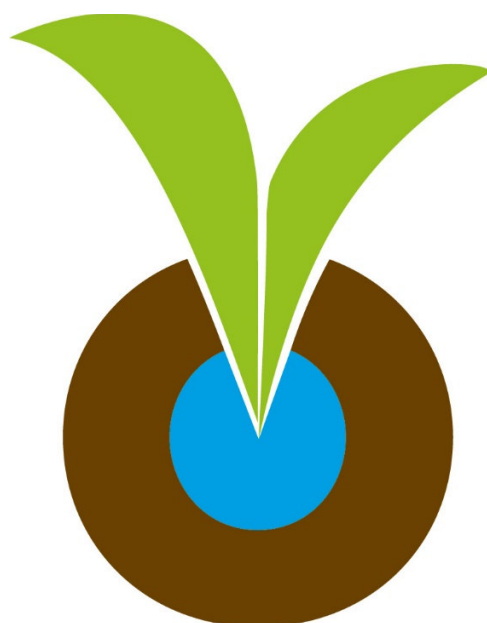


# **Vulnerabilità degli acquiferi al cambiamento climatico**

**Raccomandazioni e buone pratiche per la  
gestione delle risorse idriche sotterranee**



Documento preparato per l'azione COST CA19120: Isotopi di acqua nella zona critica dalla ricarica delle acque sotterranee alla traspirazione delle piante (WATSON)

<https://watson-cost.eu/>

© 2024, WATSON, Università di Firenze, Italia

Scritto da:

Konstantinos Voudouris (Università Aristotele di Salonicco, Grecia)

Manuel Sapiano (Agenzia per l'energia e l'acqua, Malta)

con il contributo di:

Miriam Coenders-Gerrits, (Università di Tecnologia di Delft, Paesi Bassi); Marina Gillon (Università di Avignone, Francia); Tugbanur Ozen Balaban (Università di Izmir Katip Celebi, Türkiye); Gabriele Chiogna (Geozentrum Nordbayern, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Germania); Ilja van Meerveld (Università di Zurigo, Svizzera)

Questa pubblicazione si basa sul lavoro dell'azione COST WATSON, CA19120, sostenuta da COST (Cooperazione Europea in Scienza e Tecnologia).

La COST (Cooperazione Europea in Scienza e Tecnologia) è un'agenzia di finanziamento per le reti di ricerca e innovazione. Le nostre azioni aiutano a collegare le iniziative di ricerca in tutta Europa e consentono agli scienziati di sviluppare le loro idee condividendole con i loro colleghi. Ciò favorisce la ricerca, la carriera e l'innovazione.

[www.cost.eu](http://www.cost.eu)



