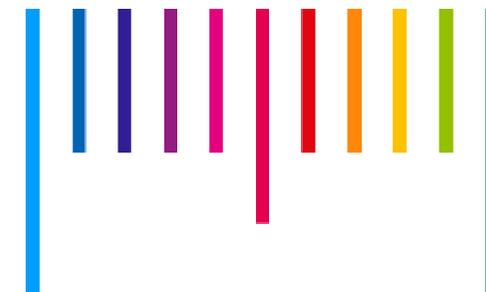


27 giugno 2019

Paola Mercogliano^{1,2}, Roberta Padulano²

METTIAMOCI IN RIGA



Mainstreaming del cambiamento climatico

Esperienze di Pianificazione Territoriale

¹ CIRA – Centro Italiano Ricerche Aerospaziali, Laboratorio di Meteorologia

² CMCC – Fondazione Centro Euromediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Divisione REMHI (*REgional Models and geo-Hydrological Impacts*)



Livello minimo di approfondimento

Valutazioni semplificate basate sulle variazioni attese per effetto del CC in indicatori atmosferici rappresentativi del clima medio (in particolare precipitazione e temperatura), assunti come *proxy* dei fenomeni alluvionali.

Livello medio di approfondimento

Valutazioni mirate a quantificare l'incidenza del CC su indicatori rappresentativi del clima estremo di un territorio (in particolare precipitazione e temperatura), assunti ancora una volta come *proxy* dei fenomeni alluvionali.

Livello massimo di approfondimento

Valutazioni mirate a quantificare l'incidenza del CC su variabili direttamente rappresentative del regime idrologico estremo di un territorio.



- **Onere computazionale**
- **Tempi di calcolo**
- **Tipologie di dati**
- **Risoluzione spaziale e temporale di dati e modelli**
- **Risorse complessive**

**METTIAMOCI
IN RIGA**



Piano Locale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici per il Rischio Alluvioni – Comuni di Alghero e Sassari

- ❖ Finalizzato a valutare l'incidenza del CC sul regime delle piene sul territorio comunale.
- ❖ L'analisi si è limitata al primo approccio, ma sono stati dati degli spunti di riflessione sulle valutazioni di maggior dettaglio.
- ❖ Vengono inoltre suggerite misure di adattamento di concerto con le Autorità locali.
- ❖ Si fa riferimento alle simulazioni climatiche EUROCORDEX per diversi scenari di concentrazione e diversi orizzonti temporali³.

Valutazione della disponibilità idrica per il Bacino del Po a Pontelagoscuro

- ❖ Si fa riferimento alle simulazioni climatiche COSMO-CLM⁴ per diversi scenari di concentrazione e diversi orizzonti temporali.
- ❖ Finalizzato a valutare l'incidenza del CC sul regime idrologico del bacino.
- ❖ Vengono date indicazioni sui valori minimi e massimi di portata.
- ❖ L'analisi è del tipo di maggior dettaglio, con l'utilizzo di valori bias-corretti come input di un modello di impatto.

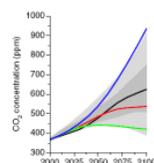
³ RCP4.5 e RCP8.5 – breve (2011-2040), medio (2041-2070) e lungo (2071-2100) termine

⁴ Bucchignani et al., 2016



La catena modellistica

Criticità



REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAYS⁵

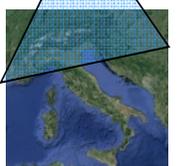
Proiezioni future delle variabili atmosferiche per differenti scenari di concentrazione di gas climalteranti e per diversi orizzonti temporali, attraverso un sistema nidificato di modelli

I modelli regionali attuali hanno una risoluzione spaziale intorno alla decina di km.

Essi presentano un *bias* rispetto alle osservazioni dovuto principalmente alla imperfetta simulazione, da parte dei modelli, del sistema climatico.



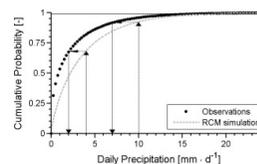
MODELLI GLOBALI



MODELLI REGIONALI

Post-processing dei dati per passare da un approccio *anomaly-based* a modellazioni quantitative

Tali simulazioni, quindi, forniscono una stima affidabile delle anomalie attese, ma necessitano di *bias correction* per poter essere utilizzate come input di modelli di impatto (ad esempio modelli idrologici/idraulici).

