

Siccità, scarsità e crisi idriche

Il contributo della ricerca
a supporto della definizione
del bilancio idrico

A cura di
Emanuele Romano
Ivan Portoghese



HABITAT SIGNA

Studi e ricerche su sistema terra e ambiente

collana del
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Dipartimento Scienze del sistema terra e tecnologie per l'ambiente

diretta da
Francesco Petracchini

comitato scientifico a cura del consiglio scientifico di dipartimento
Andrea Billi, Claudio Faccenna, Gian Luigi Liberti, Andrea Rinaldo, Sabrina Speich

comitato editoriale
Sara Di Marcello, Maria Elena Martinotti

ideazione del nome e design della collana
Lucia Caraffa

Siccità, scarsità e crisi idriche

Volume 1 della collana HABITAT SIGNA

editing
Sara Di Marcello, Ivan Portoghese, Emanuele Romano, Angelica Zonta

impaginazione e copertina
Lucia Caraffa

graphical abstract
Matteo Tucci
www.luminescentia.com

crediti fotografici

Copertina e pag. 4 - Greg Montani, Pixabay.com; pagg. 20, 27, 562 - Carolyn, Pexels.com; pag. 238 - George Becker, Pexels.com; pagg. 477 e 512 - Frank Cone, Pexels.com; pag. 482 - FOX, Pexels.com; pag. 495 - Teono123, Pexels.com
Freepik.com: pagg. 30, 47, 50, 56, 68, 70,75, 86, 89, 96, 99, 104, 118, 121, 202, 212, 258, 268, 278, 284, 301, 303, 304, 311,325, 328, 339, 347, 350, 357, 366, 369, 384, 388, 391, 397, 406, 401, 402, 432, 426, 438, 440, 461, 480, 513, 514, 517, 518, 523, 541.
L'Editore è a disposizione degli aventi diritto per eventuali inesattezze nella citazione delle fonti.

© Cnr Edizioni, 2024

P.le Aldo Moro 7
00185 Roma
www.edizioni.cnr.it

ISSN 3035-2290

ISBN (ed. stampa) 978 88 8080 673 8

ISBN (ed. digitale) 978 88 8080 674 5

DOI <https://doi.org/10.69115/habitatsigna-2024-1>



This work is licensed under CC BY-SA 4.0



Siccità, scarsità e crisi idriche

Il contributo della ricerca
a supporto della definizione
del bilancio idrico

A cura di
Emanuele Romano
Ivan Portoghese



Indice

[5](#)
[21](#)

Prefazioni
Introduzione

[29](#)

1

Il bilancio idrologico, la disponibilità di risorsa idrica e il bilancio idrico

a cura di **Stefano Mariani**
Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA)

[49](#)

2

La governance dell'acqua in Italia

a cura di **Gerardo Sansone**
Presidenza del Consiglio dei ministri

[73](#)

3

Previsione, prevenzione e contrasto delle crisi idriche: il valore aggiunto della conoscenza tecnico-scientifica nelle attività di protezione civile

a cura di **Andrea Duro**
Dipartimento della protezione civile

[103](#)

4

Il regime meteo-climatico

a cura di **Stefano Federico**
CNR - Istituto di scienze dell'atmosfera e del clima (ISAC)

[145](#)

5

La criosfera

a cura di **Fabrizio de Blasi**
CNR - Istituto di scienze polari (ISP)

[201](#)

6

Il suolo e la zona insatura

a cura di **Marco Berardi**
CNR - Istituto di ricerca sulle acque (IRSA)

[237](#)

7

Acque superficiali e invasi

a cura di **Luca Brocca**
CNR - Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica (IRPI)

[267](#)

8

Acque sotterranee

a cura di **Cristina di Salvo**
CNR - Istituto di geologia ambientale e geingegneria (IGAG)
Matia Menichini
CNR - Istituto di geoscienze e georisorse (IGG)

[327](#)

9

Interazione acque continentali - acque marine

a cura di **Christian Ferrarin**
CNR - Istituto di scienze marine (ISMAR)

[349](#)

10

Le risorse idriche non convenzionali

a cura di **Domenica Mosca Angelucci**
CNR - Istituto di ricerca sulle acque (IRSA)

[386](#)

11

Gli utilizzi idrici e la gestione sostenibile delle risorse

a cura di **Marco Lauteri**
CNR - Istituto di ricerca sugli ecosistemi terrestri (IRET)
Emanuele Romano e **Ivan Portoghese**
CNR - Istituto di ricerca sulle acque (IRSA)

[475](#)

12

Siccità ed ecosistemi

a cura di **Fabrizio Stefani**
CNR - Istituto di ricerca sulle acque (IRSA)

[513](#)

13

Siccità e Land Degradation

a cura di **Vito Imbrenda**
CNR - Istituto di metodologie per l'analisi ambientale (IMAA)

[554](#)

Conclusioni



Keywords

water balance
water resource
drought
water scarcity
water stress

Parole-chiave

bilancio idrologico
risorsa idrica
siccità
scarsità idrica
stress idrico

Curatore

Stefano Mariani

Istituto superiore per la protezione
e la ricerca ambientale

Con contributi di

Istituto superiore per la protezione
e la ricerca ambientale

Giovanni Braca

Barbara Lastoria

Robertino Tropeano

Marco Casaioli

Francesca Piva

Martina Bussetini

Il bilancio idrologico, la disponibilità di risorsa idrica e il bilancio idrico

1

1.1	Introduzione	31
1.2	Il bilancio idrologico e la risorsa idrica: analisi delle loro variazioni e trend	34
1.3	Condizioni di siccità, attuale e passata	41
1.4	Referenze bibliografiche	45

*Gli Autori non sono responsabili
per ogni uso che potrebbe esse-
re fatto delle informazioni in essa
contenute.*

Il *bilancio idrologico*, inteso come valutazione quantitativa e confronto, per una specifica scala spaziale e temporale, dei flussi e degli stock naturali nelle diverse forme (liquida, solida, gassosa) in cui si manifesta l'acqua nel suo ciclo sulla terra, dal sottosuolo alla superficie sino agli strati dell'atmosfera, costituisce il presupposto conoscitivo essenziale per una gestione sostenibile della risorsa idrica, per garantire un accesso equo all'acqua e per soddisfare le necessità degli ecosistemi naturali.

In ambito normativo, con il decreto 28 luglio 2004 del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio recante le "Linee guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, comprensive dei criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la definizione del minimo deflusso vitale, di cui all'articolo 22, comma 4, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152", è stata proposta una definizione di *bilancio idrologico* come "comparazione, nel periodo di tempo considerato e con riferimento ad un determinato bacino o sottobacino, superficiale o sotterraneo, tra afflussi e deflussi naturali, ovvero deflussi che si avrebbero in assenza di pressione antropica". Con questa definizione è sottolineata la naturalità della circolazione idrica superficiale e sotterranea generata dagli afflussi in contrapposizione con la definizione di *bilancio idrico*, che è definito, invece, come "comparazione, nel periodo di tempo considerato, fra le risorse idriche (disponibili o reperibili) in

un determinato bacino o sottobacino, superficiale o sotterraneo, al netto delle risorse necessarie alla conservazione degli ecosistemi acquatici ed i fabbisogni per i diversi usi (esistenti o previsti)", nel quale interviene la componente antropica a modificare la circolazione idrica per il soddisfacimento dei fabbisogni.

Alla definizione di bilancio idrico è sottintesa la definizione di risorsa idrica per la cui disamina si rimanda a Braca et al. (2021), dove si adotta per le valutazioni a scala nazionale del bilancio idrologico la definizione utilizzata dalle istituzioni internazionali (FAO, UNEP, UNSD, UNECE, OCSE, Eurostat, EAA, etc.). Questa fa riferimento al concetto di *risorsa idrica naturale rinnovabile* (*renewable freshwater resource*, nella letteratura anglosassone) prodotta naturalmente nel territorio di riferimento esclusivamente dalle precipitazioni che, al netto dell'evapotraspirazione, sono cadute all'interno dello stesso territorio (*internal flow*), e a cui si somma l'eventuale contributo di risorsa naturale proveniente dall'esterno del territorio (*actual external inflow*).

Il bilancio idrologico e il bilancio idrico costituiscono gli strumenti che consentono una gestione sostenibile della risorsa idrica e, in particolari situazioni di siccità e scarsità idrica, risultano indispensabili anche per adottare una gestione adattiva in cui, data la complessità e l'incertezza dei fenomeni in gioco, gli

effetti delle azioni pianificate devono essere costantemente monitorati per apportare gli aggiustamenti necessari a raggiungere gli scopi prefissati.

Al fine di una gestione adattiva e sostenibile delle risorse idriche è necessario individuare le aree soggette a elevato stress idrico e i fattori antropici e climatici, compresi i cambiamenti climatici in atto, che determinano una ridotta disponibilità di risorsa utile per le diverse finalità ambientali e socio-economiche. Diversi sono i termini e le locuzioni con le quali si identificano queste situazioni critiche che tuttavia, sebbene siano spesso usate come sinonimo, differiscono per alcuni aspetti. Nell'ambito operativo istituzionale, a cui qui si fa riferimento, si adottano le definizioni utilizzate nel contesto europeo di implementazione della Direttiva Quadro sulle Acque - DQA 2000/60/CE (*Water Framework Directive - WFD* e *Common Implementation Strategy - CIS*) e di gestione della siccità e della scarsità idrica (EEA, 2021; Schmidt et al., 2012), assunte a livello nazionale e di distretto idrografico negli Osservatori distrettuali permanenti sugli utilizzi idrici (Mariani et al., 2018; Mariani et al., 2020).

Si parla di *siccità* come di quella condizione meteorologica naturale e temporanea in cui si manifesta, per un tempo sufficientemente lungo e su una area sufficientemente vasta, una sensibile riduzione della quantità di precipitazioni rispetto ai valori attesi (i cosiddetti valori medi o climatologici di riferimento) tale da determinare, in relazione alla sua durata ed entità, significativi effetti negativi sull'ambiente, sulle persone e sulle attività socio-economiche. In linea di principio, si tratta di un fenomeno naturale legato alla variabilità del ciclo idrologico e, in particolare, alla variabilità spatio-temporale delle precipitazioni, sebbene il cambiamento climatico intervenga modificandone frequenza, intensità e persistenza.

La siccità è un fenomeno che presenta caratteristiche differenti nelle componenti del ciclo idrologico, che, a loro volta, producono impatti diversi. In relazione agli effetti prodotti, la siccità viene, in generale, classificata in quattro categorie (Wilhite, 2000; WMO, 2006).

Siccità meteorologica: si riferisce a una diminuzione relativa delle precipitazioni.

Siccità agricola: è legata al deficit idrico nel suolo che influisce sulla crescita delle colture.

Siccità idrologica: considera la scarsità di risorse idriche nel suolo, nei corsi d'acqua e nelle falde acquifere.

Siccità socio-economica e ambientale: è l'insieme degli impatti che si manifestano come uno squilibrio tra la disponibilità della risorsa e la domanda per le attività economiche (agricoltura, industria, turismo, etc.), per gli aspetti sociali (alimentazione, igiene, attività ricreative, etc.) e per la conservazione degli ecosistemi.

Nella valutazione degli episodi di siccità è importante considerare aspetti quali la severità, intesa come scostamento del deficit di precipitazione dai valori attesi, la durata e la frequenza di accadimento (si veda ad esempio, Yevjevich, 1967; Rossi et al., 1992). La gravità di un episodio siccitoso può essere ulteriormente caratterizzata in termini di intensità e magnitudine (Braca et al., 2023). La prima caratteristica si riferisce al grado massimo di severità raggiunto nel corso dell'evento, la seconda è ottenibile come media o integrale delle singole severità associate all'episodio di siccità.

Lo *stress idrico* è, invece, quella condizione che si identifica col mancato soddisfacimento della domanda di acqua per le esigenze umane ed ecologiche. Oltre alla mancanza d'acqua, considera anche la qualità delle acque, i deflussi ecologici (*e-flow*) e l'accessibilità all'acqua. In definitiva, un'area (ad esempio, un bacino idrografico) è in uno stato di stress idrico quando la disponibilità della risorsa non è sufficiente a soddisfare pienamente le esigenze ambientali, sociali ed economiche, sia in termini di qualità sia di quantità.

Per *scarsità idrica* si intende quella condizione in cui lo stress idrico è causato da fattori antropici e che si verifica frequentemente o ha una durata a medio termine (ad esempio, stagionale, annuale o pluriennale). La condizione di scarsità idrica può essere ulteriormente aggravata da periodi siccitosi e cioè di deficit di precipitazione. Il verificarsi di siccità aggrava gli impatti della scarsità d'acqua sia sugli ecosistemi sia sulle condizioni socio-economiche.

È necessario, pertanto, sottolineare la differenza tra stress idrico/scarsità idrica, che identifica la situazione antropogenica in cui le risorse disponibili non sono sufficienti a soddisfare i fabbisogni civili, irrigui,

industriali e finanche quelli ecosistemici, e siccità, che è invece un fenomeno naturale temporaneo, seppur diventato più frequente negli ultimi decenni, che si verifica se le precipitazioni nel periodo sono sensibilmente inferiori rispetto alla climatologia di riferimento dell'area considerata.

La stima dello stress idrico o della scarsità idrica è quindi legata a considerazioni sull'equilibrio del bilancio idrico, ossia è valutata mediante indicatori che misurano il rapporto in percentuale tra il prelievo di risorsa idrica (o l'uso o il consumo di acqua) e le risorse idriche rinnovabili disponibili. Non sempre questi indicatori tengono anche in considerazione i fabbisogni ambientali, ovvero i deflussi ecologici.

Con il termine di *crisi idrica* ci si riferisce, invece, a quella situazione di stress idrico che produce significativi effetti e che dovrebbe indurre gli enti responsabili della gestione ad avviare interventi e misure utili per mitigare gli impatti attesi, mentre con il termine di emergenza idrica si intende quella situazione di grave ed estesa stress idrico per la quale si rendono necessari interventi esterni di carattere operativo e normativo (ad esempio, da provvedimenti delle autorità preposte, quali Prefetture, Protezione Civile, etc.).



Il bilancio idrologico e la risorsa idrica:

analisi delle loro variazioni e trend

La stima del bilancio idrologico consente di definire e mantenere l'equilibrio tra disponibilità naturale di risorsa idrica rinnovabile e fabbisogni per i diversi usi (civile, agricolo e industriale, ecosistemico), evitando il sovrasfruttamento e il depauperamento delle risorse, sempre più a rischio a causa dei cambiamenti climatici e delle pressioni antropiche. Lo studio delle componenti del bilancio idrologico, la valutazione delle loro tendenze, il calcolo di indicatori idro-climatici e di statistiche su di esse basate costituiscono il presupposto per una gestione operativa, sostenibile e adattiva delle risorse idriche e consentono, altresì, di far fronte agli obblighi di reporting e contabilità ambientale dettati dalle politiche e dalle strategie nazionali, europee e globali di sviluppo sostenibile e di adattamento ai cambiamenti climatici. Gli aspetti quantitativi messi in evidenza dal bilancio idrologico, specie ad altissima risoluzione spazio-temporale, concorrono a definire il buono stato ambientale delle acque, obiettivo obbligatorio previsto dalla WFD, che impone altresì un monitoraggio quantitativo continuativo dei corpi idrici, inclusi i prelievi. Tale monitoraggio, di competenza regionale, è tuttora solo parzialmente effettuato. La stessa normativa nazionale obbliga le Autorità di bacino distrettuale, le Regioni e le Province Autonome alla stima dei bilanci idrici (Artt. 95 e 145 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.).

La prima caratterizzazione omogenea alla scala nazionale delle componenti del bilancio idrologico, relativa al periodo

1921-1950, risale agli anni '70 del secolo scorso, in occasione della prima Conferenza nazionale delle acque (CNA). Solo a partire dal 2017, l'Istituto superiore per la protezione e ricerca ambientale (ISPRA), nell'ambito delle proprie attività nazionali di idrologia operativa, ha sviluppato e reso operativo un modello, denominato BIGBANG - Bilancio Idrologico Gis BASEd a scala Nazionale su Griglia regolare (Braca et al., 2021; Braca et al., 2023; si veda anche https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/BIGBANG_ISPRA.html), per la valutazione a scala temporale mensile, su un grigliato con risoluzione spaziale di 1 km sull'intero territorio nazionale, delle componenti del bilancio idrologico in forma distribuita, sulla base dell'equazione:

$$P - E = R + G + \Delta V$$

dove P è la precipitazione totale, E è l'evapotraspirazione reale, R è il ruscellamento, G è la ricarica degli acquiferi e ΔV è la variazione dei volumi idrici immagazzinati nel suolo e nella copertura nivale. Il modello BIGBANG si basa sull'uso di dati e layer ufficiali disponibili a livello regionale, nazionale ed europeo, con copertura omogenea a scala nazionale, e le sue stime sul bilancio idrologico e sulla disponibilità naturale della risorsa idrica si propongono come naturale proseguimento di quanto determinato nella CNA coprendo, pertanto, il periodo successivo al 1951. Tali stime si estendono, allo stato attuale, fino al 2023 e sono oggetto di continuo aggiornamento.

Attraverso il modello BIGBANG è, quindi, possibile avere sull'intero territorio

nazionale stime continue nel tempo e distribuite nello spazio delle componenti di bilancio e delle principali grandezze idrologiche derivate. L'implementazione in ambiente GIS del modello consente di "ritagliare" le stime su qualunque ambito territoriale (preferibilmente > 100 km²) di riferimento (come, ad esempio, i distretti idrografici) e "aggregare" facilmente a qualunque scala temporale multipla del mese (trimestrale, stagionale, semestrale, annuale), ovvero effettuare medie su qualunque periodo di interesse (ad esempio, LTAA - Long-term annual average).

