

SIMONA EPASTO – ALESSANDRO GALDELLI

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER LA GESTIONE
SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE.
CASO DI STUDIO: GORGOVIVO, ANCONA

Premessa. – L'espansione onnipresente di Internet, accoppiata all'emergere dell'Intelligenza Artificiale (IA) e della mobilità autonoma, sta profondamente ridefinendo il concetto di territorialità, oltre a influenzare in modo significativo le capacità cognitive umane e l'essenza stessa dell'esistenza. Questa trasformazione, che supera le tradizionali categorie scalari, pone una sfida intellettuale complessa per i geografi, che sono chiamati a rielaborare le teorie generali dell'innovazione e dei processi ad essa correlati, integrando nuove dinamiche messe in luce dalla ricerca geografica globale sulle innovazioni che destabilizzano gli ordinamenti convenzionali (Kitchin, 2014; Dodge, Kitchin, 2001).

Nel contesto italiano, opere seminali di geografia, come quelle di Conti (1989), hanno offerto contributi significativi al rinnovamento della conoscenza e dell'insegnamento geografico, evidenziando la diversità dei percorsi di sviluppo influenzati dalle specifiche modalità di organizzazione territoriale e dalle dinamiche proprie di ciascuna regione. In particolare, il lavoro di Conti ha anticipato alcune delle riflessioni centrali di Manuel Castells (1989), ritenute fondamentali per le scienze sociali, inclusa la geografia, sottolineando il ruolo cruciale dell'informazione, della creatività e della conoscenza - legate alla territorialità e alla loro diffusione - nel guidare i processi di innovazione.

L'avanzamento delle nuove tecnologie ha determinato, dunque, profondi cambiamenti nella produzione geografica, evidenziando la necessità di riconsiderare la disciplina geografica stessa. La complessificazione dello spazio, che ora abbraccia sia la dimensione materiale tradizionale sia quella virtuale o digitale, in cui l'interazione tra spazi tradizionali e virtuali diventa ricorsiva (Graham, 1998), richiede un ripensamento critico e una reinterpretazione della geografia alla luce delle nuove dinamiche introdotte da Internet e dalle innovazioni tecnologiche, quali l'intelligenza artificiale, che promettono di rivoluzionare ulteriormente gli spazi e le percezioni umane (Kellerman, Paradiso, 2007).

In questo contesto, la relazione tra le nuove tecnologie e il territorio si rivela profondamente dinamica e multidirezionale, influenzando sia l'impatto delle tecnologie sulla territorialità, sulle dinamiche relazionali e sulla rappresentazione spaziale, sia il contributo generativo del contesto locale nelle dinamiche di produzione e avanzamento della conoscenza e dell'innovazione. L'uso costante e diffuso di Internet nelle varie sfere sociali e individuali sottolinea sempre più l'intersezione tra il cyberspazio e il mondo tangibile, tra la dimensione fisica e quella virtuale, tra l'individuo e la macchina, vista come estensione dell'intelligenza umana ma anche come catalizzatore emotivo di comportamenti, delineando un nuovo paradigma di abitazione e concezione del pianeta (Paradiso, 2017).

La riflessione critica sul rapporto tra geografia e svolta digitale ha inizialmente esaminato le nuove possibilità di rappresentazioni geografiche offerte dalle tecnologie digitali avanzate e ha analizzato criticamente le implicazioni di tali pratiche analitiche, esplorando il cyberspazio come una dimensione geografica distinta, caratterizzata da logiche e assemblaggi sociotecnici specifici (Kitchin, 2014; Dodge, Kitchin, 2001). Recentemente, l'interrogativo geografico si è spostato verso la comprensione di come viviamo in questo nuovo spazio "esteso" (Graham, Zook, 2013).

Le questioni epistemologiche su come l'uso degli strumenti digitali stia alterando la struttura e il significato dei processi di conoscenza e condivisione del sapere si affiancano a interrogativi sociopolitici che indagano le trasformazioni delle relazioni di *governance* nello spazio pubblico, con particolare attenzione a nuove forme di partecipazione, imprenditorialità e governo (Tenney, Sieber, 2016; Alvarez León, Rosen, 2020).

Nell'ambito dell'evoluzione contemporanea, il concetto di "Innovazione Sociale Digitale" (DSI) emerge come riferimento a un variegato insieme di iniziative che integrano gli strumenti digitali nei meccanismi di innovazione sociale. Questo termine, che ha acquisito rilevanza nell'ultimo decennio, viene interpretato inizialmente come una semplice estensione dell'innovazione sociale tramite l'adozione delle tecnologie digitali (Mulgan, 2006; Caulier-Grice e altri, 2012). Tuttavia, studi più recenti attribuiscono alla DSI caratteristiche distintive, considerandola una forma d'azione con peculiarità proprie (Ozman, Gossart, 2019; Stokes e altri, 2020). Il progetto europeo H2020 "Digital Social Innovation for Europe" descrive la DSI come un'innovazione sociale e collaborativa in cui innovatori, utenti e comunità

utilizzano le tecnologie digitali per co-creare conoscenza e soluzioni per una vasta gamma di esigenze sociali, con una velocità e una scala inimmaginabili prima (Bria, Gascó, Kresin, 2014). In tale ottica, la DSI mira ad amplificare la capacità della società civile di identificare problemi, portarli all'attenzione pubblica e coinvolgere diversi stakeholder nella definizione e soluzione congiunta di tali problemi (Ozman, Gossart, 2018).

I progetti di DSI sostenuti dall'Unione Europea attraverso i programmi quadro FP7 e Horizon2020 hanno favorito un'ampia gamma di analisi e sperimentazioni, sebbene focalizzate prevalentemente sull'impiego di strumenti digitali per scopi sociali (Anania, Passani, 2014), con un interesse particolare per le applicazioni pilota volte al miglioramento della *governance* pubblica (Certomà, 2021). Tali iniziative si sono affiancate a numerose altre proposte da enti locali, associazioni, e reti di imprenditori sociali e innovatori digitali, spesso all'interno di *fab-labs* e *living-labs*.

Dal punto di vista tecnico, il progetto "Digital Social Innovation for Europe" ha individuato quattro aree principali di azione per le iniziative digitali a scopo sociale, includendo l'open hardware, le reti aperte, le piattaforme di open data e i sistemi per la conoscenza aperta, esemplificati da iniziative quali "Safecast", "Guifi.net", "OpenCorporates" e "Open Ministry" (Bria, Gascó, Kresin, 2014). Nonostante l'importanza degli aspetti tecnici, è fondamentale riconoscere che le iniziative di DSI sono intrinsecamente "sociali" sia nei mezzi che nei fini, orientate alla risoluzione di problemi collettivi o al contributo verso obiettivi comuni (Murray e altri, 2010; Léveques, 2001), come dimostrato da esempi quali "Fairphone" e la "Open Knowledge Foundation".

L'interesse crescente per approcci decentralizzati e locali nell'affrontare sfide sociali e ambientali, incluse minacce globali come il cambiamento climatico, ha portato a considerare le città come contesti privilegiati per le iniziative di DSI (van der Have, Rubalcaba, 2016; Hall, Pfeiffer, 2013; Barcelona Activa, 2018). La ricerca sulle dimensioni spaziali della DSI si è finora concentrata sulle condizioni che favoriscono l'emergere di tali iniziative e sul loro impatto economico territoriale (Dawson, Daniel, 2010; Cajaiba-Santana, 2014), considerando l'ambiente urbano come un ecosistema fertile per l'innovazione digitale (Whittle, Kogler, 2019; Bučar, Rissola, 2018).

Tuttavia, l'approccio della geografia critica offre strumenti concettuali per esplorare la relazione complessa e problematica tra DSI e le molteplici spazialità urbane, tenendo conto di come le rappresentazioni, le riproduzioni

e le dinamiche di potere influenzino e siano influenzate dalle iniziative di DSI (Castells, 1996; Amin, 2002; Ash e altri, 2018). In questo contesto, emerge la necessità di un'indagine critica che decostruisca le narrazioni e le pratiche di DSI per comprendere il loro significato politico, gli obiettivi sociali e il loro ruolo nei processi di riproduzione urbana, rivelando come, oltre ad essere un terreno di conquista del capitalismo digitale, le città fungano da incubatori per l'impegno critico dei cittadini (Van Dijk, Hacker, 2003; Selwyn, 2004; Warschauer, 2004; Calzada, Cobo, 2015; Misuraca, Pasi, Urzi Brancati, 2017; Bendiek e altri, 2019; de Rosnay, 2006; Cangiano, Romano, 2017; Addari, Lane, 2014).

Framework teorico. – L'avanzamento delle tecnologie genera un impatto significativo sui territori, rivelando nuove sfide e opportunità per la comunità scientifica, in particolare per i geografi. Questa evoluzione offre strumenti preziosi per l'analisi dei cambiamenti, richiedendo però un'attenta gestione sostenibile delle risorse idriche. È urgente avallare piani gestionali e i dispositivi di sorveglianza per promuovere un uso consapevole dell'acqua e la salvaguardia degli ecosistemi acquatici, coinvolgendo comunità locali e organizzazioni a vari livelli (Pagani, 2004; Vallerani, 2014, 2019).

L'attuale configurazione economica è insostenibile anche a causa del deterioramento delle risorse idriche, generando incertezze politiche, economiche, sociali e ambientali legate alla *governance* dell'acqua (Dematteis, Nardelli, 2022; Legambiente, 2023). Le dinamiche del consumo eccessivo e dell'espansione illimitata influenzano i processi di territorializzazione, espressioni delle dinamiche sociali ed economiche (Giordano, Wolf, 2002; Yoffe e altri, 2004; Amery, Wolf, 2010; Agnew, 2011; Komara, 2018; Le Pautremat, 2020). Le risorse idriche affrontano trasformazioni e sfide, spesso utilizzate in modo non sostenibile rispetto alle condizioni ambientali e climatiche attuali. La cooperazione transcalare, multidisciplinare e multisettoriale è fondamentale per un'azione sostenibile concertata. Diventa dunque essenziale adottare metodologie analitiche avanzate, strumenti tecnologici innovativi e prassi efficaci per generare conoscenza e inaugurare un nuovo regime gestionale delle risorse idriche. Le attuali tecnologie non solo trasformano i processi sociali esistenti, ma aprono a prospettive evolutive che considerano le infrastrutture e i programmi per un uso sostenibile dell'acqua (Graham, Dutton, 2014; Barns, 2019; Richardson, Bissell, 2019).