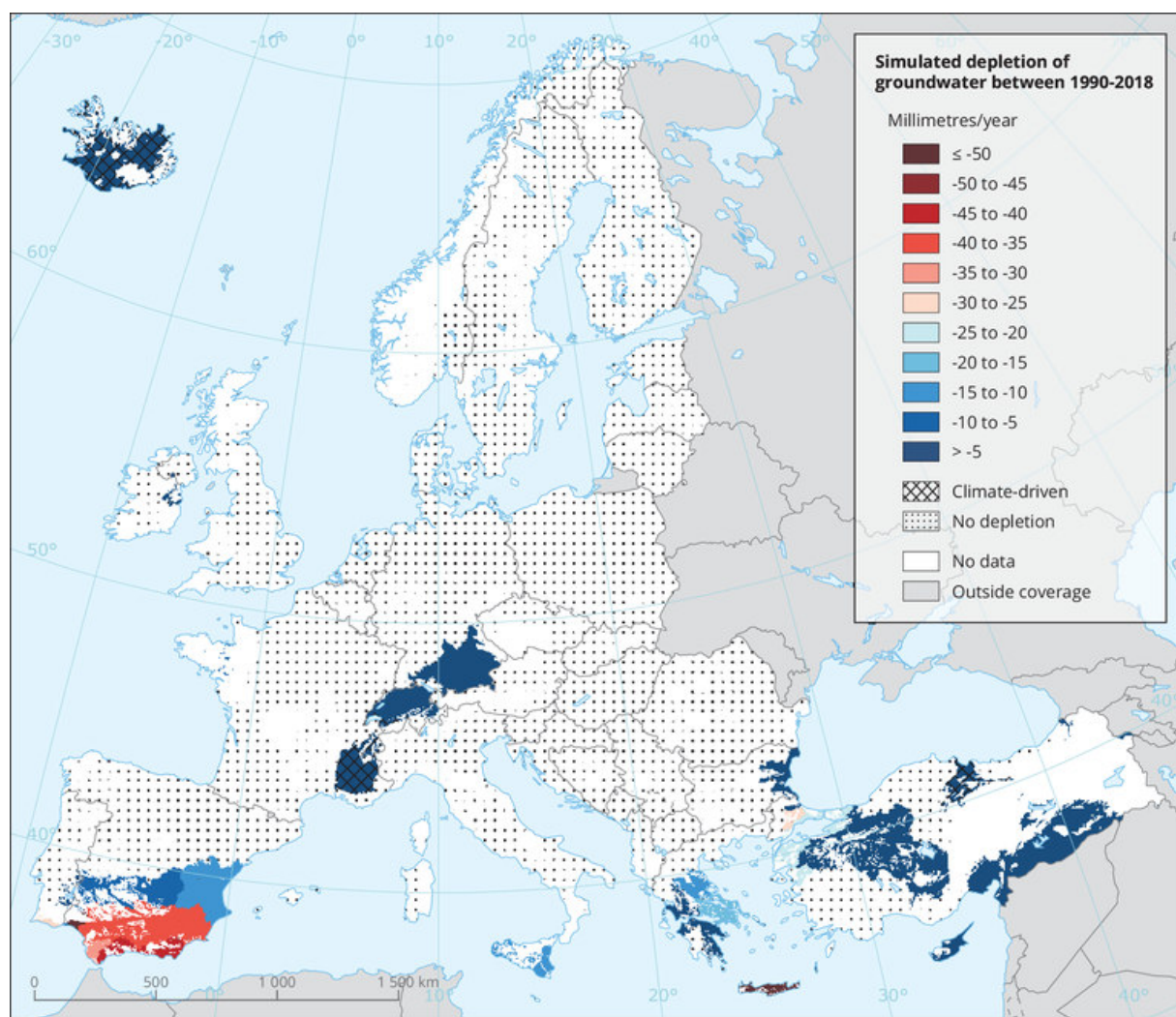
## Introduzione

Le acque sotterranee sono una preziosa risorsa naturale e svolgono un ruolo importante nel soddisfare il fabbisogno idrico per uso domestico, industriale e agricolo, oltre a sostenere le esigenze degli ecosistemi terrestri che dipendono dalle acque sotterranee. Le acque sotterranee sono particolarmente importanti nei Paesi caratterizzati dalla mancanza di precipitazioni durante la stagione secca. A livello globale, le acque sotterranee forniscono circa il 26% della fornitura di acqua potabile, il 42% dell'acqua utilizzata per l'agricoltura irrigua e il 24% dell'acqua per le esigenze industriali dirette (IAH, 2016). I principali sistemi acquiferi in Europa si sviluppano in sabbie, ghiaie, arenarie, conglomerati (acquiferi porosi), calcari, calcari dolomitici e marmi (acquiferi carsici).

