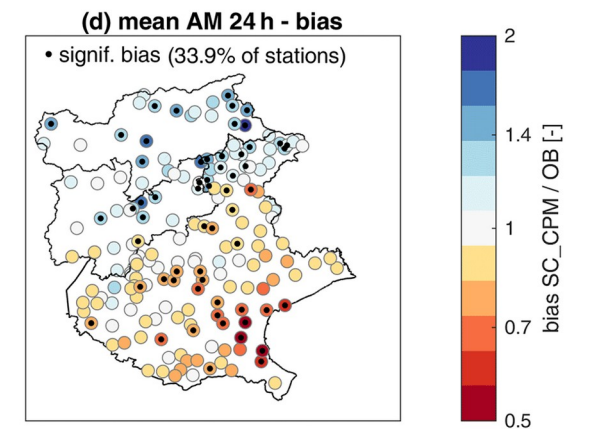
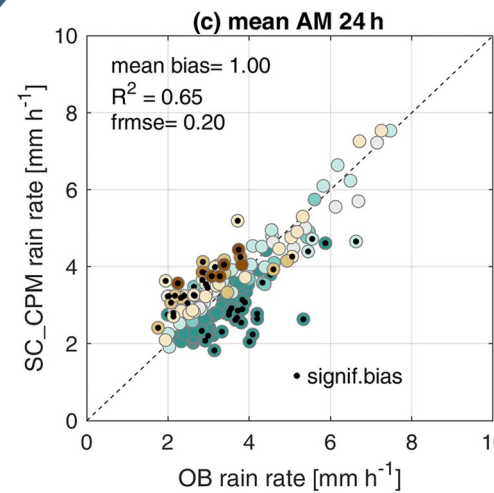
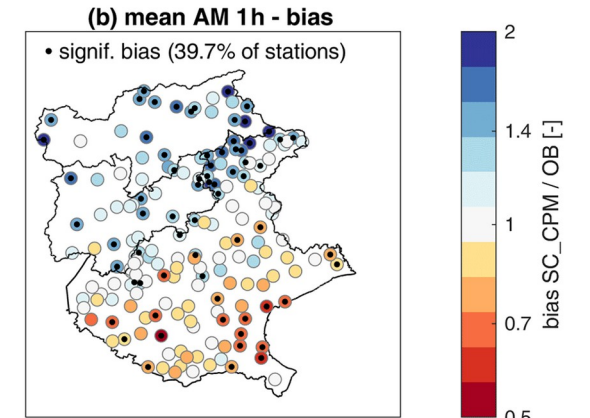
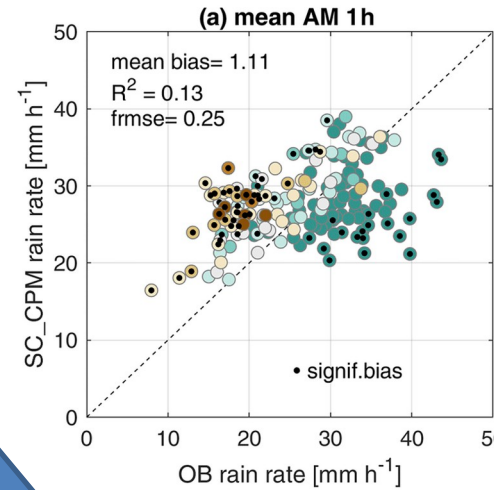
Eleonora Dallan, Francesco Marra, Giorgia Fossier, Marco Marani, Giuseppe Formetta, Christoph Schär, and Marco Borga

Download

- Article (4911 KB)
- Full-text XML
- Supplement (3742 KB)
- BibTeX
- EndNote

Short summary

Convection-permitting climate models could represent future changes in extreme short-



Modelli probabilistici non stazionari calibrati su serie storiche

Premessa:

