

Il controllo dei trialometani nei sistemi acquedottistici

Negli acquedotti è sempre più importante valutare le caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua lungo l'intero suo percorso, per verificare che la concentrazione di determinati composti sia inferiore agli standard di salute vigenti. L'ENEA ha messo a punto un metodo e un sistema software per il controllo continuo, dinamico e distribuito della concentrazione e speciazione dei trialometani nei sistemi acquedottistici.

DOI 10.12910/EAI2023-024

di **Grazia Fattoruso**, Laboratorio di Sviluppo Applicazioni Digitali Fotovoltaiche e Sensoristiche, ENEA; **Guido Guarnieri**, Laboratorio di Infrastrutture per il Calcolo Scientifico e ad Alte Prestazioni, ENEA

La trasformazione digitale nella sua tendenza globale ha investito negli ultimi anni anche la modalità di erogare servizi, inclusi quelli di pubblica utilità come il servizio idrico. Si tratta di un nuovo paradigma, riferito anche come Water 4.0, in cui la tecnologia digitale diventa uno strumento per ottimizzare la gestione dei processi, per efficientare l'uso della risorsa acqua e migliorare l'attenzione all'utenza.

Sebbene il servizio idrico nazionale abbia avviato questo percorso da qualche anno, è ancora in una fase iniziale. **Le sfide più importanti e urgenti da affrontare sono quelle che da molto accompagnano il settore idrico: frenare il degrado dell'infrastruttura, garantire la qualità della risorsa idrica, migliorare il rilevamento delle perdite, soddisfare la crescente domanda di acqua, decentralizzare i sistemi idrici.** Attualmente, significativi investimenti, provenienti dal PNRR, stanno interessando il settore specifico delle reti acquedottistiche. **L'obiettivo è la digitalizzazione degli acquedotti attraverso tecnologie** (e.g., Sensori, Tecnologie di controllo e

comunicazione, IoT, Big Data, Cloud computing, Simulazioni, IA) **e soluzioni innovative che permettono di sviluppare sistemi intelligenti di monitoraggio, gestione e misura, di conoscenza a supporto delle decisioni e anche una maggiore consapevolezza dei consumi e del valore dell'acqua.**

Gli acquedotti fanno già uso di automazione e controllo delle stazioni fisse, delle stazioni di pompaggio, dei serbatoi e dei principali nodi della rete, noto come telecontrollo, basato generalmente su sistemi SCADA e PLC. I gestori sanno cosa immettono in rete, quanta acqua, con quale qualità e riescono anche a identificare rapidamente i macro-guasti sulla rete. Ma conoscono poco di ciò che accade lungo la rete, soprattutto a livello di distribuzione e fino al rubinetto dell'utente. Hanno conoscenza dei fenomeni diffusi che interessano la loro rete, dalle perdite ai prelievi abusivi, a variazioni non previste di pressioni, ad alterazioni della qualità delle acque. Tuttavia non hanno strumenti adeguati per localizzarli in tempo reale e gestirli garantendo la continuità del servizio ed un'acqua sempre sicura. Garantire che

l'acqua distribuita sia salubre e pulita fino al rubinetto è tra i compiti del gestore. **Negli acquedotti è sempre più importante valutare le caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua lungo l'intero suo percorso, per verificare che la concentrazione di determinati composti sia inferiore agli standard di salute vigenti.** Nello specifico, quando l'acqua viene sottoposta ai trattamenti che ne assicurano la potabilità, tali trattamenti, prevalentemente svolti attraverso l'utilizzo di cloro, possono provocare la formazione di sottoprodotti della disinfezione (Disinfection By-Products – DBPs), cancerogeni e tossici. Tra i sottoprodotti più comuni, ci sono i trialometani (THMs) e gli acidi aloacetici (HAAs) cui fanno riferimento le normative vigenti in Italia e in diversi Stati, fissandone i valori soglia per la loro concentrazione totale, o per quella delle singole specie. **Si rende dunque necessario un monitoraggio della concentrazione dei trialometani nelle condotte idriche per verificare se detta concentrazione è inferiore al valore di soglia stabilito.**

Ad oggi sono note soluzioni per il monitoraggio che prevedono analisi

di laboratorio di campionamenti periodici e sparsi lungo la rete nonché analisi chimiche online tramite appositi analizzatori/campionatori di punto. I costi associati alle analisi di laboratorio non sono peraltro trascurabili per il gestore, seppur molto inferiori rispetto ai costi energetici (e.g. intorno al 3% dei costi energetici in un acquedotto di adduzione di medie dimensioni). La variabilità e la dinamicità di una rete idrica richiederebbero un controllo continuo, in tempo reale e sulla intera condotta idrica.

Le soluzioni ad oggi proposte non consentono di avere analisi in tempo reale e sono, generalmente, limitate solo a pochi punti della rete idrica.

Ne consegue che possono determinarsi zone d'ombra in cui possono verificarsi condizioni critiche che restano ignote per il gestore. Oppure, magari, pur rilevando la presenza di concentrazioni elevate dei THM lungo l'acquedotto, con i metodi in uso l'intervento correttivo può non risultare così tempestivo e mirato da evitare l'esposizione della popolazione servita ad una fornitura idrica non salubre.

Ottimizzare il monitoraggio della qualità delle acque

Allo scopo di fornire agli enti gestori un approccio tecnologico innovativo ed efficace per il controllo della qualità delle acque, nei laboratori ENEA CR Portici è stata messo a punto un metodo, e sviluppato un sistema software, capace di fornire una stima validata, continua, in tempo reale delle concentrazioni dei THM totali e delle singole specie lungo l'intera rete acquedottistica, consentendo di ottimizzare il monitoraggio della qualità delle acque negli acquedotti, minimizzandone i costi di gestione e favorendo le condizioni per assicurare forniture idriche sempre salubri. Lo sviluppo recente di tecnologie smart e data-driven (e.g. sensori on-line, misuratori smart e telemetria) per il monitoraggio e controllo degli acquedotti ha già orientato i gestori verso un approccio smart water network per la gestione ottimizzata della propria rete idrica. Reti di sensori on-line e sistemi SCADA monitorano in continuo e in maniera distribuita, il sistema acquedottistico rendendo disponibile una grande mole di dati sul suo funzionamento. Allo scopo di

dare un senso a questi dati, ovvero estrarre da essi quel contenuto informativo utile per prendere decisioni informate, è possibile combinare il loro flusso continuo con le capacità predittive della modellistica di simulazione nonché con quelle di apprendimento automatico dell'IA ottenendo **una gestione proattiva della rete idrica acquedottistica** nonché una gestione in tempo reale identificando anomalie e generando allerte lungo l'intera rete. Nella letteratura scientifica recente sono noti numerosi modelli di simulazione della qualità delle acque nei sistemi acquedottistici, tra cui modelli cinetici per la valutazione della concentrazione dei THM a partire da valori di un primo parametro dell'acqua (p.e. la concentrazione di cloro residuo, la sostanza organica, tra altri possibili parametri). Questi modelli sono generalmente messi a punto in laboratorio, ma sperimentati su acquedotti reali, possono tenere in conto il comportamento idraulico della rete. Tuttavia, una limitazione al loro utilizzo nella gestione di un acquedotto reale è rappresentata **dall'incerta affidabilità delle stime di concentrazione elaborate. Il metodo per il controllo dei trialometani sviluppato da ENEA fornisce una stima validata, continua delle concentrazioni dei trialometani e della loro speciazione lungo l'intera rete acquedottistica, indirizzando l'incertezza insita nella modellistica di simulazione, con un approccio integrato basato su tre tecnologie fondamentali: reti di sensori, modellistica di simulazione e algoritmi di IA.**

Il sistema si compone fondamentalmente di:

1. un segmento fisico costituito da una rete di sensori installata lungo l'acquedotto (che include sia sonde (multi-) parametriche fisse che sensori mobili i.e. human

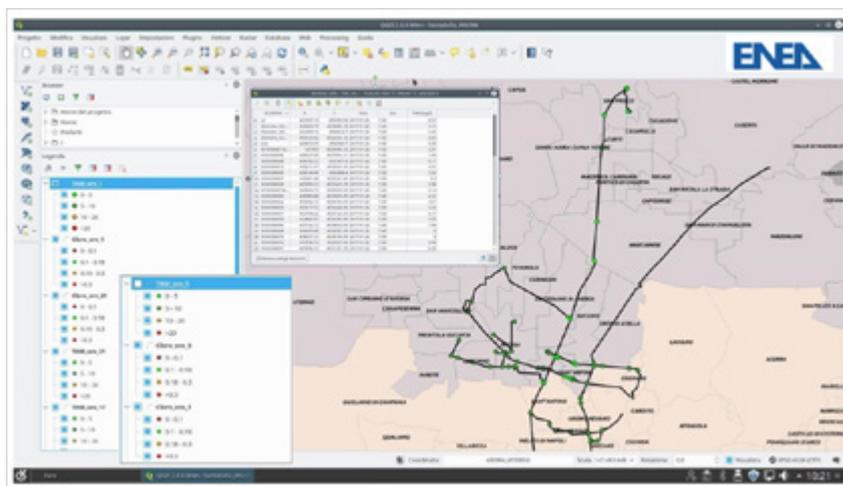


Figura 1. Consolle QGIS per la visualizzazione e l'analisi degli scenari in tempo reale o previsionali delle concentrazioni di cloro e di trialometani in ogni punto della rete acquedottistica e in ogni istante di tempo.

I risultati ottenuti

La consolle multi-modello del Sistema, a secondo dei parametri di qualità delle acque monitorati (i.e. Cl, TOC) lungo l'acquedotto, permette di scegliere ed eseguire i diversi modelli di qualità implementati (Figura 3), elaborando scenari predittivi di decadimento di cloro o formazione di THM (totali o delle single specie), visualizzabili tramite un livello informativo geografico nella console GIS-based. **Eseguendo, anche in parallelo, i modelli di simulazione disponibili è possibile confrontare e analizzare le stime elaborate delle singole specie o dei THM totali e quindi valutare il livello di criticità ad un certo istante nonché l'evoluzione nel tempo del fenomeno lungo i diversi tratti della rete.** Per acquedotti complessi nella struttura e di grandi dimensioni, il Sistema permette l'elaborazione dei modelli per sottoreti, individuate attraverso punti di disconnessione come impianti di sollevamento, sifoni o punti in cui sono presenti sensori per il monitoraggio delle acque. In questi punti, è possibile imporre le condizioni per avviare le simulazioni contemporaneamente per sottoreti, ottimizzando il tempo di elaborazione degli scenari di simulazione spazio-temporali.

La componente di IA del Sistema esegue un processo di ottimizzazione della modellistica di simulazione sia idraulica che di qualità delle acque attraverso la definizione di schemi ottimali di campionamento lungo la rete acquedottistica, calibrazioni periodiche e automatizzate dei modelli, l'assimilazione nei modelli dei parametri misurati, garantendo scenari in tempo reale e previsionali affidabili.

Gli schemi ottimali di posizionamento di singoli e multi-sensori lungo la rete acquedottistica sono

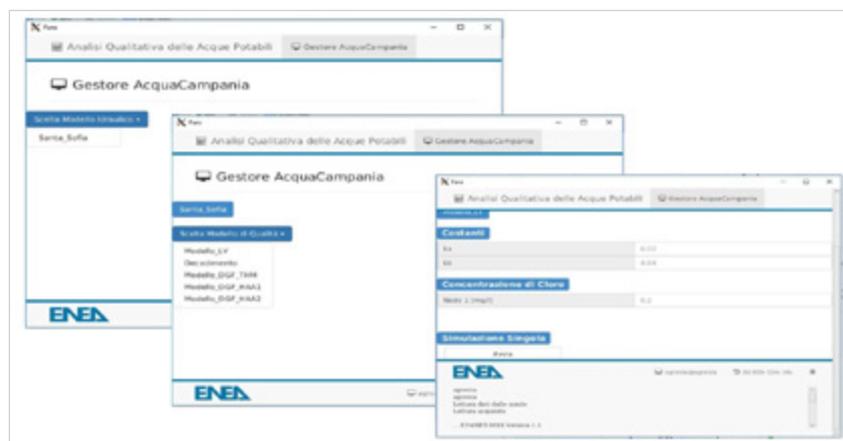


Figura 3. Consolle per la gestione della componente multi-modello di idraulica e di qualità delle acque nei sistemi acquedottistici, della calibrazione periodica ed automatica della modellistica di simulazione e della definizione dei piani ottimali di campionamento.

definiti risolvendo un problema di ottimo multi-obiettivo le cui variabili decisionali sono rappresentate dall'accuratezza di predizione sia dei parametri idraulici che di qualità delle acque nonché dalla configurazione spaziale dei sensori con il vincolo sul numero massimo. Per l'acquedotto del Santa Sofia, è stata valutata l'efficienza della rete di monitoraggio esistente in riferimento all'ottimizzazione simultanea della modellistica idraulica e della formazione dei THM in funzione del cloro residuo. Nello specifico, per esempio, si è ottenuto che al crescere del numero di sonde cresce l'accuratezza della stima sia della pressione che del cloro residuo. In particolare, in corrispondenza di una configurazione di solo 2 sole sonde multi-parametriche, l'incertezza della stima del parametro di qualità si riduce del 30% mentre quella del parametro idraulico si riduce del 60%. La configurazione attuale delle 7 sonde comporta una riduzione dell'incertezza della stima di Cl residuo pari al 40% (Figura 4).

Eseguendo una calibrazione automatica e periodica dei modelli (opzione eseguibile in automatico dal

sistema o dall'operatore tramite apposita interfaccia), il Sistema tiene in conto le reali condizioni di funzionamento dell'acquedotto. Attraverso tale procedura, periodicamente in maniera automatica sono definiti i parametri incerti dei modelli risolvendo un problema di ottimo mono obiettivo che minimizza l'errore di stima sia dei parametri idraulici che di qualità delle acque, utilizzando le misure in continuo dalla rete di sensori presente sul sistema acquedottistico.

I modelli di qualità così sperimentati hanno restituito una stima delle concentrazioni dei THM totali e delle singole specie lungo l'intero acquedotto Santa Sofia con un errore medio intorno al 16% che si mantiene pressoché costante con una calibrazione periodica (calibrazione semestrale) e l'aggiornamento di nuove costanti cinetiche.

Attraverso l'utilizzo di questo sistema, la sala operativa dell'ente gestore di una rete idrica acquedottistica è in grado di individuare in tempo quasi reale le concentrazioni elevate di THM, quantificando le diverse specie; localizzare i tratti di rete interessati dai fenomeni di in-

