

SCENARI DI DISPONIBILITÀ DI RISORSA IDRICA FUTURA IN ITALIA PER EFFETTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Leonardo Mancusi¹, Alessandro Amaranto¹, Giovanni Braca²

(1) Dipartimento sviluppo sostenibile e Fonti Energetiche (SFE), Ricerca sul Sistema Energetico, RSE S.p.A. (Milano);

(2) Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), (via Branconi 48, 00144, Roma)

ASPETTI CHIAVE

- Analisi delle proiezioni di ruscellamento in Italia del periodo 2021-2100, generate a partire da un ensemble di 18 scenari climatici.
- Identificata una forte variabilità degli effetti dei cambiamenti climatici sul territorio, con impatti più considerevoli nel Sud Italia e nelle isole
- Lo sforzo di mitigazione risulta fondamentale per mantenere la stazionarietà della disponibilità idrica nel territorio.

1 INTRODUZIONE

La risorsa idrica, fondamentale in svariati settori quali civile, agricolo ed industriale ha un ruolo basilare anche nel campo energetico, sia per il raffreddamento delle centrali termiche che come fonte per l'energia idroelettrica, la quale rappresenta ancor oggi la principale fonte rinnovabile di energia elettrica in Italia, come indicato nel report annuale del Gestore dei Servizi Energetici (GSE 2023).

I cambiamenti climatici in atto minacciano tuttavia di modificare il trend storico della disponibilità di tale risorsa con conseguenze multiple nei vari settori d'uso.

Con la finalità di stimare gli effetti a breve e lungo termine dei cambiamenti climatici sulla producibilità idroelettrica, fortemente correlata al ruscellamento superficiale, sono state generate traiettorie di quest'ultima variabile fino al 2100, per ciascuna zona del mercato elettrico italiano, in risposta a diversi scenari climatici.

Le proiezioni future adottate provengono dalla combinazione di 3 diversi scenari emissivi dell'IPCC relativi all'AR5 (IPCC, 2014) con 6 diversi modelli climatici regionali Euro-CORDEX, per un totale di 18 possibili sviluppi del sistema atmosferico. L'analisi di tale *ensemble* modellistico, consente di valutare le coerenze delle climatologie di temperatura e di precipitazione e dedurre una stima dell'incertezza.

Le 18 proiezioni di precipitazione mensile e temperatura media mensile sono stati utilizzati come ingresso al modello distribuito di bilancio idrologico BIGBANG, che ha fornito le proiezioni delle componenti del bilancio idrologico, e in particolare del ruscellamento.

Il risultato sarà utilizzato come input per un modello *data-driven* che riproduce il comportamento della producibilità idroelettrica in risposta al ruscellamento superficiale, tuttavia esso viene qui presentato in quanto si ritiene possa avere una valenza generale per tutti gli altri settori utilizzatori della risorsa idrica.

2 MATERIALI E METODI

2.1 I representative concentration Pathways

Gli scenari emissivi, o RCP (*Representative Concentration Pathways*), identificano la capacità dell'atmosfera di trattenere la radiazione solare (o *Radiative Forcing*, RF) sulla base di diverse ipotesi di crescita delle emissioni dei gas climalteranti, come conseguenza di azioni più o meno significative di mitigazione. Nello studio presentato ne sono stati analizzati tre, ed in particolare l'RCP 2.6 che identifica uno sforzo massimo di mitigazione, l'RCP 4.5 uno sforzo intermedio e l'RCP 8.5 che è il *business as usual*, cioè nessuno sforzo di mitigazione. La RF costituisce l'input principale ai modelli climatici globali o GCM (*General Circulation Model*) provenienti dal progetto CMIP5 ed aventi una risoluzione orizzontale che va dai 250 ai 600 km. Dai modelli GCM, nel progetto Euro-Cordex (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*), sono stati elaborati, mediante *downscaling* dinamico, diversi modelli regionali o RCM (*Regional Climate Model*) alla risoluzione di 12 km. Tra la varietà di risultati pubblicati di modelli regionali, ognuno dei

quali parametrizza in maniera diversa la risposta del sistema atmosferico alla RF, ne sono stati selezionati sei, e di ciascuno sono state studiate le tre RCP, per un totale di 18 combinazioni di scenari di precipitazione e temperatura. In particolare, all'interno del GCM EC-EARTH sono stati innestati i modelli regionali RCA4, CCLM4 e RACMO, nel modello HadGEM2 sono stati innestati i RCM RACMO e RCA4, e nel modello ESM-LR il modello regionale RCA4.