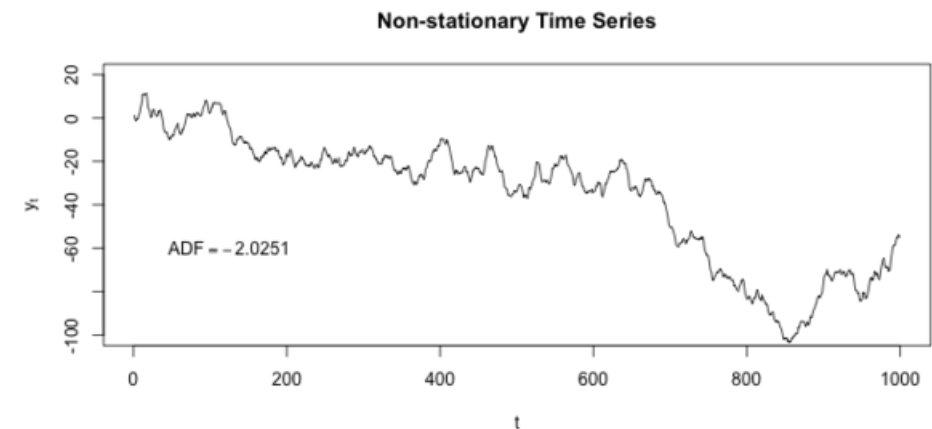
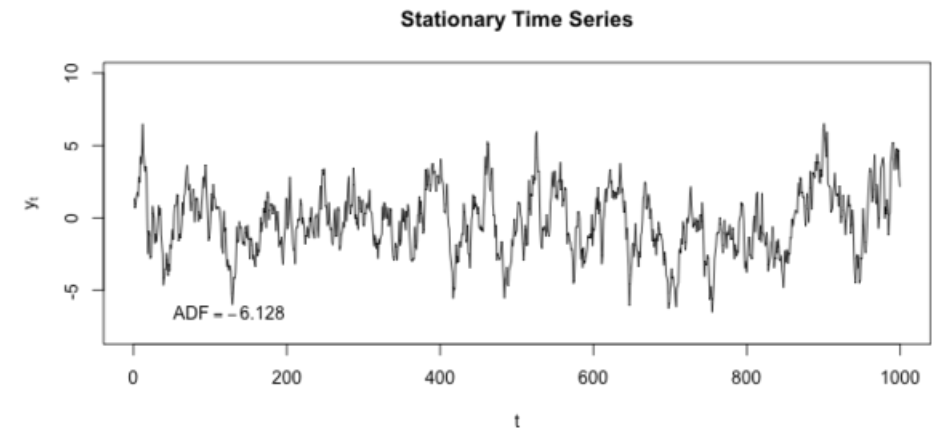
- variabili casuali indipendenti e processi stocastici
- Definizione e significato di non-stazionarietà

Vantaggi dei modelli non-stazionari:

- Permettono di considerare la variazione nel tempo delle statistiche del clima;
- Permettono di definire un tempo di ritorno variabile nel tempo;
- Permettono estrapolazione nel futuro, in accordo ad assegnate ipotesi di cambiamento climatico;
- Descrivono attendibilmente le statistiche del clima storico.

Limiti:

- Maggior numero di parametri della distribuzione di probabilità quindi maggiore incertezza;
- Necessità di un novero di informazioni più esteso per la messa a punto dei modelli di stima;
- Stima del clima futuro mediante estrapolazione, talvolta non tenendo conto della fisica dei fenomeni;
- Necessità di definire come varieranno le statistiche del clima nel futuro.



