



# 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](http://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](http://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](#)

Prefazioni

[21](#)

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 geoingegneria (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**

# Conclusioni

Gruppo di lavoro	Emanuele Romano
Siccità, scarsità	Simona Rossetti
e crisi idriche,	Maria Adamo
CNR-Dipartimento	Marco Berardi
scienze del sistema	Luca Brocca
terra e tecnologie	Fabrizio de Blasi
per l'ambiente:	Cristina Di Salvo
	Stefano Federico
	Christian Ferrarin
	Vito Imbrenda
	Marco Lauteri
	Matia Menichini
	Domenica Mosca Angelucci
	Fabrizio Stefani
	Ivan Portoghese

**N**el momento in cui redigiamo queste note conclusive atte a delineare gli indirizzi strategici della ricerca tecnico-scientifica sulla risorsa acqua nei prossimi anni, percepiamo forte la responsabilità alla quale ci chiama la situazione contingente: nel mese di settembre 2024 la Sicilia si trova ad affrontare la peggior crisi idrica degli ultimi decenni; nel Centro-Sud Italia, Sardegna inclusa, la scarsità di precipitazioni autunnali e primaverili sta determinando un depauperamento progressivo di alcune fra le principali risorse idriche, cui i gestori e le amministrazioni regionali e locali faticano a far fronte. E se la situazione nel Nord Italia appare sotto controllo, è ancora ben viva la memoria della siccità cominciata nell'inverno 2021-2022 e dei conseguenti impatti socio-economici ed ecologici che si sono protratti fino alla primavera inoltrata del 2023.

Dunque: che fare? E quale può essere il ruolo della comunità tecnico-scientifica a supporto di una *governance* dell'acqua alla quale da un lato si chiedono risposte sul breve periodo per affrontare le situazioni di crisi attuali e dall'altro linee strategiche di lungo periodo che si dispieghino su orizzonti temporali di diversi anni, se non di decenni?

Nelle note che seguono cercheremo di tracciare la direzione di alcune linee di ricerca che, a nostro avviso, possono contribuire a fornire tali risposte.

Riteniamo, in prima istanza e sulla base dei risultati presentati lungo tutti i capitoli del presente volume, che una gestione sostenibile della risorsa idrica debba essere supportata da un approccio di tipo integrato e necessariamente multi-scala: infatti, soluzioni "locali", che interessino solo una parte del territorio, possono fornire risposte temporanee, magari efficaci, ma che possono avere ripercussioni talvolta negative alla scala

di bacino (e anche a scala più ampia: si pensi, ad esempio, a corpi idrici sotterranei la cui estensione è potenzialmente svincolata dal bacino idrografico). D'altra parte, soluzioni a scala di bacino possono dare l'illusione di trovare equilibri sostenibili in generale, ma che su porzioni più piccole di territorio possono impattare in maniera significativa le comunità e le economie locali. Allo stesso modo, analizzando la situazione in una prospettiva temporale, almeno in determinate situazioni è chiaro quali possono essere gli obiettivi di lungo periodo, anche e soprattutto tenendo conto dei vincoli e delle incertezze che il cambiamento climatico in atto impone; tuttavia, molto meno chiaro è il percorso verso un programma operativo che guidi la necessaria transizione nei prossimi anni. Quali risposte dare ai cittadini che già ora si trovano a subire gravi disservizi nell'erogazione dell'acqua potabile? E quali risposte dare a quei settori che con frequenza sempre crescente subiscono danni economici importanti legati alla carenza di acqua? Sul piano ecologico, allo stesso tempo, i segnali che indicano sofferenze ecosistemiche significative legate a condizioni di siccità sono sempre più frequenti e persistenti, ed evidenziano il ruolo dei fattori idrologici nel vanificare il raggiungimento degli obiettivi di qualità ecologica degli ecosistemi acquatici, che la normativa comunitaria impone. In tal senso, gli effetti sugli ecosistemi riconducibili a eventi siccitosi non possono e non devono essere in alcun modo ignorati. È doveroso anche tenere in debito conto che le evidenze di degrado del Territorio, specialmente in termini di produttività biologica dei suoli, sono legate solo in parte a fattori naturali, essendo attribuibile alle attività antropiche una parte significativa degli impatti diretti e indiretti.