Ciononostante, in assenza di infrastrutture adeguate, l'utilizzo di tali strumenti potrebbe condurre, a causa di feedback negativi sistemici, a ripercussioni ambientali, sociali e politiche di lunga durata. Pertanto, le nuove tecnologie possono concorrere significativamente al miglioramento della gestione delle risorse idriche, purché vi sia un investimento territoriale volto a massimizzare gli effetti connessi all'innovazione tecnologica.

La contingente situazione mutata dei cambiamenti climatici ha reso imperativo l'utilizzo sostenibile delle risorse naturali, con particolare enfasi sull'elemento acqua, rendendolo più necessario che mai. Il diritto all'acqua potabile e alla sanificazione di base si erige come un diritto inalienabile dell'essere umano, rappresentando un pilastro fondamentale per la totalità delle sfere dello sviluppo sociale, economico ed ambientale. La quantificazione dell'acqua potabile sicura si rivela di un valore inestimabile, imponendo l'indispensabile necessità di tutelare tale risorsa e di adoperarla con estrema saggezza e discernimento. A causa di infrastrutture inadeguate o di una gestione economica inappropriata, annualmente milioni di individui, in prevalenza infanti, soccombono a patologie correlate a forniture idriche inadeguate, a sistemi di sanificazione insufficienti e a livelli di igiene non idonei. I leader mondiali, aderendo alla visione delineata dall'Agenda 2030 dell'ONU per lo Sviluppo Sostenibile, si sono solennemente impegnati a eradicare la povertà, a salvaguardare il pianeta e a garantire che ogni persona possa fruire di pace e prosperità. Tale agenda prescrive un insieme di diciassette obiettivi, tra i quali spicca per importanza il sesto, che enfatizza l'importanza cruciale dell'accessibilità e della sicurezza dell'acqua per l'umanità. L'Agenda 2030 Europea, abbracciando una strategia olistica per lo sviluppo sostenibile all'interno del continente, si allinea agli obiettivi delineati dalle Nazioni Unite, riconoscendo l'acqua come risorsa cardine, fondamentale per sostenere diversi aspetti dell'esistenza umana, dell'ambiente e dello sviluppo socioeconomico. L'eventualità di non realizzare le proiezioni previste dall'Obiettivo 6 entro il 2050 prefigura che circa un quarto della popolazione mondiale si troverà a confrontarsi con gravi ripercussioni a causa della penuria di acqua potabile. Si presuppone che l'intervento tecnologico rivestirà un ruolo di straordinaria importanza nel conseguimento degli obiettivi di sostenibilità. L'innovazione nelle metodologie di gestione delle acque sotterranee assistite tecnologicamente ha registrato un incremento

significativo nell'impiego di sensori di nuova concezione, favorendo un monitoraggio e una raccolta dati migliorati. Questi sensori, mediante misurazioni continue e accurate, forniscono dati preziosi per la comprensione delle dinamiche delle acque sotterranee e per la promozione di decisioni consapevoli relative alle attività di consumo. L'incremento della disponibilità di dati in tempo reale impone la necessità di sviluppare algoritmi avanzati capaci di prevedere e analizzare con precisione il Livello delle Acque Sotterranee (Groundwater Level- GWL). Tali algoritmi avanzati, addestrati su serie storiche di dati provenienti dai sensori, sono in grado di identificare modelli e correlazioni all'interno dei dati, consentendo previsioni accuratissime del GWL in tempo reale. L'interrelazione tra i livelli GWL storici e futuri facilita la valutazione delle risorse idriche disponibili, la gestione della loro allocazione, la previsione degli impatti del prelievo sugli acquiferi, la comprensione delle ripercussioni dei cambiamenti climatici e dell'urbanizzazione, e l'elaborazione di strategie idriche efficaci per un utilizzo sostenibile. L'incorporazione di questi sistemi di supporto decisionale nelle politiche di *governance* favorisce in maniera ottimale sia la pianificazione urbana che, in ultima analisi, la conservazione dell'acqua. In tale contesto, l'impiego dell'Intelligenza Artificiale potrebbe sostenere efficacemente il monitoraggio e la gestione delle risorse idriche superficiali e sotterranee. I modelli IA, elaborando grandi volumi di dati multidimensionali, sono capaci di descrivere e apprendere schemi strutturali, offrendo così intuizioni preziose e previsioni basate sui dati per una pianificazione efficiente. Di conseguenza, si propone uno studio finalizzato allo sviluppo di un sistema basato sull'IA capace di prevedere il livello della sorgente di Gorgovivo.

L'urgente necessità di affrontare le sfide legate alla gestione sostenibile delle risorse idriche ha spinto la comunità scientifica e tecnologica ad esplorare soluzioni innovative che possano offrire un contributo significativo al raggiungimento degli obiettivi e delle strategie di sostenibilità dell'Agenda 2030 dell'ONU. In questo contesto, l'IA emerge come una potente alleata, offrendo strumenti avanzati per la raccolta, l'analisi e la gestione dei dati idrici in modo efficiente ed efficace. Attraverso l'impiego di algoritmi di apprendimento automatico e reti neurali, l'IA consente, infatti, una previsione accurata della domanda idrica, facilitando la pianificazione e l'allocazione ottimali delle risorse.

Inoltre, l'integrazione di sensori intelligenti e sistemi di monitoraggio permette un controllo in tempo reale delle risorse idriche, migliorando la capacità di risposta a variazioni ambientali ed emergenze.

Scopo della ricerca è esaminare come l'IA possa ottimizzare i processi di trattamento e distribuzione dell'acqua, riducendo gli sprechi e migliorando l'efficienza energetica degli impianti idrici; l'utilizzo di modelli predittivi basati su dati storici e variabili ambientali consente, infatti, una gestione proattiva delle risorse, contribuendo così alla conservazione e alla sostenibilità a lungo termine delle stesse. In questa prospettiva verrà adottato un sistema basato sull'IA in grado di prevedere il livello delle acque sotterranee della sorgente di Gorgovivo (AN), utilizzando i dati storici della stessa, del livello del fiume Esino e delle stazioni pluviometriche. Il modello di IA proposto è basato sull'algoritmo predittivo *Prophet*, progettato specificamente per gestire applicazioni di previsione di serie temporali; come da noi adattato, il modello predittivo è stato valutato utilizzando i criteri *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Squared Error* (MSE) e *Correlation*.

Stato dell'arte. – L'aumento della domanda di risorse idriche e la ricerca di soluzioni ecocompatibili hanno spinto verso l'adozione di metodi innovativi nella gestione delle acque. L'Intelligenza Artificiale si è rivelata una risorsa promettente per prevedere e gestire la disponibilità e la qualità delle risorse idriche. Tradizionalmente, per modellare il Livello delle Acque Sotterranee si utilizzavano metodi numerici, ma recentemente le tecniche di IA sono state largamente impiegate grazie alla loro efficacia nel trattare la natura non lineare e variabile delle serie temporali di GWL. La letteratura scientifica ha esplorato vari modelli previsionali per le serie temporali di GWL, inclusi modelli come *Auto Regressive Integrated Moving Average* (ARIMA), *Long Short-Term Memory* (LSTM) e le Reti Neurali Artificiali (RNA), oltre a combinazioni come ARIMA-LSTM.

Tao (2024) ha eseguito una *metareview* su oltre cento pubblicazioni dal 2008 al 2020, analizzando modelli di apprendimento automatico (o *machine learning*) per la modellazione di GWL, evidenziando punti di forza e debolezze di ogni modello e le sfide nella previsione di GWL. I metodi di apprendimento automatico hanno mostrato eccellenti prestazioni nella previsione delle serie temporali di GWL, rivelando abilmente le complesse relazioni non lineari tra input e output (Khan e altri, 2023).

Confronti tra metodi hanno dimostrato che i metodi di *machine learning* superano le tecniche numeriche tradizionali. L'analisi bibliometrica (Afrifa e altri, 2023) ha evidenziato come tecniche come *Random Forest* (RF), *Support Vector Machine* (SVM) e tecniche di apprendimento profondo come ANN superino in accuratezza i modelli matematici tradizionali. Ren e altri (2022) hanno notato che, sebbene il *deep learning* sia efficace nel gestire variazioni dinamiche, presenta difficoltà nel trattare tendenze e variazioni stagionali.

Tuttavia, modelli come ARIMA sono eccellenti nel catturare tendenze e stagionalità, suggerendo che i modelli tradizionali possano essere più adatti per previsioni di GWL. Questi studi incoraggiano l'esplorazione di nuove tecniche di apprendimento automatico nella comunità scientifica.

Mentre RF e SVM non sono ottimizzate per trattare la natura temporale e stagionale dei dati di GWL, le ANN richiedono una progettazione accurata per prevedere serie temporali. Emergono così esigenze di metodi di previsione rapidi, accurati e adattabili, particolarmente efficaci per serie temporali con forti variazioni stagionali. Il modello *Prophet* (Taylor, Letham, 2017), un framework open-source di apprendimento automatico rilasciato da Meta di Facebook, è stato progettato specificatamente per la previsione di serie temporali, focalizzandosi sulla stagionalità, tendenze e variazioni per festività, includendo anche la stima dell'incertezza, cruciale nella gestione delle acque sotterranee.

La ricerca condotta da Zarinmehr e altri (2022) ha messo a confronto il modello *Prophet* con altri metodi consolidati quali ARIMA, la Regressione Adattiva Multivariata (MARS) ed *Error Trend and Seasonality* (ETS), utilizzando dati satellitari per analizzare e prevedere il Livello delle Acque Sotterranee (GWL) nel bacino del lago Urmia in Iran. Il modello *Prophet* ha dimostrato superiorità rispetto agli altri, evidenziando coefficienti di determinazione (R^2) più elevati e un minor grado di errore nelle sue previsioni.

Parallelamente, uno studio simile condotto da Aguilera e altri (2019) nell'area umida Ramsar di Doñana, in Spagna, ha rivelato che il modello *Prophet* possiede notevoli capacità predittive per le serie temporali di GWL. Questa ricerca ha sottolineato l'efficacia di metodi basati su schemi additivi, come ARIMA e *Prophet*, nell'elaborazione di serie temporali di GWL. In particolare, *Prophet* si è distinto per la sua abilità nell'identificare diverse periodicità, nell'intercettare la stagionalità legata a eventi specifici, e nella gestione di relazioni non lineari. Si è inoltre evidenziata la sua facilità di utilizzo e la capacità di integrare regressori esterni (Taylor, Letham, 2017).

Questi risultati ispirano il nostro lavoro, in cui ci proponiamo di sviluppare un prototipo di supporto basato sull'IA e per la previsione di GWL, adottando il modello *Prophet*. L'obiettivo è quello di fornire previsioni più precise e flessibili, contribuendo in modo significativo alla gestione sostenibile delle risorse idriche sotterranee.

Descrizione sito caso di studio. – La maestosa compagine della sorgente Gorgovivo s'innalza immediatamente a valle della Gola della Rossa, all'interno dei confini del comune di Serra San Quirico, sito nella provincia di Ancona, nel cuore della regione Marche, in Italia. La vetta è alimentata da un'aggregazione di efflussi che erompono maestosamente dalla roccia per confluire con grazia nell'alveo del fiume Esino, fungendo da canali privilegiati attraverso i quali l'essenza vitale dell'acqua si manifesta dalla roccia per amalgamarsi con le acque del fiume. Il compendio sorgentizio di Gorgovivo si articola attualmente in due principali strutture di captazione: l'opera maggiormente preminente consta di una dozzina di pozzi di captazione, interconnessi tramite un tunnel di accesso ramificato che si snoda per l'ammontare di circa 1,6 chilometri nel seno del massiccio calcareo. La seconda struttura, eretta nella metà degli anni Novanta del secolo scorso, vanta un tunnel dislocato a valle della briglia fluviale, che si prolunga per una lunghezza di circa 160 metri al di sotto di uno strato alluvionale composto da ghiaie e sabbie cementate che sovrastano la formazione calcarea, ad un'altitudine media di 155 metri sopra il livello del mare. L'acqua che zampilla dalla sorgente trae origine da un bacino idrografico esteso su circa 200 chilometri quadrati, nonché da un acquifero incastonato nelle rocce calcaree fratturate. Le acque di questo bacino si insinuano attraverso percorsi sia sotterranei sia superficiali, emergono con la maestà di una sorgente e si riversano nel fiume Esino. Il flusso naturale di queste sorgenti oscilla tra un estremo minimo di 1.800 litri al secondo ed un apice massimo di 4.000 litri al secondo. L'acqua così raccolta viene indirizzata attraverso un tunnel sotterraneo, lungo pressappoco 1.200 metri, fino al primigenio serbatoio di carico dell'acquedotto adduttrice, ubicato in prossimità della zona industriale di Serra San Quirico, a un'altitudine di 156 metri rispetto al livello del mare.

La sorgente Gorgovivo si trova a valle della Gola della Rossa, nel comune di Serra San Quirico, provincia di Ancona, Marche, Italia. Alimentata da efflussi che sgorgano dalla roccia, questa sorgente si unisce al

fiume Esino. Gorgovivo comprende due principali strutture di captazione: una con una dozzina di pozzi interconnessi tramite un tunnel di 1,6 km e un'altra, costruita negli anni '90, con un tunnel di 160 metri sotto strati alluvionali a un'altitudine di 155 metri. L'acqua proviene da un bacino idrografico di circa 200 km² e da un acquifero nelle rocce calcaree. Il flusso naturale varia tra 1.800 e 4.000 litri al secondo. L'acqua viene convogliata attraverso un tunnel di 1.200 metri fino al serbatoio di carico dell'acquedotto vicino alla zona industriale di Serra San Quirico, a 156 metri di altitudine.

Il Consorzio Gorgovivo: storia, dinamiche territoriali e direttive strategiche. – Il Consorzio di Gorgovivo, costituito da venti municipalità, di cui diciotto situate nella provincia di Ancona e due nella provincia di Macerata, riveste il ruolo di entità proprietaria, assumendo pertanto la responsabilità della gestione e dell'amministrazione dei beni associati al complesso sorgentizio di "Gorgovivo", localizzato nel territorio comunale di Serra San Quirico, nonché delle infrastrutture di adduzione verso i serbatoi municipali. Oltre a ciò, si prefigge l'obiettivo di amministrare gli impianti e le reti di distribuzione idrica e di gas metano, le infrastrutture fognarie, gli impianti di trattamento delle acque reflue, insieme agli impianti connessi e accessori, i quali costituiscono parte del patrimonio conferito in proprietà indivisa ai Comuni consorziati.

La genesi del Consorzio Acquedotto Valle dell'Esino (C.A.V.E.), avvenuta nel 1963 per iniziativa di diverse municipalità tra cui Ancona, Chiaravalle, Falconara Marittima, Jesi, Monsano, Monte San Vito, Montemarciano e Senigallia, aveva l'obiettivo primario di realizzare un acquedotto finalizzato al trasporto dell'acqua di sorgente verso i comuni coinvolti. Successivamente alla conclusione di tale impresa, il Consorzio ha esteso il proprio ambito operativo alla gestione integrata del ciclo idrico, abbracciando le fasi di captazione, distribuzione dell'acqua potabile, raccolta e trattamento delle acque reflue nel contesto dei comuni associati.

Le trasformazioni normative relative ai servizi pubblici locali, intervenute nell'arco degli ultimi decenni, hanno condotto nel 2001 alla segregazione della gestione del servizio idrico dal Consorzio, con l'attribuzione di tale competenza a una società specificamente costituita per tale scopo, inizialmente denominata Multiservizi S.p.A. e successivamente rinominata VIVA Servizi S.p.A. L'iniziativa promossa da Gorgovivo rappresenta un'aggregazione caratterizzata dall'acqua come elemento centrale, simbolo

di civiltà e risorsa vitale da amministrare con saggezza. Tale collaborazione ebbe origine nel decennio degli anni '60, allorché otto enti municipali della provincia di Ancona (specificamente Ancona, Chiaravalle, Falconara Marittima, Jesi, Monsano, Montemarciano, Monte San Vito e Senigallia) confluirono in un'alleanza istituendo il Consorzio per l'edificazione dell'Acquedotto della Valle dell'Esino (C.A.V.E.), destinato alla realizzazione di infrastrutture volte ad assicurare l'approvvigionamento idrico alla regione sotto la loro giurisdizione.

Proveniente dal complesso idrico di Gorgovivo, l'obiettivo era di erigere le opere necessarie per fornire l'acqua ai rispettivi territori. Di conseguenza, furono intrapresi i lavori per la costruzione di un vasto sistema, che includeva tre chilometri di gallerie, tredici pozzi, settantacinque chilometri di condotte idriche e quattordici serbatoi, capaci di distribuire oltre trentacinque milioni di metri cubi di acqua annui.

In un'epoca segnata dalla rinascita post-bellica e dall'espansione industriale, l'acqua si rivelava essenziale per le comunità, testimoni dell'espansione urbana e dello sviluppo di nuove aree artigianali e industriali. L'incremento delle condizioni di vita, parallelo alla promessa di pari opportunità indipendentemente dalla località di residenza, rifletteva un'epoca di ottimismo e fiducia nel progresso ininterrotto, con l'acqua corrente e l'energia elettrica a simboleggiare i motori dell'innovazione e dello sviluppo economico. Emblematica fu l'iniziativa, avviata nei primi anni '70, di Ancona e di altri comuni provinciali di sviluppare e gestire la rete di distribuzione del gas metano. In quegli anni, caratterizzati da una visione progressista e collaborativa, i municipi seppero oltrepassare i confini territoriali per istituire il Consorzio, un organismo intercomunale per la gestione delle risorse territoriali, che tra il 1970 e il 1979 avanzò dai progetti preliminari per l'utilizzo della sorgente alla concretizzazione delle opere di captazione, nonostante le complessità tecniche inerenti alla natura delle sorgenti stesse. Va ricordato che il Consorzio deteneva la proprietà delle strutture e delle reti per la captazione e distribuzione dell'acqua e del gas metano, nonché delle infrastrutture fognarie e degli impianti di trattamento delle acque reflue, oltre agli impianti accessori, assegnati dai comuni consorziati.

Successive deliberazioni, in particolare quella dell'Assemblea Consorziale del 1° dicembre 2005, hanno inaugurato un percorso di riforma del Consorzio, proposto dal Consiglio di amministrazione,

prevedendo la cessione delle infrastrutture e delle reti relative al servizio idrico integrato e al gas metano, ad eccezione delle opere di captazione e delle grandi infrastrutture di trasporto iniziale, nonché della titolarità delle concessioni per la captazione idrica.

Dall'inizio del nuovo millennio a oggi, il Consorzio ha visto un'espansione significativa, passando dagli otto comuni fondatori ai venti attuali, testimoniando un radicamento profondo nel tessuto territoriale. Questa evoluzione non è stata frutto di mere formalità giuridiche, ma il risultato di un impegno costante per la modernizzazione e lo sviluppo del territorio, sottolineando l'importanza dell'acqua non solo come risorsa naturale ma anche come catalizzatore di cooperazione e progresso comunitario.

I Comuni associati al Consorzio, a tutt'oggi, sono dunque 20 e detengono il 100% delle quote del capitale sociale:

Tab. 1 – *Comuni associati al Consorzio Gorgovivo*

Comuni soci	Quote %	Comuni soci	Quote %
Agugliano	0.76923	Jesi	7.47320
Ancona	45.76884	Matelica	0.19744
Belvedere ostrense	1.12842	Monsano	2.27975
Camerano	2.96471	Monte san vito	2.53639
Camerata picena	0.55665	Montemarciano	3.29639
Cerreto desi	0.19744	Morro d'alba	0.90773
Chiaravalle	4.38984	Offagna	0.53003
Esanatoglia	0.19744	Polverigi	0.82553
Falconara marittima	5.01116	San Marcello	0.91875
Genga	0.19744	Senigallia	19.85365

Fonte: elaborazione degli autori da <https://gorgovivo.it/index.php>

Nell'ambito delle trasformazioni che hanno caratterizzato il contesto di riferimento recente, l'Assemblea dei Sindaci ha proceduto ad una revisione della missione del Consorzio, delineando nuove direttive strategiche (tab.2).

Tab. 2 – Strategie di gestione idrica e ottimizzazione delle risorse nelle Marche

Punto	Obiettivo/Attività	Dettagli/Azioni
1	Salvaguardia dell'acqua proveniente dalla fonte di Gorgovivo	a) Tutela delle zone di protezione e salvaguardia delle aree di captazione principali e delle infrastrutture. b) Analisi approfondite dell'acquifero di Gorgovivo e delle sue zone di salvaguardia. c) Incremento e affinamento del monitoraggio con metodologie idrogeologiche avanzate e l'uso di Intelligenza Artificiale per la modellizzazione. d) Potenziamiento del sistema di sorgenti.
2	Ottimizzazione e innovazione nell'identificazione e nello sviluppo di nuove risorse idriche nell'Ambito Territoriale n. 2 Marche Centro-Ancona	a) Realizzazione di studi di fattibilità per nuovi bacini artificiali. b) Programmi di ricerca per quantificare le riserve idriche sotterranee. c) Sviluppo di pozzi esplorativi a Sant'Emiliano nel Comune di Sassoferrato (AN).
3	Amministrazione degli asset patrimoniali affidati dai Comuni consorziati	Gestione e cessione in comproprietà di reti e impianti per il servizio idrico integrato e gas, con l'obiettivo di regolarizzare le documentazioni.

Fonte: elaborazione degli autori su dati del Consorzio Gorgovivo

Queste linee di azione riflettono l'impegno del Consorzio verso una gestione responsabile e innovativa delle risorse idriche, in linea con i principi di sostenibilità ambientale e di investimento sul territorio, garantendo al contempo la regolamentazione e l'ottimizzazione degli asset patrimoniali in collaborazione con i Comuni consorziati.

Dinamiche transcalari e tutela giuridica: dal PNRR al milieu territoriale locale. – Nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, la Quarta Componente della Seconda Missione si dedica esplicitamente alla "Salvaguardia dell'ambiente e delle risorse idriche", riflettendo il riconoscimento dell'Italia come una Nazione la cui bellezza è contraddistinta da una concomitante fragilità. Tale fragilità è stata messa a dura prova dagli effetti dei cambiamenti climatici, dal rischio idrogeologico e da svariate manifestazioni di contaminazione ambientale.

In questo contesto, l'obiettivo primario della suddetta componente è quello di implementare un insieme di misure proattive volte a incrementare la resilienza del territorio nazionale agli impatti dei cambiamenti climatici, assicurando al contempo la protezione della biodiversità e degli ecosistemi. Ciò presuppone l'istituzione di un *framework* avanzato e sistematico per il monitoraggio e l'analisi predittiva, basato sull'impiego di tecnologie all'avanguardia in ambito di rilevazione e gestione dati, inclusi quelli derivanti da piattaforme satellitari, al fine di

identificare con prontezza potenziali minacce e valutarne gli effetti sul tessuto naturale e infrastrutturale del Paese, per delineare di conseguenza strategie di intervento adeguate.

Le risorse finanziarie allocate per questa componente si prefiggono di attenuare e controllare più efficacemente i rischi associati al dissesto idrogeologico, un fenomeno in ascesa che ha accentuato l'urgenza di adottare un approccio integrato, che copra tanto la pianificazione e la prevenzione quanto la gestione delle crisi. Gli interventi previsti mirano a un'azione comprensiva che interessi la gestione delle foreste, del suolo, del mare e dell'atmosfera, con l'intento di elevare la qualità della vita e il benessere della popolazione attraverso la conservazione delle aree naturali preesistenti e la creazione di nuove.

Una specifica enfasi è posta sulla sicurezza, l'approvvigionamento e la gestione sostenibile del ciclo idrico completo, attraverso interventi di manutenzione straordinaria degli invasi e la finalizzazione dei grandi progetti idrici non ancora completati. Ciò include il miglioramento delle condizioni ecologiche e chimiche delle acque, la gestione integrata delle risorse idriche a livello di bacino e un'allocazione efficace dell'acqua fra i diversi settori di utilizzo, quali quello urbano, agricolo, idroelettrico e industriale.

In questa cornice, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica si impegna direttamente, con esclusività, in determinate riforme e investimenti che cadono sotto questa componente, delineando un percorso chiaro verso la realizzazione di una gestione idrica sostenibile e il miglioramento dello stato ambientale delle acque interne e marittime.

Nell'ambito della Quarta Componente della Seconda Missione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, la Misura 4 si impegna a promuovere un approccio olistico alla gestione delle risorse idriche, assicurando che tale gestione sia sostenibile attraverso l'intero ciclo idrico. Questo obiettivo comprende interventi di manutenzione straordinaria degli invasi e il completamento di progetti idrici di grande portata ancora non ultimati, al fine di elevare gli standard di qualità ecologica e chimica delle acque. Si mira, inoltre, a ottimizzare la gestione delle risorse idriche a livello di bacino e a realizzare un'allocazione efficiente dell'acqua tra i diversi settori di utilizzo, quali quello urbano, agricolo, idroelettrico e industriale.

Tale iniziativa è volta a mitigare e a gestire in modo più efficace il rischio idrogeologico, una problematica in ascesa nel Paese, sottolineando l'importanza di un'azione coordinata che integri la pianificazione e la prevenzione con la gestione delle emergenze. Parallelamente, si punta alla

conservazione delle aree verdi e alla protezione della biodiversità, aspetti che rappresentano una priorità per l'Unione Europea. Quest'ultima, attraverso la "Strategia per la biodiversità entro il 2030", ambisce a elaborare un piano per il restauro degli ecosistemi, con l'obiettivo di migliorare lo stato di salute delle aree protette, sia quelle esistenti che quelle di nuova istituzione, e di reintrodurre una diversità biologica e una resilienza ecologica in vari paesaggi ed ecosistemi.

Affinché tali obiettivi siano conseguiti, è essenziale che gli investimenti siano accompagnati da un'azione riformatrice che potenzi la *governance* del servizio idrico integrato. Questo comporta l'assegnazione del servizio a enti gestori che dimostrino efficienza nelle aree del paese dove questo non è ancora stato realizzato e, se necessario, il supporto agli enti coinvolti con le competenze industriali adeguate all'attuazione degli interventi pianificati.

In questo contesto, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) si assume la responsabilità diretta di specifiche attività all'interno di questa Misura, tra cui l'Investimento 4.4, focalizzato sugli investimenti in fognatura e depurazione, e la Riforma 4.2, che mira a garantire la piena efficienza gestionale dei servizi idrici integrati. Questi sforzi congiunti rappresentano un passo cruciale verso il raggiungimento di una gestione idrica sostenibile e il miglioramento complessivo della qualità ambientale delle acque interne e marittime.

La Riforma 4.2, inserita all'interno della strategia di ammodernamento dei servizi idrici integrati, persegue l'obiettivo di superare le criticità legate alla gestione delle risorse idriche, incrementandone l'efficienza attraverso una serie di interventi normativi e organizzativi. Essa mira a ridurre la frammentazione degli enti operanti nel settore idrico, una condizione che attualmente pregiudica l'ottimale utilizzo delle risorse idriche in determinate aree geografiche del Paese. La riforma prevede l'introduzione di meccanismi incentivanti per l'uso razionale dell'acqua, in particolare nel settore agricolo, attraverso l'implementazione di un sistema sanzionatorio per le estrazioni illecite e un regime tariffario che meglio rifletta il principio del "chi inquina paga", limitando al contempo l'espansione dei sistemi irrigui esistenti (tab. 3).

Tab. 3 – *Iniziative per l'integrazione e la sostenibilità nel settore idrico*

Misura	Obiettivo	Dettagli/Azioni
1	Attenuare la frammentazione degli attori nel settore idrico	Adozione di norme e meccanismi di aggregazione che favoriscano l'integrazione degli attuali operatori autonomi all'interno di un'unica entità gestionale per ciascun Ambito Territoriale Ottimale.
2	Incoraggiare pratiche agricole sostenibili in termini di gestione idrica	Sostegno all'adozione del Sistema Comune di Gestione delle Risorse Idriche (SIGRIAN) per l'irrigazione collettiva e l'autoapprovvigionamento.
3	Stabilire un sistema di tariffe regolamentate che consideri l'impatto ambientale	Introduzione di tariffe che riflettano adeguatamente l'impatto ambientale e l'inquinamento, in linea con il principio "chi inquina paga".
	Rinnovamento del quadro normativo	
-	Istituzione di sanzioni per le estrazioni non autorizzate di acqua	Implementazione di sanzioni specifiche per contrastare le estrazioni illegali di acqua, garantendo il rispetto delle normative vigenti.
-	Richiesta di valutazioni d'impatto ambientale	Obbligo di sottoporre a valutazione d'impatto ambientale i progetti che possono influenzare i corpi idrici, in conformità con la Direttiva Quadro sulle Acque, per valutare gli effetti potenzialmente cumulativi.
-	Prevenzione dell'espansione dei sistemi irrigui esistenti	Limitazione dell'espansione fisica e del volume d'acqua utilizzato dai sistemi irrigui esistenti, soprattutto in aree dove i corpi idrici sono o rischiano di trovarsi in condizioni sub-ottimali a causa degli effetti dei cambiamenti climatici.

Fonte: elaborazione degli autori su dati del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica

Ovviamente tali azioni saranno realizzate in via prioritaria in collaborazione con le Regioni dove la gestione delle risorse idriche presenta maggiori difficoltà (Campania, Calabria, Molise e Sicilia), con l'obiettivo di consolidare gli operatori in entità uniche per ogni 40.000 abitanti, favorendo così economie di scala e una gestione più efficiente delle risorse idriche.

Con riferimento al territorio oggetto dello studio, bisogna rifarsi al protocollo PNRR - M2C4-3 ed alla Strategia Regionale di Sviluppo Sostenibile (SRSvS) della Regione Marche, ratificata nel Dicembre 2021, la quale articolando il proprio intervento in sinergia con gli obiettivi delineati dalla Strategia Nazionale e dall'Agenda 2030, propone un percorso per l'attuazione di politiche di sviluppo sostenibile a livello regionale (Regione Marche, 2021). La formulazione della SRSvS è stata guidata dalle direttive stabilite dalla Cabina di regia, organo preposto alla *governance* del processo, e si è avvalsa di un processo partecipativo che ha visto un'ampia mobilitazione degli attori della società civile, al fine di garantire un approccio inclusivo e rappresentativo delle diverse realtà e necessità territoriali.

Fig. 1 – Logo della SRSvS Regione Marche



Fonte: Regione Marche, <https://www.regione.marche.it/Entra-in-Regione/Sviluppo-Sostenibile/Strategia-Regionale-Sviluppo-Sostenibile>

La Strategia Regionale di Sviluppo Sostenibile (SRSvS) è stata articolata aderendo a un paradigma di innovazione di processo, il quale prevede l'integrazione sinergica di quattro principali domini d'intervento: il sociale, l'ambientale, l'economico e l'istituzionale. Questo approccio multidimensionale mira a trascendere la tradizionale segmentazione per settori, promuovendo una visione olistica dello sviluppo sostenibile.

All'interno di questo quadro strategico, la SRSvS ha identificato cinque direzioni strategiche, supportate da elementi catalizzatori denominati vettori di sostenibilità. Queste direzioni si articolano in 19 obiettivi specifici, per i quali sono state delineate le relative azioni attuative. La Strategia pone inoltre un accento particolare sulla resilienza territoriale, identificando tre assi principali di intervento.

Fig. 2 – SRSvS Regione Marche



Fonte: Regione Marche, <https://www.regione.marche.it/Entra-in-Regione/Sviluppo-Sostenibile/Strategia-Regionale-Sviluppo-Sostenibile>.

Nell’ambito della Scelta Strategica B, intitolata “Obiettivi di Fronteggiamento dei Cambiamenti Climatici”, la strategia si dedica alla gestione delle sfide poste dai cambiamenti climatici e alle conseguenti disparità socioeconomiche ad essi correlate, partendo dal presupposto, già ampiamente discusso, che i cambiamenti climatici inducono perturbazioni negli ecosistemi che, a loro volta, si ripercuotono in maniera complessa e talvolta imprevedibile sulla struttura sociale ed economica. Fenomeni estremi, unitamente a variazioni progressive quali l’ascensione del livello marino, incidono sulla funzionalità degli ecosistemi, causando una degradazione del loro valore intrinseco, sia sotto il profilo ambientale che produttivo e sociale.

La strategia regionale prevede, pertanto, l’implementazione di politiche di mitigazione finalizzate alla diminuzione delle emissioni di gas serra, nonché lo sviluppo di strategie di adattamento per rispondere efficacemente agli stress derivanti dalle mutate condizioni climatiche. L’intento è quello di incrementare la resilienza sociale attraverso l’elaborazione di piani che facilitino l’adattamento delle economie locali e delle comunità ai cambiamenti climatici, assicurando una transizione verso una gestione più sostenibile e inclusiva delle risorse ambientali.

Fig. 3 – *SRSpS, Scelta Strategica B: Obiettivi Cambiamento Climatico*



Fonte: Regione Marche, <https://www.regione.marche.it/Entra-in-Regione/Sviluppo-Sostenibile/Strategia-Regionale-Sviluppo-Sostenibile>

La tabella 4 riassume sia gli obiettivi principali e le strategie proposte per la tutela degli ambienti acquatici e la gestione sostenibile delle risorse idriche e marine, evidenziando la necessità di interventi infrastrutturali, di gestione e di pianificazione strategica per affrontare le sfide, sia quelli legati all'aumento della resilienza sociale delle comunità e delle imprese agli eventi ambientali straordinari:

Tab. 4 – *Strategie e obiettivi per la tutela ambientale e la resilienza sociale*

Codice	Obiettivo	Descrizione	Azione/Strategia
B.1	Tutela degli ambienti acquatici e qualità delle acque	Garantire la disponibilità e la qualità delle acque in linea con le esigenze del territorio.	Efficientamento delle reti di distribuzione. Monitoraggio innovativo delle perdite. Miglioramento delle infrastrutture per ridurre sprechi. Promozione del risparmio idrico.
B.1.1	Promozione della corretta gestione e riutilizzo dell'acqua	Affrontare la carenza idrica attraverso la gestione e il riutilizzo efficace della risorsa idrica, considerando la costituzione di riserve idriche per emergenze.	Realizzazione di sistemi di accumulo e riuso delle acque meteoriche. Implementazione di processi di depurazione e fitodepurazione. Analisi e pianificazione per scenari di crisi idrica. Uso integrato delle risorse idriche.
B.1.2	Gestione sostenibile delle risorse marine e del territorio costiero	Mantenere un equilibrio ambientale per le attività marine e costiere, promuovendo la sostenibilità e la protezione delle risorse naturali.	Promozione di dialoghi costieri e transfrontalieri per la pesca sostenibile. Definizione di flussi turistici sostenibili e pratiche di fruizione. Rinaturalizzazione delle aree costiere. Gestione e monitoraggio delle specie marine aliene e protezione delle comunità animali e vegetali autoctone.
A.3	Aumentare la resilienza sociale delle comunità e nei territori	Stimolare il miglioramento della capacità di gestione del rischio e dei processi di adattamento agli eventi naturali da parte delle comunità e dei territori.	Promuovere la resilienza sociale attraverso la pianificazione e l'adattamento ai cambiamenti ambientali. Sviluppare capacità di risposta comunitaria agli eventi ambientali straordinari.
A.3.5	Investimenti nella capacità di reazione delle imprese agli eventi ambientali straordinari	Stimolare il miglioramento nella capacità di gestione del rischio e dei processi di adattamento agli eventi naturali da parte delle imprese, attraverso investimenti dedicati.	Accordi d'area contro il dissesto idrogeologico. Finanziamenti ad hoc per le imprese agricole sulle tecniche di irrigazione e gestione delle risorse idriche. Introduzione di <i>self-assessment</i> sull'esposizione a rischi per le imprese che richiedono accesso a finanziamenti pubblici, ad esempio attraverso checklist online.

Fonte: elaborazione degli autori su dati di SRSvS Regione Marche

La tabella rappresenta, dunque, una visione olistica delle strategie e degli obiettivi per la tutela ambientale e la resilienza sociale, collegando la gestione sostenibile delle risorse naturali con la capacità delle comunità e delle imprese di adattarsi agli eventi ambientali straordinari.

Materiali e Metodi. Dataset. – Il complesso della sorgente di Gorgovivo, influenzato dal vicino fiume Esino, costituisce una parte cruciale del quadro idrogeologico locale. Posizionato a un’altitudine media di 155 m s.l.m., il letto del fiume Esino a volte vede i suoi livelli superare quelli nei piezometri dei pozzi della sorgente, in particolare durante le inondazioni. Questo provoca un effetto barriera naturale, impedendo all’acqua in eccesso della sorgente di defluire nel fiume e conseguentemente elevando i livelli dei pozzi. Ulteriori studi hanno confermato l’assenza di mescolamento tra le acque del fiume e della sorgente nelle condizioni attuali.

La raccolta dei dati e il monitoraggio sono guidati da Viva Servizi S.p.A., che utilizza strumenti di misurazione (radar) non a contatto per il fiume, e una rete di stazioni pluviometriche gestite da molteplici agenzie regionali (protezione civile e AMAP, ex ASSAM), contribuendo a un database climatico completo. Questi dati, che coprono una gamma di variabili climatiche, aiutano a comprendere e prevedere le dinamiche idrologiche locali.

Concentrandosi sulla sorgente di Gorgovivo, i dati giornalieri sono raccolti da 19 pozzi tramite piezometri dotati di vari sensori. Mentre la maggior parte dei pozzi è gestita attivamente con pompe elettriche, due pozzi, il “Piezometro Interno” e il “Fosso della Grotta,” si basano su condizioni naturali come la pioggia o lo scioglimento della neve per i loro livelli dell’acqua. Questi pozzi sono monitorati con piezometri specifici, scelti dopo ampie indagini e test con raggi gamma per garantire una collocazione ottimale per monitorare le condizioni dei serbatoi.

Lo studio dà priorità al pozzo “Piezometro Interno” a causa della sua risoluzione dei dati giornaliera, che si allinea con le stazioni pluviometriche, semplificando così il processo di analisi dei dati senza la necessità di pre-elaborazione. Questo approccio meticoloso alla raccolta e all’analisi dei dati è fondamentale per sviluppare un modello predittivo affidabile che rifletta accuratamente l’interazione complessa tra variabili climatiche e risposte idrogeologiche nella regione.

L’intero dataset dei pozzi di Gorgovivo è costituito da oltre 150 mila

dati ottenuti dai sensori SCADA. Al fine di avere un modello predittivo che tenga conto anche delle influenze dell'entità da predire, ossia il livello GWL dei vari pozzi (con priorità al pozzo "Piezometro Interno") sono stati raccolti anche i dati di precipitazione da 10 stazioni pluviometriche della Protezione Civile e dell'ASSAM dislocate all'interno del bacino di Gorgovivo e i dati del livello del Fiume Esino, tutti con risoluzione giornaliera. Il totale complessivo del dataset utilizzato è di oltre 155 mila osservazioni con 3 variabili principali: GWL, precipitazioni e livello del fiume Esino; che compongono il dataset di serie temporali multivariate. All'interno di questo dataset ci sono alcuni periodi di dati mancati dovuti ai malfunzionamenti dei sensori poiché sono stati o sostituiti o danneggiati durante alcuni grandi ed eccezionali eventi atmosferici.

Modello Predittivo. – L'analisi dello stato dell'arte ha guidato la decisione di progettare un sistema basato sulla rete neurale. *Prophet* è un modello di previsione delle serie temporali sviluppato come progetto open-source per l'analisi e la previsione delle serie temporali. Tra i punti di forza di *Prophet* sono la robustezza del modello in caso di dati mancanti, di frequenti cambiamenti di tendenza e presenza di *outlier*. *Prophet* rappresenta le serie temporali come somma di tre componenti: (i) trend, (ii) stagionalità e (iii) festività, come si vede di seguito:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon t \quad (1)$$

Dove:

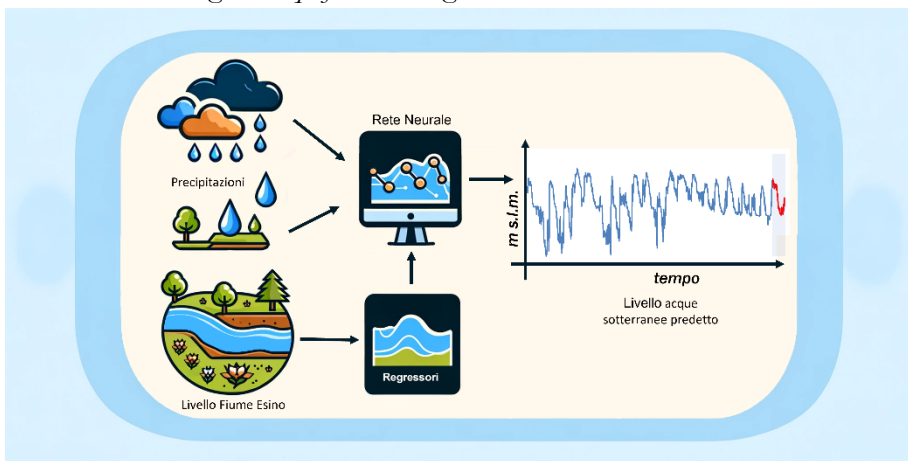
- $g(t)$: funzione di tendenza, modella variazioni non periodiche;
- $s(t)$: funzione di stagionalità, basata sulle serie di Fourier, fornisce un modello flessibile di effetti periodici per modellare i cambiamenti che si ripetono a intervalli di tempo regolari (ad esempio, stagionalità settimanale e annuale);
- $h(t)$: festività, modella eventi irregolari che alterano temporaneamente la serie temporale;
- ϵt : termine di errore, rappresenta i cambiamenti nella serie temporale che non sono catturati dal modello.

In particolare, *Prophet* modella la previsione come un problema di "curve-fitting", a differenza di altri metodi di previsione, come l'ARIMA, che considera le dipendenze di ogni istante temporale con quelli precedenti

attraverso l'autocorrelazione. Al fine di ottenere le migliori prestazioni dal modello (Galdelli e altri, 2023; Fronzi e altri 2024) hanno adattato e migliorato la rete, pre-elaborando i dati di input, realizzato specifici regressori al fine di includere tutte le caratteristiche endogene che influenzano il livello della sorgente, ed infine ottimizzato il modello con l'uso della tecnica di cross-validazione per ridurre il problema dell'*overfitting* nei *training set*. Infatti, poiché la sorgente di Gorgovivo è una rete idrica sotterranea complessa in cui la quantità misurata (cioè la GWL) dipende dalle precipitazioni al suolo e dal fiume Esino, il modello di previsione è quindi composto da tanti regressori quante sono le dipendenze aggiuntive.

La fig. 4 mostra il modello predittivo proposto, che incorpora le fonti di dati di input insieme alle loro dipendenze, che comprendono i dati GWL (prima del periodo di previsione desiderato), i dati delle stazioni pluviometriche e i dati del fiume Esino. Questo include un totale di 8.305×12 punti dati per ogni dipendenza (cioè, GWL, fiume Esino e 10 stazioni pluviometriche), che vanno dal 2001 al 2022. che possa aiutare gli stakeholder nel processo decisionale.

Fig. 4 – *Flowchart del modello proposto per la previsione del livello delle acque sotterranee della sorgente acquifera di Gorgovivo*



Fonte: elaborazione degli autori

I dati raccolti sono inizialmente analizzati per verificare se ci sono valori mancanti, rimuovere *outlier* e risolvere incongruenze, ossia valori che non rispettano regole logiche o di dominio. Abbiamo rilevato che l'8% dei dati dei livelli dei pozzi, il 2% dei dati di precipitazione e 11% del livello del

fiume Esino sono mancanti. Tali dati mancanti sono stati corretti utilizzando l'imputazione della mediana. Gli *outlier* sono stati identificati utilizzando la regola dei 1.5 IQR e sono stati sostituiti con il valore mediano della rispettiva variabile. Le incongruenze sono state definite come valori che non rispettavano le regole logiche del dominio, come valori negativi di temperatura o in alcuni casi stringhe di errore, e sono state corrette sostituendo tali valori con la mediana della variabile.

Nonostante *Prophet* sia robusto rispetto a dati mancanti e *outlier*, questa pre-elaborazione è stata effettuata per migliorare la qualità dei dati e ridurre il rumore, garantendo previsioni più accurate.

I dati vengono poi strutturati secondo il formato richiesto dal modello *Prophet*, che comprende una colonna per le date e una per i valori di livello della falda acquifera (GWL). Al modello vengono aggiunti i regressori additivi, definendo le componenti delle serie temporali quali stagionalità, tendenza e festività. L'ottimizzazione degli iperparametri del modello è cruciale per migliorarne le prestazioni e, a tal fine, è stata effettuata una convalida incrociata per identificare la migliore combinazione di questi parametri.

Risultati ottenuti. – Dopo aver affinato gli iperparametri del nostro modello, nel 2022 abbiamo proceduto con la fase di test. Basandoci sugli studi di riferimento, abbiamo adottato il MAE (errore assoluto medio), il MSE (errore quadratico medio) e la correlazione come metriche per valutare la precisione delle nostre previsioni. Inoltre, per assicurarci della solidità e dell'affidabilità dei risultati, abbiamo validato il nostro approccio confrontandolo con metodologie consolidate, tra cui ARIMA e SARIMAX. I risultati di questo confronto sono esposti nella tab. 2, che elenca gli errori calcolati per ogni modello, mentre la fig. 5 illustra le previsioni del livello della falda acquifera (GWL) effettuate tramite ARIMA, SARIMAX e il nostro modello, messe a confronto con i dati reali (*ground truth*). Dall'analisi quantitativa emerge che, sebbene il nostro modello registri prestazioni leggermente inferiori a quelle di ARIMA in termini di MAE e MSE, supera SARIMAX. Nonostante ciò, un'analisi approfondita dei grafici rivela che, a differenza del nostro modello, ARIMA e SARIMAX tendono a prevedere numerosi picchi che non riflettono accuratamente le variazioni più moderate della GWL, specialmente nei periodi estivi e autunnali, quando si verificano picchi innaturali e sovrastimati. Al contrario, le previsioni fornite dal nostro

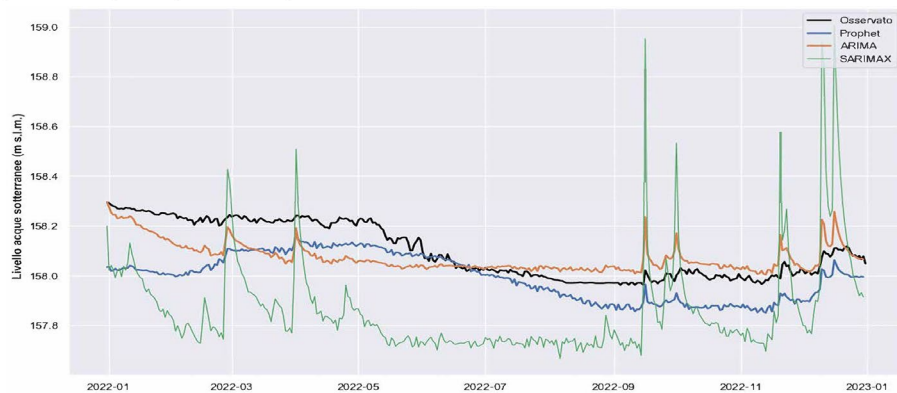
modello dimostrano una maggiore aderenza ai dati reali, supportate da valori di correlazione più consistenti. In particolare, durante l'estate, il nostro modello tende a sottostimare leggermente la GWL, suggerendo una tendenza al ribasso, un'osservazione che evidenzia l'importanza di adottare politiche prudenti per la gestione e il sostegno dei livelli idrici durante i picchi di domanda estivi. Inversamente, i modelli ARIMA e SARIMAX tendono a sovrastimare la GWL, potenzialmente ostacolando l'adozione di politiche conservative. Tali sovrastime potrebbero avere conseguenze negative per tutti coloro che dipendono da questa risorsa vitale. Pertanto, le nostre previsioni basate sul modello *Prophet* offrono indicazioni preziose per ottimizzare le strategie di gestione idrica e assicurare una fornitura d'acqua sostenibile.

Tab. 5 – *Metrica di valutazione standard per il confronto tra l'approccio proposto e altri modelli dello stato dell'arte*

Metodi a confronto	MAE (m.s.l.m.)	MAPE (m.s.l.m.)	Correlazione (%)
ARIMA	0.071	0.007	67.545
SARIMAX	0.282	0.095	25.671
Proposto	0.105	0.015	80.769

Fonte: elaborazione degli autori

Fig. 5 – *Serie temporale dei livelli di acque sotterranee predetti con diversi metodi di previsione per il periodo di prova relativo all'anno 2022*



Fonte: elaborazione degli autori

Conclusioni e riflessioni per il futuro. – L'ascesa tecnologica trasforma profondamente il tessuto geografico, svelando nuove dinamiche e sfide nel dominio scientifico e, in particolare, nell'ambito della geografia. Questo avanzamento si rivela cruciale nell'analizzare e configurare le mutazioni territoriali, enfatizzando la necessità di una gestione sostenibile e attenta delle risorse idriche. Si sottolinea l'importanza di sviluppare strategie di gestione e sistemi di monitoraggio idrico per garantire un utilizzo responsabile dell'acqua e la tutela degli habitat acquatici, coinvolgendo attivamente comunità ed enti a vari livelli.

L'attuale paradigma economico, compromesso dal degrado delle risorse acquatiche, introduce una complessità di sfide associate alla loro amministrazione. Le tendenze di consumo eccessivo e l'influenza umana sul paesaggio sottolineano l'essenziale connessione tra processi culturali, sociali, economici e l'impiego delle acque. Tale contesto implica la necessità di un intervento congiunto e interdisciplinare per assicurare la sostenibilità nella gestione delle risorse idriche.

In questa prospettiva l'intelligenza artificiale geospaziale (GeoAI) rappresenta un'innovativa fusione tra le avanzate tecnologie dell'intelligenza artificiale e il campo degli studi geospaziali, offrendo strumenti potenti per l'analisi e l'interpretazione di dati complessi legati alla geografia. Questa intersezione disciplinare permette di affrontare con maggiore efficacia questioni ambientali, di pianificazione territoriale e di gestione delle risorse, grazie alla capacità di elaborare ed estrarre informazioni significative da grandi volumi di dati geospaziali, quali immagini satellitari, rilevamenti e sensori.

Il ruolo della geografia all'interno della GeoAI è di fondamentale importanza, in quanto fornisce il contesto necessario per l'interpretazione dei dati geospaziali. La disciplina geografica, con il suo focus sullo studio delle relazioni tra gli esseri umani e i loro ambienti, arricchisce l'analisi dei dati offrendo una prospettiva che integra la dimensione spaziale e temporale dei fenomeni (Raad M., 2023). Questo approccio geografico consente di identificare schemi, tendenze e relazioni spaziali che non sarebbero altrimenti evidenti, offrendo una lente attraverso la quale analizzare e risolvere problemi complessi in modo più olistico.

La GeoAI, dunque, applicando tecniche avanzate di apprendimento automatico e di *deep learning* ai dati geospaziali, apre nuove possibilità per l'analisi predittiva e la modellazione di scenari futuri. Questo aspetto è

particolarmente rilevante in contesti come la gestione del rischio, dove la capacità di prevedere e mitigare potenziali pericoli può avere un impatto significativo sulla sicurezza e sul benessere delle comunità (Raad M., 2023).

L'approccio geografico, che considera la complessità delle interazioni spaziali, è quindi un pilastro della GeoAI, permettendo di affrontare sfide quali il cambiamento climatico, la gestione sostenibile delle risorse e la pianificazione urbana e rurale. L'analisi geospaziale, arricchita dalle capacità dell'intelligenza artificiale, consente di visualizzare e interpretare la complessità del mondo reale, supportando la presa di decisioni basate su dati contestualizzati e accurati.

In questo contesto, ed in prospettiva futura, le nostre ricerche evolveranno verso la location intelligence, la quale emerge come un'applicazione chiave della GeoAI, trasformando i dati geospaziali in insight strategici che possono guidare la pianificazione e l'ottimizzazione delle operazioni. La capacità di integrare dati provenienti da fonti diverse e di analizzarli attraverso la lente della geografia offre alle organizzazioni la possibilità di comprendere meglio le dinamiche territoriali e di rispondere in modo proattivo ai cambiamenti ambientali e socioeconomici.

In conclusione, la GeoAI, sfruttando l'approccio geografico, non solo migliora la nostra capacità di analizzare e utilizzare i dati geospaziali ma apre anche la strada a soluzioni innovative per alcune delle sfide più pressanti del nostro tempo. La sinergia tra intelligenza artificiale e geografia offre una prospettiva unica per la risoluzione di problemi complessi, combinando la potenza analitica dell'IA con la comprensione contestuale che solo la geografia può fornire.

Secondo un approccio integrato, quindi, il monitoraggio dell'acqua, riveste un ruolo cruciale per il benessere di tutti gli organismi. In questo contesto, lo studio presentato ha elaborato un sistema di supporto per la gestione sostenibile delle scorte idriche, puntando alla previsione dei livelli delle falde acquifere (GWL). Il modello proposto rappresenta un prototipo che getta le fondamenta per indagini future più estese, sia in termini di metodologia che di applicazione, come già evidenziato. Per un'elaborazione del dato più real-time, stiamo sviluppando un'infrastruttura cloud automatizzata (Tasseti e altri, 2023; Galdelli e altri, 2021), al fine di raccogliere, processare e prevedere in modo automatico i livelli delle sorgenti di Gorgovivo.

BIBLIOGRAFIA

- AFRIFA S. E ALTRI, "Mathematical and Machine Learning Models for Groundwater Level Changes: A Systematic Review and Bibliographic Analysis", *Future Internet*, 2022, 14, 259, s.p.
- AGNEW J., "Waterpower: Politics and the Geography of Water Provision" *Annals of the Association of American Geographers*, 2011, 101, 3. pp. 463-476.
- AGUILERA H. E ALTRI, "Towards flexible groundwater-level prediction for adaptive water management: using Facebook's Prophet forecasting approach", *Hydrological Sciences Journal*, 2019, 64, 12, pp. 1504-1518.
- AMERY H. A., WOLF A. T. (Eds.), *Water in the Middle East: a geography of peace*, Austin, University of Texas Press, 2010.
- AMIN A., "Spatialities of Globalisation", *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2002, 34, 3, pp. 385-399.
- ANANIA L., PASSANI A., HITCHIKER A., "A Guide to Digital Social Innovation," 20th Biennial Conference of The International Telecommunications Society (ITS): "The Net and the Internet - Emerging Markets and Policies", Rio de Janeiro, Brazil, 30th-03rd December 2014, International Telecommunications Society (ITS), Calgary.
- ASH J., KITCHIN R., LESZCZYNSKI A., "Digital turn, digital geographies?", *Progress in Human Geography*, 2018, 42, pp. 25-43.
- BARNS S., "Negotiating the platform pivot: From participatory digital ecosystems to infrastructures of everyday life", *Geography Compass*, 2019, 13, 9 (<https://doi.org/10.1111/gec3.12464>).
- BENDIEK A. E ALTRI, "The age of digital geopolitics", *International Politics and Society*, 2019 (<https://www.ips-journal.eu/infocus/chinas-new-power/article/show/the-age-ofdigital-geopolitics-3593>).
- BRIA, F., Gascó M., Kresin F., "Growing a digital social innovation ecosystem for Europe" 2015 (doi: 10.2759/448169).
- BUČAR M., RISSOLA G., *Place-Based Innovation Ecosystems: Ljubljana Start-Up Ecosystem and The Technology Park Ljubljana*, European Commission, 2018 (<https://Op.Europa.Eu/En/Publication-Detail/-/Publication/3e0ebc68-358b-11e9-8d04-01aa75ed71a1/Language-En>).
- CAJAIBA-SANTANA G., "Social Innovation: Moving the Field Forward", *Technological Forecasting and Social Change*, 2014, 82, pp. 42-51.

- CANGIANO S., ROMANO S., “Digital Social Innovation Toolkit”, DSI4EU Nesta, 2017 (<https://digitalsocial.eu/uploads/digital-social-toolkit.pdf>).
- CASTELLS M., *The Informational City: Information Technology, Economic Restructuring, and the Urban-Regional Process*, Oxford, Blackwell, 1989.
- CAULIER-GRICE J. E ALTRI, *The Young Foundation, Social Innovation Overview: A Deliverable Of The Project: The Theoretical, Empirical And Policy Foundations For Building Social Innovation In Europe (Tepsi)*, European Commission – 7th Framework Programme, Brussels, European Commission, Dg Research, 2012.
- CERTOMÀ M. E ALTRI, “Percorsi di ricerca nelle geografie del digitale”, in DINI F. E ALTRI (a cura di), *Memorie Geografiche*, “Oltre la globalizzazione”, 2021, 19, pp. 381-383.
- CERTOMÀ, M., “Riproduzione, rappresentazione, potere. Per una geografia critica dell’innovazione sociale digitale”, in DINI F. E ALTRI (a cura di), *Memorie Geografiche*, “Oltre la globalizzazione”, 2021, 19, pp. 385-389.
- CONSORZIO GORGOVIVO, Chi siamo, 2024 (<https://gorgovivo.it/index.php>).
- CONTI S., *Geografia economica*, Milano, UTET Libreria, 1989.
- DALBY S., “Firepower: Geopolitical Cultures in the Anthropocene,” *Geopolitics*, 2018, 23, 3, pp.718-742.
- DAWSON P.M., DANIEL L., “Understanding social innovation: A provisional framework”, *International Journal of Technology Management*, 2020, 51, 1, pp. 9-12.
- DE CINDIO F., AURIGI, A., *The Augmented Urban Space*, London, Routledge, 2020.
- DE ROSNAY J., “Alternative policies for alternative Internets”, *Journal of Peer Production*, 2006, 9, pp. 1-10.
- DE SOUZA E SILVA A., “From cyber to hybrid: Mobile technologies as interfaces of hybrid spaces”, *Space and Culture*, 2006, 9, pp. 261-278.
- DE WAAL M., *The City as Interface: How New Media Are Changing the City*. Rotterdam, NAi010 Publishers, 2014.
- DEMATTEIS M., NARDELLI M., *Inverno liquido. La crisi climatica, le terre alte e la fine della stagione dello sci di massa*, Roma, DeriveApprodi, 2022.
- DEMATTEIS G., “La città creativa: un sistema territoriale irragionevole”, in AMATO G., VARALDO R., LAZZERONI M., (a cura di), *La città nell’era della conoscenza*, Milano, FrancoAngeli, 2006, pp. 107-120.
- DODGE M., KITCHIN R., *Atlas of cyberspace*, Boston, Addison-Wesley, 2001 (<http://www.kitchin.org/atlas>).

- FRONZI D. E ALTRI, “Towards Groundwater-Level Prediction Using Prophet Forecasting Method by Exploiting a High-Resolution Hydrogeological Monitoring System”, *Water*, 2024, 16, 1, pp. 1-19.
- GALDELLI A. E ALTRI, *A Feature Encoding Approach and a Cloud Computing Architecture to Map Fishing Activities*, 17th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), New York, The American Society of Mechanical Engineers, 2021.
- GALDELLI A. E ALTRI, *An AI-Driven Prototype for Groundwater Level Prediction: Exploring the Gorgovivo Spring Case Study*, Cham, Springer, 2023.
- GIORDANO M., GIORDANO M., WOLF A., “The geography of water conflict and cooperation: Internal pressures and international manifestations”, *Geographical Journal*, 2002, 168, 4, pp. 293-312.
- GRAHAM S., “The end of geography or the explosion of place? Conceptualizing space, place and information technology”, *Progress in Human Geography*, 1998, 22, 2, pp. 165-185.
- GRAHAM S., DUTTON W.H., *Society and the Internet*, Oxford, Oxford University Press, 2014.
- GRAHAM S., ZOOK M., “Augmented realities and uneven geographies: Exploring the geo-linguistic contours of the web”, *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2013, 45, 1, pp. 77-99.
- HALL R., PFEIFFER U., *Urban Future 21*, New York, E&FN Spon, 2013.
- HARVEY D., *Diciassette contraddizioni e la fine del capitalismo*, Milano, Feltrinelli Editore, 2014.
- KELLERMAN A., PARADISO M., “Geographical Location in the Information Age: From Destiny to Opportunity?”, *Geojournal*, 2007, 70, pp. 195-211.
- KHAN J. E ALTRI, “A Comprehensive Review of Conventional, Machine Learning, and Deep Learning Models for Groundwater Level (GWL) Forecasting”, *Applied Sciences*, 2023, 13, 4, 2743, s.p.
- KITCHIN, R., “Big Data, new epistemologies and paradigm shifts”, *Big Data & Society*, 2014, 1, s.p. (<https://doi.org/10.1177/2053951714528481>).
- KOMARA K., *L'eau, enjeu vital des relations internationales. Eaux transfrontalières: bombes à retardement ou facteurs de coopération et de paix?*, Parigi, Le Cherche Midi, 2018.
- KROKER A., KROKER M., *Critical Digital Studies: A Reader*, Toronto, UTP, 2013.
- LAZZERONI M., MORAZZONI M., PARADISO M., “La ricerca geografica sull'innovazione e l'informazione: nuovi approcci, ambiti di studio e strumenti di analisi”, *Geotema*, 2019, 59, 3, pp.3-10.

- LE PAUTREMAT P., *Géopolitique de l'eau. L'«Or bleu» et ses enjeux, entre prospectives, crises et tensions*, Bordeaux, Esprit du Temps, 2020.
- LEGAMBIENTE, *V Forum Acqua: "La transizione ecologica dell'acqua"*, 3 Ottobre 2023 (<https://www.legambiente.it/news-storie/economia-e-sostenibilita/v-forum-acqua-la-transizione-ecologica-dell-acqua/>).
- LESZCZYNSKI A., "Spatial media/tion", *Progress in Human Geography*, 2015, 39, pp. 729-751.
- LÉVEQUES B., "Les entreprises d'économie sociale plus porteuses d'innovations sociales que les autres?" Communication présentée au Colloque du CQRS au Congrès de l'ACFAS du 16 mai 2001, sous le thème "Le développement social au rythme de l'innovation". (<https://crises.uqam.ca/wp-content/uploads/2018/10/ET0205.pdf>).
- MISURACA G., PASI G., URZÍ BRANCATI C., *ICT-enabled social innovation: Evidence & prospective*, Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2017.
- MULGAN G., "The Process of social innovation", *Innovations*, 2006, 1, pp. 145-162.
- MURRAY R., CAULIER-GRICE J., MULGAN G., *The Open Book of Social Innovation*, London, Nesta, 2010.
- OZMAN M., GOSSART C., "Digital Social Innovation: Exploring an Emerging Field", comunicazione presentata alla conferenza ISIRC 2018 a Heidelberg, il 5-7 settembre 2018 (<https://doi.org/10.2139/ssrn.3434363>).
- PAGANI L. (a cura di), *Corsi d'acqua e aree di sponda: per un progetto di valorizzazione. Aspetti ecologici*, Bergamo, Sestante, 2004.
- PARADISO M., *Abitare la Terra al Tempo di Internet*, Milano, Mimesis, 2017.
- RAAD M., "Survey: CEOs May Be Underutilizing This AI Capability", *ESRI*, 3 October 2023 (<https://www.esri.com/about/newsroom/publications/wherenext/geoai-risk-management/>).
- REGIONE MARCHE, Assemblea legislativa deliberazione n. 25, approvata dall'assemblea legislativa regionale nella seduta del 13 dicembre 2021, n. 49, (www.regione.marche.it/Entra-in-Regione/Sviluppo-Sostenibile/Strategia-Regionale-Sviluppo-Sostenibile).
- REN H. E ALTRI, "Using long short-term memory models to fill data gaps in hydrological monitoring networks", *Hydrology and Earth System Sciences*, 2022, 26, 7, pp. 1727-1743.
- RICHARDSON L., BISSELL L., "Geographies of digital skill", *Geoforum*, 2019,

- 99, pp. 278-286.
- SELWYN N., "Reconsidering political and popular understandings of the digital divide", *New Media & Society*, 2004, 6, 3, pp. 341-362.
- STOKES K. E ALTRI, "What's Next for Digital Social Innovation?" 2020, da DSI4EU Nesta.
- TASSETTI A.N. E ALTRI, "Addressing Gaps in Small-Scale Fisheries: A Low-Cost Tracking System", *Sensors*, 2022, 22, 839, s.p. (<https://doi.org/10.3390/s22030839>).
- TAO H. E ALTRI, "Groundwater level prediction using machine learning models: A comprehensive review", *Neurocomputing*, 2022, 489, pp. 271-308.
- TAYLOR S.J., LETHAM B., "Forecasting at scale", *PeerJ Preprints*, 2017, s.p. (<https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.3190v2>).
- TENNEY M., SIEBER R., "Data-driven participation: Algorithms cities citizens and corporate control", *Urban Planning*, 2016, 1, 2, pp.101-113.
- VAN DER HAVE R.P., RUBALCABA L., "Social innovation research: An emerging area of innovation studies?", *Research Policy*, 2016, 45, 9, pp. 1923-1935.
- VAN DIJK J.A.G.M., HACKE, K.L., "The Digital Divide as a Complex and Dynamic Phenomenon", *The Information Society*, 2003, 19, 4, pp. 315-326.
- WARSCHAUER M., *Technology and Social Inclusion. Rethinking the Digital Divide*, Cambridge, MIT Press, 2003.
- WHITTLE A., KOGLER D. "Related to what? Reviewing the literature on technological relatedness: Where we are now and where can we go?", *Papers in Regional Science*, 2019, 99, 11, pp. 1-17.
- YOFFE S. E ALTRI, "Geography of international water conflict and cooperation: Data sets and applications", *Water Resources Research*, 2004, 40, pp.1-12.
- ZARINMEHR H. E ALTRI, "Prediction of groundwater level variations based on gravity recovery and climate experiment (GRACE) satellite data and a time-series analysis: a case study in the Lake Urmia basin, Iran", *Environmental Earth Sciences*, 2022, 81, 6, 180, s.p.

Artificial Intelligence for Sustainable Water Resources Management. Case Study: Gorgovivo, Ancona. – The urgent need to address challenges related to the sustainable management of water resources has prompted the scientific and technological community to explore innovative solutions that can make a significant contribution to achieving the goals and sustainability

strategies of the UN's 2030 Agenda. In this context, Artificial Intelligence (AI) emerges as a powerful ally, offering advanced tools for the collection, analysis, and management of water data efficiently and effectively. Using machine learning algorithms and neural networks, AI enables accurate prediction of water demand, facilitating optimal planning and allocation of resources. Moreover, the integration of smart sensors and monitoring systems allows real-time control of water resources, improving the response capacity to environmental variations and emergencies.

The purpose of the research is to examine how AI can optimize water treatment and distribution processes, reducing waste and enhancing the energy efficiency of water facilities; the use of predictive models based on historical data and environmental variables allows for proactive management of resources, thus contributing to their conservation and long-term sustainability. In this perspective, an AI-based system will be adopted to predict the groundwater levels of the Gorgovivo spring (AN), using historical data from the spring itself, the level of the Esino river, and rainfall stations. The proposed AI model is based on the Prophet predictive algorithm, specifically designed to manage time series forecasting applications; as adapted by us, the predictive model was evaluated using the mean absolute error (MAE), mean squared error (MSE), and correlation criteria.

Keywords. – Sustainable water management, Artificial intelligence, Predictive modelling

Università degli Studi di Macerata, Dipartimento di Scienze Politiche, della Comunicazione e delle Relazioni Internazionali
simona.epasto@unimc.it

Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
a.galdelli@staff.univpm.it