

## **Integrated Earth Sensing: un test applicativo per lo studio della qualità delle acque interne**

Alessandro Oggioni (\*), Paola Carrara (\*\*), Claudia Giardino (\*\*),  
Dario Manca (\*), Monica Pepe (\*\*)

(\*) CNR-ISE, L.go Tonolli 50-52, 28922 Verbania-Pallanza, a.oggioni@ise.cnr.it  
(\*\*) CNR-IREA, Via Bassini 15, 20133 Milano, pepe.m@irea.cnr.it

### **Riassunto**

I recenti progressi tecnologici nel campo dell'acquisizione, dell'elaborazione e della comunicazione dei segnali hanno portato ad una maggior capacità sistematica di acquisizione di misure *in-situ*, di accessibilità *on-line* ai dati e relativi metadati attraverso Infrastrutture di Dati Spaziali (SDI), di fusione fra osservazioni da telerilevamento e misure di campo. Queste tre componenti confluiscono nel concetto di *Integrated Earth Sensing*. In questo panorama il *Sensor Web* (SW) è un approccio innovativo che permette di combinare misure eterogenee e distribuite provenienti da diverse tipologie di sensori in un unico servizio informativo che raccoglie, elabora, fonde e distribuisce le informazioni registrate.

Attualmente le SDI, le architetture per il reperimento e l'accesso ai dati geografici, servono i dati principalmente in modo statico; qualora si operi in ambiti, quali il monitoraggio e la gestione delle acque, ove i dati sono per loro natura dinamici e continuamente aggiornati, è cruciale integrare le SDI con il SW.

Nel presente studio sono state indagate le possibilità offerte da SW cominciando da uno dei suoi core service, il *Sensor Observation Service* (SOS) che, conformemente agli standard OGC (*Open Geospatial Consortium*), fornisce una interfaccia web interoperabile per l'accesso ai sensori e alle loro osservazioni.

L'esperimento da noi condotto ha visto l'implementazione di due SOS distribuiti, per accedere alle misure di temperatura osservate da stazioni *in-situ* nel bacino del Lago Maggiore e acquisite da immagini telerilevate da satellite nella stessa area.

Gli obiettivi di questo lavoro sono di valutare le opportunità e le criticità dell'approccio SW e il suo stato di avanzamento tecnologico; di stabilire il livello di interoperabilità di SOS distribuiti; di testare l'integrazione tra servizi SOS e quelli offerti da una SDI già esistente.

### **Abstract**

Recent advances in digital data collection, processing and communication have led to the development of more systematic capabilities for data acquisition, for accessibility of sensor data and/or metadata from on-line spatial data infrastructures (SDI) and for the integration of remote sensing observations with *in-situ* measurements. These components are included in the concept of *Integrated Earth Sensing*. In this context the *Sensor Web* (SW) is a new approach coupling distributed and heterogeneous measurements from different sensor types in a unique information system that collects, processes, fuses and distributes sensed information.

Nowadays SDIs, i.e. the current architectures to discover, access and distribute geo-data, serve mainly static spatial data, such as topography, soil, land use, etc. However, for a better support of particular spatial problems, such as water monitoring and management, dynamic and updated geo-data is required. An integration of SW within SDI is crucial.

In this work we investigate the opportunities offered by current technological solutions in the SW starting from one of its core services, i.e. the Sensor Observation Service (SOS) in compliance with OGC (Open Geospatial Consortium) standards. This service provides an interoperable web-based interface to make sensors and their related observations accessible. The test implemented a couple of distributed SOS to access temperature observations and measurements sensed by either an *in-situ* station located on Lake Maggiore, or remotely sensed images of the same area.

The objective is to evaluate the improvements and limitations of SW approach and its technological advances; to assess the level of interoperability of distributed SOS; to test SOS integration with an operating SDI.