Cercheremo, dunque, di dare qualche risposta "di sistema" nella nostra prospettiva di ricercatori, risposte elaborate sulla base del quadro presentato nei capitoli che compongono questo volume e in particolare modo delle "domande di ricerca" individuate. Queste, come evidenziato anche nell'Introduzione, fanno sostanzialmente riferimento a due tipologie di deficit:

**deficit informativi** – legati alla mancanza di dati già ora acquisibili con gli strumenti tecnico-scientifici disponibili, ma che non sono resi disponibili o per carenze nei flussi informativi (dati acquisiti ma di fatto non utilizzati) o perché legati alla mancata acquisizione dei dati stessi;

**deficit conoscitivi** – legati a una comprensione ancora parziale dei processi fisici così come degli assetti territoriali che determinano l'inizio di un evento siccitoso, il suo dispiegarsi nel tempo e nello spazio in termini di stato quantitativo dei corpi idrici superficiali e sotterranei, il suo impatto sui diversi settori di utilizzo e sugli ecosistemi, le conseguenze in termini di *land degradation*.

Riteniamo importante sottolineare il fatto che gli elementi riportati nel seguito, sia in relazione ai "deficit informativi" che in relazione ai "deficit conoscitivi", non sono da intendersi semplicemente come elementi di indirizzo per il mondo della ricerca, ma come "terreno di incontro" tra ricerca, istituzioni, stakeholder e cittadini per l'individuazione condivisa di strumenti di gestione della siccità e mitigazione degli impatti delle crisi idriche. È infatti evidente, sulla base degli elementi presentati in questo volume, come soluzioni operative efficaci debbano necessariamente essere attuate mediante l'azione sinergica di diversi interventi che favoriscano un aumento della resilienza dei sistemi di approvvigionamento idrico; tali interventi dovrebbero riguardare non solo la capacità di

immagazzinamento, ma anche la disponibilità di nuove risorse alternative, le modalità di gestione, le infrastrutture (in relazione sia alle perdite che alle interconnessioni), e, non ultima, la riduzione significativa delle idroesigenze e dei consumi. Similmente, non possono essere trascurate azioni e interventi volti al ripristino della naturale resistenza e resilienza degli ecosistemi acquatici, a tutto vantaggio non solo delle comunità biologiche che ne fanno parte, ma anche dell'erogazione dei servizi ecosistemici che da essi dipendono. Il tutto con l'obiettivo, non solo di evitare o ridurre gli impatti delle crisi idriche, ma anche di mantenere o ripristinare il "buono stato" dei corpi idrici superficiali e sotterranei, quale condizione necessaria per il mantenimento degli ecosistemi e di uno stato qualitativo delle acque adatto a soddisfare nel tempo gli usi antropici. La scelta della "combinazione ottimale" tra le tipologie di intervento menzionate prima dipende da una serie di fattori che si dispiegano su scale spaziali diverse, dalla scala locale alla scala di bacino (e talvolta anche superiore, ad esempio nel caso di acquiferi che si estendano al di sotto dello spartiacque di diversi bacini idrografici, o nel caso dei trasferimenti tra bacini idrografici). Per questo motivo nel seguito cercheremo di mettere in evidenza quali elementi debbano essere considerati per l'individuazione delle soluzioni più adatte al contesto territoriale di interesse, sia in una prospettiva di ricerca che in una prospettiva istituzionale di *governance*.

