

*Silvia Meniconi, Simona Bigerna, Paolina Bongioannini Cerlini,
Bruno Brunone, Caterina Capponi, Paolo Carbone, Alessio De Angelis,
Maria Chiara D'Errico, Gregorio Gazzetta, Maria Chiara Locchi,
Gaetano Martino, Silvia Micheli, Antonio Moschitta, Jacopo Paffarini,
Paolo Polinori, Miriam Saraceni, Francesca Todisco, Lorenzo Vergni,
Simone Vezzani**

MULTIDISCIPLINARITÀ E TECNOLOGIE DIGITALI PER AFFRONTARE LA CRISI IDRICA: IL PROGETTO MORE4WATER

SOMMARIO: 1. Premessa. – 2. Stato dell'arte e motivazioni scientifiche. – 3. Obiettivi e metodologie avanzate adottate. – 4. Risultati ottenuti nel primo anno del progetto. – 5. Conclusioni. – 6. Bibliografia.

1. *Premessa*

L'acqua è la risorsa vitale che rende possibile la vita umana e regola gli equilibri del pianeta. Nel corso della storia, l'uomo non si è limi-

* Professoressa di Idraulica presso l'Università degli Studi di Perugia, Professoressa di Economica politica presso l'Università degli Studi di Perugia, Dottoressa di ricerca e docente del corso di Clima e Cambiamenti Climatici presso l'Università degli Studi di Perugia, Professore di Idraulica presso l'Università degli Studi di Perugia, Professoressa di Idraulica presso l'Università degli Studi di Perugia, Professore di Misure elettriche ed elettroniche, Professore di Misure elettriche ed elettroniche presso l'Università degli Studi di Perugia, Professoressa di Economica Politica presso l'Università degli Studi di Perugia, Ingegnere presso AcegasApsAmga e dottorando di ricerca presso l'Università degli Studi di Perugia, Professoressa di Diritto pubblico comparato presso l'Università degli Studi di Perugia, Professore di Economia agraria, alimentare ed estimo rurale presso l'Università degli Studi di Perugia, Professoressa di Economica Politica presso l'Università degli Studi di Perugia, Professore di Misure elettriche ed elettroniche, Ricercatore di Diritto pubblico comparato presso l'Università degli Studi di Perugia, Professore di Economica politica presso l'Università degli Studi di Perugia, Post-doc presso l'Università degli Studi di Perugia, Professoressa di Idraulica agraria e sistemazioni idraulico-forestali presso l'Università degli Studi di Perugia, Professore di Idraulica agraria e sistemazioni idraulico-forestali presso l'Università degli Studi di Perugia, Professore di Diritto dell'unione europea presso l'Università degli Studi di Perugia.

tato ad adattarsi alla presenza dell'acqua, ma ne ha plasmato attivamente la forma e la distribuzione, progettando sistemi e infrastrutture via via più complessi per utilizzarla e gestirla. Da sempre, infatti, la disponibilità di acqua ha determinato la nascita e lo sviluppo degli insediamenti umani: città e civiltà si sono formate lungo corsi d'acqua dolce, vicino agli estuari dei grandi fiumi, sulle coste marine e lacustri, aree strategiche non solo per la loro fertilità e ricchezza naturale, ma anche per la loro importanza nei trasporti e nella comunicazione. Oggi, tuttavia, l'acqua non rappresenta più soltanto una risorsa materiale, né un semplice tema di progettazione ingegneristica o urbanistica. Assume piuttosto un valore sociale, economico e politico sempre più forte, misurabile in base all'accesso che le popolazioni del mondo hanno a questa risorsa essenziale. Intere comunità migrano per sfuggire alla scarsità idrica e cercare condizioni migliori, mentre contemporaneamente l'innalzamento del livello dei mari minaccia territori densamente abitati e consolidati.

Proprio per questo, l'acqua assume oggi un ruolo straordinariamente rilevante nel dibattito globale su identità, appartenenza e sostenibilità. Le sfide legate alla gestione intelligente e responsabile delle risorse idriche richiedono risposte innovative e multidisciplinari. L'umanità è chiamata, ora più che mai, a sviluppare strategie efficaci per conservare, indirizzare e utilizzare l'acqua, garantendo così un futuro sostenibile per le generazioni a venire.