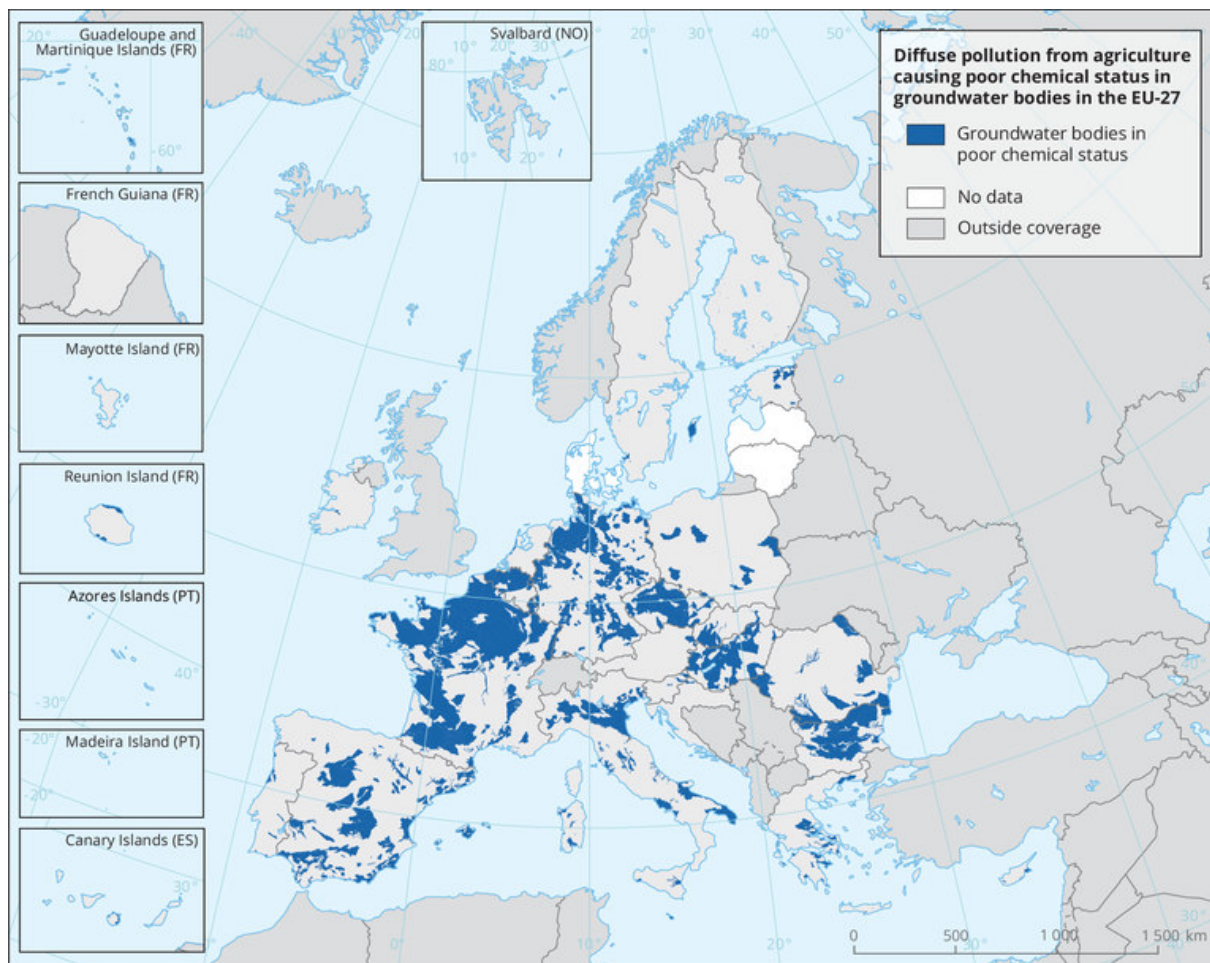
Le acque sotterranee sono sottoposte a numerose pressioni, che sono aggravate dal cambio di uso del territorio, tra cui l'urbanizzazione, l'aumento della domanda di produzione a scopo alimentare, il deterioramento della qualità dell'acqua, la cattiva gestione e la crisi climatica. Queste pressioni creano un regime caratterizzato da un eccessivo sfruttamento delle acque sotterranee (soprattutto in caso di scarsità di altre risorse durante la stagione secca e/o all'inadeguato sfruttamento delle acque superficiali e sorgive) che causa la diminuzione dei livelli delle acque sotterranee e la riduzione delle riserve (bilanci idrici negativi/deficit). Le figure 1 e 2 mostrano due mappe caratteristiche della diminuzione dei livelli delle acque sotterranee e dell'inquinamento dei corpi idrici sotterranei da parte dell'agricoltura in Europa (dati dell'Agenzia europea dell'ambiente, <https://www.eea.europa.eu>). Queste mappe mostrano che una degradazione della qualità in molti acquiferi. Fra le cause principali si può citare: la salinizzazione causata dall'intrusione di acqua marina come risultato diretto dell'estrazione eccessiva, che sarà potenzialmente esacerbata dall'innalzamento del livello del mare; l'inquinamento da nitrati, pesticidi e altri contaminanti dovuto all'uso di fertilizzanti e prodotti agrochimici; lo scarico incontrollato di acque reflue domestiche e industriali non trattate nelle acque superficiali, e le perdite dalle fosse settiche e dalle fognature comunali. Le acque sotterranee contaminate sono comuni nelle aree densamente popolate e nelle zone di intensa attività agricola e industriale (WWDR 2022). Inoltre, il sovra-pompaggio prolungato contribuisce alla diffusione della subsidenza del terreno abbassando significativamente la falda acquifera negli acquiferi alluvionali, causando danni alle reti di approvvigionamento idrico e alle infrastrutture di superficie, comprese strade e altri servizi.

