

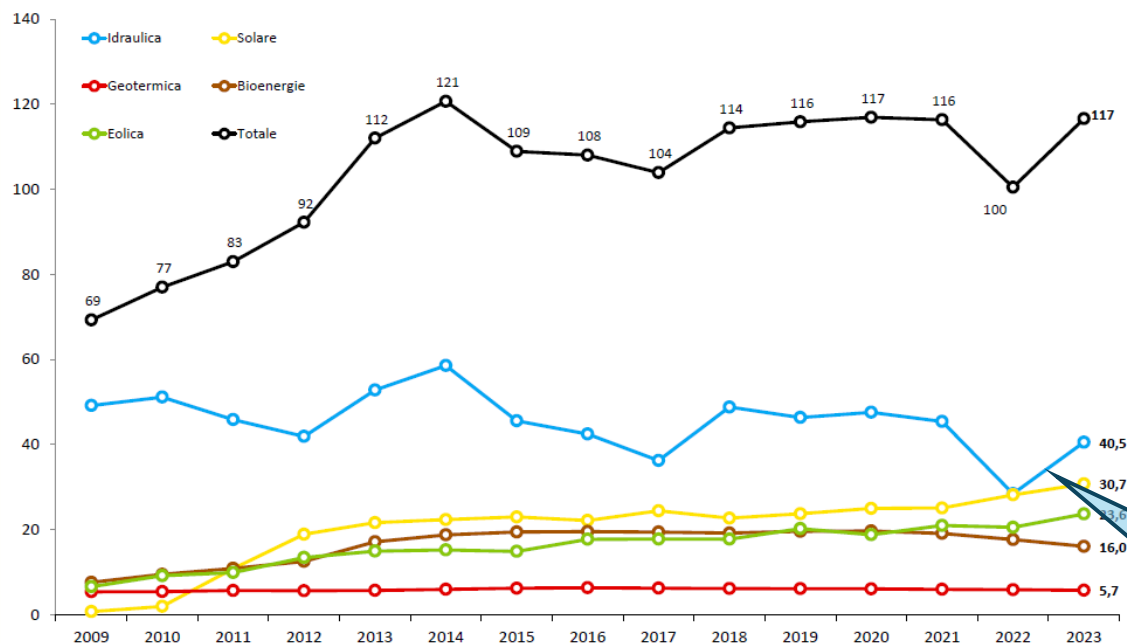


Incertezze nel nesso clima–acqua–energia in Italia: analisi su 18 scenari climatici

Leonardo Mancusi - RSE
Alessandro Amaranto - RSE

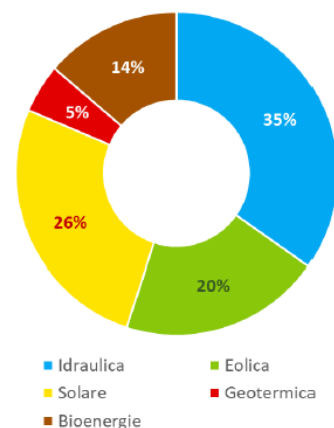
Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Produzione di energia elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili.
Anni 2009-2023 (TWh)



Fonte: GSE per la fonte solare, Terna per le altre fonti

Composizione %.
Anno 2023



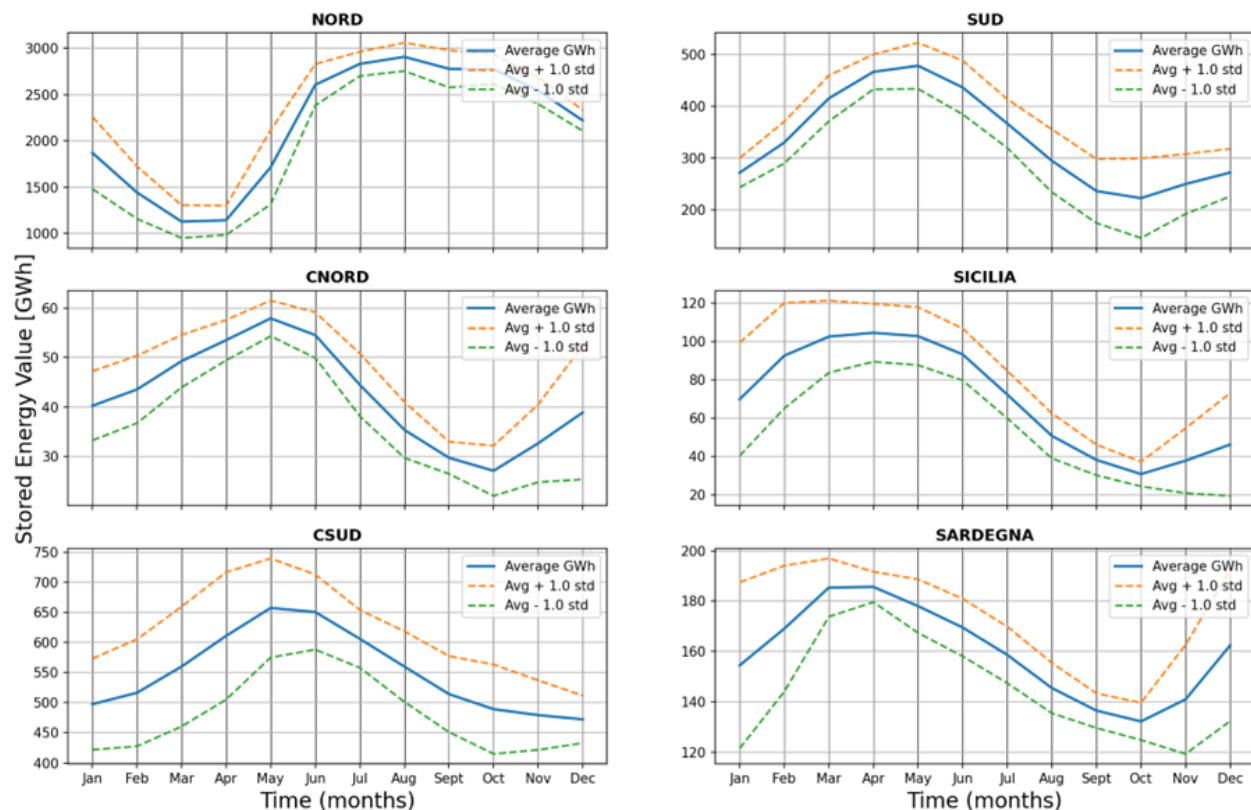
L'idroelettrico garantisce il principale contributo alla produzione di energia elettrica da FER (35% della produzione complessiva nel 2023)
(GSE Rapp. Statistico 2023)