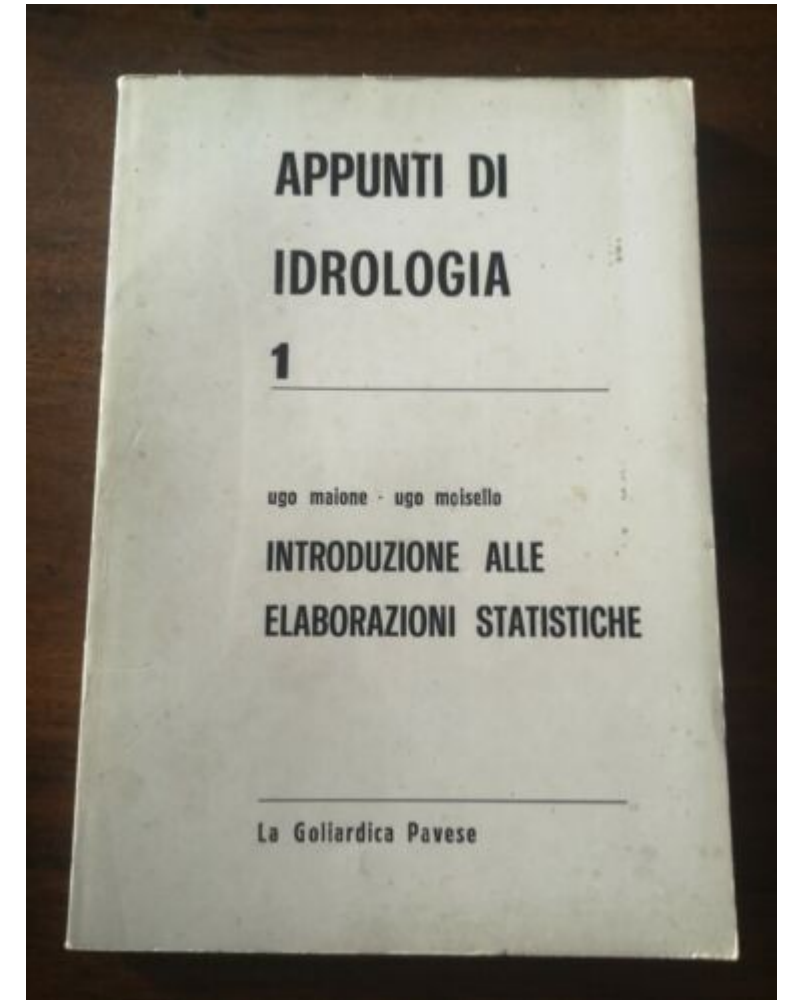
Modelli probabilistici stazionari calibrati su serie storiche

Vantaggi:

- Tradizione consolidata;
- Modelli parsimoniosi, robusti;
- Descrivono attendibilmente le statistiche del clima storico;
- Ambito di ricerca molto attivo (esempio: Metastatistical Extreme Value Distribution, Marani et al.);
- Possibilità di combinazione con modelli climatici.

Limiti:

- Necessità di dati storici per la calibrazione;
- Come tenere conto del cambiamento climatico?



Estensione di dati storici - Analisi paleoclimatica

Advertisement

AGU Advances

Research Article | Open Access | CC BY

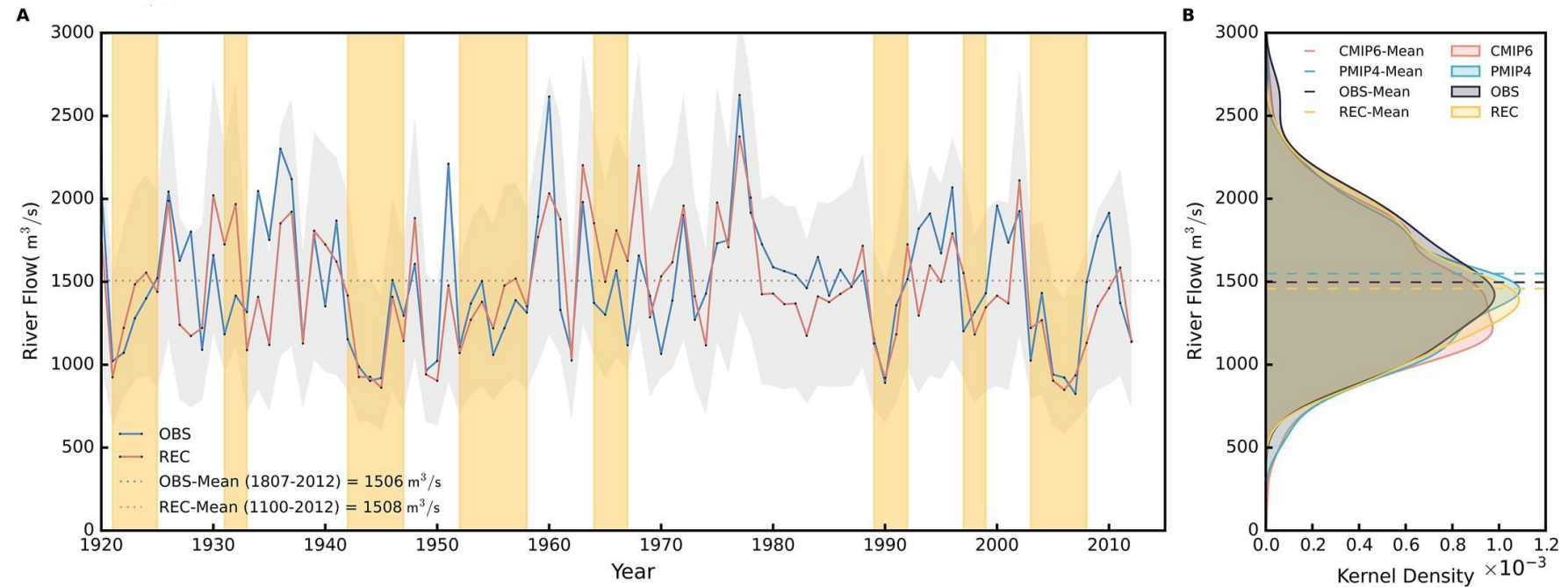
Bridging Information From Paleo-Hydrological and Climate Model Ensembles to Assess Long Term Hydrological Drought Hazard