## Deficit informativi

Il primo elemento da sottolineare nell'ambito dei "deficit informativi" è la mancanza di un unico database, pubblico e accessibile a livello nazionale, che raccolga in maniera sistematica, standardizzata e facilmente fruibile i dati meteo-idrologici raccolti dalle reti di monitoraggio già disponibili. Facciamo qui riferimento sia ai dati storici pregressi (quelli raccolti dal sistema idrografico nazionale e resi disponibili tramite gli annali), sia ai dati attualmente raccolti a livello regionale dai diversi enti preposti (Centri funzionali regionali, Agenzie regionali e provinciali per la protezione dell'ambiente). Tali dati dovrebbero essere integrati con i dati disponibili da satellite, in particolar modo con i dati del programma COPERNICUS, come ampiamente discusso nei paragrafi relativi al "monitoraggio" nei capitoli 4 (Il regime meteo-climatico), 5 (La criosfera), 6 (Il suolo e la zona insatura) e 7 (Acque superficiali e invasi).

Relativamente al monitoraggio delle acque superficiali, sebbene le reti idrometriche regionali siano diffuse e in generale complete per il monitoraggio dei livelli idrometrici in tempo quasi reale (quindi per scopi tipicamente di protezione civile), appare tuttavia carente il numero di stazioni in corrispondenza delle quali è disponibile una scala di deflusso aggiornata e affidabile, specie sul reticolo secondario. Questa mancanza pone limiti significativi nella definizione del bilancio idrologico e idrico alla scala di bacino e di sottobacino, limiti a cui non si può sopperire facendo ricorso a dati satellitari. Similmente, dal punto di vista ecologico il mancato monitoraggio del reticolo secondario trascura di fatto una quota significativa degli habitat disponibili per le biocenosi, che spesso trovano proprio nei piccoli corsi d'acqua la loro massima espressione in termini di biodiversità, come ad esempio negli ambiti agricoli planiziali.

Ancora più carente appare in Italia il monitoraggio delle acque sotterranee, sia in termini di corpi idrici sotterranei effettivamente monitorati, sia in termini di disponibilità di serie storiche sufficientemente lunghe da consentire analisi statistiche per la caratte-

rizzazione di un fenomeno a lenta insorgenza e con tempi di ritorno di qualche anno quale la siccità (si veda a tal proposito il paragrafo "monitoraggio" nel Capitolo 8, Acque sotterranee). È questo un deficit informativo particolarmente significativo perché, se da un lato le acque sotterranee sono più resilienti rispetto alle acque superficiali a deficit pluviometrici prolungati, dall'altro hanno anche tempi di ricarica più lunghi, tempi che devono essere opportunamente valutati nella gestione delle risorse idriche sia in situazioni emergenziali che ordinarie. In questo contesto gli acquiferi costieri (e le acque di transizione in generale) necessitano di un'attenzione particolare in termini di monitoraggio quali-quantitativo in relazione al fenomeno dell'intrusione salina. L'effetto concomitante durante periodi siccitosi di una diminuzione della ricarica, di un aumento dei prelievi e dell'innalzamento del livello medio del mare rende gli acquiferi costieri particolarmente vulnerabili a deficit pluviometrici prolungati, specie se associati a temperature elevate (si veda il Capitolo 9, Interazione acque continentali – acque marine). Occorre infine sottolineare che attualmente il monitoraggio da satellite delle acque sotterranee (ad esempio con metodi gravimetrici) è ancora allo stato embrionale e non offre la risoluzione spaziale e temporale necessaria per una robusta caratterizzazione dello stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei e della loro evoluzione nel tempo.

In relazione alle acque sotterranee, riteniamo fondamentale porre grande attenzione alla caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei (specie quelli profondi) ancora poco conosciuti. Questi, seppure talvolta ospitano acque fossili, possono costituire una valida alternativa soprattutto come risorse di emergenza in caso di crisi idriche. In questo contesto, anche l'esplorazione di acquiferi *off-shore* (si veda a tal proposito il Capitolo 8, Acque sotterranee) appare una linea di ricerca promettente per la caratterizzazione di possibili risorse alternative a quelle convenzionali.

Tra i "deficit informativi", un discorso a parte merita il monitoraggio degli utilizzi idrici, fondamentale ai fini di una caratterizzazione attendibile dell'evoluzione nel tempo del bilancio idrologico e del bilancio idrico. Infatti, se da un lato l'uso civile appare sufficientemente monitorato (paragrafo 11.2), specie mediante il "Censimento delle acque per uso civile" effettuato dall'Istituto nazionale di statistica, i volumi idrici prelevati e/o utilizzati per usi agricoli (sia irrigui che a scopo zootecnico, paragrafo 11.3) e industriali (paragrafo 11.4) sono in generale oggetto di stima e non di misura diretta, soprattutto a causa dell'ampia diffusione di captazioni in autoapprovvigionamento (e in special modo in relazione alla captazione di acque sotterranee). Sia in condizioni ordinarie che di crisi idrica, risulta quindi particolarmente complesso, nella stima del bilancio idrico alle diverse scale spaziali e temporali di interesse, disporre di informazioni tempestive allo scopo di determinare l'evoluzione nel tempo dei volumi captati per gli utilizzi prima citati, anche in mancanza di un obbligo di misurazione al punto di captazione. Riteniamo, questo, un *vulnus* particolarmente rilevante sia da un punto di vista tecnico-scientifico, perché introduce un'incertezza significativa nella determinazione delle componenti del bilancio idrico, sia dal punto di vista di una *governance* efficiente delle risorse perché non permette di avere quadro attendibile delle pressioni sui corpi idrici superficiali e sotterranei.

Riteniamo, inoltre, che in tale contesto dovrebbero essere inquadrate tutte le valutazioni sull'opportunità e l'efficacia del ricorso a "risorse idriche non convenzionali", valutazioni che devono prendere necessariamente in considerazione il bilancio idrico sia alla scala locale che alla scala di bacino. A titolo di esempio ricordiamo qui alcune



valutazioni esposte nel Capitolo 10 (Risorse idriche non convenzionali) in merito al riutilizzo irriguo delle acque reflue depurate: a tale utilizzo, infatti, corrisponde spesso un mancato apporto della stessa risorsa al deflusso dei corpi idrici superficiali (poiché gli scarichi di acque reflue depurate contribuiscono a sostenere il Deflusso Ecologico dei corpi idrici superficiali nei periodi di magra). È evidente, dunque, come deficit informativi che determinano una incerta definizione del bilancio idrico (a partire dalla stima delle pressioni) possono limitare o rendere inefficaci strategie di adattamento sul breve, medio e lungo periodo.

## Deficit conoscitivi

Come evidenziato anche nell'Introduzione al presente volume, per inquadrare correttamente le problematiche connesse agli eventi siccitosi è importante identificare e quantificare non solo le forzanti meteo-climatiche che caratterizzano il fenomeno, ma anche: i) i processi che guidano l'evoluzione nello spazio e nel tempo dei deficit pluviometrici persistenti, per determinare la disponibilità di risorse idriche su diversi orizzonti temporali (dai giorni ai decenni); ii) i prelievi antropici; iii) l'impatto conseguente in termini di scarsità e di potenziale innesco di crisi idriche, nonché di danni, permanenti o meno, agli ecosistemi e più in generale al territorio.

Senza alcuna pretesa di essere esaustivi, riteniamo che i capitoli tecnici che compongono il presente volume, dal regime meteo-climatico (Capitolo 4) fino alla *land degradation* (Capitolo 13), abbiano messo in evidenza alcuni "deficit conoscitivi" verso cui il mondo della ricerca dovrebbe indirizzare i propri sforzi per poter fornire risposte operative, sia in termini di caratterizzazione degli eventi siccitosi, per una miglior definizione del bilancio idrologico e idrico, sia in termini di *governance* dell'acqua a breve termine (gestione delle emergenze) e a medio-lungo termine (scelte strategiche di adattamento).

**Previsioni *Subseasonal to Seasonal* (S2S).** Sono le previsioni meteo-climatiche che coprono l'orizzonte temporale superiore alle due settimane e inferiore ai due mesi. È, questa, la scala temporale tipica di eventi emergenziali quali le crisi idriche. Attualmente tali previsioni hanno un'affidabilità piuttosto limitata e non permettono di ridurre l'incertezza nella catena modellistica per la previsione degli impatti a breve termine (cioè, sull'orizzonte temporale di qualche mese). Una riduzione significativa dell'incertezza connessa con tale tipo di previsioni permetterebbe di ottenere informazioni utili per le scelte operative da effettuarsi in condizioni di scarsità idrica, in special modo durante la stagione irrigua.