forte dipendenza della
produzione idroelettrica
dagli afflussi meteo

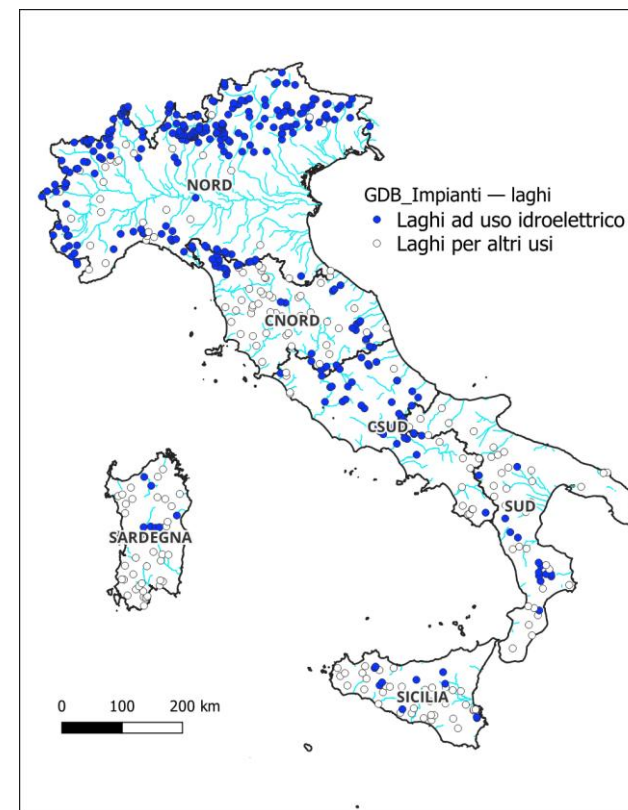


Capacità di accumulo di energia idroelettrica

Average Monthly Stored Energy Value [GWh] - Italy Zones
Average data from 2015 to 2020



elaborazione RSE da dati ENSOE

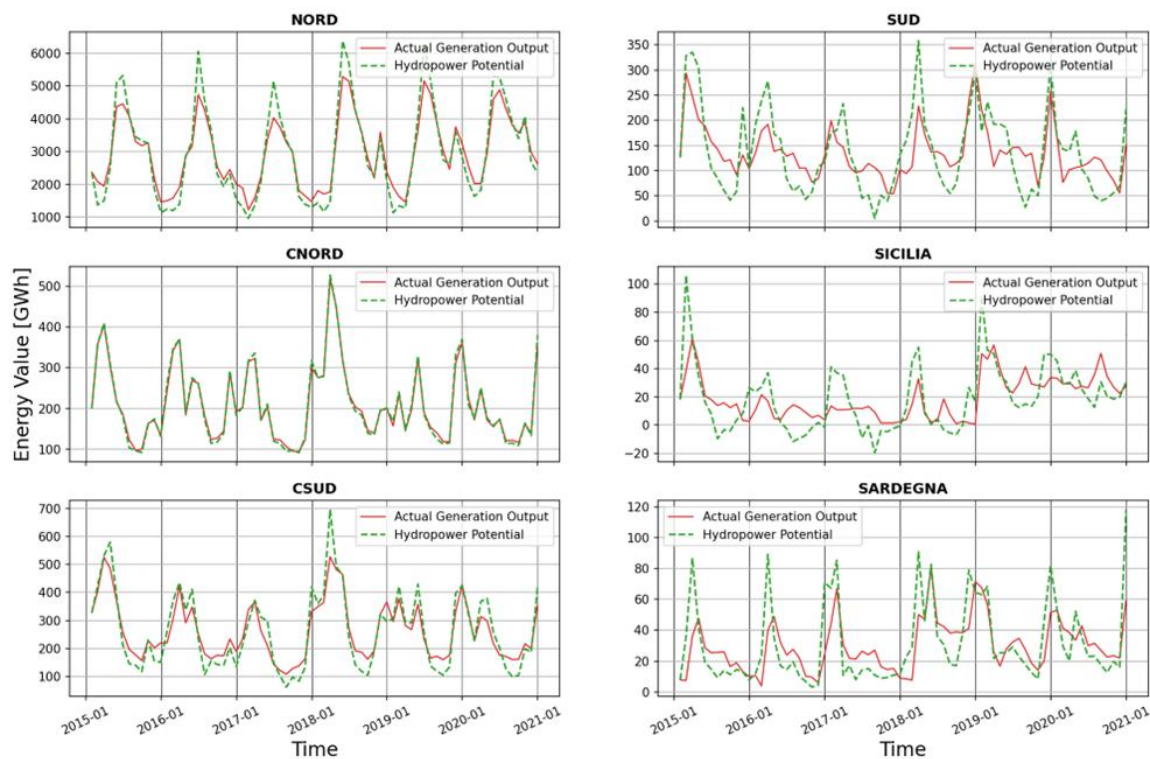


A differenza delle altre fonti energetiche rinnovabili, l'idroelettrico ha una **grande capacità di accumulo** che è fondamentale per il bilancio in rete fra domanda e offerta di energia.



Producibilità idroelettrica mensile storica

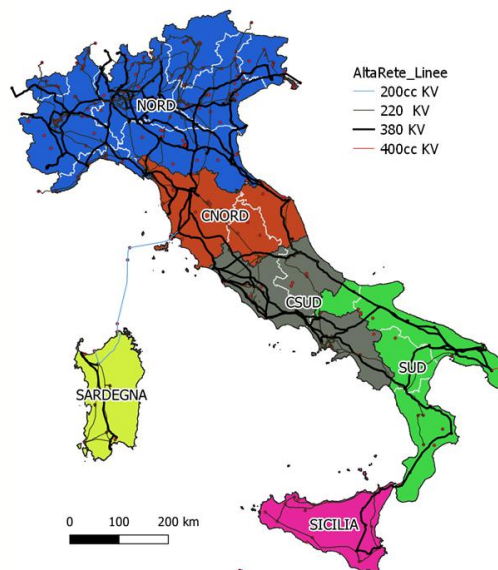
Monthly Actual Generation Output And Hydropower Potential Values [GWh] in Italy zones



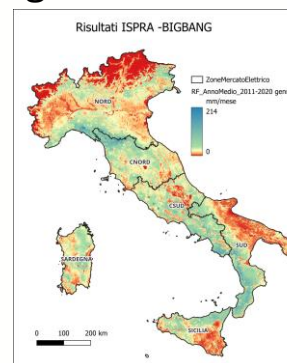
elaborazione RSE da dati ENSOE

Modello BIGBANG dati mensili ris. 1 km Esempio Runoff medio periodo 2001-2020

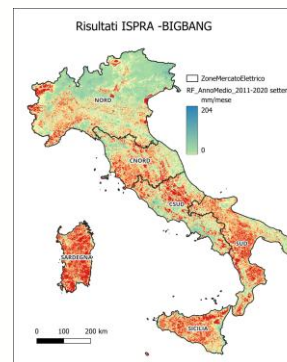
ZONE DELLA RETE RILEVANTE (2009-2019)