2.2 Il Downscaling Statistico

Per tenere in considerazione fenomeni orografici e idrologici locali, di ciascuno scenario è stata effettuata una *bias correction* attraverso una procedura di *downscaling* statistico, basata sulla tecnica del quantile mapping tempo variante (Boè et al., 2007). Tale procedura ha permesso di incrementare la risoluzione delle proiezioni climatiche da 12 fino a 1 km. Agendo sulla *bias* della distribuzione di probabilità anziché della serie temporale, la tecnica di *downscaling* statistica utilizzata fa sì che i risultati dei modelli climatici conservino le proprietà statistiche dei dati osservati e siano rappresentativi pertanto della frequenza e magnitudine degli eventi meteorologici. Come riferimento storico per effettuare la *bias correction* è stata utilizzata l'interpolazione ad alta risoluzione spaziale (1 km x 1 km) su tutto il territorio italiano dei dati storici di precipitazione e temperatura mensile del periodo 1986-2021 effettuata da ISPRA a partire dalle stazioni dei diversi servizi regionali. Tali dati sono i medesimi utilizzati come forzanti del modello BIGBANG per la ricostruzione del bilancio idrologico storico italiano. Considerando l'estensione temporale del “control period” dei modelli EURO-CORDEX (1950-2005), la *bias correction* è stata effettuata nell'ultimo periodo 1986-2005.

L'accoppiamento tra le tre RCP e i sei modelli climatici ha prodotto diciotto scenari di precipitazione e temperatura che, a valle della procedura di *downscaling*, sono stati utilizzati come forzanti per altrettante esecuzioni del modello BIGBANG per il periodo 2021-2100.

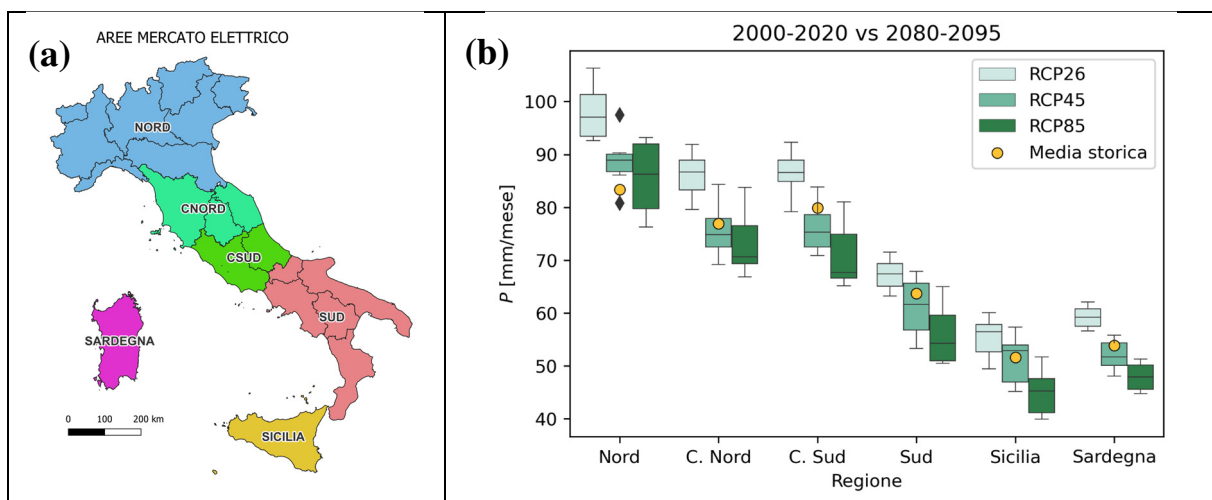


Figura 1. Mappa delle zone del mercato elettrico italiano (a), variazione di precipitazione a lungo termine (2080-2095) rispetto al periodo 2000-2020 nelle sei aree di mercato elettrico. Ciascun box (che include lo scarto interquartile e la mediana) rappresenta uno scenario climatico, che include la variabilità modellistica. I whiskers identificano realizzazioni superiori al 150% rispetto allo scarto interquartile. I cerchi gialli identificano la media storica 2000-2020 (b).

La Figura 1b mostra la distribuzione dell'incertezza degli impatti del cambiamento climatico sulla precipitazione nelle varie aree di mercato a fine secolo. In particolare, sull'asse delle ascisse sono riportate le aree di mercato, sulle ordinate la precipitazione media nel periodo 2080-2095. Ciascun box plot rappresenta uno scenario emissivo e l'area sottesa da esso identifica l'incertezza dei modelli climatici: più risulta ampia l'area sottesa, più i modelli sono discordanti tra di loro, e viceversa. I cerchi gialli mostrano invece i valori medi storici più recenti (2000-2020). L'ampia dimensione dei box plot, spesso superiore a 10 mm/mese, lascia intendere come i modelli climatici siano sovente in disaccordo tra di loro, anche a parità di scenario emissivo.