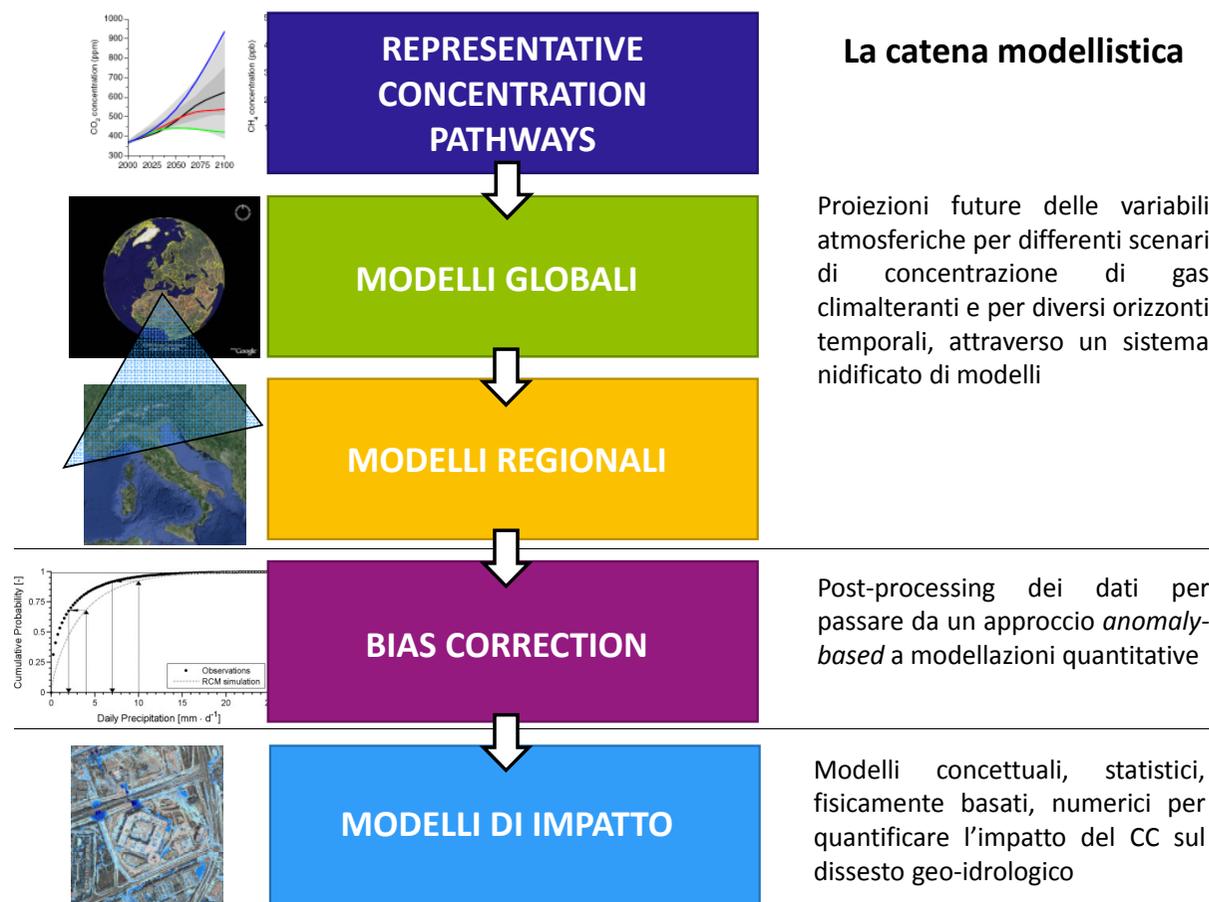


BIAS CORRECTION

Modelli concettuali, statistici, fisicamente basati, numerici per quantificare l'impatto del CC sul dissesto geo-idrologico



MODELLI DI IMPATTO



La catena modellistica

Proiezioni future delle variabili atmosferiche per differenti scenari di concentrazione di gas climalteranti e per diversi orizzonti temporali, attraverso un sistema nidificato di modelli

Post-processing dei dati per passare da un approccio *anomaly-based* a modellazioni quantitative

Modelli concettuali, statistici, fisicamente basati, numerici per quantificare l'impatto del CC sul dissesto geo-idrologico

Opportunità

Attualmente sono disponibili per il territorio italiano un discreto numero di simulazioni ottenute da diversi modelli regionali con diversa risoluzione spaziale (ensemble EUROCORDEX⁷, COSMO-CLM_Italy⁸ e sono in produzione simulazioni di tipo *Convection permitting* a circa 3 km).

- La gestione di tali dati è estremamente onerosa in termini computazionali e di archiviazione;
- I Servizi Climatici (Copernicus, Clime, etc.) mettono a disposizione indicatori e mappe sintetiche, che però vanno accuratamente analizzati e interpretati;
- Gli indicatori dei Servizi Climatici richiedono generalmente bias correction ad hoc attraverso dati osservativi puntuali (ad esempio pluviometri) o grigliati (ad esempio i dataset osservativi ISPRA).

⁷ <https://www.euro-cordex.net/>

⁸ Bucchignani, E., Montesarchio, M., Zollo, A. L., & Mercogliano, P. (2016) "High-resolution climate simulations with COSMO-CLM over Italy: performance evaluation and climate projections for the 21st century". *International Journal of Climatology* 36(2), 735–756.



