

Un'architettura OGC SWE per una gestione *intelligente* di acquedotti e fognature

Grazia Fattoruso (*), Carlo Tebano (**), Annalisa Agresta (***), Antonio Buonanno (*), Saverio De Vito (*), Girolamo Di Francia (*)

(*) UTTP/MDB – ENEA, Lab. Materiali e Dispositivi di Base (Gruppo iSense&Modeling) – Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, P.le E. Fermi, 1 – 80055 Portici (NA), tel. +39 0817723266, fax +39 0817723344, grazia.fattoruso@enea.it

(**) UTTP/CHIA – ENEA, Lab. Chimica Ambientale– Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, P.le E. Fermi, 1 – 80055 Portici (NA), tel. +39 0817723266, fax +39 0817723344

(***) UNINA, Dip. Ingegneria civile, edile e ambientale – Università degli Studi di Napoli Federico II, Via Claudio, 21 – Napoli

Riassunto

Le problematiche concernenti la qualità delle acque e il rispetto dei limiti normativi sempre più restrittivi sia sull'uso dell'acqua potabile che sullo sversamento dei reflui nei corpi idrici recettori sono emerse con maggiore evidenza all'attenzione dell'opinione pubblica negli ultimi anni, a causa dell'insorgenza di diversi casi di contaminazione dovuti principalmente al cattivo stato di conservazione delle reti idriche e fognarie, e più in generale ad una gestione non ottimale delle stesse, alla scarsa tutela dei corpi idrici di approvvigionamento da possibili scarichi abusivi nonché allo sversamento incontrollato di sostanze all'interno dei sistemi di drenaggio urbano (e.g. allacci abusivi sulle reti). Nel contesto tecnologico e culturale attuale, fortemente basato sul paradigma *smart*, la necessità di fronteggiare tali problematiche ha favorito l'investigazione e lo sviluppo di soluzioni tecnologiche integrate atte a realizzare reti idriche e di drenaggio cosiddette *intelligenti*.

Tali soluzioni generalmente integrano sistemi di monitoraggio costituiti da risorse sensoriali diverse nella tipologia, nell'hardware, nelle interfacce e nei protocolli di comunicazione. L'integrazione di tali risorse può realizzarsi attraverso l'utilizzo del *framework* tecnologico standard OGC-SWE. L'obiettivo del presente lavoro di ricerca è stato investigare e sviluppare un'architettura OGC-SWE per applicazioni nel dominio delle reti idriche e fognarie *intelligenti*, capace di integrare le diverse reti sensoriali operanti su di esse ed elaborare le relative osservazioni in sistemi esperti orientati ai servizi e alla condivisione delle informazioni. L'architettura SWE sviluppata è stata applicata a due casi reali, l'acquedotto Santa Sofia (Campania Occidentale) e la rete di drenaggio urbano di Massa Lubrense.

Abstract

Water leakage, water contamination, inability to detect water quality are some of the problems affecting the existing drinking water infrastructures. Unmanaged wastewater can be a source of pollution, a hazard for the health of human populations and the environment alike. The majority of wastewater infrastructures results in massive run-off and flooding of cities in case of extreme rainfall events. One of the ways to address these problems is by creating smart water utilities, equipping them of smart distributed sensing systems, integrated with advanced information systems. The integration of the diverse networked sensors involved in the water utilities management is not straightforward. The objective of this research work has been to apply the OGC SWE (Sensor Web Enablement) architecture within two real water utilities management scenarios, capable of integrating the various networks of in-situ sensors and processing sensor observations into decision support systems, realizing sensor related services and data delivery. More specifically, one scenario was centered on water quality dynamics monitoring and predicting along the real Santa Sofia aqueduct (Southern Italy). The second scenario focused on building a monitoring and warning system for contaminations along the wastewater network of the Massa Lubrense city (Southern Italy).