La disponibilità di stime su un così lungo asse temporale consente, inoltre, di poter effettuare una grande varietà di valutazioni e di definire una vasta gamma di indicatori idro-climatici, robusti dal punto di vista sia statistico sia idrologico, utili a una completa caratterizzazione della risorsa idrica (sul calcolo e l'utilizzo di indicatori nell'ambito della gestione delle risorse idriche si vedano anche i paragrafi 11.5 e 11.6). Il quadro conoscitivo è ulteriormente arricchito dalla possibilità di analizzare le condizioni di stress a cui è soggetta la risorsa idrica, abbinando alle stime del BIGBANG le informazioni sui prelievi, sulle restituzioni e sulle idro-esigenze ambientali, nonché di valutare l'impatto sul ciclo idrologico, presente e futuro, dei cambiamenti climatici (ad esempio, attraverso scenari di emissioni dei gas a effetto serra) e delle pressioni antropiche (ad esempio, attraverso scenari di consumo di suolo).

In termini di precipitazioni annue, l'Italia potrebbe apparire un territorio ricco di afflussi meteorici rispetto ad altri Paesi europei. Tuttavia, le analisi per trentenni climatologici successivi condotte dall'ISPRA (Braca et al., 2021; Braca et al., 2023; Braca et al., 2024), sulla base delle stime prodotte dal modello BIGBANG (attualmente alla sua versione 8.0) e del dato storico 1921-1950 della CNA, hanno evidenziato

una riduzione della precipitazione totale annua media, sebbene con una leggera inversione di tendenza nell'ultimo trentennio climatologico (Fig. 1.1). A fronte di una media annua storica per il 1921-1950 di 990 mm (corrispondenti a circa 297 miliardi di m³), nell'ultimo trentennio climatologico 1991-2020 si è osservata a scala nazionale una precipitazione totale annua media di 944.4 mm (285.3 miliardi di m³) e sul lungo periodo 1951-2023 una precipitazione totale annua media nazionale di 949.5 mm (286.8 miliardi di m³).

La situazione nei successivi anni 2021, 2022 e 2023 non è stata migliore, con afflussi meteorici inferiori alle medie relative sia all'ultimo trentennio climatologico sia al lungo periodo 1951-2023 (Fig. 1.1). Il minimo storico si è avuto nel 2022, quando la precipitazione totale annua ragguagliata al territorio nazionale è stata stimata in 719.1 mm (217.2 miliardi di m³), corrispondente a circa il -24% rispetto sia alla LTAA 1951-2023 e sia alla media 1991-2020. D'altra parte, le precipitazioni mensili nel 2022 hanno fatto registrare per tutti i mesi una diminuzione, con un valore minimo nel mese di ottobre del -61% rispetto alla media del periodo, a eccezione dei mesi di agosto, settembre e novembre. Anche la distribuzione spaziale delle precipitazioni annue sul territorio nazionale nel 2022 è stata molto diversa da quella media di lungo periodo (Fig. 1.2). Il rapporto tra la precipitazione del 2022 e la media di lungo periodo ha evidenziato un diffuso deficit di precipitazione che ha raggiunto il suo massimo (in valore assoluto) nel Nord-Ovest, con scarti anche dell'ordine del -50%, che significa meno della metà della precipitazione annua media. Unitamente alla scarsità delle precipitazioni, il 2022 è stato caratterizzato anche da una copertura nevosa esigua rispetto agli ultimi decenni, con valori notevolmente inferiori alle medie di riferimento, come evidenziato dalle elaborazioni regionali e

da quelle nazionali del Dipartimento della protezione civile (SNPA, 2023).

Il deficit di precipitazione è stato, in parte, meno severo nel 2023 (Braca et al., 2024) grazie all'elevato volume di precipitazioni che si è riversato nel mese di maggio, stimato in circa 49 miliardi di m³, che è stato, a livello nazionale, più del doppio di quello che mediamente caratterizza lo stesso mese, stimato in circa 23 miliardi di m³ sul lungo periodo 1951-2023 (Fig. 1.3).

Nel mese di maggio, in Emilia-Romagna, in Sicilia e in minor parte in Calabria, si sono registrati localmente valori cumulati di pioggia addirittura superiori di oltre sei volte le medie del periodo. In particolare, tale estrema piovosità e la sua concentrazione nella prima metà del mese sono stati la causa dei tragici eventi alluvionali in Emilia-Romagna, con vittime e ingenti danni a persone, territori e attività economiche.

Figura 1.1

Precipitazione totale annua media sull'Italia, riportata per medie climatiche trentennali successive e come LTAA sul periodo 1951-2023 e dato per gli anni 2021, 2022 e 2023. Elaborazione dell'ISPRA su dati di precipitazione degli uffici meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio idrografico e mareografico nazionale (mediante la versione 8.0 del BIGBANG) per il periodo 1951-2023 e dato storico 1921-1950 da CNA, pubblicato nel 1972.

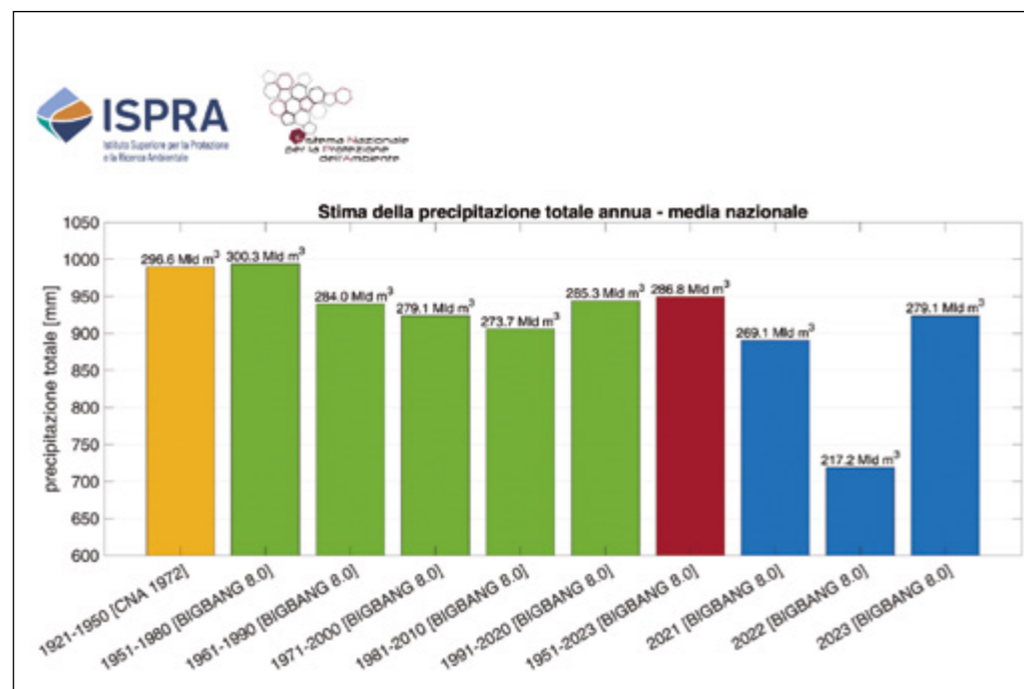
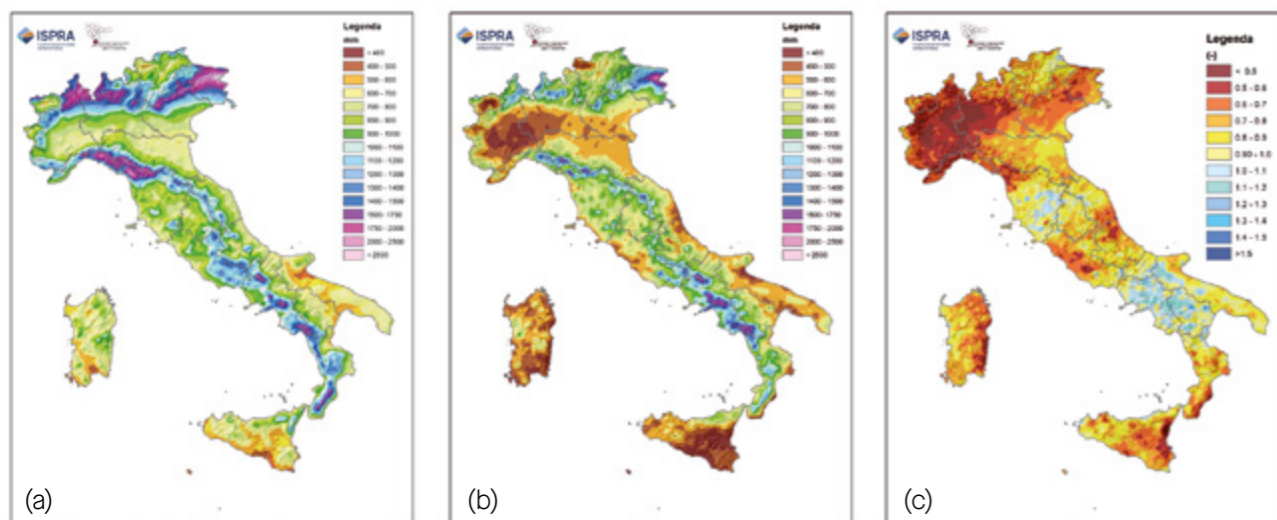


Figura 1.2

Distribuzione spaziale dell'altezza di precipitazione: (a) LTAA sul periodo 1951-2022; (b) Precipitazione annua relativa al 2022; (c) Rapporto tra l'altezza di precipitazione annua del 2022 e quella media del periodo 1951-2022. Elaborazioni dell'ISPRA su dati di precipitazione degli uffici meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio idrografico e mareografico nazionale.



Altro elemento climatico caratterizzante il territorio nazionale sono le anomalie positive di temperature, registrate sia alla scala mensile sia a quella annuale. Infatti, a partire dal 2000, le anomalie della temperatura media in Italia sono state quasi sempre positive rispetto al riferimento del trentennio climatologico 1991-2020, fatta eccezione i quattro anni 2004, 2005, 2010 e 2013 (SNPA, 2023). In particolare, il 2022, l'anno del minimo storico della precipitazione, è risultato essere anche l'anno più caldo della serie dal 1961, con una marcata anomalia positiva di temperatura media di +1.23 °C, superando di 0.58 °C il precedente record assoluto del 2018 e di ben 1.0 °C il valore del precedente anno 2021 (SNPA, 2023). All'anomalia positiva della temperatura media annuale del 2022 ha contribuito in maniera più marcata l'estate, con in particolare il picco di +3.09 °C registrato nel mese di giugno. Nel 2023 la situazione non è migliorata, con una anomalia a scala nazionale della temperatura media di +1.14 °C, rispetto all'ultimo trentennio climatologico (SNPA, 2024).

Questi elevati valori di temperatura hanno determinato, specie negli ultimi anni,

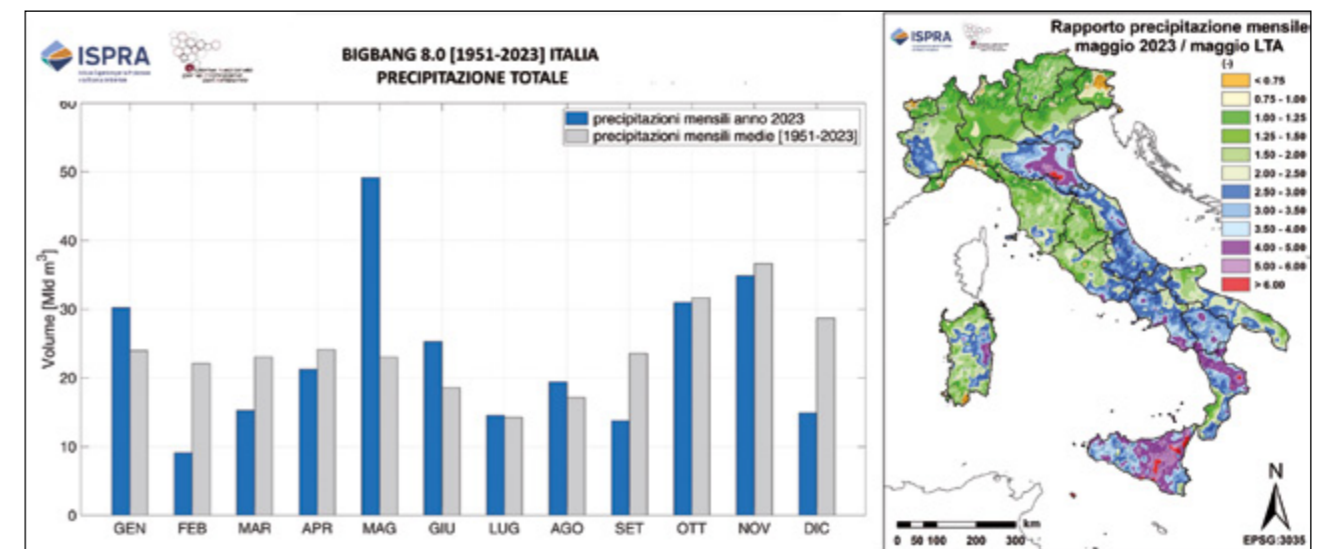
alti valori della percentuale di evapotraspirazione rispetto alla precipitazione, raggiungendo quasi il 70% nel 2022 (valore massimo della serie dal 1951; si veda Braca et al., 2023) e quasi il 60% nel 2023 (Braca et al., 2024), rispetto a una media annua del 53% a scala nazionale (Fig. 1.4). L'aumento delle temperature sta determinando non solo l'incremento dell'evaporazione, ma anche la crescita dei consumi idrici nel settore irriguo e potabile e il contestuale aumento della richiesta d'acqua per le centrali idroelettriche, anche per la domanda di energia elettrica dovuta alla necessità del raffreddamento degli edifici (si veda, ad esempio, https://climate.ec.europa.eu/climate-change_it).

Le valutazioni del bilancio idrologico annuo per l'ultimo decennio sono riportate in Figura 1.5 (si veda https://groupware.sinanet.isprambiente.it/bigbang-data/library/bigbang_80 per l'accesso alle stime complete per il periodo 1951-2023).

Limitatamente agli ultimi tre anni si può osservare quanto segue. In base alle stime prodotte dal modello BIGBANG, nel 2021, l'aliquota totale annua delle precipi-

Figura 1.3

Precipitazione totale per l'anno 2023: (a) Distribuzione mensile e confronto con la corrispondente precipitazione mensile media sul periodo 1951-2023 (LTA-Long-term average); (b) Rapporto tra la precipitazione mensile di maggio e la media mensile di maggio LTA. Elaborazioni dell'ISPRA su dati di precipitazione degli uffici meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio idrografico e mareografico nazionale.



zioni che, attraversando lo strato superficiale del terreno, va ad alimentare le acque sotterranee (infiltrazione), valutata in circa 214 mm, è stata in linea con la corrispondente LTAA, registrandosi difatti uno scostamento del -2% su scala nazionale. Nel 2022, la stima dell'infiltrazione totale annua è stata invece di circa 97 mm, con uno scostamento dell'ordine del -55% dalla media del periodo 1951-2022. Infine, il contributo alla ricarica degli acquiferi per il 2023 è stato valutato in circa 176 mm, con uno scostamento del -19% dalla media del periodo 1951-2023. La riduzione dell'infiltrazione per gli anni 2022 e 2023 è spiegabile dalla forte riduzione delle precipitazioni che ha interessato l'Italia in queste due annate. In particolare, nel 2022, tale riduzione ha riguardato tutto il periodo gennaio-luglio. Si rileva, inoltre, mediante il test di Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), un trend decrescente, statisticamente significativo al 5%, del valore totale annuo dell'infiltrazione nel periodo 1951-2023, così come calcolato nel modello BIGBANG. Al trend decrescente dell'infiltrazione contribuisce anche l'aumento del consumo di suolo che riduce l'infiltrazione. Un trend negativo comporta in prospettiva una riduzione della disponibilità di risorsa idrica rinnovabile.

Per quanto riguarda l'aliquota di precipitazione che non è infiltrata o trattenuta dal suolo, nel 2021 le stime del BIGBANG mostrano che il rapporto tra il volume annuo del ruscellamento superficiale e il volume annuo di precipitazione (indice di *runoff*) è risultato in termini percentuali uguale al 28.0%, superiore al valore medio del 25.1% di lungo periodo, mentre nel 2022, anno soggetto a una persistente siccità e ad alte temperature, il valore è risultato pari al 18.5%, ossia inferiore al valore medio di lungo periodo. Per contro, nel 2023, questo rapporto è risultato essere uguale al 23.7% e, quindi, di nuovo inferiore alla media calcolata sul lungo periodo 1951-2023. Ciò significa che solamente il 23.7% della precipitazione totale annua (stimata in 279.1 miliardi di m³) si è trasformata direttamente in ruscellamento (66.1 miliardi di m³). Analizzando l'indice di *runoff* sull'intero periodo per il quale sono disponibili le stime del BIGBANG si osserva un leggero trend decrescente, che non è però statisticamente significativo sulla base del test di Mann-Kendall, con un livello di significatività del 5%. Questo trend è ascrivibile a due fattori, che sono l'aumento della temperatura e dell'impermeabilizzazione dei suoli (consumo di suolo), che agiscono in

senso contrario. Da una parte, la temperatura media presenta un andamento crescente, dovuto al cambiamento climatico, che produce, a causa del conseguente aumento della quota di evapotraspirazione, una riduzione della disponibilità di risorsa idrica e quindi dell'aliquota della precipitazione che si trasforma in ruscellamento. Dall'altra parte, l'aumento dell'impermeabilizzazione dei suoli produce sul ruscellamento l'effetto contrario.

Inoltre, l'analisi idro-climatica a livello nazionale condotta dall'ISPRA mediante il modello BIGBANG ha evidenziato da di-

versi anni un trend decrescente, statisticamente significativo, della disponibilità media annua della risorsa idrica rinnovabile (Fig. 1.6) che si produce naturalmente dalle precipitazioni cadute all'interno del territorio nazionale al netto dell'evapotraspirazione (il cosiddetto *internal flow*). La causa primaria è da ricercare nell'impatto dei cambiamenti climatici sul ciclo idrologico e sull'andamento crescente delle temperature, che producendo un incremento dell'aliquota delle precipitazioni che evapotraspira ne riduce l'aliquota che rimane sul suolo e nel sottosuolo.

Figura 1.4

Serie storica 1951-2023 del rapporto percentuale, a scala annuale, tra precipitazione (P) ed evapotraspirazione (E), media del rapporto (linea tratteggiata) e linea di tendenza del rapporto (linea continua). Elaborazione dell'ISPRA mediante BIGBANG 8.0 su dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio idrografico e mareografico nazionale.

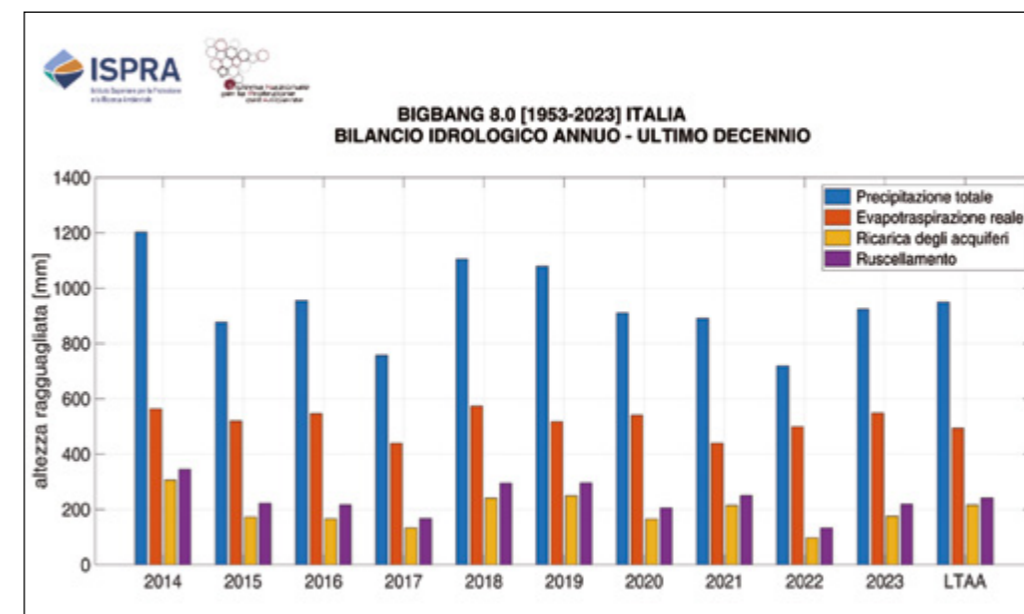
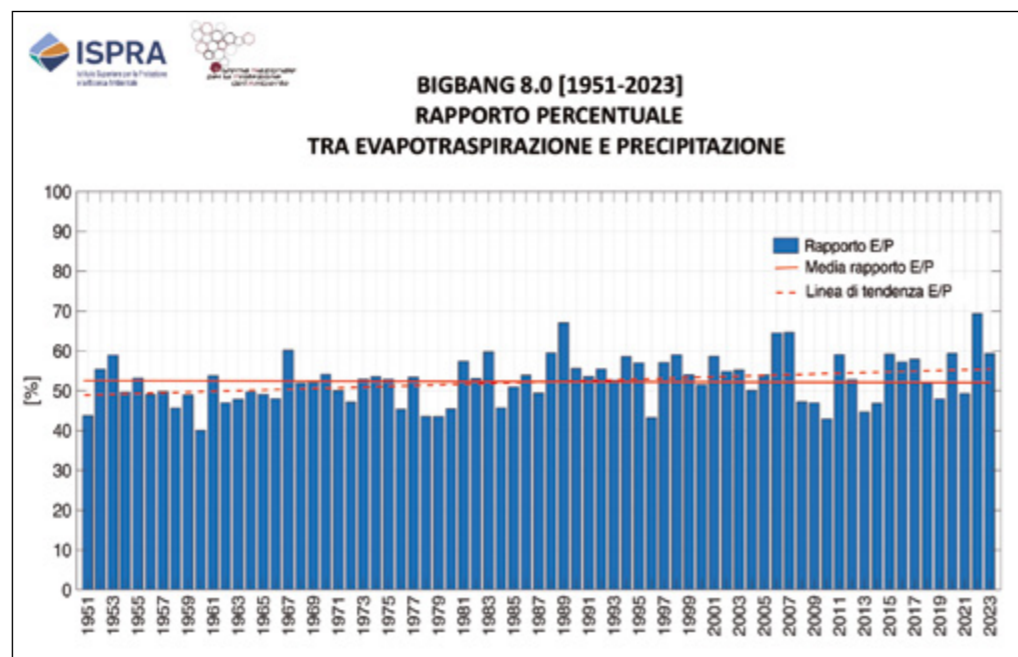


Figura 1.5

Bilancio idrologico nazionale su scala annuale per l'ultimo decennio 2014-2023, con indicazione della LTAA per le quattro componenti del bilancio. Elaborazione dell'ISPRA mediante il modello BIGBANG, versione 8.0, su dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio idrografico e mareografico nazionale.

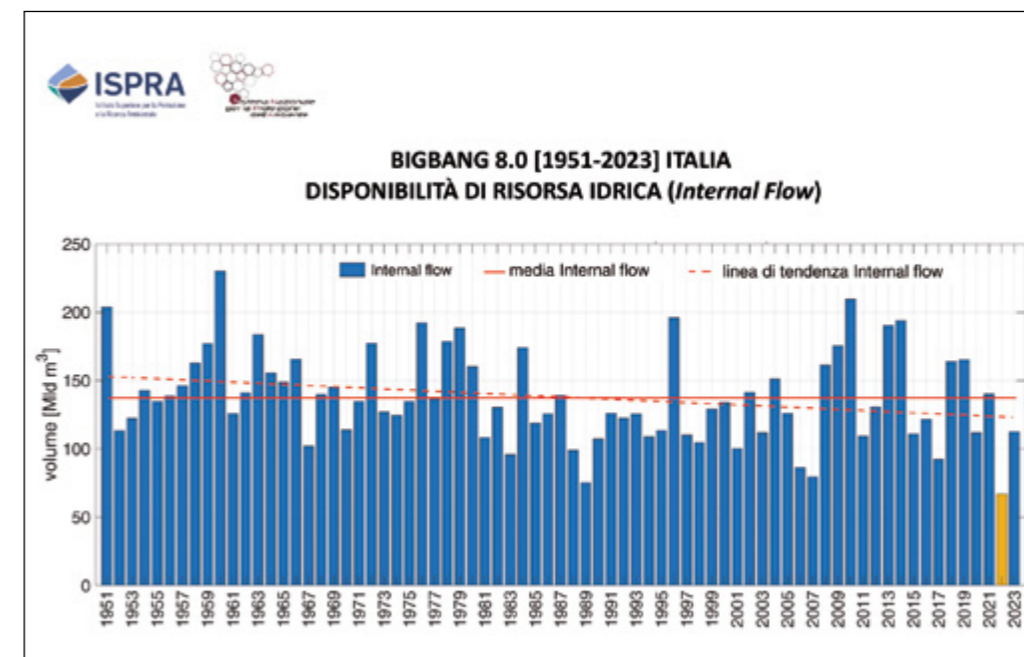


Figura 1.6

Serie storica 1951-2023 della disponibilità naturale della risorsa idrica rinnovabile interna (*internal flow*), media (linea tratteggiata) e linea di tendenza (linea continua). In giallo è riportato il dato relativo al 2022. Elaborazione dell'ISPRA mediante il modello BIGBANG, versione 8.0, su dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio idrografico e mareografico nazionale.

Gli scenari futuri delineano per l'Italia una complessiva riduzione del volume delle precipitazioni annue e un aumento delle temperature, che dovrebbero riflettersi in una complessiva riduzione del volume associato all'*internal flow* annuo (Braca et al., 2019; Mariani et al., 2020). Il 2022 caratterizzato da siccità estrema e severa e da alte temperature (Braca et al., 2023; SNPA, 2023), che hanno condotto a un record negativo di disponibilità di risorsa idrica dal 1951 ad oggi, è da considerarsi un possibile esempio di tale scenario futuro.

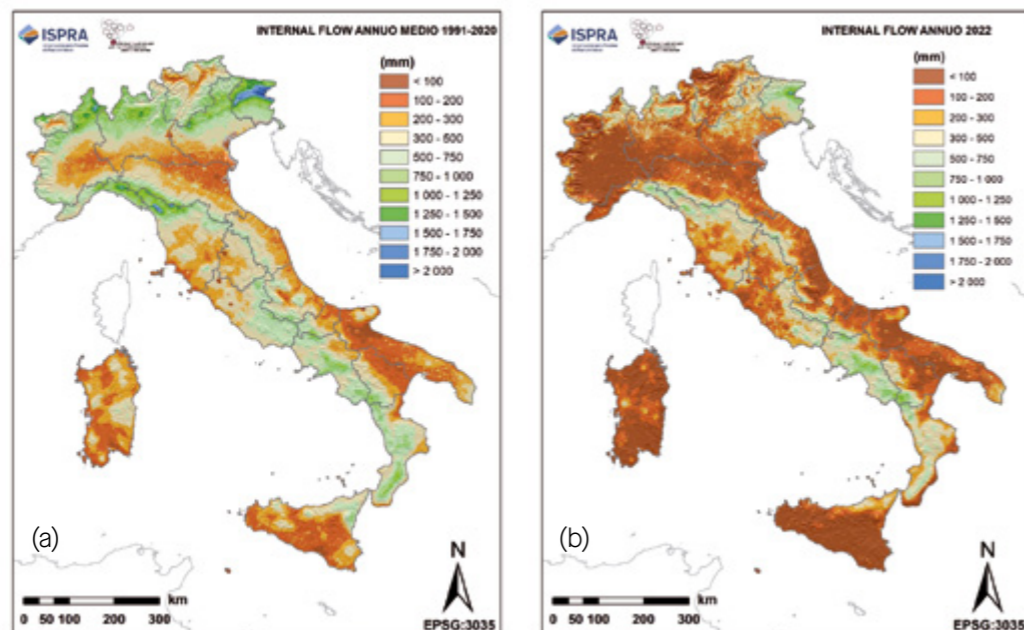
La quantità di risorsa idrica rinnovabile nel 2022, stimata in 221.7 mm (67 miliardi di m³), è risultata ridotta di circa il 52% rispetto alla LTAA e di circa il 50% rispetto alla media annua dell'ultimo trentennio climatologico 1991-2020 (Braca et al., 2023). Questa situazione di deficit, sebbene manifestata con valori sempre molto elevati rispetto alla media di riferimento, ha però interessato in maniera differenziata le diverse aree del territorio nazionale (Fig. 1.7). A livello distrettuale, il dato peggiore di deficit di risorsa idri-