Sebbene le acque sotterranee siano più resistenti ai cambiamenti climatici rispetto alle risorse idriche di superficie (Amobichukwu et al, 2020), esse rimangono vulnerabili, perché i cambiamenti climatici ne influenzano la ricarica. È stato sottolineato che la crisi climatica (inondazioni, siccità, riduzione delle precipitazioni) e la conseguente prevalenza di eventi climatologici estremi influenzeranno il ciclo dell'acqua e di conseguenza la ricarica naturale delle risorse idriche sotterranee. La vulnerabilità è spesso utilizzata per descrivere i potenziali impatti (negativi) dei cambiamenti climatici sulle acque sotterranee. Nistor (2020) ha evidenziato che

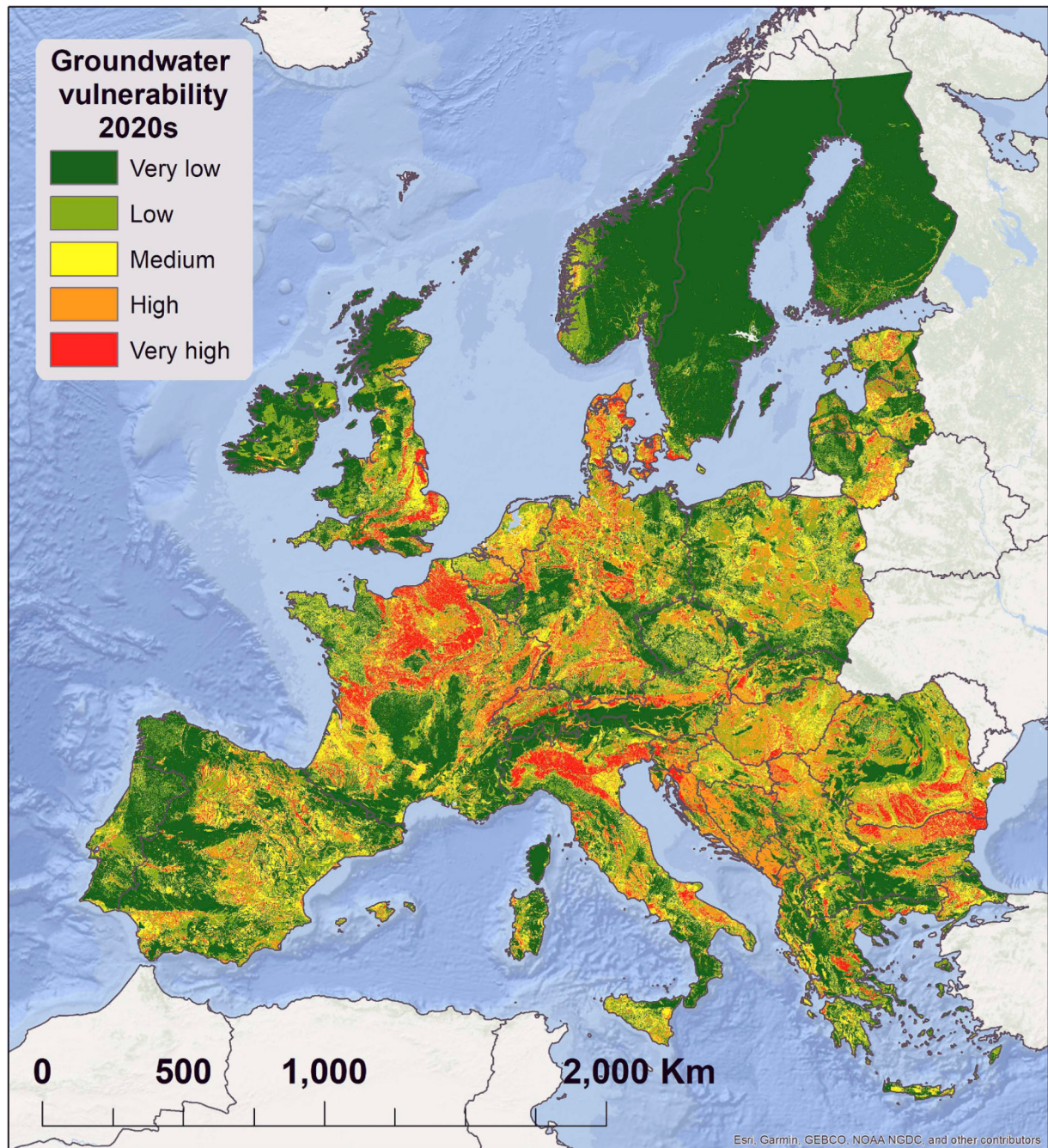
acque sotterranee classificate come altamente vulnerabili ai cambiamenti climatici sono localizzate principalmente in Europa centrale e nord-occidentale, a sud delle Isole Britanniche, nelle aree agricole e nelle grandi pianure (pianura nordeuropea, pianura padana, pianura rumena), mentre acque sotterranee poco vulnerabili si trovano in aree montuose e collinari (Figura 3). Anche questi risultati suggeriscono che la qualità e la quantità delle acque sotterranee in Europa sono sotto pressione a causa dei cambiamenti climatici (ad esempio, la ridotta disponibilità di acqua) e delle attività umane (ad esempio, le discariche, l'agricoltura e le pratiche di irrigazione).



**Figura 1:** Diminuzione del livello delle acque sotterranee tra il 1990 e il 2018 in Europa (Fonte: EEA, <https://www.eea.europa.eu>).



**Figura 2:** Inquinamento derivato dalle attività agricole nei corpi idrici sotterranei in Europa (Fonte: EEA, <https://www.eea.europa.eu>).



**Figura 3:** Mappa della vulnerabilità delle acque sotterranee in Europa per il periodo attuale (anni 2020).

(Fonte: Nistor, 2020).