Criticità locali

- ✓ Allagamenti urbani
- ✓ Fenomeni alluvionali nel reticolo idrografico minore

Obiettivo

Valutare l'incidenza del CC sul rischio idraulico

Vincoli

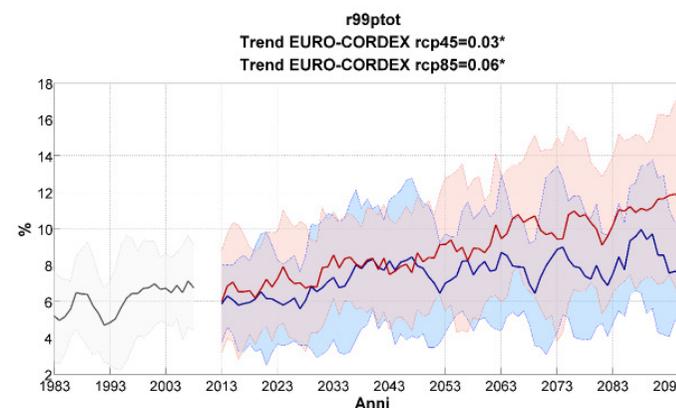
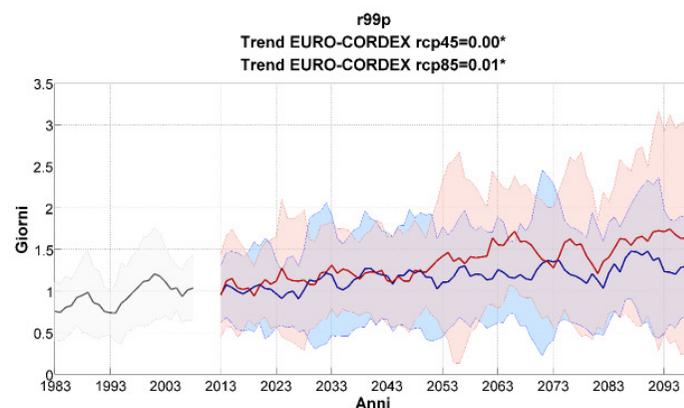
Risorse limitate

Approccio

- ✓ Analisi a basso livello di dettaglio basata sul Profilo Climatico Locale
- ✓ Approfondimenti tramite Servizi Climatici
 - ✓ *No bias correction*

Pericolosità idraulica del Comune di Alghero (SS) ai sensi della direttiva 2007/60/CE. Fonte dati: Mosaicatura ISPRA (2017).

L'analisi degli ensemble EUROCORDEX per il Comune di Alghero (SS) indica un aumento atteso nella frequenza degli eventi estremi di pioggia.



r99p = Numero di giorni all'anno in cui l'altezza di pioggia giornaliera supera il 99-simo percentile, stimato sul periodo 1980-2010.
 r99ptot = precipitazione annua cumulata su tali giorni, rapportata alla precipitazione cumulata annua.

**METTIAMOCI
IN RIGA**



Criticità locali

- ✓ Allagamenti urbani
- ✓ Fenomeni alluvionali nel reticolo idrografico minore

Obiettivo

Valutare l'incidenza del CC sul rischio idraulico

Vincoli

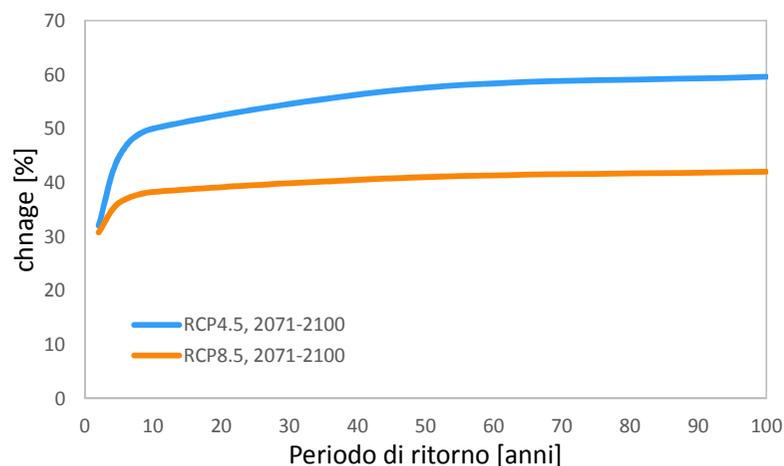
Risorse limitate

Approccio

- ✓ Analisi a basso livello di dettaglio basata sul Profilo Climatico Locale
- ✓ Approfondimenti tramite Servizi Climatici
 - ✓ *No bias correction*

Il bacino idrografico di riferimento per il Comune di Alghero (SS) nel Servizio Copernicus SWICCA (*Service for Water Indicators in Climate Change Adaptation*)

Il Servizio SWICCA suggerisce per il Comune di Alghero un aumento atteso a lungo termine nella frequenza degli eventi estremi di piena



- ❑ L'indicatore *Flood recurrence* descrive la distribuzione di probabilità dei massimi annuali di portata giornaliera.
- ❑ L'indicatore *Flood recurrence* è fornito alla scala di bacino, e si riferisce all'applicazione del modello idrologico E-HYPE 3.2, che usa come input atmosferico l'output dei modelli EUROCORDEX (RCP4.5 e RCP8.5).
- ❑ Per ogni modello, è fornito il massimo annuale della portata giornaliera per cinque tempi di ritorno (2, 5, 10, 50 e 100 anni).