Rui Guo, Hung T. T. Nguyen, Stefano Galelli, Serena Ceola, Alberto Montanari

First published: 01 April 2025 | <https://doi.org/10.1029/2024AV001393>

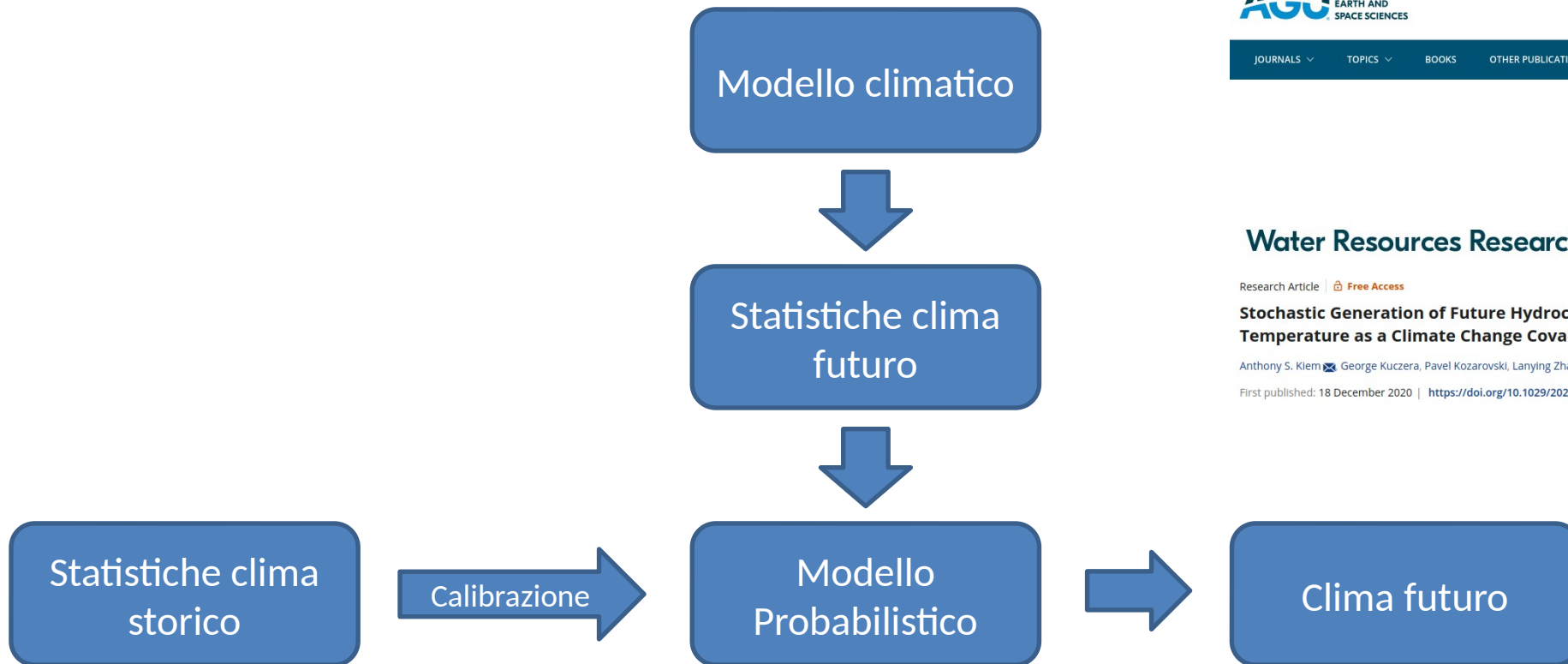


Volume 6, Issue 2
April 2025
e2024AV001393



Modelli integrati

Si ottengono **combinando approcci probabilistici con modelli climatici**, che vengono utilizzati per decifrare le **statistiche** del clima futuro, che vengono fornite in ingresso modelli probabilistici a loro volta calibrati sulle serie storiche.