## Raccomandazioni e buone pratiche

Una gestione razionale e sostenibile delle acque sotterranee è fondamentale per affrontare le conseguenze della crisi climatica e per proteggere gli ecosistemi. L'acqua è al centro dell'economia circolare. L'attenzione deve essere rivolta all'economia circolare, a partire dal riutilizzo delle acque reflue. Il ripristino dei sistemi acquiferi attraverso soluzioni come il Managed Aquifer Recharge (ricarica gestita delle falde acquifere) - che bilancia l'impatto degli eventi estremi e garantisce così la sostenibilità dei sistemi acquiferi sotterranei - ha un ruolo altrettanto importante. Anche l'interazione tra uso del suolo e ricarica delle acque sotterranee gioca un ruolo significativo nella gestione delle risorse idriche sotterranee. Ad esempio, il progetto europeo PROLINE-CE (<https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/PROLINE-CE.html>) ha identificato le pratiche di gestione dell'uso del suolo che possono essere attuate con particolare attenzione alla protezione dell'acqua potabile. Inoltre, considerando il quadro della gestione integrata delle risorse idriche, anche le pratiche di gestione delle inondazioni e della siccità possono essere progettate tenendo conto delle loro implicazioni per le acque sotterranee. Infine, è necessario un adattamento delle linee guida politiche per consentire un'efficace attuazione delle azioni necessarie per una migliore gestione delle risorse idriche sotterranee.