1. Introduzione

Le problematiche concernenti la qualità delle acque e il rispetto dei limiti normativi sempre più restrittivi sia sull'uso dell'acqua potabile che sullo sversamento dei reflui nei corpi idrici recettori sono emerse con maggiore evidenza all'attenzione dell'opinione pubblica negli ultimi anni, a causa dell'insorgenza di diversi casi di contaminazione dovuti principalmente al cattivo stato di conservazione delle reti idriche e fognarie, e più in generale ad una gestione non ottimale delle stesse, alla scarsa tutela dei corpi idrici di approvvigionamento da possibili scarichi abusivi nonché allo sversamento incontrollato di sostanze all'interno dei sistemi di drenaggio urbano (e.g. allacci abusivi sulle reti).

Nel contesto tecnologico e culturale attuale, fortemente basato sul paradigma *smart*, la necessità di fronteggiare le problematiche di qualità delle acque e più in generale di ottimizzare la gestione del sistema idrico integrato, ha favorito l'investigazione e lo sviluppo di soluzioni tecnologiche integrate atte a realizzare reti idriche e di drenaggio cosiddette *intelligenti*.

Un sistema acquedottistico o fognario *intelligente* è un sistema che integra:

- sistemi sensoriali dislocati lungo la sua estensione e nell'ambiente circostante che consentono il monitoraggio e il controllo continuo, in tempo reale e distribuito di parametri caratteristici dell'idraulica e della qualità delle acque trasportate
- sistemi di modellistica numerica per la simulazione del funzionamento idraulico, energetico e di qualità delle acque e quindi per la definizione di scenari di gestione ottimale o di rischio idraulico o connesso alla qualità dell'acqua
- sistemi informativi (e.g. GIS; DSS; SCADA, etc.) per l'archiviazione, la gestione e l'elaborazione delle informazioni che includono i sistemi di monitoraggio e di modellazione della rete.

Un flusso continuo e in tempo reale di dati, acquisiti da sistemi sensoriali distribuiti lungo le reti idriche e fognarie e nell'ambiente circostante, e la disponibilità di scenari predittivi del funzionamento idraulico e di qualità delle acque, elaborati da componenti di modellistica numerica, forniscono gli operatori della capacità di (1) valutare la risposta del sistema a diverse strategie operazionali e di gestione atte a garantirne l'integrità; (2) analizzare l'evoluzione nel tempo dei fenomeni fisico/chimici in atto lungo la rete; (3) identificare cambiamenti improvvisi nel funzionamento della rete dovuti ad azioni illecite; (4) identificare possibili problemi prima che essi raggiungono livelli critici e quindi agire al fine di ridurre gli effetti.

Per esempio, le dinamiche della qualità delle acque potabili (e.g. la formazione dei sottoprodotti della clorazione, il decadimento del cloro libero) possono essere monitorate in continuo e valutate tramite modellistica di simulazione basata su dati *live* acquisiti da sonde multi-parametriche distribuite lungo la rete acquedottistica (Fattoruso et al. 2014 a,b). Diventa in questo modo possibile verificare in tempo reale e in ogni punto della rete la qualità delle acque nel rispetto delle norme vigenti piuttosto che identificare cambiamenti improvvisi dovuti a contaminazioni intenzionali e quindi prevedere potenziali rischi per la salute pubblica.

Analogamente, un flusso continuo di dati quali/qualitativi sui reflui, acquisiti tramite sistemi sensoriali dislocati lungo la rete di drenaggio ed elaborati da modelli numerici e algoritmi statistici ad hoc, può rendere capaci di individuare rapidamente la presenza di sostanze nocive (non ammissibili) scaricate nella rete e quindi trasportate verso i sistemi di depurazione, in maniera tale da poter intervenire tempestivamente, minimizzando il danno ambientale ed eventualmente risalire all'individuazione della sorgente dello scarico.

È evidente che nella gestione *intelligente* e salvaguardia dei sistemi idrici e fognari, le risorse sensoriali, diverse per tipologia e tecnologia, giocano un ruolo fondamentale. La gestione delle risorse sensoriali a livello di applicazioni ha rappresentato una sfida per la comunità scientifica e tecnologica, portando negli ultimi anni allo sviluppo del framework tecnologico OGC-SWE (Open Geospatial Consortium- Sensor Web Enablement).

L'obiettivo del presente lavoro di ricerca è stato investigare e sviluppare un'architettura OGC-SWE per applicazioni nel dominio delle reti idriche e fognarie *intelligenti*, capace di integrare le diverse reti sensoriali operanti sulle reti ed elaborare le relative osservazioni in sistemi esperti orientati ai servizi e alla condivisione delle informazioni. L'architettura SWE sviluppata è stata applicata a due casi reali, l'acquedotto Santa Sofia (Campania Occidentale) e la rete di drenaggio urbano di Massa Lubrense, entrambe dotate di dispositivi multisensoriali per il monitoraggio in continuo di parametri quali-quantitativi.

2. Il framework tecnologico OGC-SWE

Nella gestione e salvaguardia dei sistemi idrici e fognari, le risorse sensoriali che entrano in gioco sono molteplici e diverse nell'hardware, nelle interfacce e nei protocolli di comunicazione. L'integrazione di tali risorse in sistemi di monitoraggio e controllo può realizzarsi con l'ausilio di un *framework* tecnologico standard quale l'OGC-SWE che comprende *data encoding* e *service interface* standardizzati per l'accesso e l'utilizzo dei sensori e delle osservazioni in maniera uniforme, interoperabile e indipendente dalla piattaforma applicativa.

The OGC è una organizzazione internazionale non-profit che si occupa di incoraggiare lo sviluppo e l'implementazione di standard per lo scambio ed il *processing* di dati e servizi geo-spaziali. Tale consorzio sviluppa standard per modelli di dati e servizi web che permettono di realizzare soluzioni che "georeferenziano il Web" (*Geospatial Web*), creando infrastrutture di dati o servizi spaziali accessibili ed utilizzabili da qualsiasi tipo di applicazione.

Nell'ambito del programma di specifiche dell'OGC, nel 2003 nasce l'iniziativa SWE con l'obiettivo di sviluppare standard per l'integrazione dei dati sensoriali nel Geospatial Web, definendo formati per dati e metadati relativi ai sensori piuttosto che per interfacce di servizi, consentendo l'accesso interoperabile alle risorse sensoriali sia reali che virtuali (i modelli di simulazione sono esempi di risorse sensoriali virtuali).

L'iniziativa SWE segna un'evoluzione significativa nel paradigma *Sensor Web*. Delin et al. (1999) definivano un *Sensor Web* come un insieme di nodi sensoriali capaci non solo di collezionare dati ma anche di dividerli e aggiustare il loro comportamento sulla base degli stessi. Dunque il termine Web in *Sensor Web* veniva riferito alla gestione e coordinamento intelligente della rete sensoriale piuttosto che al World Wide Web (WWW). Più tardi il Sensor Web fu riferito al *middleware* tra reti di sensori e web, e le applicazioni. Con l'iniziativa SWE, il *Sensor Web* si riferisce ad un'infrastruttura che realizza l'interoperabilità nell'uso delle risorse sensoriali e ne consente il *discovery*, l'accesso, il *tasking*, l'*eventing* e l'allerta seguendo specifici standard. Pertanto, il *Sensor Web* sta alle risorse sensoriali come il WWW sta alle fonti di informazione - una infrastruttura che permette di implementare reti di sensori eterogenei, interoperabili, scalabili ed orientate ai servizi, in grado di rilevare nuovi sensori, scambiare ed elaborare osservazioni ed affidare compiti, nascondendo i livelli fisici e i dettagli di comunicazione, e l'hardware eterogeneo dei sensori alle applicazioni su di essa sviluppate (Simon et al. 2009).

Le specifiche incluse nello standard SWE più recente definiscono le codifiche per i dati sensoriali e le interfacce dei servizi per l'accesso alle osservazioni, l'allerta e l'affidamento di compiti ai sensori (*tasking*). In particolare, la specifica *Observation & Measurements* (O&M) definisce un modello ed una codifica XML per la descrizione e la rappresentazione di misurazioni, di osservazioni e di metadati relativi ai sensori. La specifica *Sensor Model Language* (SensorML) descrive invece un modello ed un codifica che permette la rilevazione di sensori, la loro descrizione e quella delle relative osservazioni. *SensorML* fornisce anche la possibilità di dettagliare i componenti dei sensori in modo tale da descrivere anche il processo con cui le misurazioni delle osservazioni vengono effettuate.

Relativamente alle interfacce dei servizi, la specifica *Sensor Planning Service* (SPS) fornisce un servizio che permette ad applicazioni client di pianificare la richiesta di una particolare collezione di dati per uno o più sensori. La specifica *Sensor Event Service* (SES) specifica il servizio per richiedere informazioni circa la natura degli allarmi offerti, i protocolli utilizzati e le opzioni per

“iscriversi” ad uno specifico tipo di allarme. La specifica *Web Notification Services* (WNS) riguarda il servizio attraverso cui un *client* può condurre uno scambio di messaggi asincrono con uno o più servizi. La specifica *Sensor Observation Service* (SOS) fornisce invece l’interfaccia per ricercare, gestire e ottenere dati sia in tempo reale che archiviati, prodotti da sensori di diverso tipo, sia mobili che stazionari, sia remoti che in situ.

3. L’applicazione di OGC-SWE alle reti idriche e fognarie

L’attività di ricerca svolta nei laboratori di sensoristica e modellistica ambientale di ENEA CR Portici ha trovato applicazione negli ultimi anni nel dominio delle *smart water utilities*, grazie a finanziamenti di progetti sia regionali che nazionali. In particolare, sono stati investigati e sviluppati sistemi di monitoraggio e allerta per la qualità delle acque potabili e reflue basati su sistemi sensoriali distribuiti e pervasivi, e modellistica avanzata di simulazione delle dinamiche idrauliche e di qualità delle acque. Gli scenari applicativi hanno riguardato l’acquedotto Santa Sofia (Campania Occidentale) e la rete di drenaggio urbano della città di Massa Lubrense (Campania).

Per l’acquedotto Santa Sofia, un primo obiettivo è stato sviluppare un sistema di monitoraggio e previsione delle dinamiche di qualità delle acque ovvero del fenomeno di decadimento del cloro e della formazione dei sottoprodotti della disinfezione (DBPs - Disinfection By Products). Lungo l’acquedotto Santa Sofia sono state installate 10 sonde multi-parametriche wireless (ENDETEC-KAPTA tm 3000) che consentono il monitoraggio in continuo e in tempo reale di parametri fisico/chimici quali la pressione, il cloro residuo, la conducibilità, la temperatura e il pH. Il monitoraggio dei DBP (i.e. cloroformio, bromoformio, dibromoclorometano, etc.) avviene attraverso apposite campagne di misura mentre è in fase di sperimentazione l’utilizzo di piattaforme sensoriali in-situ per l’analisi dei DBP (Figura 1).

I dati acquisiti dai sensori e attraverso le campagne di misura sono elaborati da modellistica ad hoc di simulazione idraulica e di qualità delle acque per la definizione di scenari previsionali delle dinamiche di qualità delle acque. Le dinamiche modellate possono riguardare i fenomeni di decadimento del cloro e di formazione dei sottoprodotti della disinfezione che si generano lungo la rete (Fattoruso et al 2014 a,b) piuttosto che cambiamenti improvvisi di livelli di concentrazione di sostanze contaminanti eventualmente intenzionali.

Sulla base degli scenari previsionali e delle osservazioni dirette dei sensori, qualora sono superati valori soglia prefissati sono generate allerte che vengono notificate all’ente gestore tramite e-mail o sms per azioni tempestive e mirate di gestione delle anomalie rilevate, al fine salvaguardare la salute pubblica.

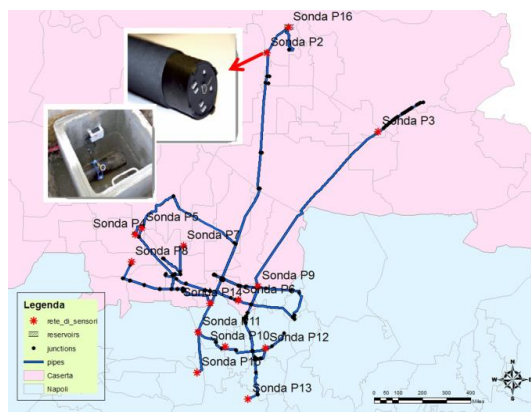


Figura 1 - Rete wireless di sonde multi-parametriche (ENDETEC-KAPTA tm 3000), installate lungo l’acquedotto Santa Sofia nell’ambito del Progetto POR/Acquareti.

L'altro scenario applicativo riguarda lo sviluppo di un sistema di monitoraggio e controllo di scarichi in fognatura di sostanze non autorizzate e/o non conformi ai limiti di legge. Tali sostanze raggiungendo gli impianti di trattamento delle acque di rifiuto (usualmente a ciclo biologico) possono incidere negativamente sugli impianti stessi, provocando pertanto il rilascio in ambiente di concentrazioni non tollerabili di inquinanti. I possibili punti di immissione non autorizzati e/o non conformi lungo una rete fognaria possono essere molteplici per cui non facilmente sorvegliabili.

La prevenzione di atti di immissione volontaria di sostanze nocive in una rete di drenaggio urbana diventa quindi articolata ovvero occorre poter individuare rapidamente la presenza di tali sostanze, in maniera tale da poter intervenire tempestivamente, minimizzando il danno ambientale e allo stesso tempo poter risalire all'individuazione della sorgente dello scarico e quindi ai responsabili che possono essere perseguiti penalmente.

Per perseguire tali obiettivi, il sistema fognario di Massa Lubrense è stato dotato di una rete pervasiva e distribuita di diverse tipologie di sensori. In particolare sono stati installate sonde ad immersione per il monitoraggio qualitativo e quantitativo di parametri quali PH, COD, NH₃, livello dell'acqua e conducibilità; piattaforme multi-sensoriali composte di nasi elettronici per NH₃, H₂S, sensori di umidità e temperatura necessari per aggiustare le letture dei gas e un microfono per rilevare vibrazioni nel flusso dell'acqua o rumore in generale che possono indicare aumento della portata del flusso o presenza di persone o corpi estranei nella fogna.

Tali piattaforme sensoriali, installate in punti strategici della rete fognaria, e acquisendo in continuo forniscono una mole di dati tale da consentire, attraverso modellistica numerica e algoritmi di intelligenza computazionale, sia una simulazione "in avanti" che "all'indietro" del processo di trasporto e di diffusione del contaminante ovvero la definizione di scenari previsionali di trasporto al depuratore di sostanze *non ammissibili* e di possibili punti in cui è avvenuto lo sversamento illecito. Sulla base delle risorse sensoriali sia reali che virtuali (output dei modelli), in presenza di cambiamenti quali/quantitativi nel flusso delle acque reflue, sono quindi generate allerte che vengono notificate all'ente gestore tramite sms o e-mail.

L'architettura OGC-SWE

Le funzionalità di monitoraggio e allerta dei sistemi sopra descritti sono state implementate tramite un'architettura SWE, sviluppata ad hoc. Tale architettura consente di integrare ed accedere alle diverse risorse sensoriali presenti lungo le reti acquedottistico e fognario, di rilevare eventi e generare allerte e notifiche sulla base delle osservazioni dei sensori e delle regole impostate, di visualizzare ed interrogare sia i dati acquisiti in tempo reale che le serie storiche attraverso un'applicazione *sensor web client* e un'applicazione *QGIS SOS client*, quest'ultima sviluppata ad hoc da ENEA.

L'architettura SWE proposta implementa quindi le componenti SOS, SES e WNS (Figura 2). La componente SOS dell'architettura consente alle applicazioni client – *QGIS SOS client* e *sensor web client* (Figure 3, 4) di accedere alle descrizioni dei sensori presenti lungo la rete idrica e fognaria e alle osservazioni da loro acquisite tramite interfacce *web service* standard.

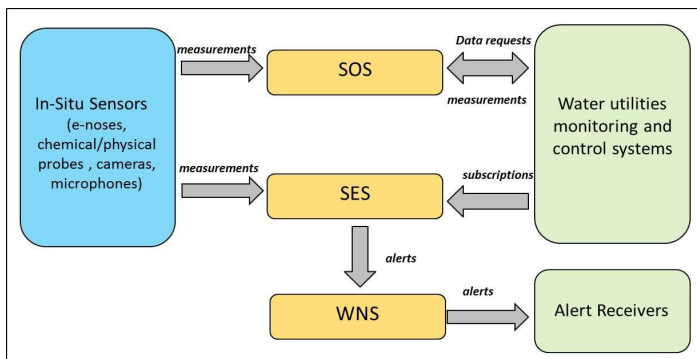


Figura 2 - L'architettura SWE sviluppata per i sistemi di monitoraggio e controllo di reti idriche e fognarie.