**METTIAMOCI
IN RIGA**



Criticità locali

- ✓ Allagamenti urbani
- ✓ Fenomeni alluvionali nel reticolo idrografico minore

Obiettivo

Valutare l'incidenza del CC sul rischio idraulico

Vincoli

Risorse limitate

Approccio

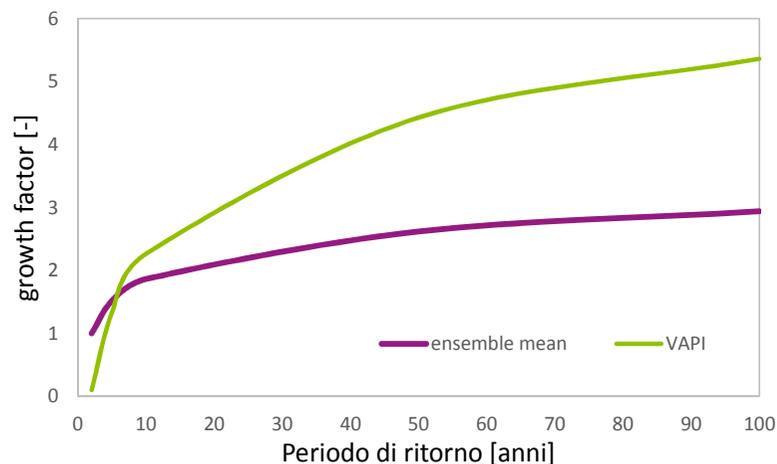
- ✓ Analisi a basso livello di dettaglio basata sul Profilo Climatico Locale
- ✓ Approfondimenti tramite Servizi Climatici
 - ✓ *No bias correction*

Il bacino idrografico di riferimento per il Comune di Alghero (SS) nel Servizio Copernicus SWICCA (*Service for Water Indicators in Climate Change Adaptation*)

Il confronto tra la «realtà» e le simulazioni sul periodo storico suggerisce l'esistenza di un bias che impedisce l'utilizzo quantitativo dell'indicatore *Flood recurrence* come proxy degli eventi di piena



SMHI



- Non sono disponibili osservazioni di portata, pertanto la migliore rappresentazione della realtà è fornita dalla regionalizzazione VAPI.
- Le informazioni consentono di valutare solo il coefficiente di crescita, e non la media delle portate massime annuali (nell'ipotesi in cui si considerino confrontabili le massime annuali delle portate giornaliere e delle portate al colmo di piena).
- Il confronto è limitato quindi al fattore di crescita, che per le simulazioni climatiche è stato ottenuto dividendo i percentili forniti per il valore corrispondente a $T=2$ anni.