Il miglioramento dell'efficienza idrica e della sostenibilità delle acque sotterranee attraverso l'applicazione dei principi delle 5R (ridurre, riutilizzare, recuperare, riciclare, reintegrare) può essere raggiunto attraverso le seguenti raccomandazioni (Findidakis e Sato, 2011; Voudouris, 2024), come illustrato nella Tabella 1:

1. L'uso simultaneo di acque superficiali e sotterranee massimizzerebbe l'efficienza dell'uso dell'acqua e soddisferebbe la crescente domanda di acqua per l'irrigazione (gestione della domanda). Si osserva che una protezione efficace delle acque sotterranee può essere ottenuta non considerando le acque sotterranee in modo isolato, ma all'interno di un quadro di gestione integrata delle risorse idriche che includa le acque superficiali e altre risorse idriche alternative (non convenzionali).
2. Enfasi sulle reti di monitoraggio rappresentative per raccogliere dati affidabili e in tempo reale e sviluppare la capacità di interpretare i dati di monitoraggio. Coinvolgimento efficace degli stakeholder - diffondere le informazioni, promuovere la consapevolezza e la partecipazione degli stakeholder - e garantire che le informazioni siano presentate in modo comprensibile per gli stakeholder. I dati sugli studi di ricarica delle acque sotterranee, le mappe e i siti di campionamento degli isotopi stabili dell'acqua sono disponibili sul sito web di WATSON (<https://watson-cost.eu>).
3. Costruzione di piccole dighe di intercettazione nei torrenti principali per ritardare i flussi torrenziali e aumentare la ricarica delle falde acquifere (gestione dell'approvvigionamento), dopo una valutazione dell'impatto ecologico e tenendo conto delle condizioni locali.
4. Ridurre l'acqua di irrigazione utilizzando tecniche di risparmio idrico. In ogni caso, i metodi di irrigazione devono essere adattati al clima, alla coltura e al tipo di suolo. I dati isotopici

possono aiutare a determinare la fonte di acqua utilizzata dalla vegetazione (WATSON WG2).

5. Riutilizzare le acque reflue trattate nell'ambito dell'economia circolare per ridurre la quantità di acqua che entra in mare e nell'ambiente e fornire acqua per l'irrigazione, soprattutto nelle aree con scarsità d'acqua.
6. Adottare politiche tariffarie che garantiscano un livello di recupero dei costi (compresi quelli delle risorse e dell'ambiente) sufficiente a incoraggiare un uso efficiente delle risorse idriche, unitamente a incentivi economici per promuovere il ripristino e l'uso efficiente delle risorse naturali di acqua dolce. Prevenire l'eccessivo sfruttamento delle falde acquifere fissando dei limiti all'estrazione.
7. Applicare le migliori pratiche agricole per ridurre l'uso di fertilizzanti e prodotti agrochimici. Ciò significa utilizzare il tipo e la dose giusta di fertilizzante nel terreno giusto per una particolare coltura e al momento giusto. Nell'ambito dell'azione COST WATSON, è stato pubblicato un **documento di revisione sull'uso dei dati isotopici dei nitrati (Matiatos et al., 2023)**.
8. Adottare un insieme appropriato di strategie di gestione a livello di bacino fluviale, che consideri le acque sotterranee all'interno di un quadro di gestione globale, che comprenda misure di conservazione dell'acqua, la regolamentazione dello sviluppo esistente, il miglioramento della legislazione vigente, l'educazione pubblica e la sensibilizzazione.
9. Gestione delle inondazioni e della siccità nell'ambito dei piani di gestione integrata dei bacini fluviali attraverso la costruzione di infrastrutture adeguate, ad esempio dighe per il controllo delle inondazioni, piccole dighe di intercettazione nei torrenti delle aree montane, serbatoi di stoccaggio dell'acqua, ecc.
10. Valutare la vulnerabilità delle acque sotterranee all'inquinamento esterno e delineare zone di protezione intorno a pozzi e sorgenti per garantire acqua potabile sicura (quantità sufficiente e qualità accettabile).
11. La gestione sostenibile delle acque sotterranee è una questione di sicurezza idrica nazionale e internazionale, poiché alcuni acquiferi sono transfrontalieri. Ciò implica la necessità di una cooperazione tra i Paesi interessati per risolvere i conflitti.
12. Garantire una gestione sostenibile ed efficiente dell'acqua attraverso l'"acqua digitale" con impatti positivi sulla qualità e sulla quantità, in particolare attraverso lo sviluppo di dispositivi e sensori intelligenti, reti intelligenti e analisi avanzate dei dati (Water Europe, 2020).