La componente SES fornisce servizi di notifica con funzionalità di *stream processing*. Possono quindi essere definite condizioni di allarme associati ai dati *live* dei sensori e ricevere notifiche in tempo reale al verificarsi degli eventi (*live streams processing*). Le notifiche sono inviate da SES a WNS dal quale sono processate per la generazione della notifica che avviene tramite sms o e-mail.

Nello scenario applicativo dell'acquedotto del Santa Sofia, una istanza SOS dell'architettura proposta consente di accedere ai diversi tipi di sensori presenti lungo la rete attraverso *web service standard* richiamati tramite le applicazioni *QGIS SOS client* e *sensor web client*. Le funzionalità di allerta e notifica previste sono implementate da istanze delle componenti SES e WNS dell'architettura proposta. In particolare un sms è inviato all'ente gestore quando è rilevato un evento critico come ad esempio concentrazioni di cloro residuo maggiori di 0.2 mg/l e concentrazioni di THM superiori a 30µg/l.

Nello scenario applicativo della rete fognaria di Massa Lubrense, una istanza SOS dell'architettura proposta consente di visualizzare e analizzare le serie storiche e i dati in tempo reale delle diverse tipologie di sensori installati. Per le notifiche in tempo reale, i dati sono trasferiti ad una istanza server SES che li filtra sulla base di criteri di allerta definiti a priori. Pertanto, qualora la componente SES individua uno scenario codificato come critico, segnala l'allerta e invia una richiesta di notifica all'istanza di WNS dell'architettura.

L'implementazione dell'architettura SWE proposta è stata realizzata con il framework 52°North version 4.0 e gli standard OGC SOS 2.0 (<http://52north.org/swe>). L'*endpoint* SOS dell'architettura usa un database PostgreSQL con l'estensione spaziale PostGIS per l'archiviazione e la gestione sia delle osservazioni dei sensori che dei metadata relativi ai sensori.

L'applicazione client QGIS SOS

Per l'accesso alle risorse sensoriali via web è stata sviluppata un'applicazione *web SOS client*, estendendo l'applicazione open source 52 North-Sensor Web Client. Tale applicazione consente via web di accedere e visualizzare le osservazioni dei sensori attraverso grafici, serie temporali e mappe tematiche (Figura 3).

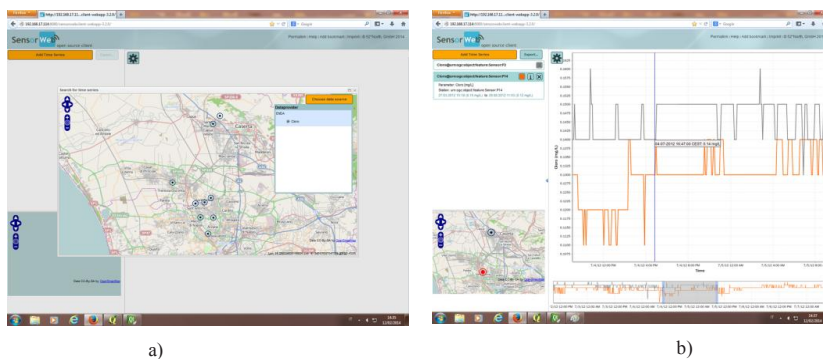


Figura 3 - a) Vista nell'applicazione Web SOS Client delle sonde multi-parametriche installate sull'acquedotto Santa Sofia. b) Grafo nel Web SOS Client di una serie storica di dati di cloro servita dall'istanza SOS dell'architettura SWE.

L'applicazione *QGIS SOS client* (Figure 4), sviluppata come *plug-in* del GIS desktop open source QGIS, integra in QGIS la funzionalità di accesso ai dati sensoriali serviti da una istanza SOS di una architettura SWE per la visualizzazione e l'analisi degli stessi piuttosto che per la loro elaborazione da parte dei modelli di simulazione idraulica e di qualità delle acque (i.e SWMM, Epanet/MSX quest'ultimo integrato in QGIS come *plug-in* GHydraulics).

