

Dirty Sensing

Un progetto per il monitoraggio intelligente dell'acqua nelle reti di distribuzione

Manuela Antonelli, Marco Carminati, Jacopo Foschi, Michele Di Mauro, Lorenzo Mezzera, Marco Tizzoni, Andrea Turolla – Politecnico di Milano

Storicamente, le reti di distribuzione dell'acqua potabile sono sempre state considerate infrastrutture passive. Tuttavia, recenti studi e campagne di monitoraggio hanno evidenziato come durante il processo di distribuzione, l'acqua interagisca attivamente con le condotte portando alla formazione di calcare e biofilm. Questo può provocare l'alterazione della qualità dell'acqua in rete, aumentando il rischio di contaminazione patogena e produzione di metaboliti tossici, deteriorando le proprietà organolettiche dell'acqua, con un impatto negativo sulla percezione dell'utente finale, e causando danni alle reti di distribuzione, dovuti a fenomeni di bio-corrosione e intasamento. La qualità dell'acqua è oggi solitamente monitorata all'interno degli impianti di trattamento o in pochi punti chiave posizionati lungo le reti di distribuzione, quasi sempre mediante analisi in laboratorio di parametri chimici e microbiologici. La presenza di biofilm e/o depositi inorganici è stimata per via indiretta, mediante il calcolo di indici surrogati, che spesso danno un riscontro solo approssimativo dello stato dell'acqua e dei rischi per l'infrastruttura.

I gestori del servizio idrico utilizzano queste informazioni per pianificare gestione e manutenzione delle infrastrutture. Tuttavia, l'elevato livello di incertezza derivante da questo approccio al monitoraggio comporta l'adozione di pratiche fortemente precauzionali, come l'adozione di fattori di sicurezza nel dosaggio del disinfettante o azioni straordinarie di pulizia e/o di sostituzione, con conseguente spreco di risorse, alto impatto economico nei costi operativi e rischi e potenziali inconvenienti per gli utenti finali.

Al fine di prevenire gli impatti negativi generati dall'alterazione della stabilità chimica e microbiologica dell'acqua

potabile, è fondamentale promuovere sistemi di monitoraggio e controllo diffuso, in grado di fornire una fotografia in tempo reale del sistema, individuare potenziali sezioni a rischio e ottimizzare i processi di manutenzione e gestione.

Il progetto Dirty Sensing, partito agli inizi del 2017, mira a trasformare le reti di distribuzione dell'acqua potabile in infrastrutture attive e intelligenti per il monitoraggio in tempo reale della stabilità, chimica e microbiologica, dell'acqua in rete. L'iniziativa è nata dalla collaborazione tra due gruppi di ricerca di ingegneri ambientali ed elettronici del Politecnico di Milano (POLIMI), con esperienza nel monitoraggio, trattamento e gestione dell'acqua potabile e nella progettazione e realizzazione di sensori miniaturizzati.

Il microsensore di sporramento

Il progetto Dirty Sensing nasce con l'ideazione di un innovativo microsensore (fig. 1a), coperto da brevetto (in fase di estensione PCT), per la misura dello spessore di depositi, inorganici (es.: calcare) e organici (es.: biofilm) sulle pareti di vasche e condotte. Il microsensore garantisce un'elevata risoluzione di misurazione (pochi μm), selettiva della tipologia di deposito, in continuo e in tempo reale; inoltre, esso si auto-calibra in funzione delle caratteristiche dell'acqua.

Il microsensore è costituito da una serie di microelettrodi interdigitati posizionati parallelamente tra loro e separati l'uno dall'altro da una spaziatura D , direttamente correlata allo spessore del deposito da monitorare (fig. 1b). Il principio di funzionamento si basa sulla misura di impedenza su ciascuna coppia di microelettrodi. Test sperimentali hanno, infatti, evidenziato che la risposta di