**METTIAMOCI
IN RIGA**



Criticità locali

- ✓ Allagamenti urbani
- ✓ Fenomeni alluvionali nel reticolo idrografico minore

Obiettivo

Valutare l'incidenza del CC sul rischio idraulico

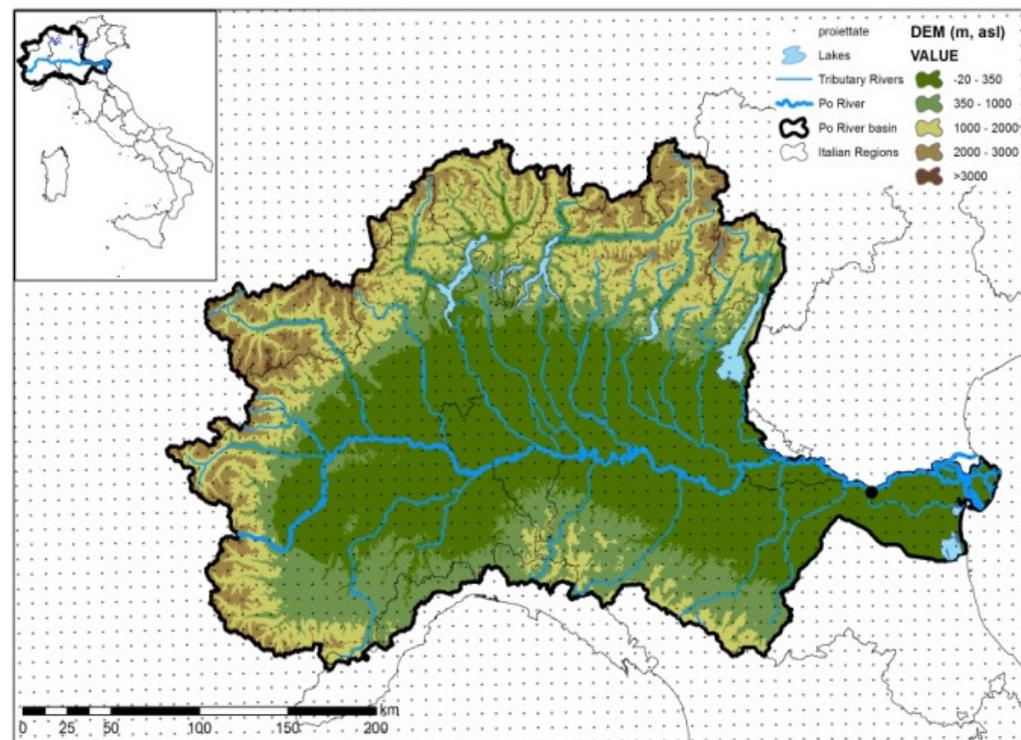
Vincoli

Risorse limitate

Approccio

- ✓ Analisi a basso livello di dettaglio basato sul Profilo Climatico Locale
- ✓ Approfondimenti tramite Servizi Climatici
 - ✓ *No bias correction*

- ❑ Con riferimento agli scenari di concentrazione indicati dal V Rapporto IPCC, la quantificazione dell'incidenza del CC sul rischio alluvioni, ed in particolare sulla pericolosità idraulica, non può prescindere dall'applicazione di modelli di impatto;
- ❑ Tuttavia, l'analisi delle anomalie climatiche sui driver dei processi alluvionali (in particolare la precipitazione) può fornire delle utili indicazioni sull'evoluzione del regime pluviometrico;
- ❑ I Servizi Climatici, allo stato attuale, costituiscono un utile strumento nella valutazione del regime idrologico atteso; tuttavia, le scale di analisi spesso poco risolte e tutte le incertezze legate alla catena modellistica fanno sì che sussistano bias anche importanti tra le osservazioni storiche e la rappresentazione della «realtà» operata dai modelli climatici.



OBIETTIVO

Prevedere il regime futuro delle portate in una sezione di chiusura del bacino

STRUMENTI

Modello idrologico: TOPKAPI

Modello di bilancio: RIBASIM

INPUT

Periodo «futuro»:

simulazioni climatiche (bias-corrected) prodotte dal CMCC sull'Italia alla risoluzione spaziale e temporale, rispettivamente, di 8km e esoraria

Periodo «storico»:

dataset grigliati di pioggia e temperatura

simulazioni climatiche (sia bias-corrected che non, per una valutazione dell'incertezza associata)

⁹ Vezzoli, R., Del Longo, M., Mercogliano, P., Montesarchio, M., Pecora, S., Tonelli, F., Zollo, A. L. (2014) «Hydrological simulations driven by RCM climate scenarios at basin scale in the Po River, Italy». *Evolving Water Resources Systems: Understanding, Predicting and Managing Water-Society Interactions*. Proceedings of ICWRS2014, Bologna (IT), June 2014 (IAHS Publ. 364, 2014).

¹⁰ Vezzoli, R., Mercogliano, P., Pecora, S., Zollo, A. L., Cacciamani, C. (2015) «Hydrological simulation of the Po River (North Italy) discharge under climate change scenarios using the RCM COSMO-CLM». *Science of the Total Environment* 521-522, 346-358.



Input periodo storico

- ✓ Dataset osservativi grigliati (ISPRA, EOBS)
- ✓ Simulazione climatica COSMO-CLM_Italy8 (1971-2000)

Modello di impatto

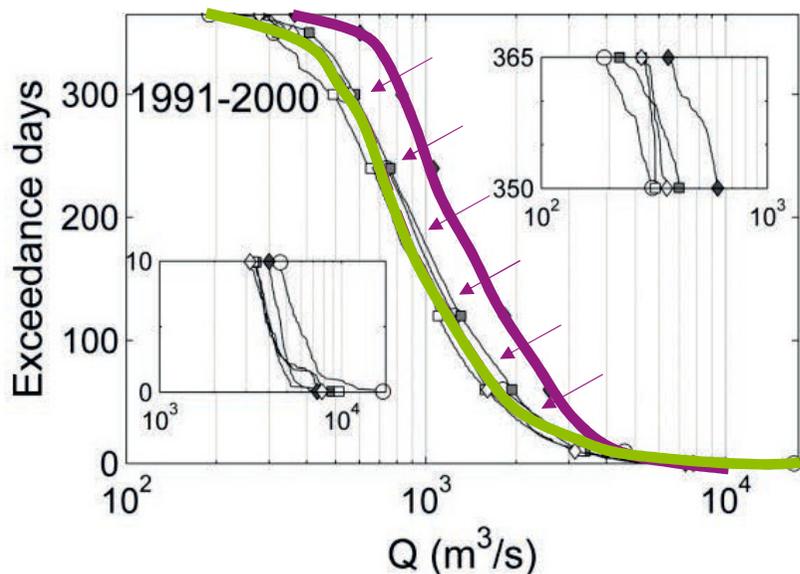
TOPKAPI (trasformazione afflussi-deflussi)
RIBASIM (bilancio idrico)

Output periodo storico

Serie delle portate giornaliere per il trentennio 1971-2000

— Osservazioni
— Storico (raw)

Il confronto tra la «realtà» e la simulazione suggerisce la presenza di un bias



- La bias correction è stata effettuata mese per mese tramite Quantile Mapping sulla distribuzione delle precipitazioni e delle temperature giornaliere.
- Stanti tali considerazioni, i risultati della catena modellistica che vede in input la simulazione climatica bias-corretta descrivono la «realtà» in maniera soddisfacente, almeno per quanto concerne le caratteristiche delle portate medie mensili (distribuzione, pattern), che sono quelle di interesse.