Il convegno "Le forme dell'acqua tra diritto ed economia", tenuto a Perugia il 19 ottobre 2024, ha rappresentato un'occasione importante per riflettere su questo tema così trasversale, in cui si incontrano responsabilità civiche, urgenze climatiche, interessi economici e diritti fondamentali. In questo contesto, l'Università degli Studi di Perugia si distingue per il suo approccio autenticamente multidisciplinare, affrontando la questione idrica da una pluralità di prospettive: ingegneristica, fisica, economica, giuridica, ambientale, agricola. In questo contesto si inquadra il progetto MORE4WATER (Combined monitoring and forecast for a sustainable management of water resources and timely adaptation to drought), finanziato dalla Commissione Europea, il MUR (Italia), la FAPESC (Brasile) e la FCT (Portogallo) all'interno della call congiunta 2022 del Partenariato Europeo 101060874 – Water4All. Il progetto vede come capofila l'Università degli Studi di Perugia che vi contribuisce con competenze trasversali.

Il progetto coinvolge un consorzio internazionale e interdisciplinare di istituzioni accademiche e tecnologiche: Instituto de Telecomunicações (Portogallo), esperto nello sviluppo e implementazione delle reti WSN, l'Universidade do Vale do Itajaí (Brasile), specializzata in diritto idrico e diplomazia delle acque, l'ente gestore AcegasApsAmga (Gruppo Hera, Italia), che fornisce un importante caso studio dimostrativo, e il Tucep (Italia), che si occupa della disseminazione.

Nel seguito si descriveranno lo stato dell'arte e le motivazioni del progetto MORE4WATER, i suoi principali obiettivi e alcuni dei risultati raggiunti.

2. Stato dell'arte e motivazioni scientifiche

La risorsa idrica mondiale affronta oggi sfide senza precedenti, intensificate dai cambiamenti climatici in corso. Circa metà della popolazione globale sperimenta periodicamente una grave scarsità idrica: la siccità meteorologica – con precipitazioni persistentemente basse – riduce l'umidità del suolo, i deflussi superficiali e le riserve delle falde acquifere, trasformandosi rapidamente in siccità idrologica. Le anomalie climatiche, con l'innalzamento progressivo delle temperature e l'intensificarsi degli eventi di precipitazione estrema, accrescono in modo sensibile la vulnerabilità dei territori, delle città e degli ecosistemi. Gli effetti sono tangibili anche in Italia, dove alle recenti inondazioni in Emilia-Romagna e nelle Marche si contrappongono periodi di marcata carenza idrica come quelli osservati nel bacino del Po e nel Lago Trasimeno (Figura 1).

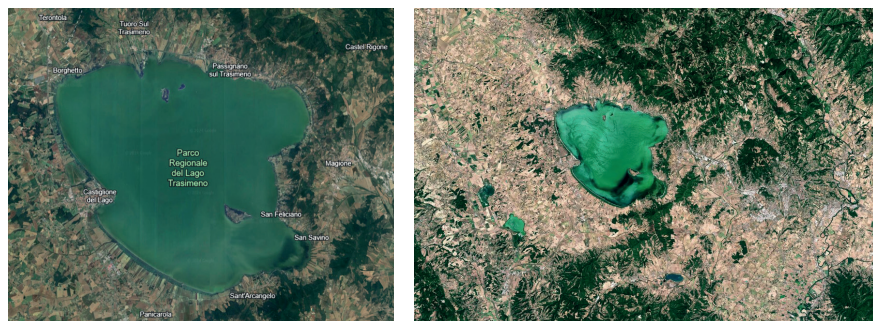


Figura 1. Confronto tra due immagini del Lago Trasimeno: a) Google Earth (2006); b) ESA (2022).

In tale contesto desta ulteriore preoccupazione lo stato delle reti idriche urbane e rurali. Le condotte che riforniscono abitazioni, industrie e attività agricole risultano spesso obsolete, deteriorate e altamente inefficienti. Si stima, infatti, che circa il 40% dell'acqua immessa nelle reti venga dispersa per perdite, allacci abusivi o guasti strutturali, con un duplice impatto economico ed energetico. Solo in Italia, nel 2020 sono andati perduti circa 3,88 miliardi di m³ di acqua potabile, con un danno economico superiore a 5,29 miliardi di euro (calcolato su un costo medio di 1,37 €/m³) cui si sommano tra 6,36 e 7,93 miliardi di euro annui di energia sprecata nei processi di pompaggio e potabilizzazione.