**Scenari climatici.** Gli attuali modelli di circolazione globale, utilizzati per sviluppare futuri scenari climatici, seppur indichino in maniera univoca per l'area mediterranea un aumento degli eventi siccitosi in termini di frequenza, intensità e durata, hanno tuttavia un elevato livello di incertezza. Ciononostante, ci sembra importante sottolineare qui l'elemento relativo al possibile aumento della durata degli eventi siccitosi. Questo parametro è infatti fondamentale per sviluppare corrette strategie di adattamento, sia in termini di valutazione degli impatti, sia in termini di resilienza dei sistemi di approvvigionamento idrico e degli ecosistemi. A tal proposito, è importante sottolineare il fatto che in Italia il complesso degli effetti di eventi siccitosi che si protraggano per due (o più) anni idrologici consecutivi è sostanzialmente sconosciuto.

**Il ruolo della criosfera.** Una parte significativa del deflusso superficiale nei bacini del Nord Italia (e, seppur parzialmente, anche del Centro e Sud Italia) è sostenuto dalla fusione dei ghiacciai e del manto nevoso stagionale, che a sua volta è determinato sostanzialmente dalla variabilità termo-pluviometrica. Allo stato attuale esiste una significativa incertezza sul contributo relativo che le diverse componenti della criosfera hanno sui deflussi superficiali. Di conseguenza, esiste una significativa incertezza sull'impatto che i cambiamenti climatici in atto hanno sulla dinamica futura della criosfera, sia in termini quantitativi assoluti, sia in termini di dinamica temporale alla scala stagionale (ad esempio a causa dell'innalzamento quota-neve o dell'anticipo della stagione di fusione), sia sul lungo periodo (ad esempio sulla dinamica della fusione dei ghiacciai e sul relativo contributo al deflusso superficiale).

**Il ruolo degli invasi.** È indubbio il ruolo che gli invasi artificiali hanno nel garantire l'approvvigionamento idrico specie nel Sud Italia, in Sicilia e in Sardegna. Altrettanto indubbio è l'impatto negativo che le opere di immagazzinamento delle acque superficiali hanno sugli ecosistemi, non solo quando non è rispettato il Deflusso Ecologico in fase di esercizio, ma anche nella intrinseca interruzione della continuità longitudinale e durante le operazioni di svasamento periodiche. Circa la progettazione di nuove opere per l'immagazzinamento come strategia di adattamento ai cambiamenti climatici, crediamo sia importante in questo capitolo conclusivo fornire semplicemente alcuni elementi per un corretto inquadramento della problematica: i) l'utilità o meno di un invaso per l'immagazzinamento di acque superficiali va sempre valutata alla scala locale. Peraltro, gli effetti sugli ecosistemi possono travalicare quella scala, e ripercuotersi poi a valle anche sui bacini riceventi. Di conseguenza, riteniamo che dare un indirizzo generale sia inutile, se non controproducente; ii) per ogni opera in progettazione occorre definire in maniera univoca gli scenari futuri (seppure incerti): un invaso serve per "superare" il periodo di deficit. Ma per quanto tempo ci aspettiamo che si protragga il periodo di deficit? Si vogliono fronteggiare crisi idriche della durata di 6 mesi, 1 anno, 2 anni o più? iii) i dati osservativi mostrano una (debole) tendenza a un aumento degli eventi pluviometrici estremi. Da qui la soluzione (in verità piuttosto giornalistica) di "invasare le bombe d'acqua". Occorre in realtà valutare con attenzione l'incremento dell'occorrenza in frequenza di eventi pluviometrici estremi in una determinata zona e, in particolar modo, i relativi tempi di ritorno. Se eventi sopra una determinata soglia passano da tempi di ritorno dell'ordine dei 50 anni a tempi di ritorno dell'ordine dei 20 anni, la costruzione di invasi artificiali rischia di diventare sostanzialmente inutile rispetto ai tempi di ritorno (e alle durate) caratteristiche degli eventi siccitosi; iv) come menzionato nel Capitolo 8 (Acque sotterranee) riteniamo opportuno esplorare anche tecniche di stoccaggio sotterraneo (ad esempio, ricarica artificiale degli acquiferi o dighe sotterranee), ovvero interventi di dimensione minore rispetto ai grandi invasi, quindi di impatto ridotto, ma potenzialmente diffusi sul territorio, e quindi comunque efficaci. Agli elementi prima riportati, occorre aggiungere un'attenta valutazione sul lungo periodo dell'impatto sugli ecosistemi e delle conseguenze in termini di *land degradation*. A titolo di esempio, ferma restando l'alterazione cronica della continuità longitudinale, la gestione dei rilasci da un invaso, sia nei minimi, ma anche nei massimi valori, può creare eventi perturbativi nei tratti fluviali sottesi con frequenza ben superiore ai tempi stessi di recupero, parametro che la presenza dell'invaso stesso va sovente a incrementare. È importante sottolineare il fatto che tali elementi (come evidenziato nei capitoli 12, Siccità ed ecosistemi e 13, *Siccità e Land Degradation*) sono strettamente connessi con la reale disponibilità di risorsa idrica