**METTIAMOCI
IN RIGA**

Proiezioni del regime idrologico nel bacino del Po



Input periodo futuro

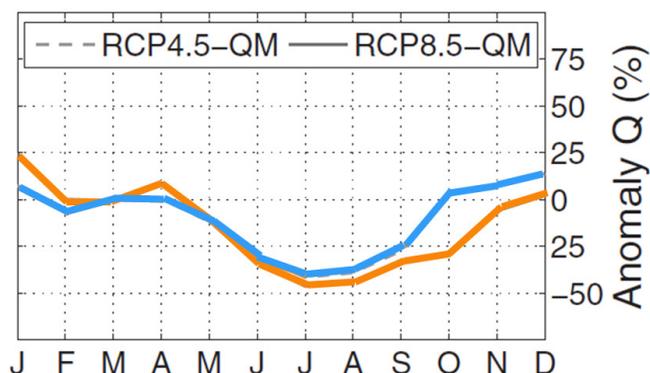
- ✓ Simulazione climatica COSMO-CLM_Italy8 bias-corretta (2041-2070)

Modello di impatto

TOPKAPI (trasformazione afflussi-deflussi)
RIBASIM (bilancio idrico)

Output periodo futuro

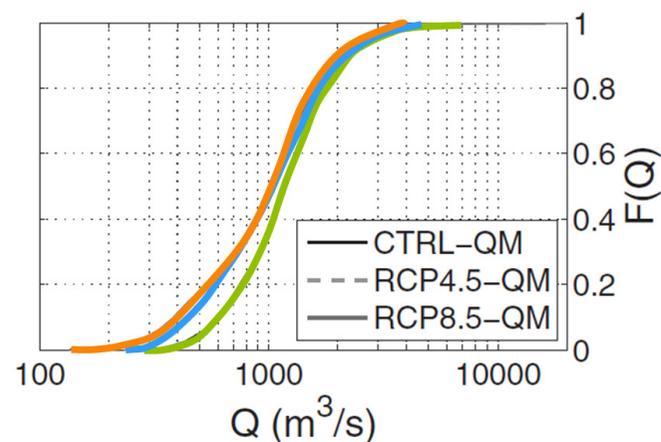
Serie delle portate giornaliere per il periodo 2041-2070 (medio termine)



(b)

Il confronto tra il periodo «storico» e quello «futuro» suggerisce una riduzione delle portate medie mensili nel periodo estivo

- Scenario corrente (1971-2000)
- Scenario futuro (2041-2070) – RCP4.5
- Scenario futuro (2041-2070) – RCP8.5



- ❑ Tale diminuzione è più accentuata nello scenario di concentrazione più gravoso, con un massimo di poco meno del 50% nel mese di luglio. Ciò è dovuto alla variazione delle precipitazioni nell'area di interesse, con una diminuzione attesa delle piogge primaverili e un aumento di quelle invernali (cfr. un aumento generale delle temperature).
- ❑ Il confronto tra le distribuzioni di probabilità delle portate mensili conferma una variazione del regime idrologico soprattutto nella regione dei minimi.

**METTIAMOCI
IN RIGA**

Proiezioni del regime idrologico nel bacino del Po



Input periodo futuro

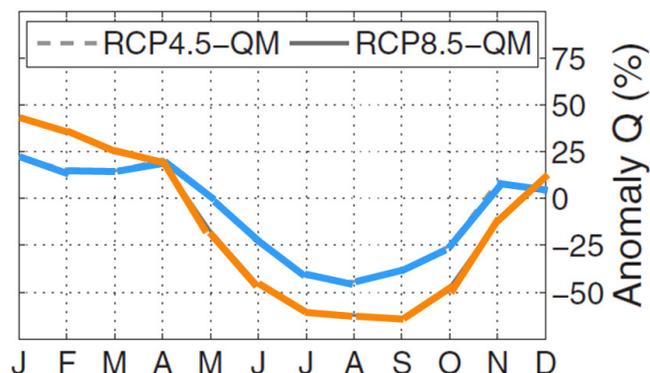
- ✓ Simulazione climatica COSMO-CLM_Italy8 bias-corretta (2071-2100)

Modello di impatto

TOPKAPI (trasformazione afflussi-deflussi)
RIBASIM (bilancio idrico)