**Tabella 1:** Corrispondenza delle 12 raccomandazioni con il modello dei principi delle 5R.

Racc n.	Ridurre	Riutilizzo	Recupero	Riciclare	Ripristinare
1	+		+		
2	+			+	
3			+		+
4	+				
5		+			
6			+		
7	+				
8			+		+
9					+
10					
11					
12					

## Conclusioni

Le acque sotterranee sono una fonte affidabile di acqua, ma la gestione e il governo delle risorse idriche sotterranee sono molto complessi. L'intelligenza umana e lo spettacolare sviluppo delle tecnologie idriche (droni, sistemi informativi geografici (GIS), telerilevamento, satelliti, Internet delle cose (IoT), scienza partecipativa, acqua digitale e modellizzazione-simulazione del flusso delle acque sotterranee) sono garanzia della capacità umana di adattarsi alla crisi climatica in futuro. Per questo motivo sono necessari maggiori sforzi da parte di governi, scienziati e società in generale per proteggere le risorse idriche sotterranee per il benessere del pianeta e la dignità della vita umana.

## Riferimenti

Amobichukwu C. Amanambu, Omon A. Obarein, Joann Mossa, Lanhai Li, Shamusideen S. Ayeni, Olalekan Balogun, Abiola Oyebamiji, Friday U. Ochege (2020). Sistema delle acque sotterranee e cambiamento climatico: Present status and future considerations, *Journal of Hydrology*, 125163, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125163>.

Agenzia europea dell'ambiente (AEA). <https://www.eea.europa.eu>.

Findidakis, A.N., Sato, K. (2011). *Pratiche di gestione delle acque sotterranee*. Monografia IAHR, UNESCO-IHP, CRC Press/Balkema.

Associazione Internazionale degli Idrogeologi (IAH) (2016). eNews. [www.iah.org](http://www.iah.org)

Matiatos, I., Moeck, C., Vystavna, Y., Marttila, H., Orłowski, N., Jessen, S., Evaristo, J., Sebiló, M., Koren, G., Dimitriou, E., Müller, S., Panagopoulos, Y., Stockinger, M.P. (2023) Nitrate isotopes in catchment hydrology: insights, ideas and implications for models. *Journal of Hydrology* 130326. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130326>

Nistor, M.-M. (2020). Vulnerabilità delle acque sotterranee in Europa in presenza di cambiamenti climatici. *Quaternary International*, Vol. 547, 185-196.

Rapporto delle Nazioni Unite sullo sviluppo idrico mondiale, WWDR (2022). Acque sotterranee, rendere visibile l'invisibile. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en>

Voudouris, K. (2024). Il ruolo delle acque sotterranee nell'adattamento alla crisi climatica in Grecia. *Elgar Encyclopedia of Water Policy, Economics and Management*, capitolo 62, 271-276. A cura di Koundouri Ph. e Alamanos, A.

Acqua Europa (2020). Una società intelligente dal punto di vista idrico per un piano di recupero di successo dopo il COVID-19. <https://watereurope.eu>

# WATSON



## COST ACTION

<https://watson-cost.eu/foac/>



Funded by  
the European Union