anche per usi antropici, dal momento che un depauperamento qualitativo dell'acqua, inteso come scadimento del servizio ecosistemico fornito, determina una indisponibilità per diversi utilizzi, da quello idropotabile a quello irriguo.

**Il ruolo delle acque sotterranee.** È già stata evidenziata nel paragrafo precedente relativo ai “deficit informativi”, la necessità di intensificare la ricerca sulla caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei (sia *on-shore* che *off-shore*) nel contesto dello sviluppo di strategie di adattamento al cambiamento climatico. Nell'ambito dei “deficit conoscitivi” in relazione alle acque sotterranee, riteniamo di fondamentale importanza indirizzare la ricerca scientifica verso una migliore comprensione degli elementi di non-linearità che caratterizzano tre processi fondamentali che governano, fra gli altri, la dinamica degli acquiferi: i) l'interazione suolo-vegetazione-atmosfera, che guida i processi evapotraspirativi (con conseguenze significative anche sui fabbisogni irrigui) e i conseguenti processi di ripartizione tra deflusso superficiale e ricarica ai corpi idrici sotterranei); ii) l'infiltrazione profonda che alimenta i corpi idrici sotterranei e i relativi tempi di ricarica dipendono in maniera significativa dal contenuto idrico della zona non satura, quest'ultimo responsabile della velocità di recupero di un acquifero dopo eventi siccitosi protratti nel tempo; iii) l'interazione acque superficiali – acque sotterranee, che governa in molti bacini il deflusso superficiale in condizioni di magra (e dunque particolarmente importante durante gli eventi siccitosi).

**Gli utilizzi idrici.** Rispetto al complesso tema degli utilizzi idrici nei differenti comparti, è evidente che, in vari distretti idrografici del Paese, l'allocazione delle risorse in termini volumetrici si sta avvicinando sempre più alle disponibilità idriche superficiali e sotterranee. Per tale ragione, è emersa la necessità di procedere a una valutazione del grado di utilizzo complessivo delle risorse idriche disponibili, arrivando a quantificare, a differenti scale territoriali, il margine rispetto alle condizioni di “chiusura del bilancio idrico” (*basin closure*). L'attuale sfida per la gestione delle acque, soprattutto in agricoltura, è quindi quella di incrementare la produttività dell'acqua in bacini già in condizioni di stress, mentre negli altri bacini è necessario un controllo molto più rigoroso sia dei consumi idrici (contabilità idrica, *water accounting* nella letteratura scientifica) che dello sviluppo di nuove infrastrutture da parte dei decisori e della società civile, tutto ciò al fine di evitare un impiego eccessivo di risorse idriche (*over-allocation*). Lo sviluppo di metodologie condivise per il *water accounting* è dunque cruciale e deve basarsi sulla valutazione sistematica e il monitoraggio dello stato e le tendenze dell'approvvigionamento idrico, della domanda idrica, dell'accessibilità e dell'uso nel tempo e nello spazio all'interno di bacini/distretti e con standard specifici, oggettivi e accessibili ai vari attori della gestione idrica e della società civile. Il *water accounting*, così definito, dovrebbe fungere da base per un processo decisionale fondato su elementi quantitativi ed è pertanto rilevante per lo sviluppo delle politiche e per la pianificazione delle risorse idriche.