Output periodo futuro

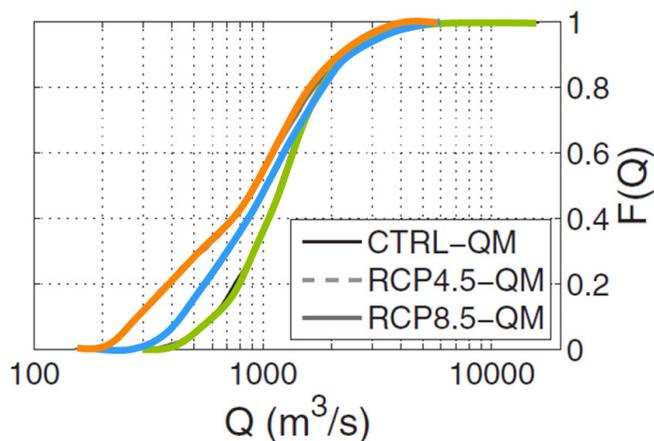
Serie delle portate giornaliere per il periodo 2071-2100 (lungo termine)



(b)

Il confronto tra gli orizzonti temporali suggerisce un aumento delle criticità nello scenario a lungo termine

- Scenario corrente (1971-2000)
- Scenario futuro (2071-2100) – RCP4.5
- Scenario futuro (2071-2100) – RCP8.5



- ❑ Ancora una volta, lo scenario più gravoso è RCP8.5.
- ❑ A parità di scenario di concentrazione, la riduzione attesa nelle portate mensili estive è maggiore per l'orizzonte temporale a lungo termine, con un massimo di quasi il 60% per RCP8.5.
- ❑ Il confronto tra le distribuzioni di probabilità delle portate mensili conferma una variazione del regime idrologico soprattutto nella regione dei minimi.

**METTIAMOCI
IN RIGA**



Input periodo futuro

- ✓ Simulazione climatica COSMO-CLM_Italy8 bias-corretta (2041-2100)

Modello di impatto

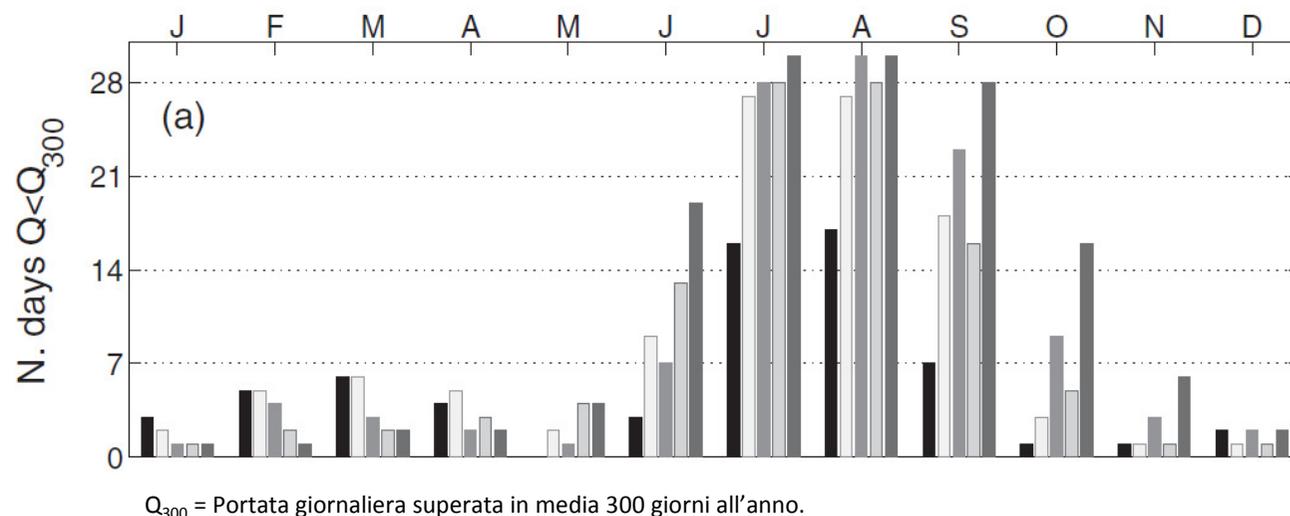
- TOPKAPI (trasformazione afflussi-deflussi)
- RIBASIM (bilancio idrico)

Output periodo futuro

- Serie delle portate giornaliere per il periodo 2041-2100

- Scenario corrente (1971-2000)
- Scenario futuro (2041-2070) – RCP4.5
- Scenario futuro (2071-2100) – RCP4.5
- Scenario futuro (2041-2070) – RCP8.5
- Scenario futuro (2071-2100) – RCP8.5

Il focus sui *low flows* conferma una maggior frequenza dei giorni di portate minime e un allungamento dei periodi di magra



- Si osserva un aumento nella durata dei periodi di magra (in cui la portata giornaliera è inferiore alla soglia Q_{300}), particolarmente critico per lo scenario RCP8.5 e l'orizzonte temporale a lungo termine. Ciò è legato alla diminuzione attesa delle precipitazioni in primavera-estate.
- Nel mese di Luglio, rispetto alla media attuale di giorni sotto soglia (17), sono attesi:
 - 27 giorni (RCP4.5, medio termine)
 - 28 giorni (RCP4.5, lungo termine)
 - 28 giorni (RCP8.5, medio termine)
 - 31 giorni (RCP8.5, lungo termine)

**METTIAMOCI
IN RIGA**

Proiezioni del regime idrologico nel bacino del Po



Input periodo futuro

- ✓ Simulazione climatica COSMO-CLM_Italy8 bias-corretta (2041-2100)

Modello di impatto

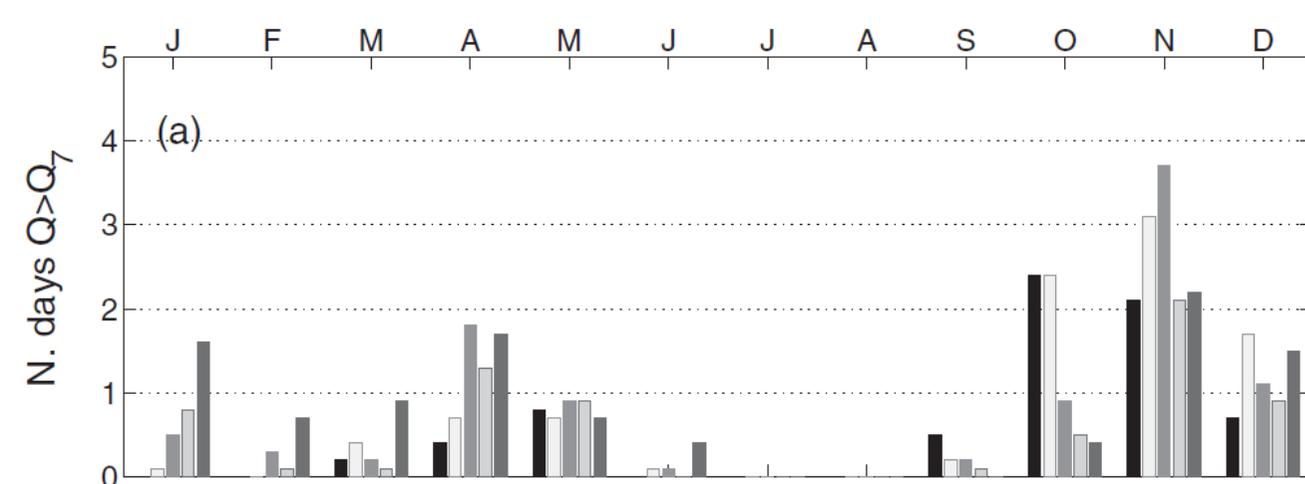
- TOPKAPI (trasformazione afflussi-deflussi)
- RIBASIM (bilancio idrico)

Output periodo storico

- Serie delle portate giornaliere per il periodo 2041-2100

- Scenario corrente (1971-2000)
- Scenario futuro (2041-2070) – RCP4.5
- Scenario futuro (2071-2100) – RCP4.5
- Scenario futuro (2041-2070) – RCP8.5
- Scenario futuro (2071-2100) – RCP8.5

Il focus sugli *high flows* conferma un lieve aumento nella frequenza dei giorni di portate elevate



- Per le portate alte si riscontra un aumento nella frequenza dei giorni sopra soglia ($Q > Q_7$) nel periodo primaverile e autunnale (tuttavia tali anomalie sono meno marcate). Ciò può essere frutto dell'aumento atteso delle precipitazioni invernali, combinato all'aumento generale delle temperature che influenza i processi di accumulo/fusione della neve.
- Nel caso più gravoso (mese di Novembre), rispetto alla media attuale di giorni sopra soglia (2.1), sono attesi:
 - 3.1 giorni (RCP4.5, medio termine)
 - 3.7 giorni (RCP4.5, lungo termine)
 - 2.1 giorni (RCP8.5, medio termine)
 - 2.2 giorni (RCP8.5, lungo termine)

Q_7 = Portata giornaliera superata in media 7 giorni all'anno.

**METTIAMOCI
IN RIGA**

Proiezioni nel bacino del Po: conclusioni



Input periodo futuro

- ✓ Simulazione climatica COSMO-CLM_Italy8 bias-corretta (2041-2100)

Modello di impatto

TOPKAPI (trasformazione afflussi-deflussi)
RIBASIM (bilancio idrico)

Output periodo storico

Serie delle portate giornaliere per il periodo 2041-2100

- La presente analisi è caratterizzata da una modellazione climatica e idrologica a larga scala, compatibile con l'elevata estensione del bacino in esame;
- Questo tipo di modellazione consente di osservare efficacemente i cambiamenti del regime idrologico a scala mensile, che sono diretta conseguenza dei cambiamenti attesi nella distribuzione stagionale delle precipitazioni e delle temperature;
- Tuttavia, non è altrettanto facilmente quantificabile l'influenza del CC sui meccanismi di propagazione delle piene estreme. Sarebbe quindi più corretto a tale scopo focalizzare l'attenzione su bacini di dimensioni più ridotte, ciò che però necessita di un aumento nella risoluzione spaziale e temporale della modellazione climatica.



Grazie per l'attenzione!