La gestione inefficace o insostenibile delle reti idriche aggrava ulteriormente la scarsità, incidendo sui diritti fondamentali delle persone – in particolare sul diritto universale all'acqua potabile e ai servizi igienico-sanitari riconosciuto dalle Nazioni Unite nell'ambito dell'SDG 6 – e alimentando tensioni sociali e politiche (Vezzani, 2018).

Oltre al sostentamento dell'economia e dei servizi, occorre considerare l'apporto delle fonti d'acqua alla tradizione e alle concezioni culturali delle comunità rurali. In questa prospettiva si registra la rapida diffusione, dal Global South all'Europa, di misure di protezione basate sulla personificazione giuridica degli ecosistemi acquiferi e sull'affermazione di una *legal guardianship* pubblico-comunitaria (Paffarini, 2025). Quest'ultima concretizza una forma di rappresentanza e partecipazione alla pianificazione delle attività umane, espletata da organi collegiali la cui composizione è caratterizzata da un equilibrio tra la componente pubblica (governo locale o subnazionale), comunitaria, accademica e associativa (ong del settore, anche di rilevanza internazionale). La moltiplicazione di casi in cui le "qualità relazionali" delle diverse fonti d'acqua (fiumi, laghi, lagune) vengono assunte nell'ordinamento normativo dimostra, perciò, come la conservazione degli ecosistemi assuma progressivamente una rilevanza autonoma nelle politiche pubbliche ambientali (Macpherson, 2023).

L'opzione legata alla realizzazione di investimenti atti al superamento di queste problematiche comporta la necessità di focalizzarsi sulla reazione delle comunità locali coinvolte negli eventuali progetti di investimento che possono determinare condizioni di opposizione e/o accettazione, agli stessi progetti. Condizioni che risultano determinate anche dalla molteplicità dei ruoli con cui i membri delle comunità sono coinvolti (ad esempio, da semplici membri della comunità, a utilizzato-

ri, o a “produttori”), motivo per cui è importante esplorare le principali determinanti del comportamento delle figure coinvolte per una migliore comprensione delle preferenze riconducibili ai diversi ruoli. In particolare, è rilevante l’analisi mirata ad esplorare i meccanismi connessi all’accettazione dei progetti (Bigerna e Polinori, 2019). Dal punto di vista economico tre possibili dimensioni assumono rilevanza: le funzioni prevalenti assolate dall’acqua; le caratteristiche della comunità locale, concentrandosi anche sulla dimensione collettiva come il senso di appartenenza alla comunità oppure l’attaccamento al luogo; le eventuali esperienze pregresse di coinvolgimento in progettualità.

L’allocazione della risorsa tra usi concorrenti richiede decisioni tecniche e socio-economiche estremamente delicate (Bigerna e Polinori, 2019) decisioni basate su modelli che consentono d’integrare l’indispensabile trasformazione tecnologica dei meccanismi di gestione e allocazione della risorsa idrica, mentre la scarsità idrica diventa motivo di conflitto soprattutto nei bacini transfrontalieri, rendendo imprescindibile una solida cooperazione internazionale, come richiamato dalla International Law Commission (2008).

Tale quadro trova conferma negli studi più recenti: Caretta et al. (2022) evidenziano che circa metà della popolazione mondiale fronteggia carenze idriche per parte dell’anno, mentre Truettner e Barkdoll (2022) mostrano come la ridotta disponibilità d’acqua comporti un aumento dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra legate al pompaggio. Vergni et al. (2020) documentano l’evoluzione dei deficit di umidità del suolo e la loro propagazione nei sistemi idrologici, sottolineando l’urgenza di una gestione più resiliente.

L’intreccio fra cambiamento climatico, inefficienze infrastrutturali, pressioni socio-economiche e rischi geopolitici rende quindi indispensabile un approccio integrato che combini innovazione tecnologica, conoscenza scientifica approfondita e capacità diplomatica, così da garantire una gestione pacifica, equa e sostenibile delle risorse idriche a scala globale.

3. Obiettivi e metodologie avanzate adottate

Il progetto MORE4WATER ha l’obiettivo ambizioso di sviluppare e validare una tecnologia innovativa per la gestione sostenibile delle risorse idriche in condizioni di scarsità (Figura 2), mediante un siste-

ma integrato basato su sensori wireless (WSN), modelli idrologici avanzati e tecniche di Intelligenza Artificiale (AI).