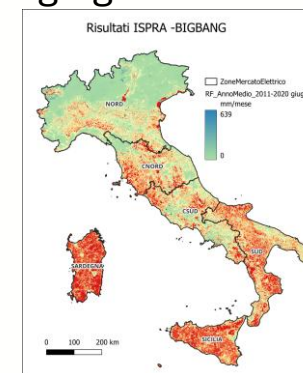
gennaio



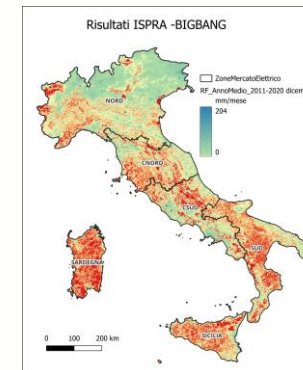
settembre



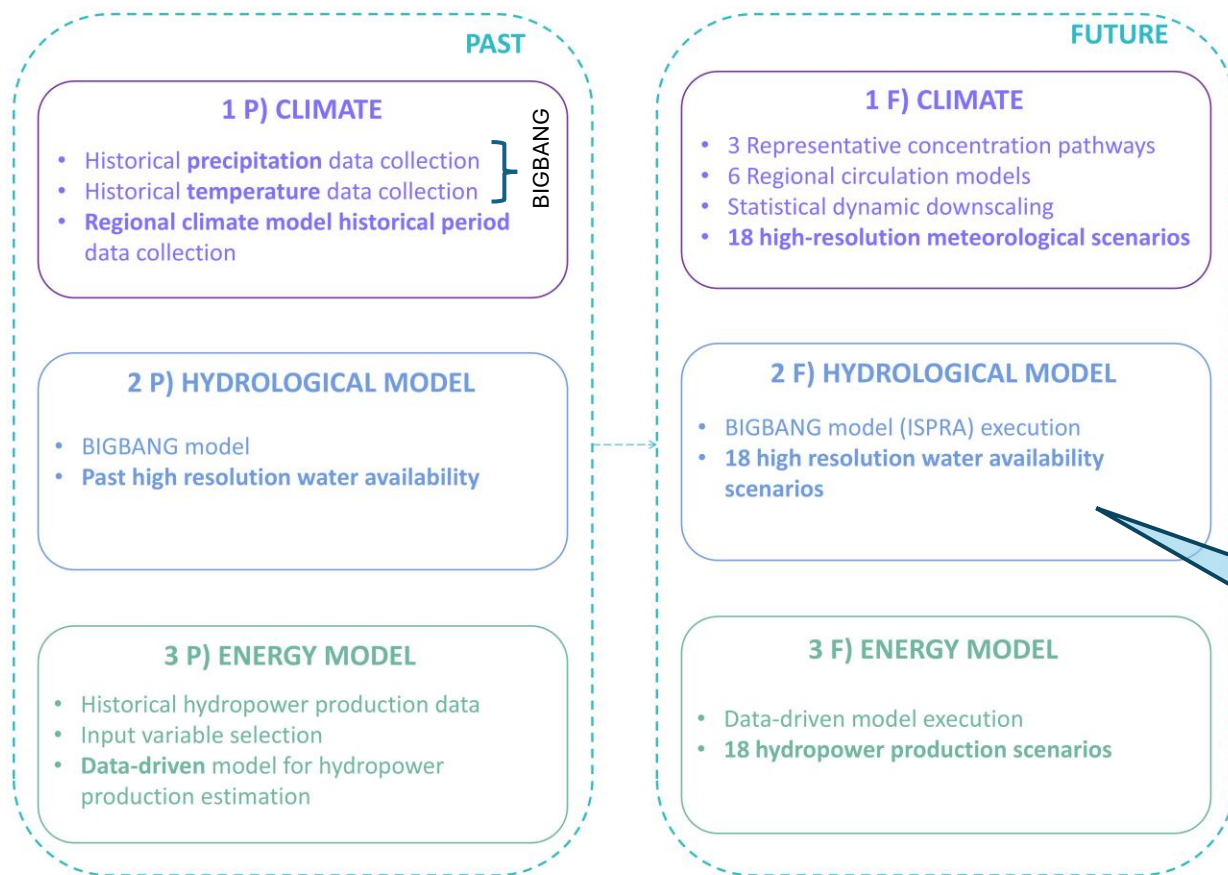
giugno



dicembre



elaborazione RSE da dati BIGBANG-ISPRA



Modelli climatici utilizzati

EURO-CORDEX **Regional Climate Model (RCM)**
 resolution of 0.11 degree (EUR-11, ~12.5km)
 Representative Concentration Pathways
 RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5

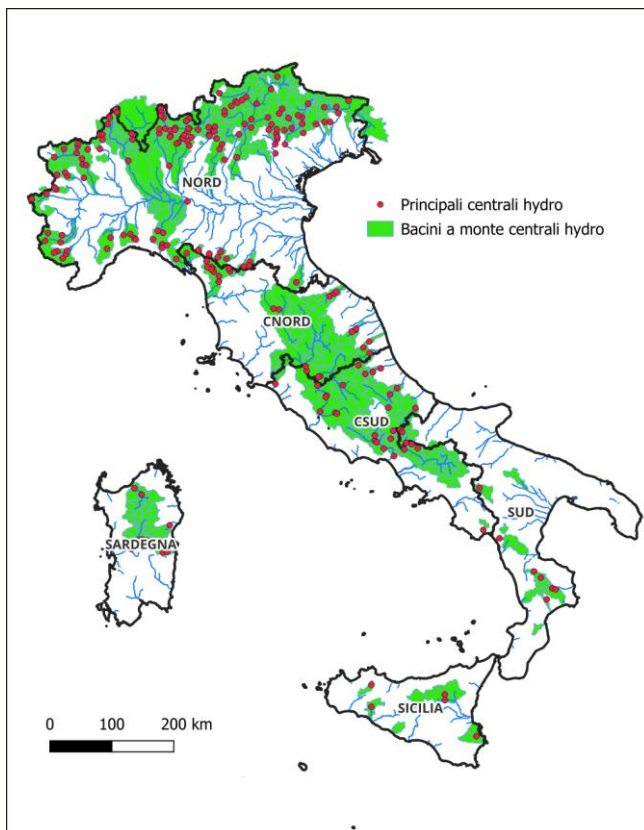
ABBREVIAZIONE	GCM	RCM
M1	ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1	KNMI-RACMO22E_v1
M2	MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1	KNMI-RACMO22E_v2
M3	ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17_v1
M4	MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1	SMHI-RCA4_v1
M5	MPI-M-MPI-ESM-LR_r1i1p1	SMHI-RCA4_v1a
M6	ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1	SMHI-RCA4_v1

Proiezione climatica del bilancio idrico con modello BIGBANG eseguito da ISPRA nell'ambito di un accordo di collaborazione con RSE

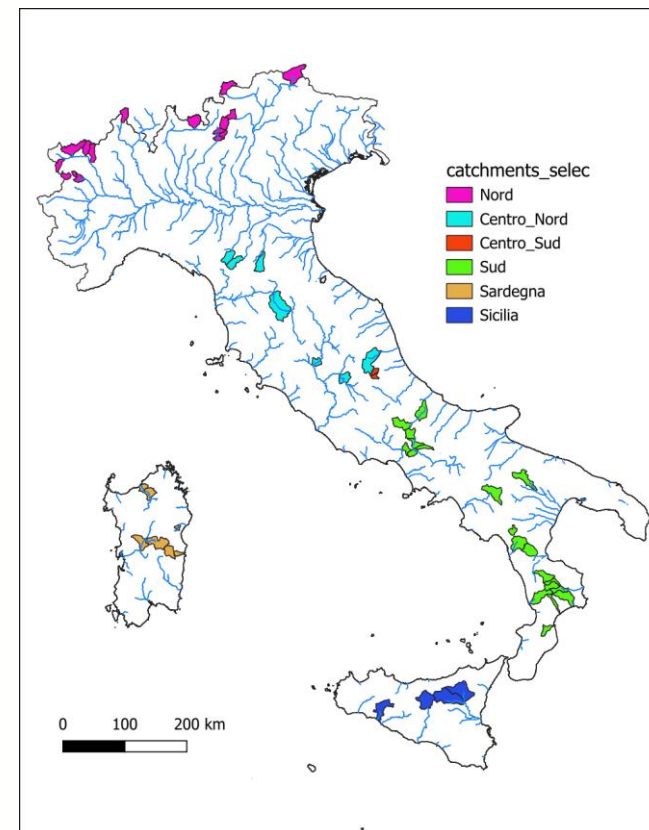


Modello data-driven calibrato con dati BIGBANG

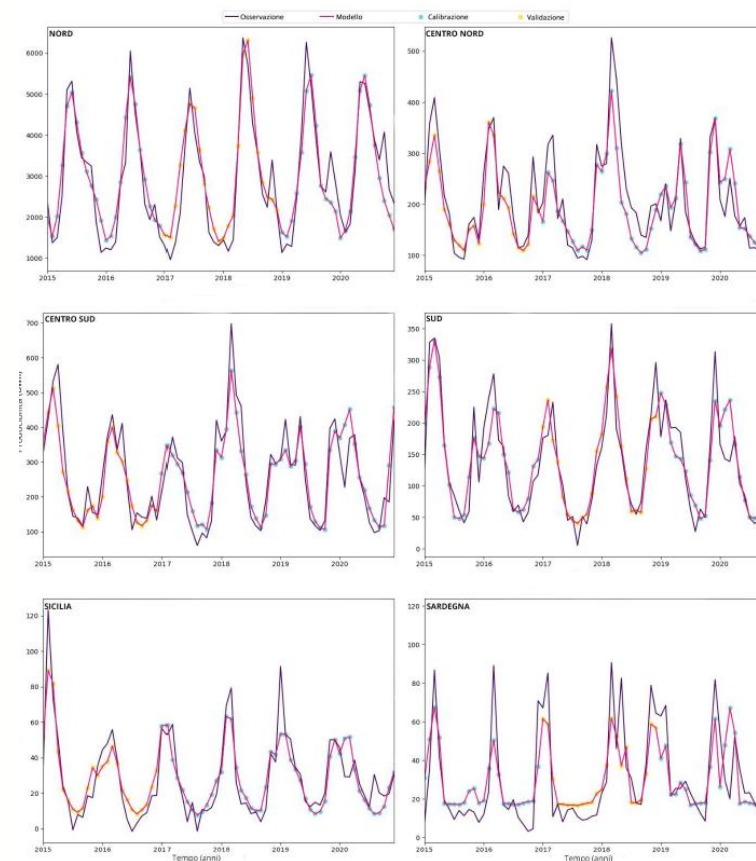
Sottobacini candidati per estrazione
ruscellamento BIGBANG da correlare alla
producibilità idroelettrica



Sottobacini selezionati aventi massima
correlazione fra ruscellamento BIGBANG e
producibilità idroelettrica

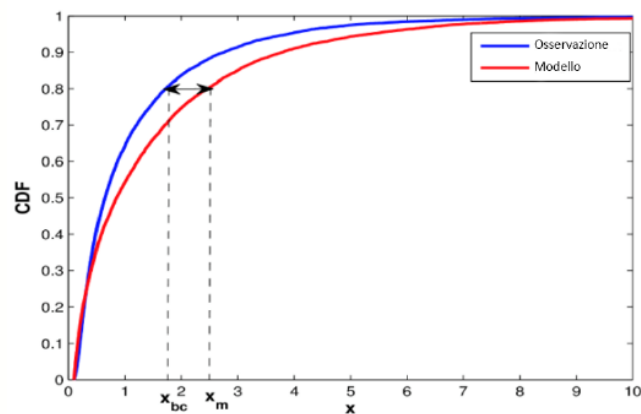


Risultati del modello data-driven della
producibilità per area di mercato

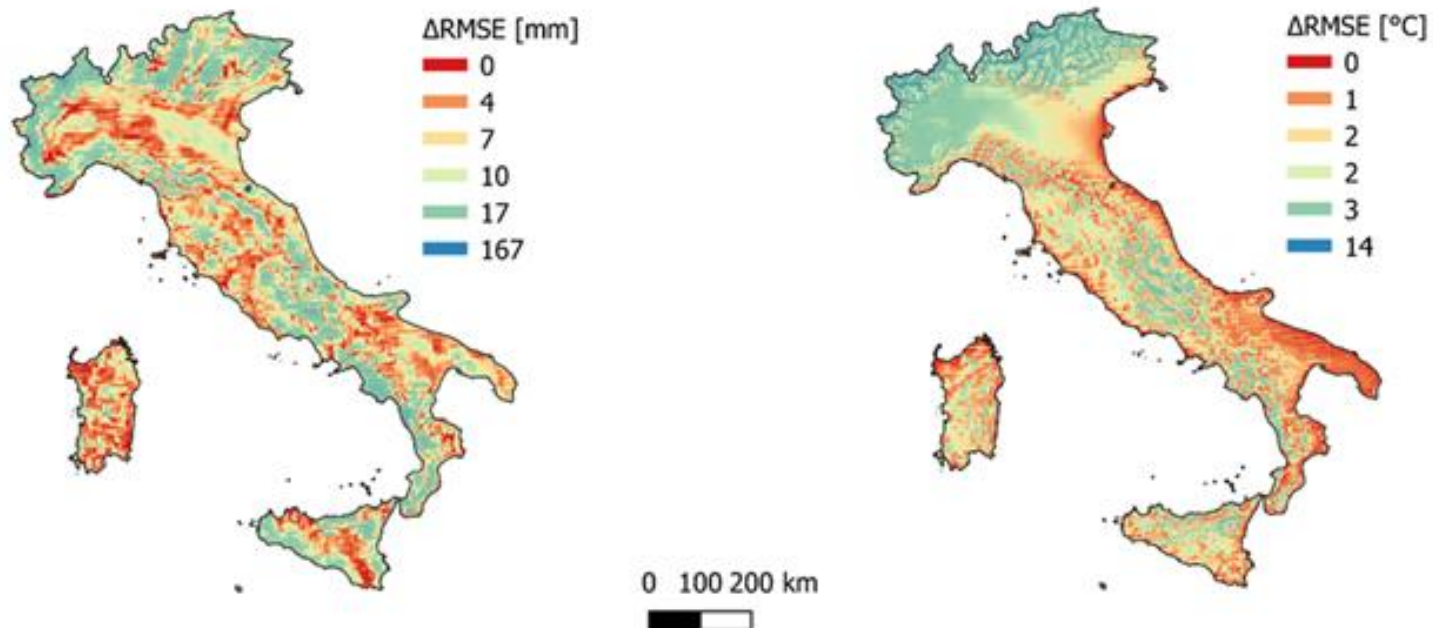




Downscaling statistico modelli climatici



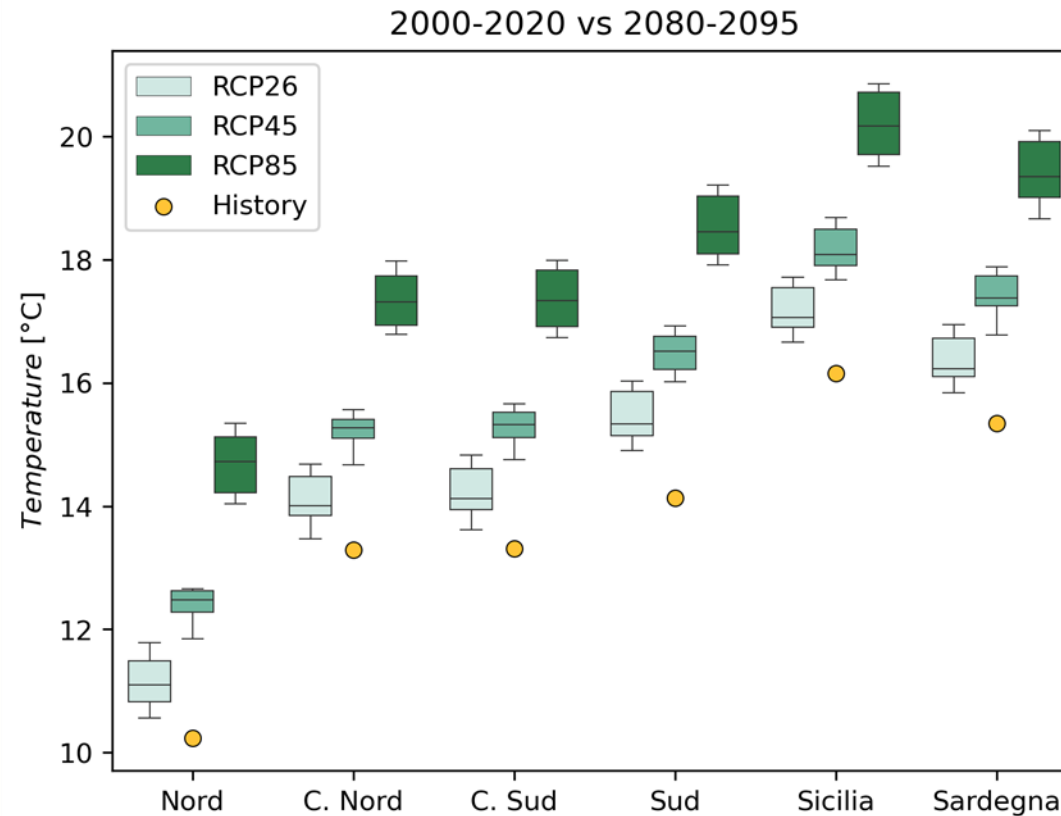
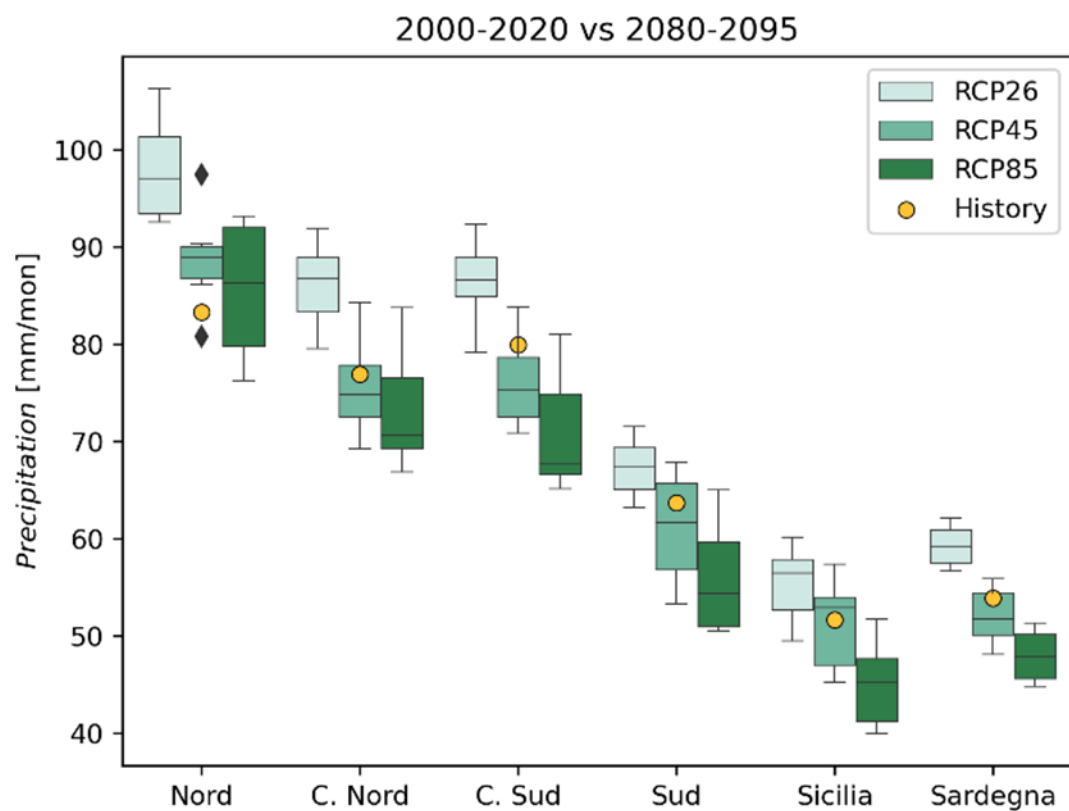
Rappresentazione schematica del metodo di *downscaling* quantile-quantile mapping; x_m rappresenta la variabile calcolata dal modello e x_{bc} (*bias corrected*) la stima fornita dal DS.