In particolare, tale applicazione include tre *tool* che implementano rispettivamente le funzionalità SOS *GetCapabilities*, *GetObservation* e *Transactional profile*. All'interno dell'ambiente QGIS, attraverso semplici interfacce ed in maniera completamente trasparente,

l'utente può eseguire una richiesta (*GetCapabilities*) di descrizione del servizio all'istanza SOS dell'architettura SWE riferita, visualizzando l'estensione spaziale e temporale delle osservazioni relative alle risorse sensoriali disponibili piuttosto che una lista dei sensori e variabili osservate. Analogamente, l'utente può eseguire una richiesta (*GetObservation*) di accesso ai dati delle risorse sensoriali disponibili all'istanza SOS dell'architettura visualizzandoli tramite tabelle QGIS. Mentre attraverso opportune interfacce può registrare nuovi sensori sul server SOS con le relative osservazioni se disponibili.

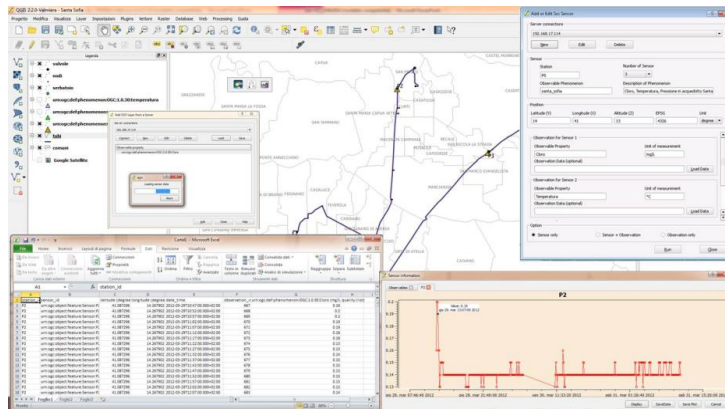


Figura 4 - L'applicazione QGIS SOS client sviluppata per il caso reale dell'acquedotto Santa Sofia.

Questa applicazione nasconde i dettagli tecnici dei servizi e dei protocolli dell'architettura SWE proposta consentendo il loro utilizzo anche ad utenti non esperti e soprattutto in un ambiente integrato GIS open source.

Conclusioni

Attraverso i casi applicativi dell'acquedotto Santa Sofia e della rete di drenaggio della città di Massa Lubrense è stato possibile dimostrare l'applicabilità dell'architettura SWE sviluppata al dominio delle *smart water utilities*. Essa può essere dunque utilizzata per lo sviluppo di sistemi per il monitoraggio e controllo del sistema idrico integrato. Possibili potenziamenti della stessa potranno riguardare l'integrazione di servizi SPS.

Ringraziamenti

Questo lavoro di ricerca è stato finanziato dal Progetto POR FESR 2007-2013/SIMONA e dal Progetto POR Campania 2000/2006 M. 3.17/ACQUARETI

Bibliografia

G. Fattoruso, D. De Chiara, S. De Vito, V. La Ferrara, G. Di Francia, A. Leopardi, E. Coccozza, M. Viscusi, M. Fontana (a). Simulation of Chlorine Decay in Drinking Water Distribution Systems: Case Study of Santa Sofia Network (Southern Italy). *Sensors and Microsystems, Lecture Notes in Electrical Engineering* Volume 268, pp 467-470 (2014)

G Fattoruso, A Agresta, E Coccozza, S De Vito, G Di Francia, M Fabbicino, CM Lapegna, M Toscanesi, M Trifuoggi (b). Use of Kinetic Models for Predicting DBP Formation in Water Supply Systems, *Sensors and Microsystems, Lecture Notes in Electrical Engineering* Volume 268, pp 471-474 (2014)

Delin, K.; Jackson, S.; Some, R. *Sensor Webs*. NASA Tech. Briefs 1999, 23, 90.

J. Simon, A. Bröring, and C. Stasch. Applying OGC Sensor Web Enablement to risk monitoring and disaster management. GSDI 11 World Conference, Rotterdam - NL (2009)

52 North Sensor Web Community. [Online]. <http://52north.org/communities/sensorweb>