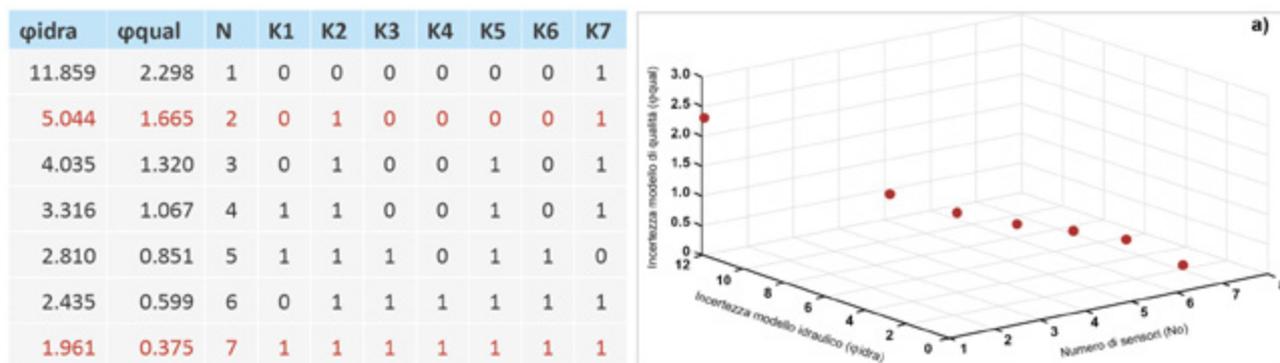


Figura 4. a) Fronte di Pareto tridimensionale per la rete Santa Sofia relativo alla minimizzazione dell’incertezza delle stime di CI residuo in funzione di quelle di pressione, al variare del numero N di multi-sensori; b) Tabella dei valori delle funzioni di incertezza associate al modello idraulico e di decadimento del CI, applicate al Santa Sofia e relativi schemi ottimali di posizionamento delle sonde multi-parametriche.

teresse; analizzare l’evoluzione nel tempo e lungo l’intera rete del fenomeno in atto; pianificare campagne di misura straordinarie definendo il numero ottimale di punti da campionare e la loro localizzazione; valutare la risposta del sistema a variazioni del dosaggio di cloro nonché ad altri possibili interventi che modificano l’idraulica del sistema; minimizzare quindi gli effetti sulla popolazione servita garantendo la continuità del servizio ed un’acqua sicura.

Approfondimenti:

Il livello di maturità tecnologica del Metodo/Sistema ENEA qui presentato è riconducibile a TRL 6 (Dimostrazione nell’ambiente rilevante). Il Metodo/Sistema ENEA è stato oggetto di un brevetto ENEA

- N.102018000006379, dal titolo “Metodo per controllare una concentrazione di trialometani in una rete idrica acquedottistica”. Il brevetto è stato trasferito alla Società IDEA srl, tramite un Contratto di Concessione della licenza d’uso non-esclusiva ed onerosa, in Italia e all’estero, e del relativo know-how. IDEA è una società di ingegneria che si occupa di telecontrollo e telegestione di reti idriche e gas. Il Metodo/Sistema ENEA è nel portfolio prodotti della società e in fase di trasferimento ad un grande gestore del servizio idrico. Il Metodo/Sistema ENEA è stato ideato e sviluppato nel laboratorio iSensing&Geomatics di TERIN/FSD/SAFS di ENEA CR Portici, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Am-

bientale (DICEA) e il Dipartimento di Scienze Chimiche – Laboratorio ACE - Analytical Chemistry for the Environment, dell’Università degli Studi di Napoli Federico II; e l’ente gestore Acqua Campania Spa. L’invenzione è il risultato della collaborazione interdisciplinare di professori, ricercatori, tecnici e funzionari del settore. Il gruppo di ricerca era composto da: Grazia Fattoruso, Saverio De Vito e Girolamo Di Francia di ENEA – Lab. TERIN/FSD/SAFS, Guido Guarnieri di ENEA – Lab. TERIN/ICT/HPC; Prof. Massimiliano Fabbicino, Ing. Annalisa Agresta di UNINA-DICEA; Prof. Marco Trifuoggi e Ing. Maria Toscanesi di UNINA-Lab. ACE.

per info: grazia.fattoruso@enea.it

Bibliografia

1. John J. V. et al. Kinetics of chlorine decay. JOURNAL AWWA Vol. 89, pp.54-65 (1997)
2. Della Greca G. & Fabbicino M. DBP formation in drinking water: kinetics and linear modelling. Water Science & Technology: Water Supply–WSTWS, (2008)
3. Lin Y. & Yeh H. Trihalomethane Species Forecast Using Optimization Methods: Genetic Algorithms and Simulated Annealing. Journal of Computing in Civil Engineering, (2005)
4. Fattoruso G. et al. (2020) A Software System for Predicting Trihalomethanes Species in Water Distribution Networks Using Online Networked Water Sensors. In: Di Francia G. et al. (eds) Sensors and Microsystems. AISEM 2019. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 629. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37558-4_62