L'approccio multidisciplinare mira a rendere le reti idriche urbane

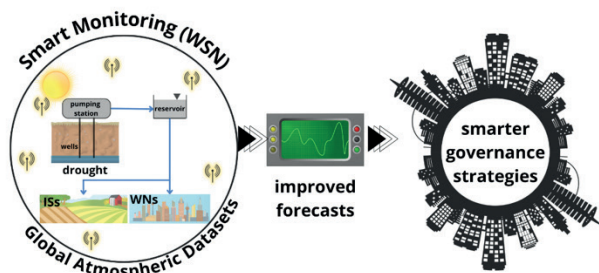


Figura 2. Idea progettuale del progetto MORE4WATER.

e irrigue più resilienti, efficienti e sostenibili, in linea con gli obiettivi globali dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite e il Green Deal Europeo. Più nello specifico, il progetto si articola in due fasi principali:

- valutazione della disponibilità idrica: attraverso il modello denominato AQUILA, che integra misure locali acquisite da reti di sensori wireless con dati atmosferici globali di rianalisi (ERA5), si simula il livello delle falde acquifere e dei laghi (Bongioannini Cerlini et al., 2021, 2022, 2023);
- gestione operativa e monitoraggio in tempo reale: l'utilizzo di modelli digitali avanzati (Digital Twin) consente di monitorare costantemente le condizioni operative delle reti idriche e simulare diversi scenari, individuando tempestivamente anomalie e intervenendo preventivamente. Tra le tecnologie utilizzate vi è la Transient Test-Based Technique (TTBT), che permette di rilevare perdite e altre anomalie utilizzando le proprietà delle onde di pressione che si propagano nelle condotte (Meniconi et al., 2021).

Il progetto sfrutta in maniera integrata:

- dati di rianalisi atmosferici (ERA5), che forniscono dati globali completi su precipitazione, evaporazione e infiltrazione con elevata risoluzione spaziale e temporale (Hersbach et al., 2020);
- reti Wireless Sensor Networks (WSN), che consentono misure

- ad alta risoluzione temporale e spaziale dei livelli idrici, pressioni e portate nelle reti idriche (Casas et al., 2014; Pasku et al., 2017);
- intelligenza Artificiale e modelli numerici innovativi, che permettono previsioni accurate e aggiornate continuamente, adattandosi alle variazioni climatiche (Porena et al., 2022);
 - modelli digitali (Digital Twin), che riproducono fedelmente il comportamento delle infrastrutture idriche, consentendo simulazioni predittive e analisi in tempo reale per prevenire criticità operative e gestionali.

4. Risultati ottenuti nel primo anno del progetto

Tra i principali risultati raggiunti dal progetto MORE4WATER si evidenzia lo sviluppo di una rete wireless di sensori (WSN) dedicata al monitoraggio delle risorse idriche, delle reti acquedottistiche e dei sistemi irrigui (Luz et al., 2025). La rete si basa su tecnologie IoT a bassa potenza, come LoRa ed è pensata per essere modulare, flessibile e scalabile. I nodi, alimentati anche da pannelli solari, acquisiscono dati da sensori di pressione, portata e livello e li trasmettono a una piattaforma cloud dove vengono elaborati e visualizzati in tempo reale (Figura 3). I test presso lo IT Instrumentation and Measurement

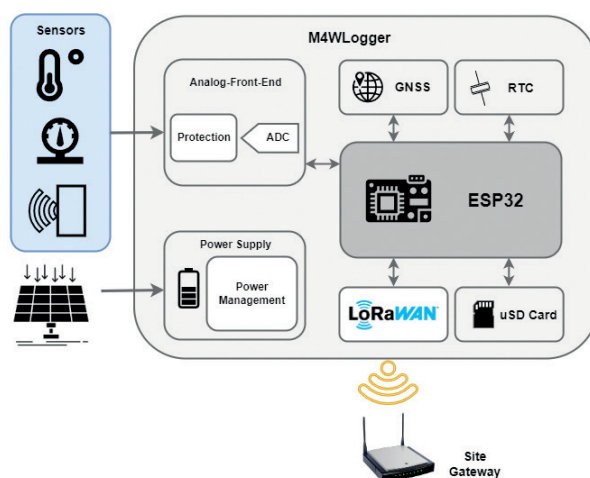


Figura 3. Schema a blocchi del nodo di misura sviluppato per il sistema WSN: il nodo integra moduli per acquisizione, comunicazione, localizzazione e gestione energetica, con architettura flessibile e riconfigurabile (da Luz et al, 2025).