The screenshot shows the AGU (Advancing Earth and Space Sciences) website. The main article is titled "Stochastic Generation of Future Hydroclimate Using Temperature as a Climate Change Covariate" by Anthony S. Kiem, George Kuczera, Pavel Kozarovski, Lanying Zhang, and Garry Willgoose. It is a research article with free access, published on 18 December 2020. The journal is "Water Resources Research", Volume 57, Issue 2, February 2021. The article ID is 2020WR027331. The page also features a search bar, navigation links for journals, topics, books, other publications, and policies, and social media icons for Facebook and Twitter.

Come ci si muove all'estero

Authority/Country	Adjustment to IDF Curves	Comment & Literature
Belgium	+ 30%	(Madsen et al. 2014; Willems 2011)
UK Department fo Insfrastructure	+10%, +20%, and 40% by 2040, 2070, and 2115	(UK Department for Infrastructure 2020)
Province of Quebec - Canada	+18%	Min. Développement durable, l'Environnement et la Lutte contre les changements climatiques, 2017 – Urban Drainage Systems
City of Moncton, New Brunswick - Canada	+20%	Engineering and Public Works Department of Riverview, 2011 - Municipal Services
Denmark	+20%, +30%, and +40% for, respectively, 2-, 10-, and 100-year return periods	(Arnbjerg-Nielsen 2008; Gregersen et al. 2014)
Swedish Water and Wastewater Association	+5% to +30%, depending on the region	(Madsen et al. 2014; Svenskt Vatten 2011)
Australia	5% increase/degree Celsius	Australian Rainfall-Runoff guidelines (Ball et al. 2019)
Canada	7% increase/degree Celsius	Canadian Standard Association, 2019 – Regionally allows for super-Clausius increases
Canada (Srivastav et al. 2014); India (Chandra et al. 2015); Iran (Khazaei 2021); United States (Butcher and Zi 2019; Ragno et al. 2018), Australia (Mantegna et al. 2017); Belgium (Hosseinzadehtalaei et al. 2018); Canada (Ganguli and Coulibaly 2019); England (Fadhel et al. 2017); Italy (Forestieri et al. 2018); South Korea (Lima et al. 2016); and Spain (Fluixá-Sanmartín et al. 2019)]	GCM-RCM-CPM simulations to obtain projected increases	IDF curves from GCMs, or RCM/CPM

Slide gentilmente fornita da Marco Marani



Alcuni spunti conclusivi

- Il cambiamento climatico **non richiede un radicale rinnovamento della progettazione ingegneristica**. Richiede una valutazione quantitativa dei possibili cambiamenti delle statistiche storiche a scala locale;
- **Il cambiamento climatico non è mai la sola causa di un disastro**, il quale sempre indotto da almeno due concause. Occorre valutare con attenzione la coincidenza di circostanze sfavorevoli;
- Valutare possibili ragioni di “**climate change amplification**”. In presenza di rii naturali tombati anche una piccolissima variazione delle statistiche del clima puo' causare una catena di disastri;
- Utilizzare **tutte le informazioni disponibili**;
- **Confrontare ed integrare diversi approcci**, valutare incertezza dei risultati, scegliere la metodologia più appropriata valutando i rischi, i costi/benefici, sempre con attenzione ad incertezza;
- Incertezza compiutamente valutata solo comparando i risultati dei modelli di stima con la realtà osservata. **Valutare con attenzione il metodo di stima d'incertezza**;
- **L'approccio stazionario ancora valido**, così come è sempre stato valido l'approccio non stazionario.





ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

GRAZIE!

Alberto Montanari

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali

alberto.montanari@unibo.it

Presentazione disponibile su www.albertomontanari.it

www.unibo.it