**Gemelli digitali.** Nell'ambito degli strumenti che possano favorire processi decisionali fondati su elementi quantitativi, di particolare interesse sono i cosiddetti “gemelli digitali” (*digital twin*), cioè sistemi capaci di riprodurre il comportamento di un intero bacino idrografico da monte a mare con un elevato livello di dettaglio e accuratezza. L'utilizzo di tali strumenti, se debitamente alimentati con dati affidabili e rappresentativi di tutte le forzanti che concorrono a determinare il bilancio idrico alle diverse scale spaziali e temporali di interesse, consente infatti di valutare la risposta dei sistemi all'occorrenza

di eventi di stress, come gli eventi siccitosi e le crisi idriche associate, permettendo quindi anche di testare le possibili opzioni per la mitigazione degli impatti di tali eventi (scenari *what-if*).

Da questo breve riepilogo, oltre agli indirizzi strategici per la ricerca, emerge chiaramente come la mitigazione degli impatti della siccità e l'individuazione di strategie di adattamento necessitino di un approccio multidisciplinare a tutti i livelli, da quello scientifico, a quello istituzionale, senza trascurare il ruolo della società civile e degli utilizzatori finali della risorsa. Lo spostamento dalla gestione emergenziale delle crisi idriche (approccio reattivo) alla gestione del rischio di siccità, mediante strategie di sistema ispirate alla prevenzione degli impatti e alla maggiore resilienza dei comparti produttivi a condizioni di deficit idrico (approccio proattivo o preventivo), non può che essere un processo complesso che richiederà un notevole impegno di energie sul piano tecnico, economico e politico, il cui esito positivo dipende dal confronto continuo con gli utilizzatori della risorsa. Un esempio in tal senso sono i “Piani di gestione della siccità” (*Drought Management Plans*) richiesti dalla Commissione europea come azione prioritaria per ridurre gli impatti degli eventi siccitosi, anche nella prospettiva del cambiamento climatico. Tali Piani, spesso redatti come piani stralcio del Piano del Bilancio idrico del distretto idrografico, dovrebbero superare la connotazione di mere linee guida per il monitoraggio idrologico dello stato quantitativo, per divenire strumenti operativi, condivisi a livello interistituzionale, per la pianificazione partecipata di soluzioni integrate contro i danni da siccità.

Il presente volume, redatto da ricercatrici e ricercatori con diversi background e diverse competenze, ha cercato di offrire un contributo scientificamente aggiornato e operativamente plausibile all'individuazione di interventi di breve, medio e lungo periodo volti all'incremento della resilienza dei sistemi di approvvigionamento idrico a condizioni di siccità e scarsità idrica nell'ambito più ampio del mantenimento e, ove necessario, ripristino del buono stato dei corpi idrici superficiali e sotterranei.

Speriamo di esserci riusciti.

## How to cite

Romano, E., Rossetti, S., Adamo, M., Berardi, M., Brocca, L., de Blasi, F., Di Salvo, C., Federico, S., Ferrarin, C., Imbrenda, V., Lauteri, M., Menichini, M., Mosca Angelucci, D., Stefani, F., Portoghese, I. 2024. “Conclusioni”, in *Siccità, scarsità e crisi idriche*, Emanuele Romano, Ivan Portoghese (a cura di), Habitat signa 1, 554-561 Roma: Cnr Edizioni. <https://doi.org/10.69115/habitatsigna-2024-1/conclusioni>

**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.

**S**empre 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.