Per brevità non è riportato l'analogo grafico riferito alle temperature, tuttavia si fa presente che per questa variabile la dispersione delle proiezioni fra i vari modelli è minore rispetto alla precipitazione. I risultati mostrano comunque per tutti gli scenari, anche per quello con il massimo sforzo di mitigazione, sempre aumenti di temperatura, con valori notevoli nel caso dell'RCP 8.5, dove gli incrementi di temperatura media

sono sistematicamente superiori a 2 gradi, con picchi superiori a 4 a seconda del modello.

2.3 Il modello idrologico BIGBANG

L’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), allo scopo di delineare un contesto idrologico oggettivo per una gestione condivisa della risorsa e anche per attuare un dettato normativo che richiede all’ISPRA la formazione del bilancio idrico sulla scorta di quelli di bacino, ha sviluppato un modello denominato BIGBANG, acronimo di “Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare”. (Braca et al., 2021). Tale modello consente la valutazione mensile e sull’intero territorio nazionale delle variabili idrologiche che intervengono nell’elaborazione del bilancio idrologico. Il modello BIGBANG impiega, per la valutazione delle componenti del bilancio idrologico, un approccio spazialmente distribuito con la discretizzazione della superficie del territorio italiano mediante una griglia regolare a maglia quadrata di lato 1 km riferita al Datum ETRS89 con la proiezione cartografica di Lambert Azimuthal Equal Area (LAEA).

Ciascuna cella della griglia di calcolo è caratterizzata da un valore dei parametri e delle variabili del bilancio idrologico calcolate in base alla ben nota equazione:

$$P - E = R + G + \Delta V \tag{1}$$

dove: P è la “precipitazione totale”, E è l’”evapotraspirazione reale”, R il "ruscellamento superficiale", G la "ricarica degli acquiferi" e ΔV l’”immagazzinamento” di volumi idrici nel suolo e nella copertura nivale. Il termine di evapotraspirazione reale nella (1) è calcolato mediante il bilancio idrico in uno spessore di suolo di profondità 1 m secondo lo schema di Thornthwaite e Mather (1955), dove il termine di evapotraspirazione potenziale mensile è calcolato sulla base della formula dello stesso Thornthwaite che, com’è noto, utilizza come variabile climatica solo la temperatura media mensile. Il calcolo viene eseguito in ciascuna cella indipendentemente l’una dalle altre, senza considerare connessioni fisiche tra esse.

3 RISULTATI E DISCUSSIONI

Il modello BIGBANG, forzato con le proiezioni di precipitazione e temperatura, risultanti dalla procedura di *downscaling* statistico, ha generato diciotto scenari di disponibilità idrica (tra cui il ruscellamento) a scala nazionale ad alta risoluzione.

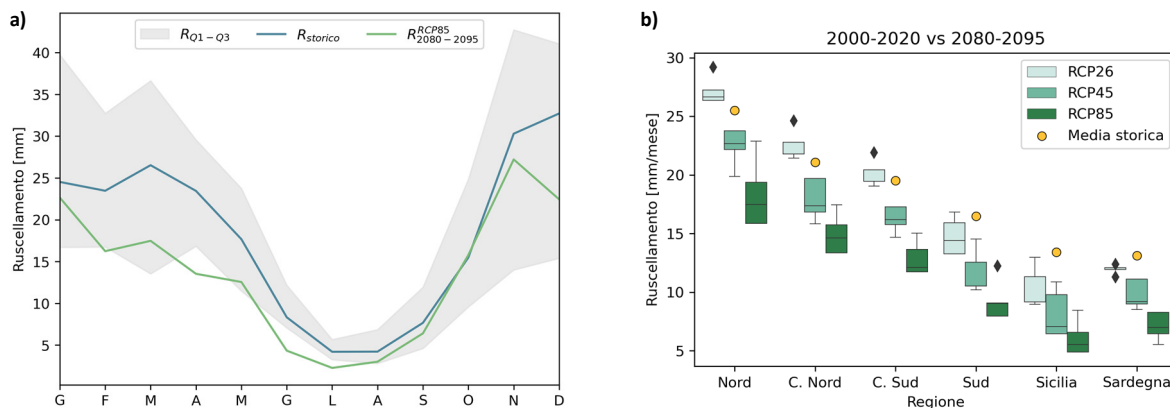


Figura 2. Andamento medio ciclostazionario storico (in blu) e futuro (in verde) del ruscellamento. L’area in grigio mostra l’intervallo di variabilità tra il venticinquesimo e il settantacinquesimo percentile dei valori storici (a), variazione di ruscellamento a lungo termine (2080-2095) rispetto al periodo 2000-2020 nelle sei aree di mercato elettrico. Ciascun box (che include lo scarto interquartile e la mediana) rappresenta uno scenario climatico, che include la variabilità modellistica. I whiskers identificano realizzazioni superiori al 150% rispetto allo scarto interquartile. I cerchi gialli identificano la media storica (2000-2020) (b).