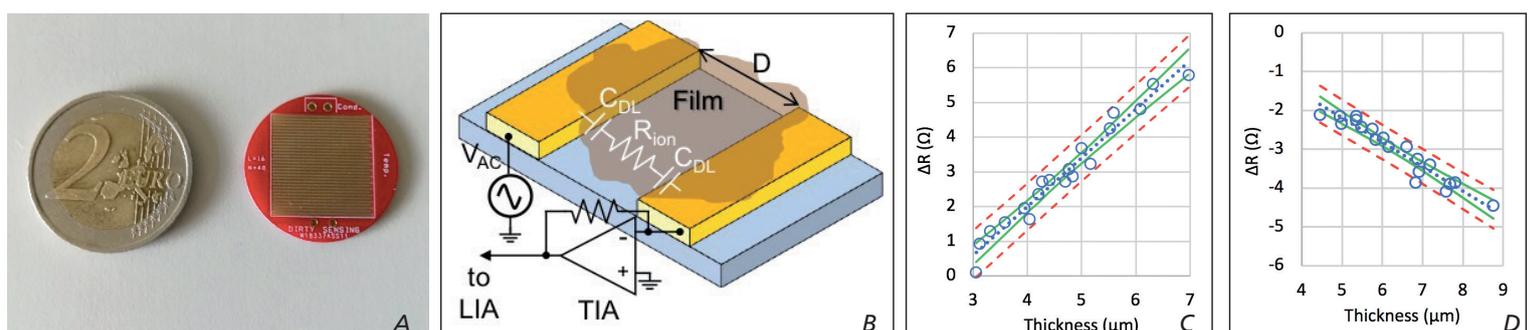


Fig. 1: Microsensore di sporramento (a), rappresentazione schematica di un equivalente sensore di sporramento (b), risposta al deposito inorganico (c) e al biofilm (d)



Fig.2: Mappa del sito dimostrativo per il caso di studio #1: in Emilia-Romagna (a), nodi IoT installati nei siti di dimostrazione del caso studio #1 ARM1 (b), ARM2 (c), ARM3 (d)

impedenza è linearmente correlata allo spessore dello sporco organico e inorganico. È interessante notare che la pendenza della risposta (vale a dire della resistenza ionica rispetto allo spessore) è opposta per le due tipologie di deposito: si osserva un aumento nel caso di depositi inorganici (fig.1c), ma una diminuzione nel caso di biofilm, dove la conducibilità della matrice extracellulare è dominante (fig.1d).

Il microsensore è integrato con un sensore di conducibilità per l'auto-calibrazione e i segnali sono inviati wireless a un server, che li processa e li rende disponibili su una pagina web dedicata. Il dettaglio del lavoro svolto si trova nell'articolo di Turolla et al. (2018).

La validazione

Dopo una lunga fase di laboratorio finalizzata a valutare la risposta del microsensore al variare delle caratteristiche della matrice acquosa in cui era immerso, nella prima metà del 2018, il funzionamento del microsensore è stato dimostrato in condizioni di lavoro rilevanti (TRL6) durante due distinte attività sul campo, rispettivamente rivolte al monitoraggio di un edificio universitario e di una rete di distribuzione di acqua potabile. Obiettivo era valutarne il potenziale utilizzo in differenti applicazioni, sia come controllo in corrispondenza degli utenti finali, sia in reti più complesse ai fini di un monitoraggio diffuso. Il passaggio dal laboratorio all'attività di campo ha portato alla realizzazione di un nodo di monitoraggio, costituito dal microsensore di sporco e da una serie di altri sen-

sori commerciali per la misura di parametri convenzionali utili per la modellazione della qualità dell'acqua in rete in relazione alla sua stabilità chimica e microbiologica: temperatura, pH, conducibilità, pressione e portata. Il nodo di monitoraggio è stato integrato con un sistema di trasmissione wireless dei dati, predisposto per diventare un nodo IoT.

Inoltre, nella prospettiva di un monitoraggio diffuso della rete di distribuzione, per sopperire all'eventuale mancanza di corrente elettrica, è stato sviluppato ed accoppiato al nodo di monitoraggio un sistema di *energy harvesting*, dotato di una batteria e un'unità di gestione e stoccaggio dell'energia, che rende così il nodo energeticamente indipendente, sia per quanto riguarda l'operatività dei sensori, sia per quella del sistema di trasmissione.

In aggiunta, considerando la variabilità e la discontinuità delle portate dell'acqua in funzione del tipo di applicazione (rami principali o periferici della rete di distribuzione), è stata sviluppata una serie di algoritmi di controllo adattativi e di apprendimento per la gestione efficace delle strategie di monitoraggio, ovvero della frequenza di acquisizione dei dati e di trasmissione degli stessi al cloud server dedicato, per ottimizzare il livello informativo sulla qualità dell'acqua minimizzando i consumi energetici. Il nodo è così in grado di autocalibrarsi in funzione delle condizioni operative del sistema in cui è installato, senza richiedere alcun intervento specifico a valle dell'installazione.

Le attività dimostrative sono state pianificate per testare e migliorare l'affidabilità, la robustezza, la scalabilità, la

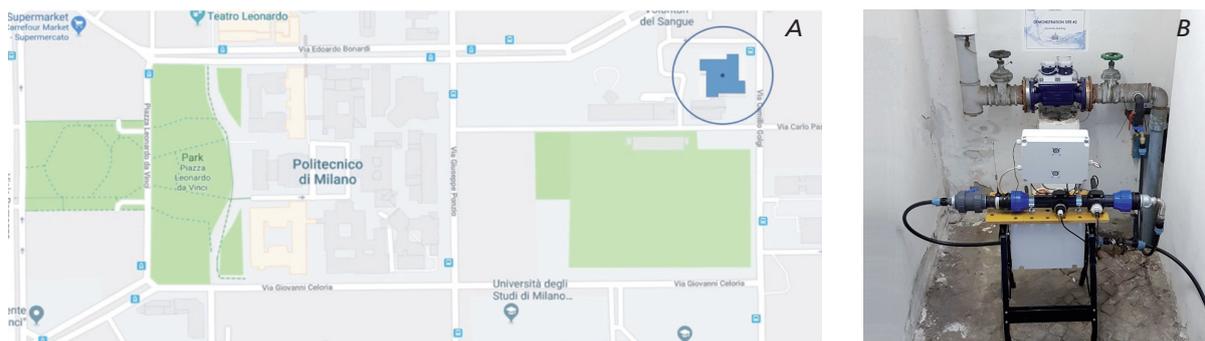


Fig.3: Posizione dell'Edificio 21 all'interno del campus Bassini del Politecnico di Milano (a), immagine del nodo IoT utilizzato per l'installazione del caso studio #2 (b)

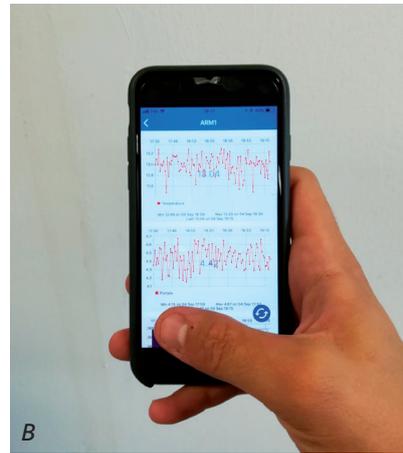
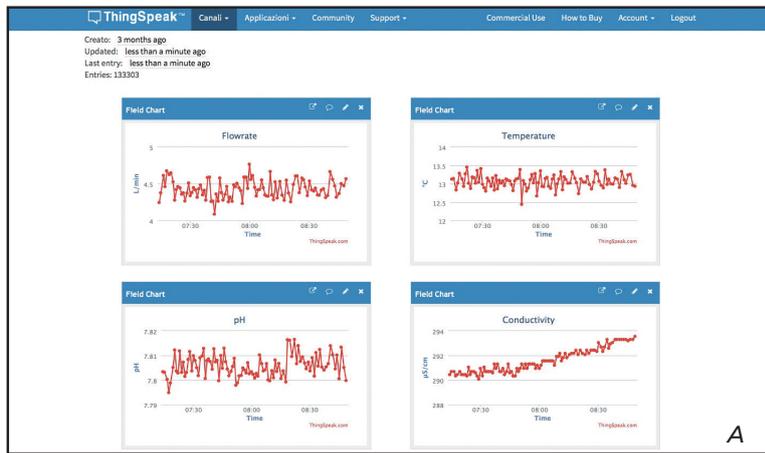


Fig.4: Esempio di visualizzazione dei dati tramite ThingSpeak, piattaforma IoT sviluppata da MathWorks, per applicazioni su PC fisso (a) e su cellulare (b)

replicabilità e l'adattabilità del microsensore così da sfruttare appieno le potenzialità nella prospettiva sia di ottimizzare il trattamento in impianto sia di implementazione di logiche di manutenzione predittiva.

I due diversi casi studio sono stati progettati e sviluppati in collaborazione con Romagna Acque - Società delle Fonti (rete di distribuzione dell'acqua potabile), Metropolitana Milanese (diramazione verso l'utente finale, in corrispondenza del contatore) e Politecnico di Milano, con il supporto del progetto di Ateneo "Città Studi Campus Sostenibile". La validazione è stata effettuata installando i nodi di monitoraggio su connessioni in by-pass, così da

testare i sensori in totale sicurezza, senza alcun rischio per la qualità dell'acqua distribuita.

Nel primo caso di studio, come mostrato in figura 2, sono stati installati tre nodi di monitoraggio (ARM1, ARM2 e ARM3) in corrispondenza di un nodo di miscelazione tra acque con caratteristiche diverse, così da valutare la risposta del sensore di sporcamento in funzione della matrice. Il secondo caso di studio, invece, è stato progettato per un'applicazione su piccola scala e, come mostrato in figura 3, un singolo nodo di monitoraggio è stato installato nel seminterrato di un edificio universitario all'interno di uno dei campus del Politecnico di Milano, per valutare la

ISET[®]
yourcontrolsolution

ISET srl - Via Ubaldo Bracalenti, 18 - 32020 Limana (BL) - Italia
Tel. +39 0437 967636 Fax +39 0437 967638 E-mail: iset@iset.it
www.iset.it

SISTEMI DI TELECONTROLLO PER IL CICLO IDRICO INTEGRATO

I NOSTRI SOFTWARE



Nuovo **CLIENT WEB**
per l'accesso da remoto
con standard **HTML 5**

Nuovo **SCADA DRONETWORK**
per il controllo degli impianti
con standard **OPC UA**



LA NOSTRA GAMMA RTU

Tutte le nostre periferiche sono
ora dotate di datalogger!



IS101 con vettore
GSM/GPRS
La soluzione compatta
per il monitoraggio
degli impianti installati.



IS105 con vettore
RADIO o GPRS
La RTU ideale per il
monitoraggio degli impianti
del ciclo idrico integrato.



IS150 con doppio
vettore simultaneo
RADIO e GPRS
Potenza ed innovazione a
garanzia di affidabilità ed
espandibilità per grandi impianti.

risposta del sistema a condizioni critiche rispetto all'*energy harvesting*, essendo discontinua la domanda d'acqua verso l'edificio. In entrambi i casi di studio la validazione è stata positiva ed ha permesso di sviluppare anche un'unità di analisi dei dati, che supporta anche avvisi di allerta direttamente su smartphone (fig.4), oltre che la possibilità di interfacciarsi con i modelli di rete convenzionalmente usati per le simulazioni idrauliche, come il software Epanet della US EPA. In questo caso, il modello di rete può essere potenziato per simulare anche la qualità dell'acqua attesa ed essere pertanto utilizzato per valutare scenari di trattamento e manutenzione.

Conclusioni e prospettive future

L'attuale progresso della tecnologia informatica ha determinato le condizioni per una profonda trasformazione del settore idrico, che ne accompagni il passaggio verso il concetto di *Smart Cities*. È oggi possibile immaginare un monitoraggio diffuso sulla rete acquedottistica, infrastruttura complessa caratterizzata da una forte variabilità in termini di caratteristiche (struttura, componenti, attività operative e di manutenzione, criticità, ...) e condizioni operative (portata, parametri di qualità dell'acqua, pratiche di gestione, ...), con un forte impatto sociale.

Il progetto Dirty Sensing si pone l'obiettivo di contribuire a trasformare la rete di acquedotto in una infrastruttura attiva. In questo senso, prossimo obiettivo dell'attività di ricerca è quello di rendere concreto il concetto di manutenzione predittiva, attraverso lo sviluppo di appropriati strumenti matematici basati sull'intelligenza artificiale. I dati di monitoraggio saranno utilizzati per alimentare modelli matematici predittivi dei fenomeni di interazione che si verificano lungo tutta la rete di distribuzione (come decadimento del disinfettante, inattivazione microbica, crescita del biofilm, ...) e in grado di descrivere lo stato dei parametri operativi (presenza di biofilm e depositi inorganici, disinfettante residuo, ...) in qualsiasi punto della rete. Combinando questi modelli con i più sofisticati algoritmi di *machine learning*, questo strumento sarà in grado di analizzare ed elaborare informazioni in tempo reale, combinando i dati puntuali della rete di monitoraggio con i dati integrati dai gestori, al fine di eseguire operazioni di gestione avanzata, funzioni di allarme istantaneo, previsione di trend futuri, pianificazione della manutenzione ordinaria e straordinaria e ottimizzazione dei processi.

Ringraziamenti

Si ringrazia Romagna Acque per la preziosa collaborazione e il supporto tecnico offerto nelle fasi di progettazione e messa in opera del caso di studio. Si ringrazia MM per l'appoggio e il supporto a questa iniziativa. Infine, ringraziamo il Servizio Sostenibilità di Ateneo e in particolare Eleonora Perotto, capo Servizio Sostenibilità.

Bibliografia

Turolla A., Di Mauro M., Mezzera L., Antonelli M., Carminati M. (2019). Development of a miniaturized and selective impedance sensor for real-time slime monitoring in pipes and tanks. *Sens. Actuators B Chem.*, 281, 288-295.

Gli autori

Manuela Antonelli

Professore associato presso il Politecnico di Milano - DICA (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale). Docente del corso "Trattamento delle Acque di Approvvigionamento". L'attività di ricerca riguarda lo studio delle opzioni tecnologiche di trattamento avanzato con processi chimico-fisici di acque primarie e reflue pre-depurate per il reimpiego nei settori industriale ed agricolo, per l'ottimizzazione di processo e degli usi dell'acqua ai fini di un risparmio idrico e recupero/riuso della risorsa.

Marco Carminati

Ricercatore presso il Politecnico di Milano - DEIB (Dipartimento di Elettronica, Informatica e Bioingegneria). Docente dei corsi "Biochip" e "Fondamenti di Elettronica". L'attività di ricerca riguarda lo sviluppo di elettronica ad alta sensibilità, strumenti, rivelatori e micro-sensori innovativi con applicazioni alla fisica, alla medicina e all'ambiente.

Andrea Turolla

Post-doc presso il Politecnico di Milano - DICA (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale). Dopo aver conseguito un dottorato sui processi di ossidazione avanzata basati su biossido di titanio nanostrutturato, si occupa - a livello sperimentale e modellistico - di fenomeni di inquinamento legati a contaminanti emergenti e di applicazioni tecnologiche innovative basate su processi chimico-fisici per il trattamento di acque, sia di approvvigionamento che di rifiuto, e di fanghi di depurazione.

Michele Di Mauro

Assegnista di ricerca presso il Politecnico di Milano - DICA (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale). Laureato in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, con una tesi sullo sviluppo tecnologico di un sensore di sporramento, ha proseguito l'attività di ricerca concentrandosi sullo sviluppo tecnologico del sensore.

Lorenzo Mezzera

Assegnista di ricerca presso il Politecnico di Milano - DEIB (Dipartimento di Elettronica, Informatica e Bioingegneria). Laureato in Ingegneria Elettronica, con una tesi sulla progettazione e validazione dell'elettronica di base di un sensore di sporramento, ha proseguito l'attività di ricerca occupandosi dello sviluppo della componente elettronica e della meccanica di supporto del sensore.

Marco Tizzoni

Assegnista di ricerca presso il Politecnico di Milano - DICA (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale). Laureato in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, con una tesi sull'applicazione della fluidodinamica computazionale all'ottimizzazione del processo di disinfezione, ha proseguito l'attività di ricerca concentrandosi sulla validazione dell'operatività del sensore di sporramento.

Jacopo Foschi

Dottorando in Ingegneria Ambientale e delle Infrastrutture presso il Politecnico di Milano - DICA (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale). Laureato in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, con una tesi sulla modellazione stocastica del processo di disinfezione, ha proseguito l'attività di ricerca concentrandosi sull'applicazione di tecniche di machine learning al controllo di processo.