Laboratory di Lisbona hanno dimostrato buone prestazioni in termini di affidabilità della comunicazione e consumo energetico. Nel secondo anno del progetto, i datalogger saranno implementati nei casi studio per la validazione in campo dell'architettura proposta.

In parallelo, uno studio pubblicato su *Journal of Hydrometeorology* (Saraceni et al., 2025) ha proposto un nuovo metodo che, associando i dati globali della rianalisi ERA5-Land con poche misure di livello raccolte a terra o da satellite, ricostruisce mese per mese l'andamento dei laghi chiusi, ottimi “sentinelle” del clima. La procedura è stata testata su sei bacini molto diversi – dal profondo Crater Lake in Oregon ai poco profondi Bracciano, Vico e Trasimeno, fino ai piccoli Solai ed Elementaita nella Rift Valley keniota – riuscendo a seguire fedelmente sia le oscillazioni stagionali sia le tendenze pluriannuali (Figura 4).

L'errore medio resta inferiore a 30 cm e l'efficienza statistica è elevata, anche quando la serie storica disponibile è di pochi anni. I maggiori scostamenti si registrano solo in corrispondenza di eventi di pioggia estrema che ERA5-Land fatica a cogliere o nei laghi molto profondi, dove l'evaporazione è sottostimata. Nonostante ciò, il metodo mostra una robustezza sufficiente a coprire aree prive di stazioni meteo, offrendo ai Digital Twin idrici di MORE4WATER una base affidabile per anticipare carenze d'acqua e pianificare interventi di adattamento alla siccità.

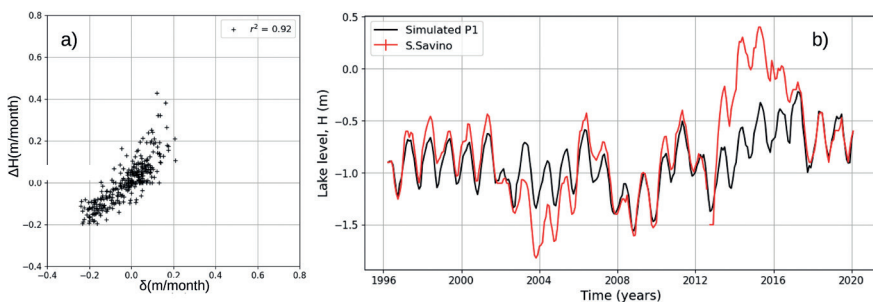


Figura 4. Analisi e prestazioni di simulazione per il Lago Trasimeno: a) correlazione tra le variazioni mensili del livello del lago ΔH e il bilancio idrico δ ; b) confronto tra il livello mensile del lago H simulato (in nero) e i valori osservati (in rosso) presso la stazione di S. Savino (Lago Trasimeno). Nel procedimento, il periodo di validazione è compreso tra il 1996 e il 2006, mentre quello di simulazione va dal 2006 al 2019 (da Saraceni et al., 2025).

Un ulteriore risultato significativo riguarda la previsione del con-

tenuto di umidità nel suolo mediante l'uso combinato dei dati di ri-analisi ERA5-Land e delle previsioni stagionali del sistema SEAS5 dell'ECMWF (Silvestri et al., 2025). Lo studio ha dimostrato che le anomalie standardizzate dell'umidità nei suoli profondi (fino a 3 m) sono fortemente correlate con i livelli delle falde poco profonde monitorate in Umbria e Veneto. Le previsioni risultano particolarmente affidabili – fino a sei mesi di anticipo – in aree a bassa complessità orografica come l'Italia centrale e settentrionale. Questa capacità predittiva, validata anche nel caso della siccità del 2012, rende le previsioni stagionali dell'umidità del suolo un supporto promettente per i Digital Twin idrici del progetto, offrendo strumenti operativi per anticipare situazioni di crisi idrica e pianificare interventi di gestione e adattamento.

Infine, un risultato di rilievo riguarda la definizione e l'applicazione di una metodologia innovativa (Figura 5) per l'individuazione di transitori di pressione potenzialmente pericolosi nelle reti di distribuzione idrica urbane, con particolare riferimento al caso studio della rete di Padova (Meniconi et al., 2024). La procedura prevede tre fasi: l'analisi degli interventi di riparazione effettuati dal gestore per identificare le aree più critiche, il monitoraggio a bassa frequenza (15 min) per calcolare un indice di vulnerabilità basato su ampiezza e frequenza delle variazioni di pressione, e infine campagne mirate di monitoraggio ad alta frequenza (2048 Hz) per localizzare le sorgenti dei tran-

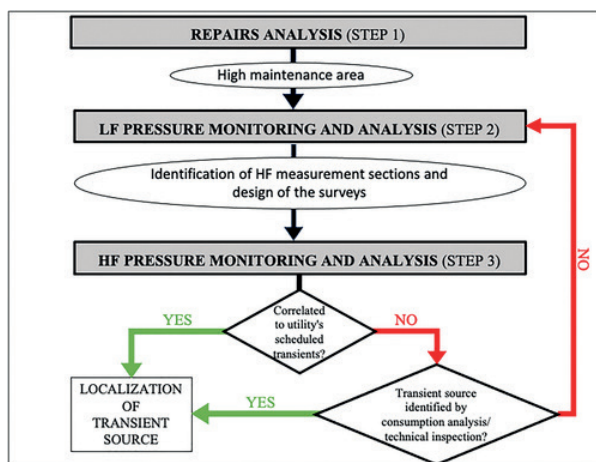


Figura 5. Metodologia proposta per l'individuazione di transitori pericolosi in una rete di distribuzione.

sitori. L'applicazione di tale procedura alla rete di Padova ha portato all'identificazione di un'utenza dotata di un impianto interno articolato (con pompe ed elettrovalvole), responsabile di oscillazioni di pressione di circa 3 metri con periodicità regolare, potenzialmente dannose per l'integrità della rete. Il confronto con un'altra grande utenza, priva di fenomeni simili, ha evidenziato che non è il volume di consumo a determinare la pericolosità, ma le modalità operative e la configurazione impiantistica. I risultati ottenuti costituiscono una base operativa per strategie proattive di prevenzione delle rotture e riduzione delle perdite, coerentemente con gli obiettivi del progetto MORE4WATER.

Un ulteriore risultato riguarda lo sviluppo di un modello di rappresentazione virtuale per la gestione intelligente dei sistemi irrigui (Todisco e Vergni, 2025). Il modello integra dati da contatori intelligenti e un simulatore dei fabbisogni idrici (FAO56-PM), operando sia in fase di pianificazione (P-Mode) sia in fase gestionale (M-Mode). I test su casi studio rappresentativi hanno mostrato una buona corrispondenza tra consumi idrici osservati e simulati, evidenziando la potenzialità del modello nel supportare decisioni informate per una gestione più efficiente e sostenibile della risorsa. La metodologia consente di valutare i rischi di crisi idrica stagionale e di identificare anomalie operative, come perdite o usi non dichiarati, durante la stagione irrigua.

L'analisi condotta dai giuristi dell'Università di Perugia, congiuntamente ai colleghi dell'Università brasiliana partner (UNIVALI) si è concentrata sui profili di *governance* relativi alla gestione e all'allocazione delle risorse idriche fra usi alternativi, in un contesto di cambiamenti climatici e di transizione digitale. La scelta, come caso di studio, del regime giuridico dell'acquifero transnazionale Guaraní, ha consentito di arricchire l'analisi anche in una prospettiva comparatistica. I primi risultati della ricerca sono stati presentati in una conferenza tenutasi presso il Dipartimento di Giurisprudenza dell'Università degli Studi di Perugia, che ha visto anche la partecipazione di giuristi spagnoli, e in una tavola rotonda presso l'Istituto Italo-Latino-Americano.

Un articolo di prossima pubblicazione (Locchi e Piffer) – dedicato al paradigma bioculturale nella conservazione degli ecosistemi, con particolare riferimento alla *governance* delle aree protette nel Maghreb – indaga presupposti e forme giuridiche del superamento

dell'approccio tradizionale alla creazione e alla gestione delle aree protette (anche in relazione alla gestione delle risorse idriche). Tale approccio tradizionale, spesso centralizzato e naturo-centrico, ha mostrato limiti rilevanti sia in termini di efficacia che di equità per le comunità locali, ed è stato progressivamente superato, anche nell'ambito del diritto internazionale, a favore di un modello (o meglio, di un insieme di modelli) di preservazione della natura che necessariamente passa per il riconoscimento e la valorizzazione delle conoscenze e delle pratiche delle comunità umane che abitano i territori da proteggere.

Un secondo contributo di prossima pubblicazione, all'interno di un Commentario edito dalla Edwar Elgar Publishing sulla Dichiarazione ONU sui diritti dei contadini (Vezzani, 2018), evidenzia il crescente riconoscimento, tanto sul piano del soft law quanto nella giurisprudenza internazionale, della dimensione collettiva, sociale e culturale del diritto all'acqua quale elemento essenziale del diritto ad una vita degna.

A partire dal 1° gennaio 2025, inoltre, le attività di ricerca di MORE4WATER hanno trovato un ulteriore riferimento nel Modulo Jean Mon-net *"Participatory and Legal Instruments for Climate Neutral and Smart Cities"* (ECO-PoLeIS), promosso dai docenti del Dipartimento di Giurisprudenza dell'Università degli Studi di Perugia. Il dialogo, iniziato già a partire dal *"kick-off meeting"* di ECO-PoLeIS, punta all'integrazione degli obiettivi di sostenibilità ambientale, di cui MORE4WATER è precursore nello specifico campo della gestione delle risorse idriche, con quelli di giustizia climatica e di partecipazione alla transizione ecologica nel contesto delle città europee.

5. Conclusioni

Il primo anno del progetto MORE4WATER ha confermato l'efficacia dell'approccio multidisciplinare e tecnologicamente integrato adottato per affrontare in modo innovativo la crescente crisi idrica. In un contesto caratterizzato da scarsità di risorse, cambiamenti climatici e crescente vulnerabilità delle infrastrutture, il progetto ha dimostrato come la sinergia tra ricerca scientifica, innovazione digitale e collaborazione istituzionale possa generare soluzioni concrete e trasferibili. Lo sviluppo e il collaudo di una rete wireless di sensori (WSN), l'implementazione di modelli predittivi per la ricostruzione del livello dei

laghi e delle falde, e l'identificazione di nuove metodologie per la prevenzione dei transitori di pressione critici costituiscono avanzamenti significativi nella direzione di una gestione intelligente e sostenibile della risorsa idrica.

Tali risultati non solo rispondono a bisogni operativi urgenti dei gestori, ma forniscono anche strumenti previsionali fondamentali per il supporto alle decisioni in scenari di scarsità e crisi idrica. Il ricorso a Digital Twin e l'utilizzo di dati globali di rianalisi, combinati con misure locali e tecniche di intelligenza artificiale, permettono di colmare il divario tra osservazione, previsione e intervento, ponendo le basi per una nuova generazione di sistemi idrici adattivi e resilienti.

Nel prosieguo del progetto, l'implementazione delle soluzioni sviluppate nei casi studio rappresenterà un banco di prova cruciale per testarne la scalabilità, l'affidabilità e l'efficacia operativa. L'ambizione di MORE4WATER è quella di contribuire concretamente alla costruzione di un futuro idrico più equo e sostenibile, in cui la tecnologia sia al servizio delle comunità e dell'ambiente.

6. Bibliografia

- BIGERNA, S., POLINORI, P., *The economic valuation of green electricity*, Springer, NL, 2019.
- CARETTA, M. A., ET AL., *Water. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the 6th Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press, 551-712, 2022.
- CASAS, O., LÓPEZ, M., QUÍLEZ, M., MARTINEZ-FARRE, X., HORNERO, G., ROVIRA, C., PINILLA, M. R., RAMOS, P. M., BORGES, B., MARQUES, H., GIRÃO, P. S., *Wireless sensor network for smart composting monitoring and control*, Measurement, 47, 483-495, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.09.026>, 2014.
- BONGIOANNINI CERLINI, P., SILVESTRI, L., MENICONI, S., BRUNONE, B., *Simulation of the water table elevation in shallow unconfined aquifers by means of the ERA5 soil moisture dataset. The Umbria region case study*, Earth Interact., 25(1), 15-32, 2021.
- BONGIOANNINI CERLINI, P., SARACENI, M., SILVESTRI, L., MENICONI, S., BRUNONE, B., *Monitoring the water mass balance variability of small shallow lakes by an ERA5-Land reanalysis and level measurement-based model. An application to the Trasimeno Lake*, Atmos., 13, 949, 2022.
- BONGIOANNINI CERLINI, P., SILVESTRI, L., MENICONI, S., BRUNONE, B., *Performance*