La Figura 2b mostra la distribuzione dell’incertezza degli impatti del cambiamento climatico sul ruscellamento nelle varie aree di mercato (Figura 1a) a fine secolo. Come per la Figura 1b, anche nella Figura 2b, sull’asse delle ascisse sono riportate le aree di mercato, sulle ordinate il ruscellamento medio nel periodo 2080-2095. I cerchi gialli mostrano i valori medi storici (2000-2020) tratti dal dataset del bilancio idrologico

BIGBANG (versione 6, scaricabile all'indirizzo: https://groupware.sinanet.isprambiente.it/bigbang-data/library/bigbang_60).

Dall'analisi dei risultati di Figura 2b, in generale, si può notare come l'entità degli impatti sembra crescere con il decrescere della latitudine: nel Nord Italia tutti i modelli dello scenario RCP 2.6 fanno registrare valori di ruscellamento a fine secolo superiori rispetto a quello storico; osservando tuttavia da sinistra verso destra (le aree di mercato, a eccezione della Sardegna sono presentate da Nord verso Sud), si nota come il cerchio del dato storico si avvicini al limite superiore del box plot di RCP 2.6, fino a superarlo parzialmente nel Sud Italia, e totalmente in Sicilia e in Sardegna. Questo implica che, per quanto riguarda le Isole, non si verifica nemmeno una combinazione modello climatico – scenario tale per cui la disponibilità di risorsa risulti maggiore rispetto a quella corrente. Per quanto riguarda la differenza tra i vari scenari, i risultati del ruscellamento sembrano in linea con quanto accade per la precipitazione e la temperatura: RCP 2.6 (meno caldo e più piovoso) fa registrare valori di ruscellamento stazionari rispetto a quelli storici; RCP 8.5 (più caldo e secco) evidenzia un decremento rilevante e sistematico. Diminuzioni sistematiche di disponibilità di risorsa si registrano anche per RCP 4.5, nonostante una piovosità in linea con la situazione storica, a causa dell'aumento di temperatura (e quindi di perdite per evapotraspirazione).

4 CONCLUSIONI

Gli effetti dei cambiamenti climatici sulla disponibilità di risorsa idrica pongono diversi interrogativi sul futuro a tutti i fruitori di questa importante risorsa. Per rispondere a tali interrogativi, in ambito scientifico, sono stati sviluppati numerosi modelli matematici che simulano le modifiche attese a livello di atmosfera in funzione di diverse ipotesi di scenari emissivi. I risultati ottenuti a livello di atmosfera sono molto importanti, ma non sufficienti a fornire dettagli a livello del suolo. La ricerca qui presentata cerca di colmare questa lacuna. Il *downscaling* statistico di un *ensemble* di scenari di proiezioni climatiche delle variabili meteorologiche di precipitazione e temperatura e la loro trasformazione in deflusso al suolo tramite il modello idrologico BIGBANG fornisce, infatti, come risultato un insieme di scenari di ruscellamento superficiale ad alta risoluzione utili per analisi a diversa scala geografica e per la stima della loro incertezza. In questo studio, per le finalità della produzione idroelettrica nazionale, sono stati analizzati i valori medi nel perimetro delle aree di 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 di mercato, registrando decrescite percentuali sempre più significative spostandosi verso Sud. L'incertezza derivante dagli scenari di emissione risulta sicuramente preponderante 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.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Rapporto Statistico 2021 - Energia da Fonti Rinnovabili in Italia - GSE, Roma 24/03/2023

J. Boé, L. Terray, F. Habets e E. Martin, «Statistical and dynamical downscaling of the Seine basin climate for hydro-meteorological studies.,» *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 27, n. 12, pp. 1643-1655, 2007.

G. Braca, M. Bussetini, B. Lastoria, S. Mariani e F. Piva, «Il Bilancio Idrologico Gis BASed a scala Nazionale e Griglia regolare - BIGBANG: metodologia e stime. Rapporto sulla disponibilità naturale della risorsa idrica.,» Rapporto n. 339/21, ISPRA, Roma Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, 2021.

<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/il-bilancio-idrologico-gis-based-a-scala-nazionale-su-griglia-regolare-bigbang>

Thornthwaite C.W., Mather J.R., 1955, The water balance, Laboratory of climatology, Centerton, NY, Publications in Climatology, 8
IPCC, Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2014: