

Il ruolo dell'innovazione tecnologica nella pianificazione e gestione delle infrastrutture idriche¹

di Claudio Arena, Mario Rosario Mazzola e Ignazio Scolaro

Gli interventi di adattamento da intraprendere nel settore delle infrastrutture idriche ad uso urbano e industriale per raggiungere gli obiettivi settoriali dichiarati nel Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici² e, più in generale, tutelare un approvvigionamento stabile e sicuro di acqua potabile in modo sostenibile, ridurre i consumi, e migliorare la resilienza climatica³, comprendono anche quelli della tipologia “*soft*”, in particolare quelli relativi alla digitalizzazione di queste infrastrutture.

I principali interventi di interesse in questo ambito riguardano il miglioramento degli attuali sistemi di monitoraggio delle reti di adduzione e distribuzione idrica e di drenaggio urbano. Più in dettaglio, questa categoria di intervento comprende azioni e investimenti che promuovano l'installazione di tecnologie digitali per il monitoraggio dei diversi processi e componenti infrastrutturali dell'approvvigionamento idrico, maggior conoscenza e caratterizzazione degli usi finali dell'acqua, riduzione delle perdite e miglior gestione dei sistemi di drenaggio. Rientrano in questa categoria di tecnologie⁴: (i) sensori di pressione/flusso/livello e monitoraggio di parametri di qualità idrica nelle reti di distribuzione e di drenaggio con possibilità di invio automatico di dati ad un sistema di controllo e acquisizione dati (SCADA⁵), (ii) contatori digitali (*smart meter*) per una migliore conoscenza dei consumi e gestione della domanda (iii) attuatori per il controllo automatico, (iv) modelli matematici, *digital twin* e sistemi di supporto alla decisione fondati su simulazione e analisi di scenari e affinamento dei sistemi di *early warning* (es. per rischio di esondazioni, presenza di contaminanti, anomalie nel funzionamento dei sistemi di pompaggio).

La realizzazione di sistemi di monitoraggio e digitalizzazione come quelli descritti permette inoltre ai gestori delle reti di acquisire una conoscenza molto più approfondita sullo stato del sistema e di mettere in pratica moderni

¹ È il testo del capitolo settimo del libro di ASTRID, *Acqua per tutti? La gestione delle risorse idriche al tempo del cambiamento climatico*, a cura di Mario Rosario Mazzola, ed. Il Mulino, 2025.

² Il piano, redatto nel 2018, è tuttora in fase di revisione e non è ancora stato approvato, ma è consultabile sul sito del MITE <https://www.mite.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici>.

³ Si veda, come riferimento, la Strategia dell'UE di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

⁴ A. Tilche, F.L. Basile & M. Torsello, *Le città a impatto climatico zero: strategie e politiche*. Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, 2022.

⁵ Acronimo per Supervisory Control And Data Acquisition.

protocolli di manutenzione che, intervenendo preventivamente sulle parti più di rete più sollecitate o più vecchie – e non operando soltanto in seguito a rotture – hanno dimostrato la loro efficacia nel ridurre le perdite e dare luogo a notevoli risparmi nei costi operativi.

Come già evidenziato, le componenti principali di una gestione sostenibile delle risorse idriche sono:

- le pratiche di uso razionale e conservativo da parte degli utenti;
- la diffusione delle apparecchiature di riduzione dei consumi;
- l'ottimizzazione della gestione integrata delle risorse convenzionali;
- l'efficienza delle reti di adduzione e distribuzione;
- la disponibilità di reti di collettamento delle acque reflue e di adeguati impianti di depurazione;
- la diffusione dell'uso di acque reflue depurate.

Nella corretta implementazione di queste componenti assume un ruolo di primo piano l'innovazione tecnologica: la gestione delle risorse idriche per le sue caratteristiche, presenta, infatti, una notevole predisposizione all'applicazione di soluzioni innovative, utilizzabili per conoscere accuratamente le infrastrutture, modernizzarle e ottimizzarne la gestione. In questa ottica, non va dimenticata l'importanza dello sviluppo di tecnologie e processi innovativi per proteggere e utilizzare le risorse naturali in modo efficiente. Infine, l'applicazione di tecnologie innovative può portare ad avere miglioramenti della resilienza delle infrastrutture idriche agli impatti dei cambiamenti climatici e miglioramenti della qualità dell'acqua dei corpi idrici naturali.

7.1. La digital transformation

La *digital transformation* consiste nel ripensare i processi di interesse attraverso l'integrazione di tecnologie digitali, con l'obiettivo di migliorarne l'efficienza. Essa è una delle principali innovazioni a livello globale che ha mutato profondamente diversi settori industriali e può fare lo stesso nel SII e, in generale, nella pianificazione e gestione delle infrastrutture e delle risorse idriche anche per usi diversi da quello civile, come l'uso irriguo.

A tal riguardo, il PNRR ha posto al centro della propria attenzione anche il tema dell'efficientamento delle reti idriche urbane e dei relativi investimenti da parte del governo italiano. Nello specifico, viene chiaramente indicato l'obiettivo di ottenere reti idriche più digitali per ridurre le perdite e ottimizzare i consumi, introducendo sistemi di controllo avanzati e digitalizzati, che rappresentano la base informativa per una gestione ottimale

della risorsa prelevata dall'ambiente, riducendo gli sprechi e limitando le inefficienze.

È necessario che le diverse tecnologie digitali disponibili, quando possibile, lavorino insieme, in maniera armonizzata, al fine di massimizzare i loro benefici.

Una gestione attenta del processo di transizione digitale deve essere impostata come un percorso progressivo in grado di bilanciare quantità, qualità e rappresentatività dei dati e complessità degli strumenti digitali implementati in funzione degli obiettivi da raggiungere. In caso contrario si correrebbe il rischio di trasformare la transizione digitale da opportunità di miglioramento della gestione dei processi in un mero aumento di costi non controbilanciati da adeguati benefici. In questo senso, assume un ruolo chiave l'elemento umano⁶. La *digital transformation*, infatti, oltre a richiedere importanti investimenti in tecnologia e ricerca e sviluppo, presuppone un cambio culturale e una riorganizzazione interna che, partendo dal management, si traduce in una trasformazione del modo di lavorare in azienda compreso l'aggiornamento costante del personale.

Alla descrizione sommaria delle principali tecnologie digitali è dedicato questo capitolo, con lo scopo di evidenziare quanto grande può risultare il loro impatto nella organizzazione del lavoro nella gestione dei sistemi idrici e il loro potenziale impatto sulla qualità del servizio agli utenti. Particolare enfasi è posta sul servizio idrico integrato ma con uno sguardo anche alle applicazioni sui sistemi idrici regionali e sul settore irriguo.

7.1.1. Modelli di simulazione e ottimizzazione di reti idriche e fognarie e di sistemi idrici complessi

Gli strumenti di simulazione dei sistemi fisici sono estesamente utilizzati in diversi ambiti dell'ingegneria e della scienza. Essi permettono di costruire un modello del sistema e di riprodurre degli scenari per via numerica che altrimenti, sia per ragioni economiche sia per ragioni legate all'impossibilità di replicare determinati fenomeni e/o scenari fisicamente non modellabili, non sarebbe possibile studiare. I modelli di simulazione nel campo dell'analisi dei sistemi idrici e fognari sono nati già negli anni '60 implementando negli strumenti di calcolo automatico metodologie numeriche già note e si sono sviluppati e potenziati parallelamente allo sviluppo e potenziamento delle capacità hardware e software dei calcolatori elettronici, venendo ancora oggi sempre più integrati con nuove funzionalità e migliorati nella loro capacità di simulazione.

Nelle reti urbane di distribuzione idrica, nonostante la modellistica del loro comportamento idraulico non sia dunque recentissima, la sua

⁶ REF Ricerche, Position Paper n. 259, *Transizione digitale: le opportunità per il segmento acquedottistico*, gennaio 2024.

applicazione⁷ risulta tutt'altro che priva di attualità, anche in considerazione del fatto che tali modelli possono essere integrati nelle più evolute piattaforme di progettazione e gestione delle infrastrutture idriche come quelle basate sulla tecnologia BIM (*Building Information Modeling*).

Anche campi di ricerca avanzati come quello della “teoria delle reti complesse” impattano sulla digitalizzazione del settore idrico, per esempio in applicazioni quali quelle della distrettualizzazione delle reti (*District Metering Areas*), basate su algoritmi di ottimizzazione evolutivi (algoritmi genetici) multi-obiettivo. Queste tecniche di ottimizzazione sono in grado di fornire soluzioni ottime o efficienti dal punto di vista costi-benefici⁸.

Box 7.1. La distrettualizzazione delle reti (*District Metering Areas*)

L'efficacia dell'utilizzo di sistemi di avanzati e digitalizzati per la riduzione ed il controllo delle perdite idriche presuppone la suddivisione della rete di distribuzione in distretti idrici. Un distretto idrico (DMA) rappresenta una porzione di rete omogenea circoscritta e misurabile, ovvero di cui è possibile estrarre un bilancio idrico rispetto al consumo dell'utenza. Già a partire dalla sua definizione, il distretto idrico presenta due ambiti specifici da approfondire:

- la sua separazione dal resto della rete
- la sua misurabilità/monitoraggio

Per separare un distretto dal resto dell'acquedotto esistono due approcci: operare una separazione fisica installando saracinesche in corrispondenza dei collegamenti con la rete esterna – pratica che può ridurre la ridondanza della rete - oppure definire una separazione virtuale installando misuratori bidirezionali sui suddetti collegamenti che consentano di estrarre ugualmente il bilancio idrico del distretto, o sistemi di controllo avanzato che permettono, tramite particolari sonde, il monitoraggio di quattro parametri: portata (in entrambe le direzioni) pressione, rumore e temperatura. I dati possono essere trasmessi direttamente a opportune centrali di controllo dove un software specifico elabora i dati rilevando eventuali anomalie che possano richiedere attenzione.

Passando dalle reti urbane ai sistemi regionali di adduzione, anche la gestione sostenibile delle risorse idriche richiede un approccio moderno alla

⁷ I modelli matematici delle reti idriche urbane sono necessari per impostare in modo corretto i problemi di investimento (estensione della rete, rinnovo di sue parti) e di gestione (definizione delle DMA – vedasi box nella pagina successiva).

⁸ D.B. Laucelli, L. Enriquez, A. Ariza, F. Ciliberti, L. Berardi e O. Giustolisi, *A Digital Water Strategy Based on Digital Water Service concept to Support Asset Management in a Real System*, Journal of Hydroinformatics, 2023.

modellazione dei sistemi idrici complessi⁹, per esempio, tramite strumenti quali i Modelli di Supporto alle Decisioni (DSS). I DSS permettono di introdurre e valutare l'efficacia di set di azioni volte all'ottimizzazione della gestione e alla riduzione della vulnerabilità del sistema.

Poiché i sistemi idrici complessi producono sui territori su quali insistono impatti di tipo economico, ambientale, ecologico e sociale, i modelli di ottimizzazione e di simulazione sono i migliori strumenti per valutare questi aspetti, sia da un punto di vista gestionale sia rispetto alla valutazione di scelte progettuali tra diverse alternative. Mentre con i modelli di ottimizzazione è possibile individuare matematicamente quali sono, in determinate condizioni di funzionamento del sistema, le regole gestionali da attuare per massimizzare i benefici ottenibili, con i modelli di simulazione nel modellare il sistema si ipotizza di avere già adottato una determinata regola gestionale e si simula il comportamento del sistema. La simulazione non fornisce una regola gestionale da adottare, ma risultati da studiare e analizzare alla luce degli obiettivi che si vuole che il sistema raggiunga.

Tra i modelli utilizzabili per lo studio dei sistemi idrici complessi vanno segnalati quelli che possono essere definiti “gestionali”: essi non prevedono una modellazione idraulica dei processi fisici studiati, in termini di portata e pressione¹⁰, ma modellano invece le *decisioni* riguardanti l'allocazione delle risorse, dalle fonti di approvvigionamento ai centri di domanda avendo come obiettivi la minimizzazione dei costi, la minimizzazione dei deficit, il rispetto di vincoli sulla qualità dell'acqua, tenendo conto della realtà infrastrutturale ma anche delle sue interazioni con le risorse idriche superficiali e sotterranee.

La Tab. 7.1 riporta sinteticamente il confronto tra le principali caratteristiche dei modelli idraulici e dei modelli gestionali utilizzati nell'ambito dello studio dei sistemi idrici complessi.

⁹ L'aggettivo complesso è stato utilizzato come attributo per il termine “sistema idrico” (dall'inglese “*water system*” o “*water resources system*”) sin dagli esordi della pianificazione e gestione dell'uso delle risorse idriche basate su metodologie quantitative. La necessità di migliorare la comprensione dei sistemi idrici con riferimento alla loro complessità è confermata dal fatto che, più di quaranta anni fa, uno dei volumi della serie NATO di scienze applicate è stato dedicato appunto alla gestione dei sistemi idrici complessi (NATO ASI Series n. 58). In quel volume, nella sua analisi sulle caratteristiche dei sistemi idrici complessi, Fassò ha indicato tre elementi principali per caratterizzare la complessità di un sistema idrico: la grande dimensione, la natura multi-obiettivo dei problemi in esso presenti, l'interazione tra le infrastrutture e il contesto naturale.

¹⁰ Per una applicazione di questi modelli “gestionali” allo studio di un Sistema Idrico Regionale, si vedano, per esempio: S. Arborea, C. Arena, M. Cannarozzo, G. Fiori, A. Fortunato, M.R. Mazzola, L. Qeraxhiu, I. Scolaro, N. Sicolo, L. Venditti, *Ottimizzazione della gestione della rete di adduzione primaria di Acquedotto Pugliese S.p.A. tramite modelli di supporto alle decisioni: l'utilizzo del software Aquator*. XXXIV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Politecnico di Bari, 7-10 settembre 2014, Bari. ISBN:978-88-904561-8-3.

A. Fortunato, C. Arena, M. Cannarozzo; I. Scolaro & M.R. Mazzola, *Evaluating Infrastructure Alternatives for Regional Water Supply Systems by Model-assisted Cost-benefit Analysis – A Case Study from Apulia, Italy*. 16th Conference on Water Distribution System Analysis, 2014, WDSA 2014. 89. 1460 – 1469. 10.1016/j.proeng.2014.11.429.

Tab. 7.1. *Confronto tra le principali caratteristiche i modelli idraulici e i modelli gestionali dei sistemi idrici complessi*

Modelli “idraulici”	Modelli “gestionali”
Descrizione del processo fisico in termini di portata e pressione (che può essere variato in modo da consentire percorsi diversi per l'acqua) nella rete.	Decisioni riguardanti l’allocazione delle risorse, dalle fonti di approvvigionamento ai centri di domanda (minimizzazione dei costi, minimizzazione dei deficit, multi-obiettivo)
Generalmente riproducono una "istantanea" del funzionamento del sistema.	Generalmente “seguono” il funzionamento del sistema nel tempo (mesi, anni).
Le capacità delle condotte e la direzione dei flussi sono variabili decisionali.	Le capacità delle condotte e la direzione dei flussi sono input del modello.
L'implementazione del modello richiede l'acquisizione di una grande quantità di informazioni fisiche dettagliate (diametri e lunghezze delle condotte, ecc.). Ciò richiede notevoli investimenti in termini di tempo, capacità e risorse per sistemi molto grandi.	L'implementazione del modello richiede l'acquisizione di una grande, ma gestibile, quantità di informazioni fisiche (capacità delle condotte e degli impianti, topologia del sistema, domande) con investimenti ragionevoli in termini di tempo, capacità e risorse.
Calibrazione basata su misure puntuali di portate e pressioni.	Calibrazione basata su valori aggregati e medi di diversi indicatori (acqua fornita dalle fonti, richieste dei centri di domanda, livello dei serbatoi, ecc.)
La calibrazione di solito fornisce informazioni molto importanti sul funzionamento del sistema.	La calibrazione può fornire approfondimenti sul funzionamento del sistema.
La calibrazione ha lo scopo di riprodurre i valori di pressione e portata misurati.	A seconda del modello, la calibrazione può fornire risultati migliori per via dell’incorporazione degli obiettivi di minimizzazione dei costi.

L’applicazione dei modelli idraulici, unitamente ad altre tecnologie innovative, è inoltre molto importante per la gestione dei deflussi urbani. Infatti, al fine di evitare e/o ridurre gli impatti dei fenomeni di inondazioni, in particolare nelle aree urbane, è possibile, utilizzare tecnologie innovative come l’Intelligenza artificiale, l’Internet delle Cose e il GIS per prevedere

allagamenti, individuare stress di rete e ottimizzare la conoscenza delle infrastrutture esistenti su territori più o meno vasti.

Un esempio di tecnologie innovative applicate nell'ambito delle reti fognarie è anche dato dal *fiber sensing* (o *distributed sensing*): si tratta di un sistema di monitoraggio e scambio dati basato su cavi che vengono installati nelle condotte e che permettono di raccogliere e inviare informazioni di diverso tipo, quali per esempio misure di calotta e misure nel letto della condotta. Le misure eseguite nella calotta hanno come obiettivo il controllo delle deformazioni del collettore e degli accessi alla condotta, come l'apertura e la chiusura dei chiusini stradali. Le misure eseguite sul fondo della condotta invece hanno come obiettivo la misura del livello di liquidi in condotta, la portata, la presenza di acque parassite e la formazione o la posa di detriti. Inoltre, questo sistema dà luogo ad un'infrastruttura di comunicazione dati lungo tutta il tratto oggetto di monitoraggio.

7.1.2. Sensori, SCADA e Internet delle Cose (IoT)

A fondamento della *Digital Transformation* vi sono i dati¹¹, i quali, elaborati dall'uomo attraverso gli strumenti digitali, permettono di generare informazione¹².

I dati sono raccolti attraverso dispositivi chiamati sensori che, con riferimento agli ambiti di applicazione di questo lavoro, possono classificarsi in¹³:

- Sensori fisici che misurano grandezze come distanze, temperature, pressioni, ecc.
- Sensori chimici che rilevano e misurano la presenza di sostanze chimiche.
- Sensori biologici che rilevano e misurano la presenza di sostanze biologiche.

I sensori sono dunque dispositivi in grado di trasformare un input fisico (per esempio la temperatura o la pressione) in un segnale che viene poi trasmesso a una unità di memorizzazione dati.

Gli attuatori sono, invece, dispositivi in grado di trasformare segnali (analogici o digitali) ricevuti da un "controllore" in azioni sull'ambiente (per esempio per chiudere o aprire una valvola o avviare o arrestare un dispositivo).

I sensori e gli attuatori sono gli elementi essenziali, insieme ai trasmettitori, di un moderno sistema di controllo automatico, il quale ha come obiettivo

¹¹ Un dato rappresenta in modo oggettivo e non ancora interpretato un fenomeno, evento, o fatto.

¹² L'informazione è il frutto dell'elaborazione di uno o più dati. I dati sottoposti a un processo di interpretazione vengono resi significativi per il destinatario.

¹³ E. D'Angelis & M. Grassi, *Water Intelligence. Dalla civiltà paleolitica all'intelligenza artificiale. Primo report nazionale sull'innovazione tecnologica e la digitalizzazione nella gestione dell'acqua*, Proger S.p.A., 2024.

modificare il comportamento del sistema da controllare, come per esempio un impianto di sollevamento o di depurazione, attraverso la manipolazione di opportune grandezze d'ingresso. Tra i sistemi di controllo automatico sviluppati si segnalano i sistemi di controllo distribuito (*Distributed Control System*) che si caratterizzano per essere costituiti da una rete di controllori indipendenti distribuiti sul campo di produzione, ognuno dei quali scambia informazioni con i propri vicini al fine di coordinare l'esecuzione di varie parti di un processo produttivo¹⁴. Le prime applicazioni di soluzioni informatiche e di telecomunicazione alla gestione operativa dei processi industriali, perseguendo l'obiettivo di controllare gli asset da remoto, risalgono agli anni '70 e hanno portato alla nascita del telecontrollo.

Con il termine telecontrollo si definisce quindi genericamente una soluzione di automazione che prevede la supervisione mediante un software e la raccolta dei dati tramite una rete di apparati e strumenti geograficamente distribuiti su un impianto anche complesso.

Strettamente connesse ai sistemi di controllo automatici distribuiti sono le tecnologie SCADA. Si tratta di applicazioni software modulari deputate al monitoraggio e alla supervisione di una rete di controllori e dei processi fisici associati¹⁵.

I sistemi SCADA costituiscono l'interfaccia tra il sistema di controllo e gli operatori ed eventualmente altri sistemi di controllo. Generalmente un sistema SCADA integra quindi:

- uno o più sensori o attuatori, che effettuano misurazioni e/o variazioni di grandezze fisiche sul sistema in oggetto;
- uno o più microcontrollori;
- un sistema di telecomunicazione tra i microcontrollori e il supervisore;
- uno o più computer supervisor (es. server), con la funzione di raccogliere ed elaborare i dati dal sistema.

I dispositivi *Internet of Things* (IoT) sono, invece, apparecchi in grado di collegarsi a internet e comunicare con altri dispositivi per mezzo di opportuni protocolli. Si tratta di un insieme di tecnologie che permettono la raccolta di dati in tempo reale (perdite in rete, perdite alle utenze, portate, pressioni) che possono essere utilizzati per vari obiettivi, come per esempio per identificare problemi potenziali e prendere decisioni informate sulla manutenzione degli asset senza la necessità di un cablaggio specifico ma appoggiandosi alla rete internet con considerevoli vantaggi considerata la sua sempre crescente penetrazione e capillarità. La tecnologia IoT, oltre a raccogliere dati, può essere anche utilizzata in attuatori come elettrovalvole, ecc.¹⁶

¹⁴ P. Chiacchio & F. Basile, *Tecnologie informatiche per l'automazione*, 2ª ed., Milano, McGraw-Hill, 2004,.

¹⁵ *ibidem*.

¹⁶ Una applicazione di IoT nella gestione del SII è la piattaforma Waidy Management System (WMS) ideata da Acea e realizzata in collaborazione con NTT DATA Italia, descritta in Acea; *Piattaforma di gestione del Gruppo Acea*, Servizi a Rete, Luglio- Agosto 2023.

In generale l'utilizzo degli appena visti dispositivi e sistemi SCADA e/o IoT può consentire di implementare impianti idrici intelligenti generando un *Digital Twin*, un "gemello digitale", delle infrastrutture fisiche gestite¹⁷. Ciò può contribuire alla creazione di una gestione moderna e ottimizzata delle risorse idriche anche dal punto di vista del risparmio energetico. Il telecontrollo può svolgere infatti un ruolo centrale sulla gestione energetica perché prima di tutto raccoglie dati di consumo dagli *energy meter* in rete e li può correlare in tempo reale ai fattori produttivi (acqua sollevata e prevalenza), ma può anche orchestrare controlli distribuiti atti a ottimizzare l'impiego di energia acquistata sul mercato energetico.

7.1.3. L'Intelligenza Artificiale

Per estrarre il massimo dell'informazione dai dati generati dai sistemi digitali è necessario che questi vengano tra loro sincronizzati, correlati e analizzati anche in funzione del loro andamento storico, attraverso l'utilizzo di tecnologie che consentano la gestione e l'analisi di grandi quantità di dati quali l'Intelligenza Artificiale.

In letteratura è possibile riscontrare diverse definizioni di Intelligenza Artificiale. Per esempio:

L'intelligenza artificiale (IA) è l'abilità di una macchina di mostrare capacità umane quali il ragionamento, l'apprendimento, la pianificazione e la creatività. [...] I sistemi di IA sono capaci di adattare il proprio comportamento analizzando gli effetti delle azioni precedenti e lavorando in autonomia.¹⁸

L'IA eccelle dunque nell'analisi di grandi quantità di dati e nella gestione di compiti complessi. Le principali applicazioni dell'IA includono infatti l'automazione di attività ripetitive e il supporto decisionale basato sull'analisi dei dati.

Anche grazie alla disponibilità di calcolatori caratterizzate da potenze computazionali molto elevate sono state sviluppate Intelligenze Artificiali specializzate per diverse applicazioni (Tab. 7.2).

Tab. 7.2. *Le più diffuse tipologie di Intelligenze artificiali disponibili*¹⁹

Le più diffuse tipologie di intelligenze artificiali disponibili ²⁰	
Natural Language Processing	Gemini, l'AI Generativa

¹⁷ Maggiori dettagli sui *Digital Twins* sono forniti al paragrafo 7.1.8.

¹⁸ Sezione del sito web del Parlamento Europeo dedicata alle tecnologie digitali. Link: <https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20200827STO85804/che-cos-e-l-intelligenza-artificiale-e-come-viene-usata>.

¹⁹ E. D'Angelis e M. Grassi, *Water Intelligence. Dalla civiltà paleolitica all'intelligenza artificiale. Primo report nazionale sull'innovazione tecnologica e la digitalizzazione nella gestione dell'acqua*, Proger S.p.A., 2024.

²⁰ Ibidem.

<p>Riconoscimento del Linguaggio Naturale - l'algoritmo di apprendimento testi e sequenze di parole, pagine web, post, tweet, informazioni aziendali - utilizzato in applicazioni come Chatbot, Traduzione Automatica e Analisi del sentiment.</p>	<p>Google ha reso disponibile in Italia dal 2023 Gemini che, come ChatGPT, è una piattaforma multimodale, integrata con altri servizi: Google Documenti, Gmail, e aggiornamenti da informazioni dalla grandissima mole di dati.</p>
<p>Visione Artificiale e Computer Vision</p> <p>Algoritmi e tecniche per la comprensione di alto livello dei contenuti di immagini e video, che includono il riconoscimento facciale, la segmentazione delle immagini e l'analisi di oggetti.</p>	<p>Apprendimento Automatico</p> <p>È il Machine Learning che consente ai computer di apprendere dai dati, migliorando le prestazioni senza essere esplicitamente programmati.</p>
<p>Intelligent Data Processing</p> <p>È la gamma più ampia delle applicazioni dell'IA con tutte le soluzioni che utilizzano algoritmi di IA su dati strutturati collegati all'estrazione delle informazioni presenti nei dati stessi. I principali utilizzi sono quelli del Forecasting (Previsioni) e del Classification & Clustering (Classificazione e Raggruppamento).</p>	<p>Apprendimento Profondo</p> <p>È il Deep Learning che utilizza reti neurali profonde multi-strato per analizzare grandi quantità di dati.</p> <p>Sistemi Esperti</p> <p>Per simulare il ragionamento di un esperto umano.</p>
<p>Recommendation System</p> <p>Sono applicati nei modelli di business delle piattaforme social e di eCommerce, con servizi digitali basati su algoritmi di IA che conservano tracce delle azioni dell'utente, comparate con altri utenti, apprendendo preferenze e producendo indicazioni mirate.</p>	<p>Algoritmi di Ottimizzazione</p> <p>Sono utilizzati per cercare la soluzione migliore in un insieme di possibilità.</p>
<p>Soluzioni fisiche di Intelligenza Artificiale</p> <p>Sono applicazioni utilizzate per mezzi di trasporto dotati di guida autonoma, robot in grado di muoversi senza l'intervento umano, e nell'Intelligent Object per compiere azioni senza l'intervento umano sulla base delle condizioni dell'ambiente circostante.</p>	<p>Calcolo cognitivo anche su reti neurali</p> <p>È la forma avanzata di apprendimento automatico basata anche su reti neurali profonde con strati multipli, particolarmente efficace nel riconoscimento di modelli complessi.</p>
<p>AI Generativa</p> <p>Sono Chatbot di elaborazione testi o generazione di immagini su piattaforme come ChatGPT, DALL-E, Bard ora Gemini di Google, nuovi modelli fondativi come Bing AI di Microsoft.</p>	<p>Automazione e Robotica</p> <p>Tecnologie e sistemi di controllo per la gestione intelligente di reti e impianti, macchinari industriali e linee di produzione, controllo di processi fisici, automatizzazione di attività all'interno di processi.</p>
<p>ChatGPT</p> <p>Dal 2022 è la piattaforma OpenAi che utilizza gli algoritmi di IA di apprendimento automatico per molte funzioni: dialogo con gli utenti, stesura testi, generazione di immagini.</p>	<p>Percezione delle Macchine</p> <p>Interpretano le informazioni dall'ambiente circostante, utilizzando sensori, telecamere e altri dispositivi di input.</p>

Le applicazioni commerciali della moderna IA alla gestione delle infrastrutture idriche sono sempre più frequenti. L'analisi dei dati e l'utilizzo dell'Intelligenza Artificiale possono aiutare i gestori a ottimizzare il funzionamento delle reti di distribuzione e minimizzare le perdite. L'IA può

anche essere utilizzata per analizzare i dati dei sensori e identificare, per esempio, problemi legati a rotture imminenti, o analizzare automaticamente le immagini ricavate da sonde per l'ispezione di condotte o altri asset.

Sono in commercio sistemi per la individuazione delle perdite idriche nelle reti di distribuzione tramite l'utilizzo di sensori acustici e con l'ausilio di software avanzati basati sull'Intelligenza Artificiale. Questi sistemi sono in grado di interpretare ed elaborare i dati grezzi in modo da ridurre in maniera sensibile i falsi positivi rispetto a quando l'interpretazione dei dati è affidata a operatori umani.

In generale queste soluzioni sono ottenute come combinazione di:

- Piattaforme intelligenti per la gestione di sensori e l'elaborazione di dati in maniera automatizzata;
- Integrazioni con applicazioni di terze parti.

Alcune soluzioni ²¹ si basano su reti neurali di tipo *deep learning* che vengono utilizzate per la ricerca delle perdite idriche nelle reti di distribuzione. Le reti neurali sono configurate in una modalità definita *plug-and-play* in grado, cioè, di caricare file provenienti da un'ampia varietà di sensori / dispositivi; le informazioni contenute nei file vengono analizzate molto rapidamente al fine di identificare le perdite idriche in rete con una accuratezza che, secondo quanto dichiarato, può superare il 92%. Gli algoritmi usati in questa soluzione di ricerca perdite analizzano le frequenze di vibrazione e le funzioni d'onda di qualsiasi registrazione (audio, vibrazioni), dopo che le stesse registrazioni sono state filtrate dal rumore di fondo e tenendo conto del materiale della condotta. Si tratta di software completamente indipendenti dall'hardware con cui i segnali fisici vengono acquisiti. I dati acquisiti vengono confrontati con milioni di dati verificati di perdite e questi algoritmi stabiliscono autonomamente se la registrazione che sta analizzando si riferisce o meno a una perdita, e successivamente ne calcolano le dimensioni.

Tecniche come l'“*Evolutionary Polynomial Regression (EPR)*”²² permettono, in ambito machine learning, la modellizzazione simbolica dei dati. L'EPR, per esempio, è stata utilizzata per ottenere il modello previsionale delle rotture delle tubazioni del gestore *Anglian Water*, in funzione di variabili quali l'età, il diametro e la lunghezza delle tubazioni²³.

²¹ Ad esempio, quella della FIDO (<http://www.fido.tech/>) che dichiara di possedere il più grande database di dati sulle perdite del mondo e in continua crescita.

²² O. Giustolisi, & D.A. Savic, *A Symbolic Data-driven Technique Based on Evolutionary Polynomial Regression*. *Journal of Hydroinformatics*, 2006, 8(3), 207-222.

²³ L. Berardi, O. Giustolisi, Z. Kapelan & D.A. Savic, *Development of pipe deterioration models for Water Distribution Systems using EPR*, 2008, *Journal of Hydroinformatics*, 10(2), 113-126.

Altre soluzioni ²⁴ e ²⁵, invece utilizzano l'IA e la "scienza dei dati" per lo sviluppo di modelli predittivi di *Asset Management*. In generale, algoritmi evoluti di IA, come il *Machine Learning*, vengono "addestrati" a valutare le condizioni e i rischi connessi alla gestione delle reti di distribuzione idrica. Queste soluzioni spostano il funzionamento e la gestione delle risorse, quindi, dalla *reazione* alla *prevenzione*.

L'IA, unita al telecontrollo, può incrementare il livello di automazione di alcuni processi sia nelle reti idriche che negli impianti di sollevamento, di potabilizzazione e di depurazione, consentendo l'adattamento dei sistemi gestiti alle mutevoli condizioni esterne. IoT, 5G, Intelligenza artificiale sono elementi sempre più comuni nei moderni sistemi di telecontrollo.

Infine, le piattaforme di *Cloud Computing* permettono di memorizzare e analizzare una grande quantità di dati per mezzo di infrastrutture di terzi che quindi non devono essere gestite direttamente dall'azienda utente. Le tecnologie di *Cloud Computing*, quindi, non solo permettono di condividere con una predefinita platea di utenti una grande quantità di dati, ma consentono la condivisione di notevoli potenze di calcolo.

7.1.4. Smart metering

Strettamente collegato al tema del telecontrollo, ma alla scala delle utenze finali, è quello dello *smart metering*. Per quanto, infatti, sia genericamente riferibile a uno strumento "intelligente" di misura di portata, il termine *smart metering* è ormai universalmente associato ai dispositivi per la misura delle portate alle utenze finali, cioè ai contatori. Uno *smart meter* è quindi un contatore che utilizza tecnologie digitali per raccogliere, analizzare e trasmettere i dati in modo efficiente.

I contatori intelligenti permettono di monitorare in tempo reale e in maniera accurata i consumi e rilevare eventuali anomalie, come guasti, perdite, ecc. favorendo il miglioramento della gestione della rete.

Nel Sistema Idrico Integrato esistono diverse possibili applicazioni di queste tecnologie. Ad esempio, un uso adeguato dei sistemi di telecontrollo dei processi di gestione dei servizi idrici insieme alla diffusione dello *smart metering* è in grado di migliorare la capacità di corretta misurazione e risparmio della risorsa idrica ed energetica ed il raggiungimento degli obiettivi di tutela ambientale imposti dalla normativa europea²⁶.

Lo *Smart metering* richiede, oltre alla installazione di misuratori elettronici intelligenti, l'implementazione di reti di comunicazione e sistemi software per la trasmissione bidirezionale, la raccolta e l'analisi dei dati, i

²⁴ FRACTA by Kurita Europe GmbH. Sito web: <https://www.fracta.eu/>

²⁵ VALUE by Xylem. Sito web: <https://www.xylem.com/it-it/brands/xylem-vue/unmatched-expertise/>

²⁶ Per una esaustiva descrizione delle potenzialità di efficienza attribuibili all'installazione di *smart meters* vedi A2A Smart City; "Le grandi virtù della telelettura", Servizi a rete, Luglio-Agosto 2023.

quali, a partire dai contatori installati alle utenze, viaggiano da, e verso, un sistema di acquisizione ed elaborazione centralizzato (SAC) sfruttando una rete di trasmissione.

La trasmissione dei dati tra i contatori intelligenti e il SAC può avvenire principalmente attraverso i seguenti mezzi fisici:

1. Linee telefoniche tradizionali;
2. Fibra ottica;
3. Reti wireless;

In relazione alle specifiche esigenze di un gestore, un sistema di *smart metering* può essere realizzato secondo diverse architetture di rete che, per talune situazioni quali aree geografiche gestite particolarmente estese o con caratteristiche orografiche e urbanistiche diversificate, si possono configurare facendo coesistere diverse tipologie di architetture all'interno di uno stesso macro-sistema.

Le architetture di rete si possono classificare nelle due seguenti tipologie²⁷:

1. *Architettura Punto – Punto*: si tratta di una architettura che prevede che la comunicazione tra i misuratori installati alle utenze e il centro di raccolta dati sia diretta. Attualmente questo tipo di reti viene realizzato sfruttando principalmente tecnologie di tipo *Low-Power, Wide-Area Network (LPWAN)*. Si tratta di reti di telecomunicazione wireless geografiche progettate per consentire il collegamento tra dispositivi IoT a lungo raggio. Esse sono caratterizzate da un basso *bit rate* (velocità di trasmissione dati) e ridotti consumi energetici. Un esempio di tecnologia LPWAN è il *Narrowband Internet of Things (NB-IoT)*²⁸.
2. *Architettura Punto – Multi Punto*: si tratta di una architettura che abilita una comunicazione tra i misuratori installati alle utenze e il centro di raccolta dati mediata da gateway intermedi. Le tecnologie usate per implementare questo tipo di rete possono essere per esempio quelle di tipo *LoRaWAN (Low Power Wide Area Network)* che consentono la connettività a lungo raggio di dispositivi *Internet of Things (IoT)*. Le reti *LoRaWAN* sono reti wireless a radiofrequenza caratterizzate da una topologia a stella in cui ogni nodo comunica con i diversi gateway installati che si connettono al loro volta con il server di rete.

7.1.5. Telerilevamento

²⁷ Sono da considerare ormai di limitato interesse le tecnologie di prossimità (walk by o drive by) per l'acquisizione dei dati attraverso il passaggio di ricevitori wireless in grado di raccogliere i dati di lettura trasmessi dai moduli radio installati su contatori, in dotazione a operatori che si muovono o a piedi o su automezzi.

²⁸ Il *Narrowband Internet of Things (NB-IoT)* è una tecnologia di telecomunicazione radio sviluppata per garantire: 1) alta densità di connessione; 2) copertura estesa e 3) bassi consumi energetici.

Il telerilevamento è una tecnologia che ha avuto grandi sviluppi nel recente passato e presenta interessanti applicazioni anche nel campo delle risorse idriche. Essa consiste nell'utilizzo di informazioni raccolte su larga scala tramite sensori di vario tipo installati su appositi satelliti. Tali informazioni possono essere elaborate per ottenere misure ed effettuare il monitoraggio di vari fenomeni, naturali e tecnici, come ad esempio:

- stato quali-quantitativo dei corpi idrici superficiali, anche col fine di effettuare valutazioni sul cambiamento climatico;
- evaporazione da invasi;
- variazioni della copertura del suolo;
- quantità di pioggia;
- umidità del suolo;
- osservazioni sulle coltivazioni che permettono di individuarne lo stadio di crescita, la produzione e il consumo d'acqua.

Il telerilevamento viene utilizzato con successo anche per la pre-localizzazione delle perdite idriche - propedeutica all'attività in campo di localizzazione puntuale delle perdite - per esempio con le applicazioni della tecnologia SAR (*Synthetic Aperture Radar*) da satellite. Il SAR è in grado di restituire mediamente una pre-localizzazione ogni 4 km ed è quindi una tecnologia che può rivelarsi vantaggiosa per la localizzazione delle perdite nei sistemi acquedottistici regionali, caratterizzati da considerevoli lunghezze e dall'attraversamento di aree impervie.

7.1.6. Robotica e droni

La moderna robotica è una disciplina che trova già applicazioni in molteplici ambiti, e può trovarne molte nel SII. La robotica e l'automazione in genere possono essere utilizzate, per esempio, per ispezionare le condotte fognarie e le reti di distribuzione dell'acqua, identificando eventuali criticità. Ciò può ridurre notevolmente la necessità di interventi manuali, che, oltre a essere generalmente più costosi, in molte applicazioni risultano anche meno accurati.

I robot si abbinano a sistemi di monitoraggio remoto consentendo alle aziende di gestione del servizio idrico di monitorare i sistemi di distribuzione dell'acqua, le condotte fognarie e i sistemi di depurazione da remoto. Ciò significa che i tecnici possono diagnosticare e risolvere i problemi da remoto, riducendo i tempi di inattività e aumentando l'efficienza.

Alcuni tipi di robot hanno l'abilità di percorrere le condotte delle reti provocando solo un minimo disturbo al flusso d'acqua e fornendo informazioni importanti quali:

- posizione, con precisione del centimetro;

- valutazione delle condizioni della condotta (anche tramite immagini): spessore, corrosione, microlesioni, ovalizzazione;
- parametri dell'acqua quali pressione, qualità, torbidità;
- individuazione di perdite, rilevando le differenze di pressione da esse generate;
- individuazione di allacciamenti abusivi.

Un'altra funzione dei robot è quella di pulire i serbatoi delle reti senza necessità di svuotarli (e senza rischio di rilasciare olio o altre sostanze inquinanti).

I droni (anche indicati col termine *Unmanned aircraft systems, UAS*) sono sistemi robotici prevalentemente volanti (ma esistono anche droni marini e terrestri) comandati a distanza e dotati di sensori. I droni possono fornire informazioni simili a quelle del tradizionale telerilevamento ma con dettaglio maggiore su piccola scala, come ad esempio applicazioni agricole per il monitoraggio delle coltivazioni e stime sulla quantità e sulla qualità dell'acqua nei corpi idrici superficiali. Un'altra possibile applicazione dei droni è il loro utilizzo per il censimento degli scarichi nei fiumi, per l'individuazione di quelli obsoleti e illeciti.

7.1.7. Realtà aumentata (AR)

La *Realtà Aumentata (Augmented Reality - AR)* è una tecnologia che permette di utilizzare in tempo reale informazioni sugli oggetti visualizzati in formato testuale, grafico e video attraverso l'uso di visori mobili appositamente studiati.

Negli ultimi tempi si è assistito a un notevole sviluppo della *Realtà Aumentata* e alla sua applicabilità a esperienze di tipo *immersivo*. Grazie alla AR immersiva è possibile innovare in maniera sensibile il modo di interagire con gli oggetti fisici in termini di visualizzazione e interazione.

I principali casi d'uso dell'AR per i servizi di pubblica utilità come il servizio idrico integrato riguardano:

- la registrazione di dati sul campo senza impegnare le mani utilizzando comandi vocali espressi in linguaggio naturale per commentare e definire informazioni acquisite in forma di immagini, video, ecc.;
- l'ispezione di asset e loro parti, confrontando le loro condizioni attuali a quelle passate;
- la ricerca di pezzi di ricambio di apparecchiature e macchine che devono essere riparate, con l'acquisizione della loro posizione georiferita che può essere comunicata al team logistico;

- l'identificazione visiva sul campo di un asset attraverso il rendering (forma e colore dell'asset), con la consultazione dell'ultima riparazione o sostituzione;
- inoltre, il personale sul campo quando si trova di fronte a situazioni complesse può chiedere aiuto ad esperti da remoto, ricevendo informazioni in tempo reale sul visore in dotazione.

I tecnici possono quindi prendere decisioni corrette sul campo con più facilità grazie al supporto dell'AR.

7.1.8. I Digital Twins

I *Digital Twins* sono ritenuti elementi chiave per la *digital transformation*.

In generale, un *Digital Twin* può essere visto come una “replica” virtuale *equivalente* di alcuni aspetti di interesse di oggetti, processi e sistemi reali, con l'obiettivo di consentirne il monitoraggio, la simulazione e l'ottimizzazione.

Quello di “Gemello Digitale” è un concetto non nuovo per la Scienza e l'Ingegneria che ha visto una recente significativa evoluzione grazie all'utilizzo delle tecnologie dell'informazione oggi disponibili. I *Digital Twin* vengono, infatti, utilizzati nei settori più avanzati dell'industria (come quello spaziale) da oltre 50 anni, ma grazie ai progressi legati alla digitalizzazione che sta riguardando tutti gli ambiti della produzione di beni e servizi sono sorte nuove opportunità connesse alla sempre maggiore disponibilità di dati.

Innanzitutto, va chiarito che non tutte le repliche digitali di una entità reale possono essere considerate *Digital Twins* in senso stretto. In funzione del livello di integrazione tra la parte fisica e la sua copia digitale è possibile operare la seguente distinzione²⁹:

1. *Digital Model*: un *Digital Model* è una rappresentazione digitale di un oggetto fisico esistente, o progettato, che non utilizza alcuna forma di scambio automatizzato di dati tra l'oggetto fisico e la sua controparte digitale. Tale scambio di dati può avvenire in modo manuale e, conseguentemente, un cambiamento di stato dell'oggetto fisico modellato non produce automaticamente effetti sull'oggetto digitale e viceversa.
2. *Digital Shadow*: un *Digital Shadow* è un *Digital Model* in grado di alimentare un flusso di dati automatizzato unidirezionale tra lo stato di un oggetto fisico esistente e la sua rappresentazione digitale, ma non viceversa.
3. *Digital Twin*: nei *Digital Twins* i flussi di dati tra un oggetto fisico reale e la sua copia digitale sono completamente integrati e bidirezionali. In

²⁹ W. Kritzinger, M. Karner e G. Traar, *Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification*, 2018, IFAC-PapersOnLine, vol. 51, n. 11, 2018, pp. 1016–1022.

questo caso l'oggetto digitale potrebbe agire come *istanza* di controllo dell'oggetto fisico. Un cambiamento di stato dell'oggetto fisico porta, dunque, direttamente a un cambiamento di stato dell'oggetto digitale e viceversa.

Il crescente interesse per questo tema ha portato a una moltiplicazione di definizioni di *Digital Twin* riscontrabili in letteratura, spesso legate agli ambiti applicativi rispetto ai quali sono state sviluppate (settore industriale, ambientale, ecc.). Tuttavia, è possibile individuare le seguenti proprietà comuni a tutti i *Digital Twins*^{30 e 31}. In particolare, un *Digital Twin* (Fig. 7.1 e Fig. 7.2):

1. È una *replica* virtuale software di oggetti, processi e sistemi reali.
2. Ha lo scopo di influenzare uno o più aspetti dell'ambiente in cui esiste la sua controparte reale. Fornisce, cioè, un output funzionale costituito dall'informazione trasmessa a un sistema automatizzato o a un operatore umano che può essere utilizzato per agire sul comportamento della parte reale dell'entità riprodotta.
3. Può integrare strumenti quali modelli matematici di simulazione e ottimizzazione delle entità replicate, o strumenti di analisi dei dati.
4. Implementa nel modello riprodotto un certo livello di “competenza” ed “esperienza oggettivata” relativa al comportamento dei sistemi da replicare. Ciò permette di avere soluzioni più robuste rispetto a quelle fornite dai *Digital Twin* basati solamente sui dati acquisiti dal *Digital Twin* stesso.
5. Può rappresentare l'entità replicata secondo diversi livelli di complessità.
6. Utilizza i flussi di dati da e verso la sua controparte reale per mantenersi allineato ad essa in modalità sincrona o asincrona. Se le informazioni sullo stato dell'entità replicata sono disponibili in un intervallo di tempo sufficientemente vicino all'evento sottostante, un *Digital Twin* può sostituire o integrare le applicazioni di monitoraggio fornendo informazioni rilevanti in tempo reale.

Dato che un *Digital Twin* viene creato per uno scopo o scenario specifico e viene aggiornato con input di dati provenienti dalla sua controparte fisica, le caratteristiche dell'accoppiamento digitale tra le due parti saranno influenzate dalla natura, volume e tempestività dei dati che devono essere trasferiti. Per quanto riguarda la connettività tra gemelli fisici e digitali, un tema molto dibattuto dagli esperti è quello che riguarda l'implementazione automatica e bidirezionale del flusso di dati tra modello digitale e l'entità fisica: una simile

³⁰ J. Moyne *et al.*, *A Requirements Driven Digital Twin Framework: Specification and Opportunities*, in IEEE Access, vol. 8, pp. 107781-107801, 2020.

³¹ J. Eyre, S. Hyde, D. Walker, S. Ojo, O. Hayes, R. Hartley, R. Scott e J. Bray, *Untangling the requirements of a Digital Twin*, October 2020, Advanced Manufacturing Research Centre - University of Sheffield. https://www.amrc.co.uk/files/document/406/1605271035_1604658922_AMRC_Digital_Twin_AW.pdf

configurazione potrebbe, infatti, essere problematica in quanto implica che il gemello digitale svolga una funzione di controllo della parte fisica reale con ripercussioni sulla separabilità dei gemelli e sulla capacità dell'entità fisica di operare in modo indipendente.



Fig. 7.1. Rappresentazione schematica di un *Digital Twin* (DT)³².

Nella schematizzazione di Figura 8.2 sono messi in evidenza gli aspetti essenziali di un DT: l'elemento fisico nello spazio reale (a sinistra); l'elemento virtuale nello spazio virtuale (a destra); i dati e informazioni che forniscono le connessioni tra il sistema fisico e virtuale.

Un tema di interesse nell'ambito dell'implementazione di un *Digital Twin* è, infine, quello della sicurezza informatica e della protezione dei dati: è fondamentale che vengano implementate misure di sicurezza informatica robuste in grado di proteggere l'integrità dei sistemi gestiti e delle informazioni trattate.

Per quanto detto, un *Digital Twin* è una soluzione in grado di mettere a sistema diverse delle tecnologie digitali prima passate in rassegna ed è utilizzabile nell'ambito della gestione delle infrastrutture idriche, costituendo un ambiente operativo integrato ed evoluto.

Per inquadrare adesso il concetto di *Digital Twin* nell'ambito della gestione delle infrastrutture idriche, si elencano le tecnologie implementabili di maggiore interesse applicativo, tenendo comunque conto che la costruzione di uno specifico *Digital Twin* può variare, per esempio, in base al segmento del SII a cui ci si riferisce (captazione, adduzione e distribuzione dell'acqua ad usi civili, fognatura e depurazione delle acque reflue) alle esigenze e alle possibilità, tecniche e finanziarie, di ciascun soggetto attuatore.

- Geographic Information System (GIS) per la rappresentazione Geospaziale degli asset dislocati sul territorio;
- Internet delle Cose (IoT) per l'acquisizione di dati in tempo reale;

³² J. Eyre, S. Hyde, D. Walker, S. Ojo, O. Hayes, R. Hartley, R. Scott e J. Bray, *Untangling the requirements of a Digital Twin*. *Advanced Manufacturing Research Centre*, cit.

- Modelli di simulazione e ottimizzazione di reti idriche e fognarie, di sistemi idrici complessi e di processi di depurazione delle acque reflue;
- *Building Information Modeling* (BIM) in ambito infrastrutturale;
- Telecontrollo (tecnologia declinabile nei tre macro-blocchi di monitoraggio, controllo e ottimizzazione).
- Analisi dei dati e Intelligenza Artificiale, per esempio, con applicazioni di algoritmi di analisi predittiva che possono consentire al *Digital Twin* di prevedere guasti potenziali o comportamenti anomali degli asset fisici gestiti.
- *Cloud Computing* per l'utilizzo di risorse di calcolo condivise e scalabili in funzione delle specifiche esigenze computazionali.

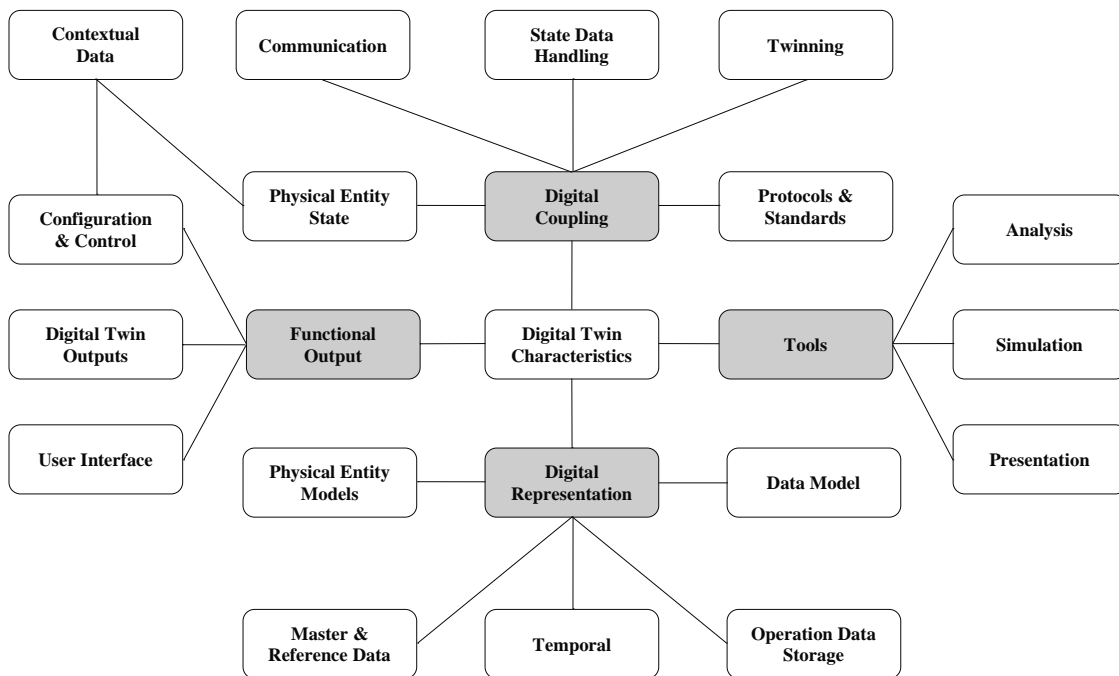


Fig. 7.2. Composizione funzionale di un Digital Twin³³.

Il *Digital Twin* può svolgere dunque un ruolo chiave nei prossimi anni, supportato da analisi avanzate che migliorano la gestione di reti e impianti, contribuendo a ridurre i costi operativi. I *Digital Twin* consentono una gestione proattiva delle infrastrutture idriche attraverso ottimizzazione strategica, rilevazioni in tempo reale di anomalie nella rete e negli impianti, analisi predittiva degli eventi e previsione della domanda.

L'adozione di strategie basate sul concetto di *Digital Twin* offre numerosi vantaggi nel miglioramento delle performance e nell'ottimizzazione degli asset: consente di migliorare l'efficienza, l'efficacia e la durabilità di

³³ H. Boyes e T. Watson, *Digital twins: An analysis framework and open issues*, Computers in Industry, Volume 143, 2022.

prodotti, impianti e sistemi attraverso simulazioni che esplorano varie strategie operative.

In primo luogo, l'accuratezza delle simulazioni è notevolmente aumentata, poiché la creazione di una versione virtuale degli asset permette di condurre analisi dettagliate riducendo notevolmente i rischi, i tempi di inattività e i costi associati ai test diretti in produzione. Questo ambiente virtuale fornisce un terreno sicuro per esplorare scenari impattando il meno possibile sul funzionamento dell'asset reale.

L'uso di questa tecnologia permette quindi di accelerare l'adozione di innovazioni operative: la facilità con cui è possibile testare e valutare nuove strategie attraverso simulazioni digitali permette infatti un processo più rapido di implementazione delle innovazioni.

I *Digital Twin* abilitano inoltre la manutenzione predittiva, grazie alla creazione di modelli virtuali avanzati e al monitoraggio in tempo reale tramite una vasta quantità di dati provenienti dalla sensoristica. Ciò consente di ritardare gli interventi non immediatamente necessari, anticipare anomalie e guasti, e adottare misure correttive tempestive per ridurre al minimo il tempo di inattività.

Infine, questi approcci migliorano il patrimonio informativo e analitico sugli impianti. L'aggregazione di tutte le informazioni disponibili, dalla fase di progettazione alla gestione operativa, fornisce una visione completa, simile a quella ottenibile col *Building Information Modeling* (BIM) nel caso degli edifici.

7.1.9. La sicurezza informatica

L'utilizzo, ormai pervasivo, di tecnologie digitali, in qualsiasi ambito - e a maggior ragione in quelli più critici come la gestione delle infrastrutture idriche - deve essere necessariamente accompagnata dall'adozione di adeguate e robuste misure di sicurezza informatica.

La continua crescita della minaccia di attacchi informatici che si sta registrando nel mondo industrializzato ha fatto maturare una riflessione sulla problematica della Cyber security portando alla definizione del concetto di *resilienza informatica*³⁴, definita come la capacità di un'organizzazione di prevenire gli incidenti di sicurezza informatica, resistere ad essi ed eseguire il ripristino quando si verificano.

A livello normativo, con il decreto del Presidente del Consiglio dei ministri del 17 maggio 2022, in Italia è stata adottata la *Strategia nazionale di Cybersicurezza 2022-2026*³⁵ e il relativo Piano di implementazione (richiesto all'art. 2 comma 1 lett. b del DL 82/21, convertito in legge n.109, 4 agosto

³⁴ Nel novembre 2019, il National Institute of Standards and Technology (NIST) degli USA ha finalizzato il suo standard di resilienza informatica (Special Publication 800-160 volume 2).

³⁵ Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale, *Strategia nazionale di Cybersicurezza 2022-2026*.

2021). La strategia, definita dall’Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale (ACN), prevede il raggiungimento di 82 misure entro il 2026 con l’obiettivo di:

- proteggere gli asset strategici nazionali attraverso un approccio *risk-based* e un quadro normativo efficiente per una transizione digitale resiliente del Paese;
- rispondere alle minacce e crisi cyber nazionali attraverso sistemi di monitoraggio, rilevamento, analisi e processi di sicurezza;
- sviluppare tecnologie digitali sicure.

La *Strategia Nazionale* mira, dunque, a garantire sicurezza nella transizione digitale della pubblica amministrazione e dei diversi settori produttivi, mitigando l’impatto delle minacce cyber, anche coordinando i settori pubblico e privato nella risposta alle possibili crisi di sicurezza informatica.

Dal 16 ottobre 2024 è, inoltre, in vigore il Decreto Legislativo n. 138 del 4 settembre 2024³⁶ che recepisce la nuova direttiva europea (UE) 2022/2555, *relativa a misure per un livello comune elevato di cibernsicurezza nell’Unione (Network and Information Security - NIS)*³⁷. La nuova Direttiva mira a garantire l’aumento del livello di sicurezza informatica del tessuto produttivo e delle Pubbliche Amministrazioni del Paese, in armonia con gli altri Stati membri dell’Unione europea.

La nuova normativa prevede l’ampliamento del campo di applicazione a diciotto settori di cui undici altamente critici e sette critici³⁸ prevedendo specifici obblighi per i soggetti interessati. Tra i settori ad alta criticità identificati ci sono coloro che trattano le acque potabili e le acque reflue per i quali i soggetti interessati sono:

- Fornitori e distributori di acque destinate al consumo umano, quali definiti all'articolo 2, punto 1, lettera a), della direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento europeo e del Consiglio³⁹, ma esclusi i distributori per i quali la distribuzione di acque destinate al consumo umano è una parte non essenziale dell'attività generale di distribuzione di altri prodotti e beni;
- Imprese che raccolgono, smaltiscono o trattano acque reflue urbane, domestiche o industriali quali definite all'articolo 2, punti da 1), 2) e 3), della direttiva 91/271/CEE del Consiglio, escluse le imprese per cui la raccolta, lo smaltimento o il trattamento di acque reflue urbane, domestiche o industriali è una parte non essenziale della loro attività generale.

³⁶ Decreto Legislativo n. 138 del 4 settembre 2024.

³⁷ L’Autorità italiana competente NIS rimane l’Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale.

³⁸ Decreto Legislativo 04 settembre 2024, n. 138. Allegato I. https://www.acn.gov.it/portale/documents/d/guest/faq-1-5_dettaglio-ambiti-di-applicazione

³⁹ Direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2020 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano.

7.2. La diffusione delle tecnologie digitali nel settore idrico in Italia e il loro impatto sulle gestioni

La transizione digitale delle reti idriche è certamente sostenuta da investimenti significativi, con particolare attenzione alla riduzione delle perdite. Secondo il Blue Book 2025, tra il 2021 e il 2023 il 27% del totale investito è stato destinato a questa finalità.

La digitalizzazione sta trasformando il settore idrico, migliorando servizi e processi industriali in un'ottica di sostenibilità. Tecnologie avanzate come intelligenza artificiale, big data e *digital twins* stanno rivoluzionando le competenze finanziarie, ingegneristiche e organizzative delle aziende, con impatti positivi in termini di efficienza operativa e creazione di nuove professionalità

Secondo i dati del Blue Book 2025, il 90% delle reti analizzate è georeferenziato, un dato superiore alla media del campione Arera (circa 80%). Ciò significa che per oltre 239.000 km di infrastruttura sono disponibili informazioni digitali dettagliate, tra cui coordinate di posa e caratteristiche tecniche, facilitando una gestione più efficace.

Il Blue Book 2025 mostra che, a livello nazionale, il 33% delle reti di distribuzione è distrettualizzato e telecontrollato, un dato leggermente inferiore rispetto al valore indicato nell'ultima relazione dell'Autorità (39%). Questo aspetto evidenzia un margine di miglioramento e la necessità di accelerare l'integrazione di soluzioni digitali nel sistema idrico.

Nonostante le enormi potenzialità evidenziate nei punti precedenti, la diffusione in Italia delle tecnologie digitali nel settore idrico è tuttavia ancora molto limitata. La digitalizzazione è presente, come detto, soprattutto nella distrettualizzazione delle reti e nella misurazione dei volumi di processo, ma è ancora poco diffusa negli altri segmenti.

Da un recente studio condotto da REF Ricerche tra i principali gestori idrici italiani⁴⁰, e i cui esiti sono riportati nel Position Paper n. 259⁴¹, è emersa una fotografia dello stato di diffusione delle principali tecnologie digitali per il segmento acquedotto.

In particolare, è risultato che:

- tra il 2018 e il 2021 si è avuto un aumento del 57% delle reti acquedottistiche distrettualizzate e telecontrollate. Tali reti nel 2021 rappresentano il 35% del totale, pari a circa 36.000 km su 102.000 km;
- la percentuale di *smart meter* installati presso le utenze è passata dall'1% del 2018 al 6% del 2021, contro la media dell'Unione europea che si attesta invece al 49%⁴²;

⁴⁰ 14 gestioni che servono 17,8 milioni di abitanti

⁴¹ REF Ricerche, Position Paper n. 259, *Transizione digitale: le opportunità per il segmento acquedottistico*, Gennaio 2024.

⁴² The European House - Ambrosetti, *Libro Bianco 2023 - Valore Acqua Per L'Italia - 4ª edizione*, 2023.

- La lettura da remoto dei volumi di processo è passata dal 67,3% di volumi di processo letti da remoto nel 2020 al 71,5% del 2021, mentre soltanto il 10% dei volumi di utenza viene letto a distanza nel 2021. La tecnologia di telelettura più diffusa è quella da remoto a discapito delle tecnologie di prossimità (*walk by o drive by*).

Lo studio di REF Ricerche ha anche approfondito l’impatto delle tecnologie digitali sulle gestioni proponendo un questionario agli operatori selezionati. Essi hanno risposto evidenziando, nel complesso, che l’insieme delle tecnologie digitali esaminate contribuisce al conseguimento di una diversificata serie di scopi (Fig. 7.3), manifestando sinergie più pronunciate man mano che vengono adottate.

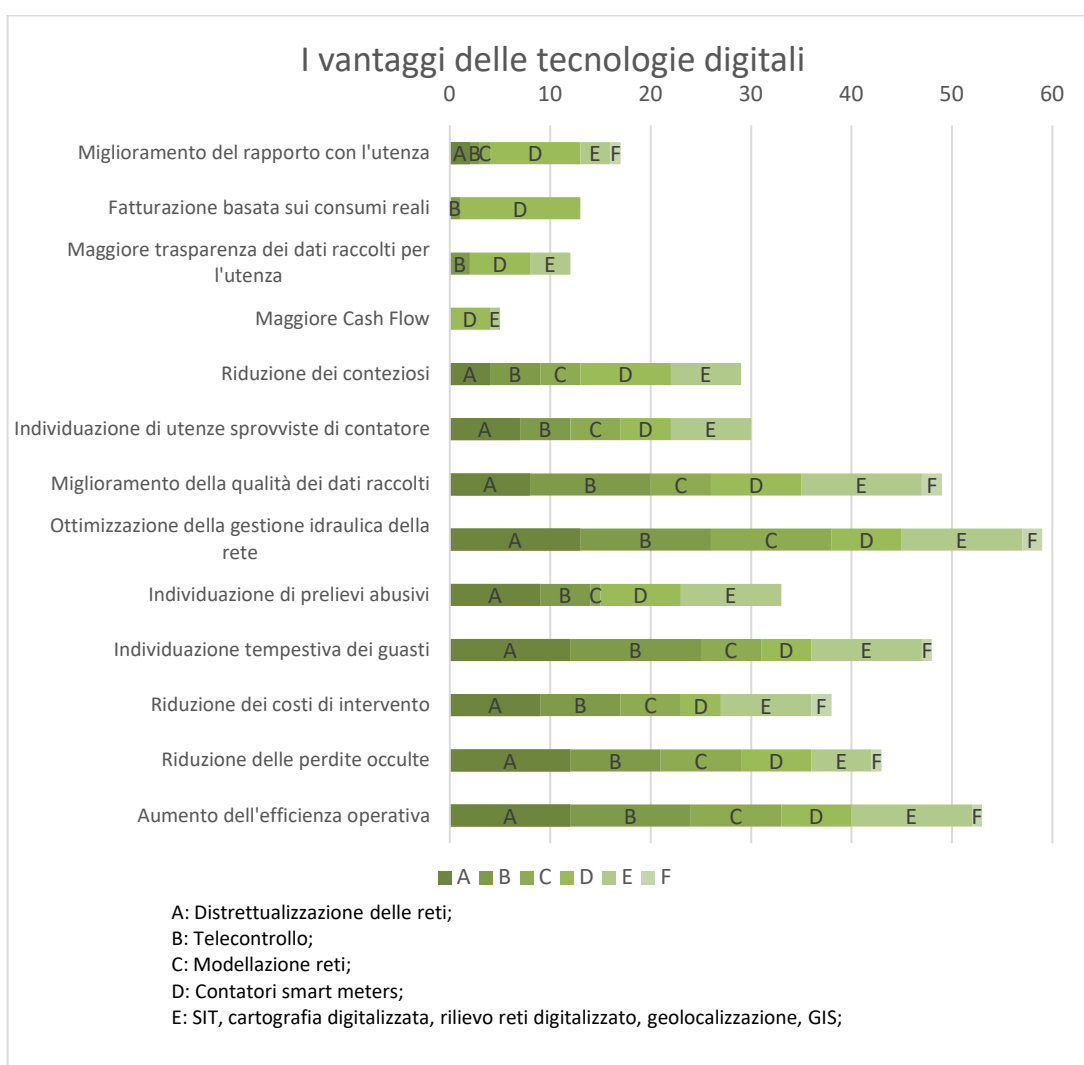


Fig. 7.3. I vantaggi delle tecnologie digitali⁴³. Numero di risposte per tipologia e categoria indicate dai gestori considerando la propria esperienza diretta. Campione di 14 gestioni al servizio di 17,8 milioni di abitanti.

⁴³ REF Ricerche, Position Paper n. 259, *Transizione digitale: le opportunità per il segmento acquedottistico*, Gennaio 2024.

La parte alta della figura è dedicata ai vantaggi delle tecnologie digitali in relazione agli aspetti amministrativi e contrattuali del servizio idrico, mentre gli effetti riportati nella parte centrale ed inferiore sono riferibili ad aspetti più genuinamente tecnologici ed operativi del servizio. Nella prima tipologia è evidente la prevalenza dello *smart metering* come tecnologia abilitante allo sviluppo di questo tipo di vantaggi⁴⁴, mentre le tecnologie percepite come più utili dai gestori per quanto riguarda gli aspetti più tipicamente ingegneristici ed operativi sono il telecontrollo, la distrettualizzazione delle reti e l'uso di Sistemi Informativi Territoriali (SIT), la cartografia digitalizzata, etc. Questa panoramica, se da una parte riflette lo stato delle tecnologie maggiormente diffuse, conferma il forte interesse per una metodologia innovativa di gestione delle reti quale è la distrettualizzazione e, anche se in modo più sfumato, l'interesse per le potenzialità esprimibili dai contatori smart anche nella gestione delle reti oltre che nella fatturazione e nel rapporto con gli utenti. In questo momento appare invece più limitata l'utilità percepita dei modelli delle reti e ancora più bassa quella dei sistemi di ottimizzazione e di *work force management*. Questa circostanza è riconducibile all'attitudine dei gestori, prevalentemente operativa e orientata al *problem-solving* di breve termine. L'implementazione e l'utilizzo dei modelli di simulazione e dei sistemi di supporto alla decisione presuppongono invece un'acquisizione di competenze e uno sforzo di analisi, sintesi e capacità di manutenzione ed utilizzo dei modelli che viene valutato come troppo oneroso rispetto ai benefici, che sono per lo più percepibili nel lungo termine.

7.3. L'impatto del PNRR sullo sviluppo delle nuove tecnologie

Uno degli aspetti caratterizzanti l'impostazione concettuale del PNRR è stato quello della diffusione del processo di digitalizzazione nella pubblica amministrazione e nei servizi al territorio e nei servizi pubblici locali.

Differentemente dalla industria tecnologicamente più avanzata e di maggiori dimensioni, dove questo processo si è già significativamente sviluppato negli anni scorsi, nel settore pubblico e nelle imprese pubbliche o che operano in condizioni di monopolio naturale non si registra normalmente lo sviluppo autonomo indotto dalle condizioni di competizione del mercato.

In questi comparti occorre quindi attivare forzanti esogene, che rendono necessarie o comunque conveniente attivare il processo di digitalizzazione. Queste forzanti possono essere di natura normativa, regolatoria o finanziaria, con la disponibilità di risorse a fondo perduto o incentivi. La utilizzazione di una o più di queste categorie di forzanti è logicamente funzione delle caratteristiche dello specifico settore, anche se in realtà un'analisi più approfondita induce alla conclusione che in tutti i settori si registra l'uso combinato di queste categorie, in forma esplicita o implicita.

Le misure contenute nel PNRR sono un esempio classico di combinazioni delle diverse categorie, in quanto in ogni cluster si riscontra la presenza di misure normative/regolatorie e misure finanziarie, generalmente allocabili sulla base di precondizioni specifiche dei soggetti beneficiari e attuatori e attraverso meccanismo competitivi. In altre parole, le misure del PNRR possono essere classificate come esempio della classica politica "bastone e carota", che probabilmente è la più adatta in situazioni di significativa arretratezza territoriale e settoriale.

⁴⁴ Gli *smart meters* risultano di fatto quasi l'unica tecnologia percepita come utile per generare benefici quali il miglioramento dei flussi di cassa e una maggiore trasparenza nei dati raccolti e nei rapporti con gli utenti.

Avvicinandoci oramai alla fase conclusiva del PNRR si può avviare una riflessione critica sull'efficacia di tale impostazione concettuale, e dei motivi che sono stati determinanti per il suo successo o per il suo fallimento parziale o totale. Questa analisi, che non può che essere settoriale, serve anche per capire come operare nel post PNRR, che rappresenta certamente la fase più delicata. Infatti, l'incapacità di definire e mettere in atto efficaci politiche di accompagnamento di questa nuova fase è certamente prodromica ad una reazione negativa all'introduzione del processo di digitalizzazione e in generale di innovazione nell'area pubblica e nei settori dove questo processo ha cominciato ad attecchire, ma non è ancora sufficientemente robusto per svilupparsi autonomamente.

Un esempio di una politica specifica del PNRR è quella relativa all'incremento dell'efficacia delle reti di distribuzioni ad uso civile, cioè della Misura M2C4 misura investimenti 4.2. L'analisi di come è stata pensata e implementata e dei suoi effetti è utile anche per identificarne luci e ombre, e per predisporre per tempo gli strumenti integrativi che ne consentano la continuazione e il consolidamento nel post PNRR.

La misura del PNRR relativa alla distribuzione delle reti idriche ad uso civile ha indubbiamente rappresentato un programma fortemente innovativo nella gestione delle reti idriche urbane. L'impostazione del programma, prevedendo che la sostituzione delle tubazioni debba essere preceduta da una massiccia campagna di sostituzione degli strumenti di misura della consegna agli utenti finali con *smart meters*, della distrettualizzazione, della messa in opera nelle reti di strumenti di misura e controllo delle pressioni e delle portate, del controllo delle pressioni in rete, di una ricerca continuativa delle perdite, di fatto ha evidenziato che la digitalizzazione del sistema di distribuzione rappresenta condizione necessaria anche se non sufficiente per il miglioramento di efficienza delle infrastrutture di distribuzione.

L'analisi dei risultati di questo programma di investimento per la digitalizzazione delle reti idriche ad uso civile consente di evidenziare gli aspetti positivi e negativi che caratterizzano questo processo.

La situazione di partenza era come notorio l'elevato stato di inefficienza di queste reti, che presentano elevati livelli di perdite in generale in tutta Italia, ma particolarmente nelle aree meridionali specialmente dove non esistono gestori o non hanno sufficienti capacità tecniche, organizzative e finanziarie. In questo contesto la scelta concordata con la Commissione Europea è stata quella di finanziare a fondo perduto l'innovazione tecnologica delle reti piuttosto che il rinnovo delle tubazioni, nella corretta ipotesi che le reti vanno rinnovate a valle della conoscenza del loro stato di efficienza, e non con sostituzioni massive senza avere identificato preventivamente le priorità. Si è quindi preferito finanziarie prioritariamente la distrettualizzazione e digitalizzazione delle reti, l'installazione di contatori smart, i sistemi SCADA e le altre applicazioni tecnologiche che consentono di sviluppare l'asset management di queste infrastrutture e la loro gestione efficiente.

I programmi che hanno finanziato questi interventi sono:

- ReactEU, limitato alle regioni Basilicata, Calabria, Campania, Puglia e Sicilia, che alla scadenza del programma (31.12.24) ha speso circa 300 milioni di euro su una disponibilità iniziale di 480 milioni;
- PNRR programma M2C4 misura 4.2, che nelle diverse finanziarie dovrebbe spendere oltre 1900 milioni entro giugno 2026, con una teorica riserva del 40% per le regioni meridionali; tuttavia, per mancanza di progetti non è stato possibile rispettare questa percentuale, che si è attestata intorno al 30%.

Tuttavia, la dimensione delle risorse finanziarie del programma e il limite temporale nel quale è necessario spenderle, che a legislazione invariata è al più giugno 2026, non consentono di assicurare né il completamento del processo né l'irreversibilità dello stesso.

L'aspetto positivo più importante dell'attivazione di questi programmi è rappresentato dalla forte spinta all'innovazione che hanno rappresentato in tutto il territorio nazionale, con importanti ricadute sull'intera filiera dei servizi tecnologici, mentre l'aspetto negativo è, come dimostra la capacità di spesa, che l'obiettivo di ridurre il *water service divide* fra le aree avanzate del paese e il Meridione non è stato raggiunto anzi forse il divario si è incrementato. La principale causa di questo fallimento sta non solamente nella mancanza di gestori ma anche dove questi sono presenti solo formalmente o presentano ridotte capacità di spesa anche in presenza di risorse a fondo perduto è difficile procedere nei processi di innovazione tecnologica. Il reale timore è che in queste condizioni, anche nei casi dove questi investimenti sono stati realizzati, senza assistenza tecnica successiva o affidamento a terzi della fase gestionale la loro potenzialità innovativa si esaurisca in breve termine.

Esiste quindi un problema del dopo PNRR, cioè di come l'impostazione concettuale di questa misura del PNRR possa diventare un approccio stabile e duraturo, rappresentando una base tecnicamente solida nell'indispensabile processo di progressiva riduzione della percentuale di perdite nelle reti idriche a livello simile a quello che si registra nelle nazioni tecnicamente più avanzate.

Questo è il problema principale del post PNRR, e, per evitare che questa stagione di spinta all'innovazione tecnologica del settore sia di durata limitata nel tempo, occorre che siano approntati o rinforzati strumenti regolatori e finanziari che accompagnino e generalizzano il processo.

Infatti, questo è certamente agevolato dalla disponibilità di fondi a livello comunitario, nazionale e/o regionale che possono finanziare sia una assistenza tecnica che supportare con finanza agevolata il miglioramento del servizio e/o con credito d'imposta collegabile alla riduzione delle perdite e all'efficienza energetica.

Per lo sviluppo della innovazione tecnologica e specificatamente dei processi di digitalizzazione nel post PNRR è necessario da una parte che la regolazione tecnica ed economica da parte di ARERA sia ulteriormente rinforzata, contestualmente alla definizione di strumenti finanziari adeguati ad agevolare il processo. Non è superfluo evidenziare che uno degli obiettivi degli investimenti in conoscenza e gestione è la maggiore efficienza delle infrastrutture esistenti, che si traduce in allungamento della loro vita utile e in significativi risparmi nei processi di rinnovo. In altre parole, la digitalizzazione si ripaga in tempi brevi e quindi il suo finanziamento è prioritario in termini di costi-benefici, anche per gli effetti di sostenibilità rappresentati dalla riduzione dei costi ambientali e della risorsa in un contesto di accelerazione del cambiamento climatico.

Gli strumenti finanziari da approntare sono logicamente diversi se si tratta di servizi regolati e tariffati quali il servizio idrico integrato o di servizi in parte significativa sussidiati come quelli irrigui. Nel primo caso il paniere degli strumenti attivabili, oltre alla disponibilità di risorse a fondo perduto per il cofinanziamento degli interventi, può prevedere anche il credito di imposta e iniziative di finanza di progetto. Nel caso di servizi sussidiati lo strumento finanziario più adatto è il fondo perduto, ma con programmi specifici dedicati a queste tecnologie innovative.

È essenziale, comunque, che dagli operatori del settore e dai fornitori di servizi tecnologici avanzati sia sviluppato un approccio organico e completo, che comprenda la messa in opera di strumenti di misura avanzati e smart, le strutture centralizzate di gestione dei dati, i modelli di analisi dei dati e di supporto alle decisioni. Il futuro è che la sofisticazione degli strumenti di misura, controllo e gestione non rappresenti una barriera alla loro diffusione, in quanto anche attraverso l'uso dell'Intelligenza artificiale il gestore sia messo nelle condizioni di conoscere di più e operare al meglio.

Il partenariato con il settore privato è parte fondamentale di una strategia per il miglioramento delle capacità del gestore acquisendo dal privato capacità tecniche, esperienze e strumentazioni aggiornate, sia nelle fasi progettuale e realizzativa che in quella gestionale. Se questo è vero in generale lo è ancora di più nel caso dell'innovazione tecnologica

Inoltre, il processo di digitalizzazione nel servizio idrico integrato non può limitarsi solo alle reti idriche ma deve investire l'intero ciclo, sia tecnico che amministrativo e gestionale. Questo significa che per il controllo dell'efficienza funzionale delle infrastrutture deve essere esteso alla gestione delle reti fognarie civili e per l'educazione dei deflussi urbani, degli impianti di sollevamento, di quelli di potabilizzazione e specialmente di quelli di depurazione. Da un punto di vista amministrativo e gestionale le aree di maggiore interesse sono quello della gestione del processo di misurazione e tariffazione, della organizzazione del lavoro e del rapporto con la clientela. Tutto questo comporta la gestione e la validazione di una quantità molto grande di dati, e la loro successiva analisi al fine di supportare le concrete strategie del gestore. Si tratta quindi di implementare veri e propri sistemi di supporto alle decisioni e in questo campo sono essenziali le applicazioni dell'Intelligenza Artificiale.

In questo contesto il post PNRR deve quindi consentire non solamente il consolidamento del processo ma anche il suo sviluppo. E fra l'altro il campo di applicazione del processo di digitalizzazione in un contesto di cambiamento climatico non può limitarsi al servizio idrico integrato ma deve estendersi alla gestione complessiva delle risorse idriche, e quindi non può non essere esteso alla filiera irrigua, che rappresenta in generale il comparto con maggiore consumo. Si tratta di intervenire non solamente nella gestione delle infrastrutture di distribuzione per contenerne le perdite, ma anche nella scelta degli adacquamenti in funzione della coltura, delle condizioni di umidità del terreno, della stagione e delle previsioni meteo-climatiche.

Un altro segmento dove la digitalizzazione e l'intelligenza artificiale possono rappresentare un fattore di sviluppo è il riuso delle acque reflue, dove il sistema di controllo e di gestione del processo è condizione indispensabile per il successo di questa pratica da molto tempo prospettata ma che trova significative difficoltà applicative. La nuova direttiva europea per il trattamento delle acque reflue è un'occasione per attivare questo processo.

Le applicazioni dell'intelligenza artificiale, unitamente ad altre tecnologie, rappresentano promettenti aree di sviluppo nella gestione delle risorse idriche. Previsione degli eventi meteo, gestione di sistemi complessi e delle reti di distribuzioni civili e irrigue, controllo dell'efficienza degli adacquamenti in agricoltura, gestione degli impianti di depurazione, asset management delle infrastrutture, gestione delle emergenze sono esempi non esaustivi delle potenzialità di applicazione.

Le aree di maggiore utilizzazione potenziale dell'IA non sono solamente quelle relative all'automatizzazione di compiti ripetitivi o all'abilità di eseguire compiti fisici, ma anche quella dell'assunzione di decisioni basate su dati analizzati, che si fonda sulla possibilità di raccogliere e gestire un numero enormi di dati. All'interno di questo processo possiamo riscontrare l'utilizzazione di *chatbox*, l'analisi di *big data*, l'uso di machine learning e deep learning, *digital twin* del ciclo idrico o di sue parti, l'uso di sensori e *Internet of Things*, di droni, di SCADA, di sistemi esperti e di supporto alla decisione. Campi di sviluppo ulteriore sono le applicazioni di Realtà Aumentata e Realtà Virtuale, delle Robotica e di *Cyber Security*. Per applicare le tecnologie è comunque essenziale una profonda riorganizzazione aziendale, anche per attivare e gestire le capacità tecnologiche che inevitabilmente devono in parte significativa essere reperiti sul mercato.

È opportuno evidenziare che l'esperienza sviluppata nei contesti più avanzati dimostra che per ottenere risultati duraturi è comunque indispensabile avviare queste 4 azioni: a) i

gestori devono organizzare un'unica struttura operativa dedicata per la pianificazione, la progettazione e la realizzazione degli interventi di efficientamento delle perdite nelle reti; b) analogamente deve esserci un'unica struttura operativa per la gestione dei processi di controllo delle perdite; c) deve essere sviluppato il partenariato pubblico-privato; d) devono essere disponibili fondi per investimenti del settore.

In sostanza la tecnologia è necessaria ma non sufficiente per ottenere risultati. Le azioni sopra citate devono essere avviate contestualmente alla identificazione e attuazione delle soluzioni tecniche, e solamente questo approccio consente di raggiungere gli obiettivi che ci si propone.

Nel caso specifico la centralizzazione della pianificazione, progettazione e realizzazione degli interventi consente di ottenere la migliore efficacia degli stessi; analogamente è necessaria, come detto, la centralizzazione con una struttura dedicata della gestione del processo di analisi del funzionamento delle reti e del controllo delle perdite, con adeguate risorse umane e finanziarie, con strumentazioni aggiornate e con flessibilità per introdurre incentivi ad uno staff motivato.

La frontiera dei servizi tecnologici del settore è comunque la capacità del mercato di approntare strumenti per gestire processi complessi che utilizzano i singoli prodotti per fornire risposte e soluzioni compiute ai gestori, specialmente se dimensioni di questi ultimi e la loro capacità organizzativa e gestionale non è compatibile con il livello tecnologico e la velocità di innovazione tipica dei servizi tecnologici. Probabilmente nel futuro i gestori del servizio idrico integrato o i consorzi di bonifica, anche quelli che in Italia sono considerati di grandi dimensioni, diventeranno sempre più acquirenti di servizi complessi e avanzati, e non di singoli prodotti. E questa è la sfida per i produttori di questi servizi.