- of three reanalyses in simulating the water table elevation in different shallow unconfined aquifers in central Italy*, Meteorol. Appl., RMetS, 30(2), e2118, 2023.
- HERSBACH, H., ET AL., *The ERA5 global reanalysis*, Q. J. R. Meteorol. Soc., 146(730), 1999-2049, 2020.
- International Law Commission, *Draft articles on the law of transboundary aquifers*, Yearbook of the International Law Commission, Vol. II, Part Two, 2008.
- LUZ, V. S., FARIA, P., ROSADO, L. S., JANEIRO, F. M., RAMOS, P. M., DE ANGELIS, A., MOSCHITTA, A., CARBONE, P., MENICONI, S., CAPPONI, C., BRUNONE, B., BONGIOANNINI CERLINI, P., *Design and Implementation of a Wireless Sensor Network for Water Resource Management*, Proc. 2025 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2025.
- MACPHERSON. E., *Can Western Water Law Become More 'Relational'? A Survey of Comparative Laws Affecting Water Across Australasia and the Americas*, Journal of the Royal Society of New Zealand, vol. 53, 3, 395-424, 2023.
- MENICONI, S., CAPPONI, C., FRISINGHELLI, M., BRUNONE, B., *Leak detection in a real transmission main through transient tests: Deeds and misdeeds*, Water Resour. Res., 57, e2020WR027838, 2021.
- MENICONI, S., RUBIN, A., TIRELLO, L., DORO, A., BRUNONE, B., CAPPONI, C., *Mapping pressure surge source in urban water networks: Integrating low- and high-Frequency pressure data with an illustrative real case study*, Water Resources Research, 60, e2023WR036773. <https://doi.org/10.1029/2023WR036773>, 2024.
- PAFFARINI, J., *I diritti della Laguna Francia e la guardianship degli ecosistemi acquatici nel caso Vecinos del Barrio Villa Altabe c. Municipalidad de Resistencia et al.*, Osservatorio del Costituzionalismo ambientale, DPCEonline, 7 marzo 2025.
- PASKU, V., DE ANGELIS, A., DE ANGELIS, G., ARUMUGAM, D. D., DIONIGI, M., CARBONE, P., *Magnetic Field-Based Positioning Systems*, IEEE Commun. Surv., 19(3), 2003-2017, 2017.
- PORENA, D., PIFFER, C., BASIGLI N., *Nuove prospettive di sostenibilità intergenerazionale: la sostenibilità delle materie prime nella transizione energetica*, Rivista Ambiente Diritto, Italy. ISSN 1974-9562, 2022.
- RAMOS, P. M., ET AL., *Wireless sensor network for smart composting monitoring and control*, Measurement, 47, 483-495, 2014.
- SARACENI, M., BRUNONE, B., SILVESTRI, L., MENICONI, S., BONGIOANNINI CERLINI, P., *A Water Mass Balance-Based Procedure Using ERA5 Land Reanalysis and Level Observation to Reconstruct the Past Level Changes of Closed Lakes toward Future Management*, J. Hydrometeor., 26, 49-67, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-24-0019.1>, 2025.
- SILVESTRI, L., SARACENI, M., BRUNONE, B., MENICONI, S., PASSADORE, G., BON-

- GIOANNINI CERLINI, P., *Assessment of seasonal soil moisture forecasts over the Central Mediterranean*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 29, 925-946, <https://doi.org/10.5194/hess-29-925-2025>, 2025.
- TODISCO, F., VERGNI, L., *Modello virtuale per la gestione intelligente dell'acqua in agricoltura*, in Atti del Convegno “Le forme dell'acqua tra diritto ed economia”, 2025.
- TRUETTNER, C., BARKDOLL, B. D., *Climate-change-induced energy and water use increase in water distribution systems*, Urban Water J., 19(5), 492-498, 2022.
- VERGNI, L., TODISCO, F., DI LENA, B., MANNOCCHI, F., *Bivariate analysis of drought duration and severity for irrigation planning*, Agric. Water Manag., 229, 105926, 2020.
- VEZZANI, S., *Diritto internazionale degli investimenti e diritto all'acqua: il caso dell'Argentina*, in Las formas de la naturaleza y sus formas de regulación, Buenos Aires, 177-191, 2018.

Acknowledgement

The project MORE4WATER has received funding from MUR (Italy), FCT (Portugal), Fapesc (Brazil), and the European Union's Horizon Europe Programme under the 2022 Joint Transnational Call of the European Partnership Water4All (Grant Agreement n°101060874).