ca è stato quello del Distretto idrografico della Sicilia, con -81.7% rispetto al trentennio climatologico 1991-2020, a seguire il Distretto della Sardegna, con -68.3%, e il Distretto del fiume Po, con -65.9% (Distretto che è stato condizionato da severità idrica alta dal 20 giugno al 20 settembre 2022; si veda https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/SeverIdrica.html). Il valore migliore in termini di deficit è quello del Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale, che comunque è stato soggetto a un ragguardevole deficit di disponibilità, con una stima di -24.7% rispetto alla media 1991-2020.

Nel 2023, con i suoi 372.2 mm, corrispondenti a 112,4 miliardi di m³ sul territorio nazionale, la disponibilità di risorsa idrica, nonostante in ripresa rispetto al minimo storico del 2022 (quasi un +68%), ha fatto comunque registrare una riduzione a livello nazionale del 18.4% rispetto alla media annua del lungo periodo 1951-2023 e del 15.8% rispetto al trentennio climatologico 1991-2020.

Figura 1.7

Distribuzione spaziale della disponibilità di risorsa idrica rinnovabile naturale: (a) LTAA sul periodo 1991-2020; (b) Risorsa idrica relativa al 2022. Elaborazioni dell'ISPRA mediante il modello BIGBANG, versione 8.0, su dati degli uffici meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio idrografico e mareografico nazionale.



Condizioni di siccità, attuale e passata

La siccità che ha colpito l'Italia nel corso del 2022 ha interessato, in particolare, le regioni centro-settentrionali, in cui si sono riscontrate situazioni di siccità severa ed estrema (grave deficit di precipitazione). Nelle aree nord-occidentali del paese si sono registrati deficit di precipitazione già a partire dalla fine del 2021, che sono perdurati fino all'inizio del 2023. In Piemonte, una delle aree più colpite, nel corso del 2022 si è registrata, a scala regionale, un'anomalia negativa di precipitazione del 41%, rispetto al dato di riferimento del trentennio climatologico 1991-2020 (fonte: ARPA Piemonte, Osservatorio permanente sugli utilizzi idrici del distretto idrografico del fiume Po; si veda <https://www.adbpo.it/osservatorio-permanente/>). La situazione non è molto migliorata nei primi quattro mesi del 2023, considerato che le piogge registrate in Piemonte fino alla fine di aprile hanno fatto segnare un -50%, sempre rispetto all'ultimo trentennio climatologico. Lo scenario è, invece, cambiato a maggio 2023 (si veda Figura 1.3), quando le abbondanti precipitazioni hanno fatto sì che il deficit medio di pioggia da inizio anno solare si riducesse a circa -7%. Nei Capitoli successivi, alcuni elementi di dettaglio dell'evento siccitoso 2021-2022 nel bacino del fiume Po, sia in relazione agli aspetti meteo-climatici e idrologici, sia in relazione agli utilizzi, vengono presentati in box specifici.

Studi a scala europea mostrano negli ultimi anni un aumento degli eventi di sic-

cità e un loro peggioramento in termini di gravità e durata, anche per il Nord Europa e non solo per il Mediterraneo. Valutazioni economiche sul periodo 1981-2010 stimano le perdite annue dovute alla siccità in circa 9 miliardi di euro per l'UE e il Regno Unito (Cammalleri et al., 2020), escludendo però nel conteggio le conseguenze della siccità sugli ecosistemi e sui servizi ecosistemici, che sono, in genere, difficili da monetizzare. Queste perdite riguardano in particolar modo la Spagna (1.5 miliardi di €/anno), l'Italia (1.4 miliardi di €/anno) e la Francia (1.2 miliardi di €/anno). Nell'ipotesi di un riscaldamento globale di 3 °C nel 2100 (senza un approccio di mitigazione volto alla riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra), le perdite economiche dovute alla siccità potrebbero essere anche cinque volte superiori e riguarderebbe maggiormente le regioni del Mediterraneo e quelle atlantiche dell'Europa.

Dato l'impatto crescente di tali eventi siccitosi a una scala pan-europea, la Commissione europea ha intrapreso una forte azione conoscitiva e di policy attraverso l'istituzione dell'*Ad hoc Task Group on Water Scarcity and Droughts* all'interno della programmazione 2022-2024 della Common Implementation Strategy per l'attuazione della DQA 2000/60/CE e delle direttive collegate (*EU water policy*). Obiettivo della Commissione è arrivare a una migliore comprensione degli impatti e dei rischi di siccità e scarsità idrica in Europa e a una maggiore consapevolezza

riguardo l'aumento del rischio di siccità dovuto al cambiamento climatico.

Il territorio italiano, per le sue caratteristiche climatiche, rientra tra le aree del globo maggiormente esposte al rischio di siccità. Le analisi condotte dall'ISPRA nel contesto delle valutazioni del bilancio idrologico mostrano che, dagli anni '80 del secolo scorso, l'Italia è stata interessata, con crescente frequenza, da episodi di siccità estrema, con un trend crescente, statisticamente significativo, delle percentuali del territorio italiano soggetto a tale condizione su scala annuale (Fig. 1.8).

La presenza di fenomeni di siccità estrema non solo non è nuova per l'Italia, ma anzi ha interessato in maniera indistinta sia i territori del Sud Italia e delle Isole maggiori sia i territori del Nord Italia (si veda: indicatori SO3 sul rischio di siccità e popolazioni esposte del reporting nazionale 2022 di attuazione della *United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD)*: <https://reporting.unccd.int/api/country/ITA/report/official/pdf/>). Da questo punto di vista, la siccità del 2022 non fa che confermare tale situazione.

Per quantificare la siccità si è deciso di utilizzare indici standardizzati per la rappresentazione di opportune variabili meteo-idrologiche (si veda a tal proposito anche il paragrafo 11.5). Fra questi, in primis, lo SPI - Standardized Precipitation Index (McKee et al., 1993), indice comunemente adottato a livello internazionale e nazionale (Mariani et al., 2018). Lo SPI è un indice standardizzato che valuta lo scostamento della precipitazione cumulata su diverse scale temporali rispetto alla climatologia dell'area in esame. Valori positivi indicano un surplus di precipitazione, mentre valori negativi indicano un deficit, ossia condizioni siccitose. In particolare, si ha una condizione di siccità estrema per valori di $SPI \leq -2.0$, siccità severa per $-2.0 < SPI \leq -1.5$ e siccità moderata per $-1.5 < SPI \leq -1.0$. I valori di SPI compresi tra -1.0 e 1.0 indicano condizioni di normalità, mentre valori di $SPI \geq 1.0$ indicano condizioni di umidità, da moderata a estrema. Nelle valutazioni qui riportate l'analisi è riferita alla scala temporale annuale, rappresentativa della cosiddetta siccità idrologica, associata a un apporto idrico relativamente scarso nel suolo, nei corsi d'acqua, o nelle falde acquifere. La caratterizzazione della siccità è effettuata

sulla base della valutazione dell'indicatore SPI calcolato sui grigliati, di risoluzione 1 km, di precipitazione mensile, aggregati a 12 mesi (di seguito SPI12), ottenuti dal modello BIGBANG a partire da dati ufficiali a scala regionale e nazionale. Sono poi determinate le percentuali del territorio caratterizzate dai diversi livelli di siccità e di umidità, nonché le situazioni di normalità. In Figura 1.8, si individuano inoltre, a scala annuale, cinque periodi in cui la condizione di siccità estrema ha interessato più del 20% del territorio nazionale: 1989-1990; 2002, 2012; 2017; 2022. Il primo di questi periodi fa parte della «grande siccità» che colpì l'Italia nel triennio 1988-1990, ed è da notare che gli altri quattro sono tutti successivi e nessuno è antecedente.

Di questi ultimi, il 2022 è stato caratterizzato da siccità estrema e severa, che in termini di condizioni estreme ha interessato maggiormente i Distretti idrografici del fiume Po e delle Alpi orientali (area meridionale) e, in misura minore e localizzata, alcuni territori dei Distretti dell'Appennino Settentrionale e dell'Appennino Centrale, colpendo aree tra le più popolate e le più produttive dal punto di vista agricolo e con il maggior numero di insediamenti industriali del Paese. Nel dettaglio, il valore medio della percentuale di territorio nazionale soggetto a siccità estrema su scala annuale è stato il 12.6%, molto maggiore del valore medio del 2.1% riscontrato nel periodo 1952-2022. Il picco di siccità estrema alla scala temporale di 12 mesi è stato registrato a novembre e luglio 2022 (Fig. 1.9) con rispettivamente il 21.4% e il 20.9% di territorio soggetto a tale condizione. Seguono maggio (15.9%), giugno (14.8%) e ottobre (14.3%). A tali valori, è da aggiungere la percentuale di territorio soggetta a condizioni di siccità severa o moderata che è stata compresa tra circa il 30% e il 40% per tutti i mesi del 2022, a eccezione di settembre (Braca et al., 2023).

Per valutare su base annuale la siccità del 2022 rispetto ad altri eventi analoghi verificatisi in passato (a partire dal 1952), si è proceduto caratterizzando ogni anno attraverso due diversi approcci, entrambi basati su indicatori costruiti con riferimento alla percentuale di territorio affetta da condizioni di siccità estrema (Braca et al., 2023). Nel primo caso, l'indicatore di anno siccitoso considerato è il valore mensile massimo (intensità) che in ciascun anno viene raggiunto dalla percentuale mensile di territorio nazionale soggetta a siccità estrema ($SPI_{12} \leq -2.0$); nel secondo caso,

Figura 1.8

Situazione della siccità a scala nazionale: Percentuale del territorio italiano soggetto a condizioni di siccità estrema e sua tendenza dal 1952 al 2023. Elaborazioni dell'ISPRA basate sul calcolo dello SPI-Standardized Precipitation Index a 12 mesi ($SPI_{12} \leq -2.0$ è indicatore di siccità estrema) considerando, mediante il modello BIGBANG, i dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio idrografico e mareografico nazionale.

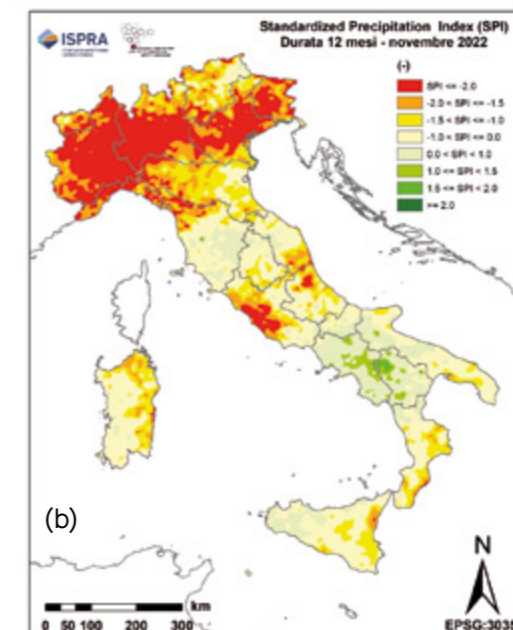
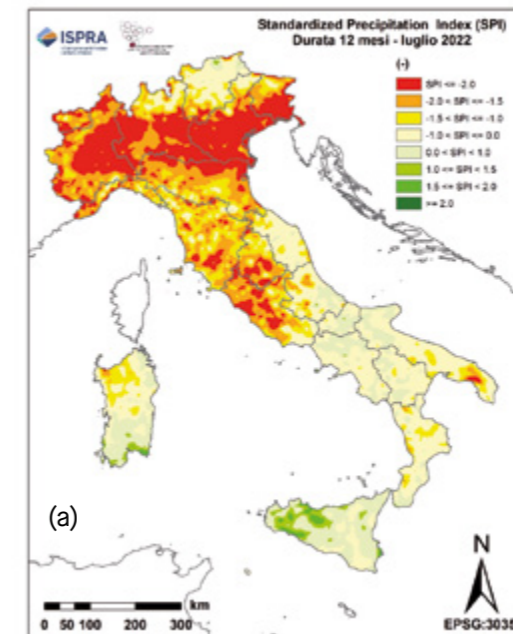
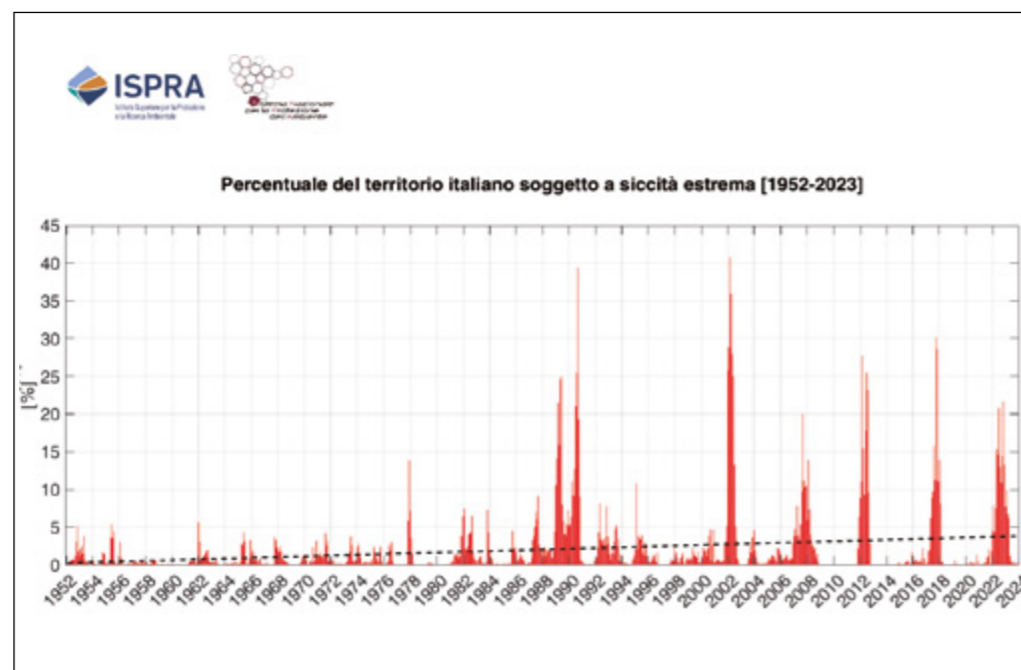


Figura 1.9

Mappe di SPI12 per i mesi di luglio (a) e novembre (b) 2022 in cui è stata registrata la massima estensione della siccità estrema ($SPI_{12} \leq -2.0$) superiore al 20% del territorio nazionale. Elaborazioni dell'ISPRA, mediante il modello BIGBANG, su dati di precipitazione degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio idrografico e mareografico nazionale.

l'indicatore è la media annua delle percentuali mensili di territorio con SPI12 \leq -2.0 (magnitudine). Concettualmente la differenza fra i due approcci sta nel fatto che, nel primo si utilizza un indicatore di intensità del fenomeno, nel secondo si tiene conto anche della persistenza nel tempo (nel caso specifico nel corso dell'intero anno solare) delle condizioni di siccità estrema. Così facendo, con il primo approccio si ottiene che il 2022 si pone al sesto posto, preceduto dal 1989, dal 2012, dal 2017, dal 1990 e dal 2002, anno più gravoso in termini di intensità, essendo stato raggiunto il valore di 41.0% (Fig. 1.8); mentre con il secondo approccio il 2022, con un valore medio di percentuale di territorio affetto da siccità estrema di 12.6%, risulta il terzo anno più siccitoso dal 1952 ad oggi, preceduto dal 1990 (13.8%) e dal 2002 (17.2%), che anche questa valutazione conferma essere l'anno più gravoso in termini di siccità estrema.

L'analisi della siccità risulta ancora più gravosa in termini di estensione del fenomeno (Braca et al., 2023) se nelle valutazioni si utilizza anche lo SPEI - Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (Vicente-Serrano et al., 2010). Lo SPEI è l'analogo dello SPI rispetto al quale, anziché far riferimento alla sola precipitazione, si tiene però conto anche della temperatura attraverso la variabile idrologica costituita dalla differenza (P-PET) tra precipitazione ed evapotraspirazione potenziale cumulata (Mariani et al., 2018).

Il perdurare della siccità nel corso del 2022 ha prodotto diversi impatti sulle matrici ambientali e sui comparti economici. Il conseguente deficit del contenuto idrico nel suolo ha comportato condizioni di stress nella crescita delle colture. Nei corsi d'acqua soggetti al marcato minor afflusso meteorico, dovuto a quantitativi di pioggia e neve molto al di sotto delle medie di riferimento, sono state osservate portate inferiori ai valori tipici del periodo e in alcune sezioni, come quelle del fiume Po, sono state registrate portate inferiori ai valori caratteristici di magra. Nelle zone del delta del fiume Po, ciò ha comportato problematiche relative all'uso della risorsa idrica per fini agricoli e idropotabili a causa della risalita del cuneo salino. L'analisi sperimentale condotta dall'ISPRA mediante l'utilizzo delle immagini satellitari di Sentinel-2 del Programma europeo Copernicus ha permesso di qualificare e quantificare l'impatto della siccità su alcuni tratti del fiume Po (Manfreda et al., 2024) ricadenti nella Regione Piemonte, uno dei territori nazionali più colpiti, attraverso il confronto tra la frequenza media della presenza delle tre macro-unità morfologiche acqua, vegetazione e sedimento riscontrata tra gennaio e luglio 2022, rispetto alla frequenza media osservata negli ultimi anni. Alcuni degli aspetti di tipo idrologico ed ecosistemico prima menzionati sono stati analizzati in dettaglio nei Capitoli 5 (La criosfera), 6 (Il suolo e la zona insatura), 7 (Acque superficiali e invasi), 8 (Acque sotterranee), 9 (Interazione acque continentali - acque marine) e 10 (le risorse idriche non convenzionali).