Il *downscaling* genera delle traiettorie che meglio rappresentano l'andamento probabilistico delle variabili in esame particolarmente vero soprattutto in corrispondenza delle catene montuose, con diminuzioni in termini di RMSE sull'arco alpino fino a 120 mm/mese per la pioggia e 14° C per la temperatura



Analisi downscaling modelli climatici



Diminuzione della precipitazione nel centro e nel sud per gli scenari RCP45 e RCP85 e crescita generale della temperatura specie per gli scenari emissivi più intensi

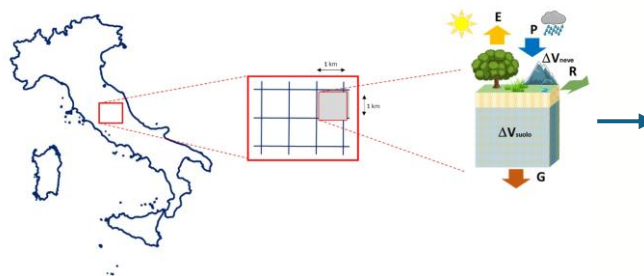


Proiezione bilancio idrologico tramite BIGBANG

Downscaling statistico

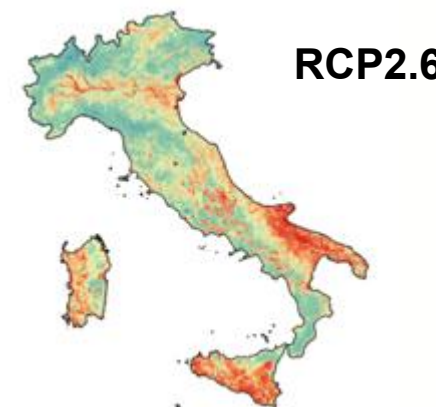


Applicazione BIGBANG



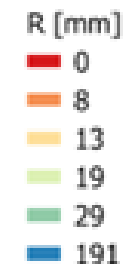
Proiezione ruscellamento mensile da BIGBANG fino a fine secolo