Referenze bibliografiche

Braca, G., Bussetini, M., Ducci, D., Lastoria, B., Mariani, S., 2019. Evaluation of national and regional groundwater resources under climate change scenarios using a GIS-based water budget procedure. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 30(1), 109–123. <https://doi.org/10.1007/s12210-018-00757-6>

Braca, G., Bussetini, M., Lastoria, B., Mariani, S., Piva F., 2021. Il Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare – BIGBANG: metodologia e stime. Rapporto sulla disponibilità naturale della risorsa idrica. Rapporti n. 339/21, ISPRA, Roma. ISBN 978-88-448-1041-2. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/il-bilancio-idrologico-gis-based-a-scala-nazionale-su-griglia-regolare-bigbang>

Braca, G., Bussetini, M., Gafà, R.M., Monti, G.M., Martarelli, L., Silvi, A., La Vigna, F., 2022. The Nationwide Water Budget Estimation in the light of the New Permeability Map of Italy. *Acque Sotterranee–Italian Journal of Groundwater*, 11(3), 31–39. <https://doi.org/10.7343/as-2022-575>

Braca, G., Mariani, S., Lastoria, B., Piva, F., Archi, F., Botto, A., Casaioli, M., Forte, T., Marchetti, G., Peruzzi, C., Tropeano, R., Vendetti, C., Bussetini, M., 2023. Bilancio idrologico nazionale: focus su siccità e disponibilità naturale della risorsa idrica rinnovabile. Aggiornamento al 2022. Rapporti n. 388/2023, ISPRA, Roma. ISBN 978-88-448-1167-9. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/bilancio-idrologico-nazionale-focus-su-siccita-e-disponibilita-naturale-della-risorsa-idrica-rinnovabile-aggiornamento-al-2022>

Braca, G., Mariani, S., Lastoria, B., Tropeano, R., Casaioli, M., Piva, F., Marchetti, G., Bussetini, M., 2024. Bilancio idrologico nazionale: stime BIGBANG e indicatori sulla risorsa idrica. Aggiornamento al 2023. Rapporti n. 401/2024, ISPRA, Roma. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/bilancio-idrologico-nazionale-stime-bigbang-e-indicatori-sulla-risorsa-idrica-aggiornamento-al-2023>

Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Biselink, B., De Roo, A., Feyen, L., 2020. Global

warming and drought impacts in the EU. JRC PESETA IV project – Task 7. Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-76-12947-9. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/597045>

EEA-European Environment Agency, 2021. Water resources across Europe – Confronting water stress: an updated assessment. Publications Office of the European Union, 126 pp. ISBN 978-92-9480-391-7. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/320975>

Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London.

Manfreda, S., Miglino, D., Saddi, K.C., Jomaa, S., Eltner, A., Perks, M., Peña-Haro, S., Bogaard, T., van Emmerik, T.H.M., Mariani, S., Maddock, I., Tauro, F., Grimaldi, S., Zeng, Y., Gonçalves, G., Strelnikova, D., Bussetini, M., Marchetti, G., Lastoria, B., Su, Z., Rode, M., 2024. Advancing river monitoring using image-based techniques: challenges and opportunities. *Hydrological Sciences Journal*, 69(6), 657–677. <https://doi.org/10.1080/0262667.2024.2333846>

Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 163–171.

Mariani, S., Braca, G., Romano, E., Lastoria, B., Bussetini, M., 2018. Linee Guida sugli indicatori di siccità e scarsità idrica da utilizzare nelle attività degli Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici. Pubblicazione nell'ambito del progetto CREIAMO PA, 66pp. https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/Osservatori/Linee%20Guida%20Pubblicazione%20Finale%20L6WP1_con%20copertina_ec.pdf

Mariani, S., Braca, G., Romano, E., Lastoria, B., Bussetini, M., 2020. Note tecniche su crisi idriche, siccità e servizio idrico integrato. Manuale UTILITALIA. ISBN 978-88-998-7903-7.

McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 17–23, 1993, Anaheim CA, pp. 179–186.

Rossi, G., Benedini, M., Tsakiris, G., Giakoumakis, S., 1992. On regional drought estimation and analysis. *Water resources management*, 6, 249–277. <https://doi.org/10.1007/BF00872280>

Schmidt, G., Benítez, J.J., Benítez, C., Seiz-Puyuelo, R., Hernández-Torres, J.M., EGWSD, 2012. Working definitions of Water scarcity and Drought. Version 4.0. European Commission Document. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_images/idmp-working-definitions.doc

SNPA, 2023. Il clima in Italia nel 2022. Report n. 36/2023, SNPA, Roma. ISBN 978-88-448-1168-6. <https://www.snpambiente.it/temi/report-intertematici/cambiamenti-climatici/il-clima-in-italia-nel-2022/>

SNPA, 2024. Il clima in Italia nel 2023. Report n. 42/2024, SNPA, Roma. ISBN 978-88-448-1217-1. <https://www.snpambiente.it/snpa/il-clima-in-italia-nel-2023/>

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *J. Climate*, 23, 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

Wilhite, D.A., 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions, in: Wilhite, D.A. (Ed.), *Drought: A Global Assessment*, Volume I, Routledge, London, pp. 3–18. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1068&context=droughtfacpub>

WMO-World Meteorological Organization, 2006. *Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges*. WMO-No. 1006, Geneva. ISBN 978-92-63-11006-0.

Yevjevich, V.M., 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrological Papers*, Vol. 23, Colorado State University Fort, Collins.

How to cite

Mariani, S., Braca, G., Lastoria, B., Tropeano, R., Casaioli, M., Piva, F., Bussettini, M. 2024. "Il bilancio idrologico, la disponibilità di risorsa idrica e il bilancio idrico", in *Siccità, scarsità e crisi idriche*, Emanuele Romano, Ivan Portoghese (a cura di), Habitat signa 1, 29-46. Roma: Cnr Edizioni. <https://doi.org/10.69115/habitatsigna-2024-1/01>



Emanuele Romano è ricercatore presso l'Istituto di ricerca sulle acque del CNR. Laureato in Fisica presso l'Università degli studi di Milano, ha conseguito il Dottorato di ricerca in Scienze della terra, svolgendo parte dell'attività presso l'École des Mines di Parigi. Autore di più di cinquanta pubblicazioni scientifiche, negli ultimi anni ha focalizzato le proprie ricerche sulla valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche e sui sistemi di approvvigionamento, con particolare riferimento agli eventi siccitosi. Membro della Commissione grandi rischi del Dipartimento della protezione civile, settore "Rischio da incendi boschivi e da deficit idrico" dal 2023, collabora con numerosi enti pubblici (Ministero dell'ambiente, ISPRA, Istat, Autorità di distretto) e gestori del servizio idrico integrato.

Ivan Portoghese è ricercatore presso l'Istituto di ricerca sulle acque del CNR. Laureato in Ingegneria civile presso il Politecnico di Bari, ha conseguito un Dottorato di ricerca in Idrologia sviluppando modelli matematici per la caratterizzazione dei bacini idrografici soggetti a forte variabilità climatica stagionale e inter-annuale. Negli ultimi anni si è occupato dello sviluppo e validazione di metodi e strumenti per la pianificazione e la gestione delle risorse idriche pubblicando numerosi articoli scientifici su varie riviste internazionali. È inoltre coinvolto nello sviluppo di studi e di politiche per la gestione sostenibile delle risorse idriche a supporto di istituzioni ed enti operanti nel settore.

Sempre più spesso i mezzi di comunicazione riportano eventi di siccità sul territorio italiano con impatti drammatici sulla popolazione e sugli ecosistemi.

L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Forum scientifico intergovernativo sul cambiamento climatico istituito presso le Nazioni Unite, da tempo segnala l'intensificarsi di tali fenomeni nell'area mediterranea a seguito del cambiamento climatico.

Che fare? E quale può essere il ruolo della comunità scientifica a supporto di una *governance* dell'acqua? Il presente volume, redatto dal Gruppo di lavoro "Siccità, scarsità e crisi idriche" del Dipartimento di scienze del sistema terra e tecnologie per l'ambiente del CNR, con il supporto di altre Istituzioni (Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, Dipartimento della protezione civile, Struttura commissariale per l'adozione di interventi urgenti connessi al fenomeno della scarsità idrica), ha visto il coinvolgimento di quasi cento ricercatrici e ricercatori che hanno tentato di dare risposta a tali quesiti fornendo elementi tecnico-scientifici a supporto di tutti i soggetti che, con diversi ruoli, contribuiscono alla *governance* dell'acqua.