Max
2080-
2095

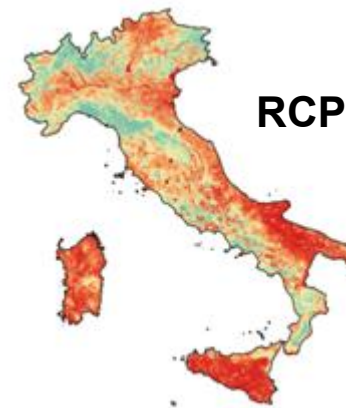


RCP2.6

media
mensile



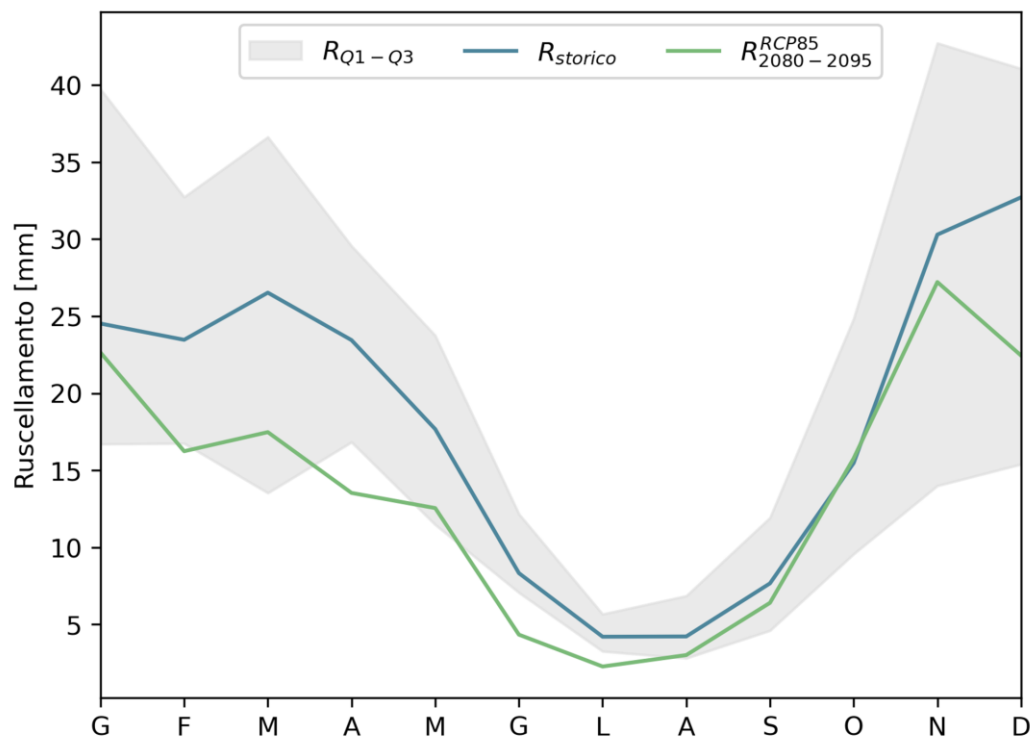
Min
2080-
2095



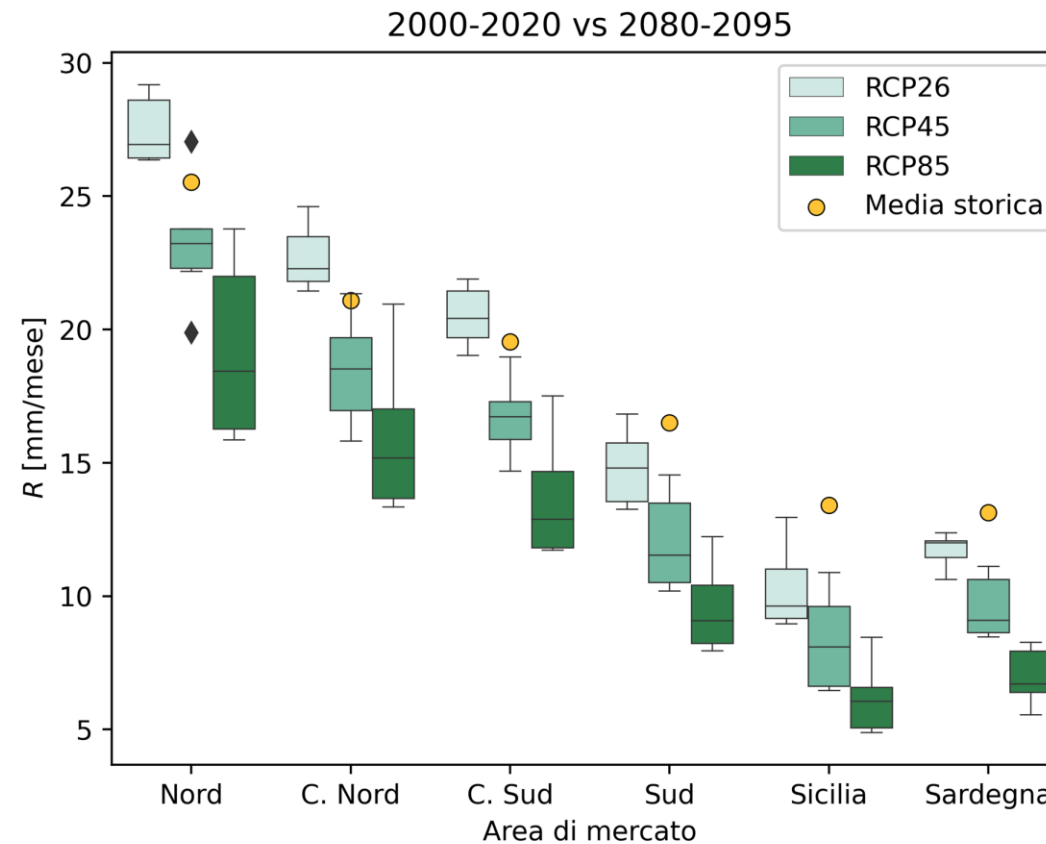
RCP8.5



Analisi statistica proiezione bilancio idrologico



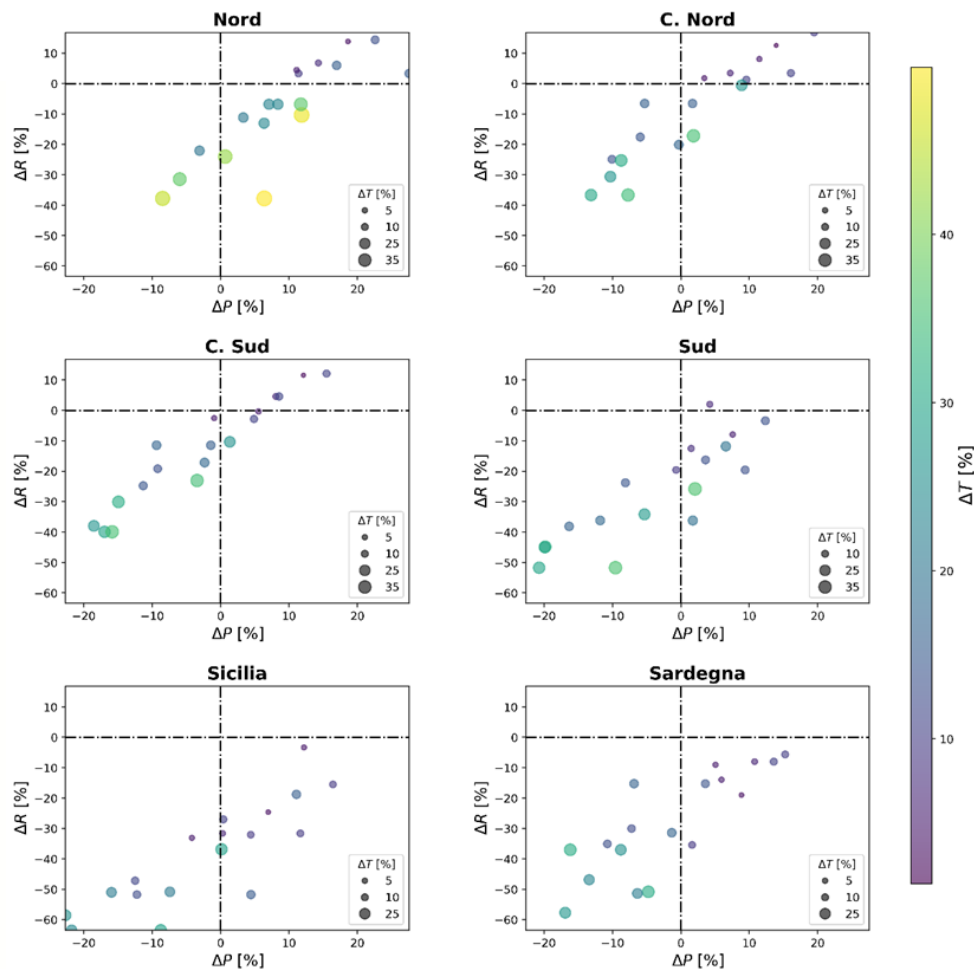
Andamento mediano ciclostazionario storico (in blu) e futuro (in verde) del ruscellamento. L'area in grigio mostra l'intervallo di variabilità tra il venticinquesimo e il settantacinquesimo percentile dei valori storici (2000-2020)



Variazione di **ruscellamento** a lungo termine (2080-2095) rispetto al periodo 2000-2020 nelle sei aree di mercato elettrico



Variazione ruscellamento [%]



Plot proiezione dei 18 scenari climatici

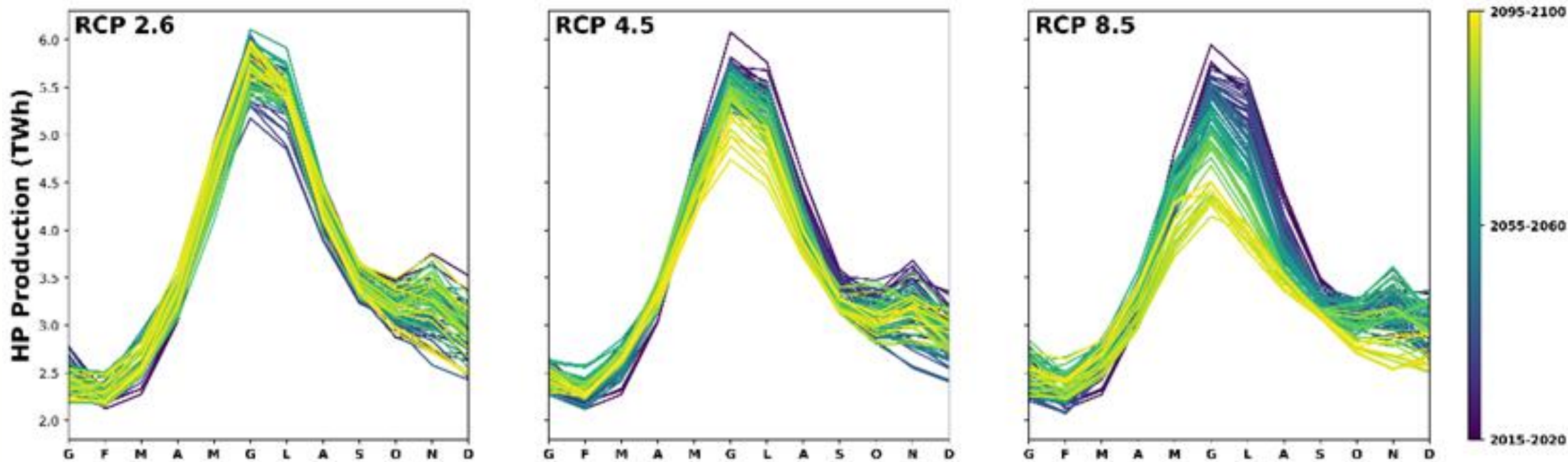
Grafici della variazione percentuale di precipitazione (ΔP , sulle ascisse), temperatura (ΔT , dimensione e colore dei cerchi) e ruscellamento (ΔR , sulle ordinate) nel periodo 2080-2095 rispetto al periodo storico.



Scenari caratterizzati da alta piovosità combinata con aumenti marginali di temperatura rendono il ruscellamento praticamente in linea con quello storico, mentre scenari a ΔT elevato combinato con decrementi di piovosità determinano diminuzioni del ruscellamento fino al 60%



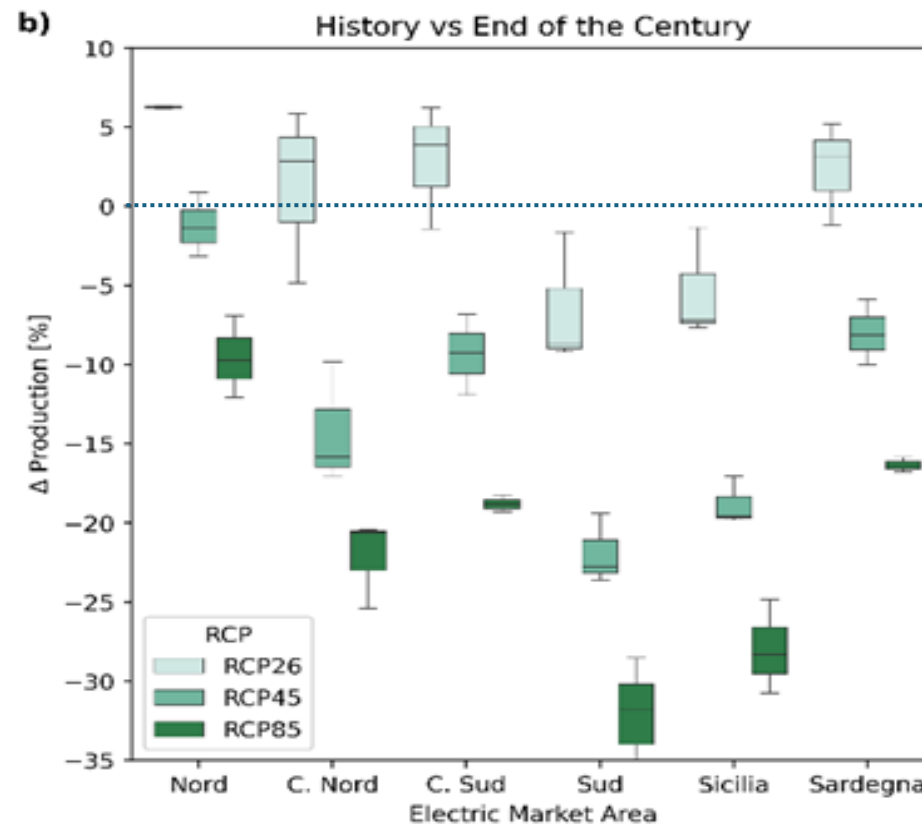
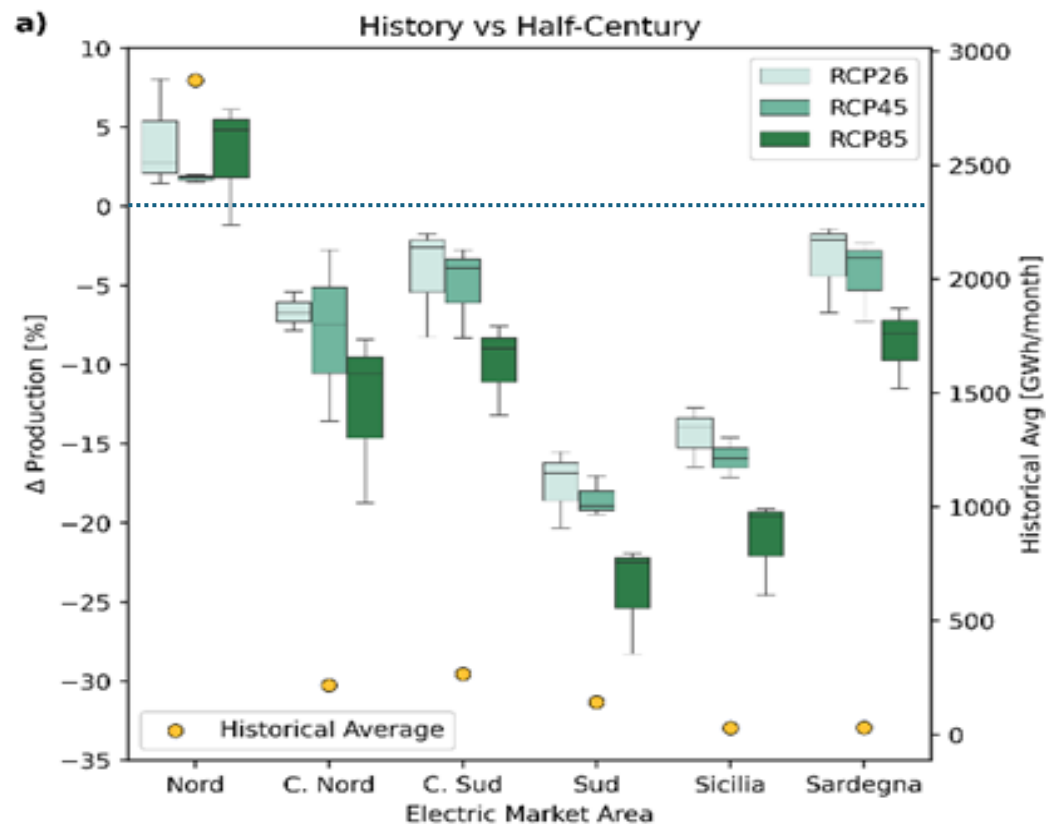
Proiezione della producibilità idroelettrica



Cira il 30% di riduzione dei picchi in RCP8.5 a causa della variazione di precipitazione ed incremento di ET



Analisi incertezza producibilità idroelettrica



La variazione è distribuita in modo disomogeneo nelle diverse aree di mercato, con le aree più soggette a siccità che registrano la diminuzione più grave della produzione.



- In questo studio, finalizzato all'analisi della produzione idroelettrica nazionale, sono stati analizzati dati e risultati **aggregati per le aree del mercato elettrico**.
In base ai risultati ottenuti, si evidenzia come le **variazioni climatiche influiscano sulla risorsa idrica in modo non uniforme tra le diverse aree**, registrando decrescite percentuali sempre **più significative spostandosi verso Sud**.
- La chiara **dipendenza** della futura **produzione idroelettrica dagli scenari di emissione** sottolinea il ruolo cruciale delle misure di mitigazione nel garantire la sostenibilità a lungo termine dell'energia idroelettrica come fonte di energia rinnovabile.
- L'incertezza derivante dagli scenari di emissione risulta sicuramente preponderante, specialmente a lungo termine, rispetto a quella modellistica, facendo emergere come le misure di mitigazione dei cambiamenti climatici tipiche dello scenario **RCP 2.6 conducono a una stabilità complessiva del sistema**, prevedendo incrementi (per quanto modesti) della disponibilità di risorsa sul territorio. Al contrario, nel caso dello scenario di *business as usual* **RCP 8.5**, gli effetti delle alterazioni idro-meteorologiche sono molto più rilevanti, tanto che nelle aree del Sud, dove già i valori storici sono attualmente ridotti rispetto al resto del paese, essi **prefigurerebbero condizioni di crisi idrica estreme**.



Leonardo Mancusi



Leonardo.Mancusi@rse-web.it

Alessandro Amaranto



Alessandro.amaranto@rse-web.it



www.rse-web.it



[@Ricerca sul Sistema Energetico - RSE SpA](#)



[@RSEnergetico](#)



[RSE SpA - Ricerca sul Sistema Energetico](#)

Questo lavoro è stato finanziato dal Fondo di Ricerca per il Sistema Elettrico nell'ambito del Piano Triennale 2025-2027 (DM MASE n.388, 06-11-2024), in ottemperanza al DM 12 aprile 2024.

RdS
RICERCA DI SISTEMA