### **Introduzione e obiettivi dell'esperimento**

Esattamente 10 anni fa, Cherry Murray immaginava che i tempi e le tecnologie fossero maturi perché la Terra indossasse una "pelle elettronica", composta da milioni di apparati di misura che connessi da Internet fossero in grado di "scandagliare e monitorare città e specie in pericolo, l'atmosfera, le navi, autostrade e flotte di camion, le nostre conversazioni, i nostri corpi - perfino i nostri sogni" [Murray, 1999]. Prima di lei Al Gore [1998] in un discorso preparato per il *California Science Center* a Los Angeles, volle prevedere un futuro dove qualunque utente collegato ad Internet fosse in grado di accedere a grandi quantità di informazioni gratuite in modo da poter descrivere la Terra e comprendere le attività che su di essa si svolgono. Grazie allo sviluppo di sensori economici, miniaturizzati e *wireless*, alla diffusione capillare di apparati di computazione (cellulari e palmari) e delle reti di comunicazione queste idee stanno prendendo corpo nel concetto di *Sensor Web* (SW). Questo è generalmente inteso come potente contesto tecnologico per collezionare, aggregare e distribuire dati geospaziali [Liang, Croitoru & Tao, 2005] e comprende due importanti aspetti:

- un network di sensori *in-situ* o/e remoti, mobili e/o fissi, spazialmente distribuiti che possono essere utilizzati per monitorare e esplorare il territorio;
- un insieme di servizi standard sul *Web* per assicurare l'interoperabilità, raccogliere e elaborare i dati provenienti dai sensori, così da generare informazioni aggregate utilizzabili da differenti utenti e da sistemi complessi come i modelli previsionali. Tali servizi standard consentono di inviare notifiche e allarmi agli utenti interessati, nonché di permettere la gestione e riconfigurazione dei sensori coinvolti.

Il *Sensor Web* dunque si può realizzare connettendo sensori, distribuiti e eterogenei, a centri di informazioni che collezionano, archiviano, processano, integrano e distribuiscono i dati raccolti attraverso servizi *Web*. Le principali iniziative internazionali cui il *Sensor Web* fa riferimento sono GEOSS (*Global Earth Observation System of Systems*, <http://earthobservations.org/>), GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*, <http://www.gmes.info/>) e soprattutto l'iniziativa *Sensor Web Enablement* (SWE, <http://www.opengeospatial.org/projects/groups/sensorweb>) di OGC (<http://www.opengeospatial.org/>), che comprende una suite di *open standard* per l'utilizzo di sensori connessi sul *Web* e di sistemi di sensori di ogni tipo.

Le applicazioni che possono essere pensate in questo ambito sono numerose e coprono discipline eterogenee, dalla medicina, all'economia, alle scienze sociali ed ambientali ma ancora manca un sistema centrale che possa gestire questa enorme quantità di segnali dal momento che:

- le soluzioni tecnologiche per l'acquisizione e la gestione della miriade di segnali misurati stanno muovendo i loro primi passi (si vedano per esempio progetti europei come OSIRIS <http://osiris-fp6.eu/>, SanY <http://www.sanyip.eu/>, Mobesens <http://www.mobesens.eu/>) e siamo ancora distanti da un mondo di sensori *plug-and-play*, da interconnettere facilmente ai sistemi informativi esistenti come si connette una stampante a un PC;
- la connessione tra il livello dei sensori e quello delle infrastrutture di dati spaziali, con i servizi più avanzati di visualizzazione, trasformazione, processing è poco chiara e attualmente ancora poco sperimentata.

Dunque i segnali raccolti da sensori che potenzialmente possono raggiungere un centro nevralgico sono molteplici ma si fatica a gestirli, tradurli in informazioni coordinate, che siano semanticamente significative e che possano essere utilizzate come feedback verso i sensori.

Gli Istituti ISE (Istituto per lo Studio degli Ecosistemi) e IREA (Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente) del CNR, che si occupano entrambi di monitoraggio dell'ambiente e in particolare delle acque interne, hanno voluto testare in un esperimento operativo la maturità delle tecnologie offerte dal *Sensor Web*, le possibilità di connessione con le infrastrutture di dati spaziali (SDI), i limiti, le difficoltà e i vantaggi che questa 'nuova pelle' offre.

#### **Caratteristiche dell'esperimento: architettura dei servizi e soluzioni tecnologiche**

Per comprendere meglio l'esperimento è opportuno ricordare quali sono le specifiche standard che i membri di OGC hanno sviluppato e testato nell'ambito di SWE:

- OGC *Sensor Observation Service* (SOS): permette l'accesso alle informazioni sui sensori messi a disposizione e alle loro osservazioni e valori misurati;
- OGC *Sensor Planning Service* (SPS): definisce l'obiettivo di un sensore o di un sistema di sensori;
- OGC *Web Notification Service* (WNS): invia notifiche asincrone di eventi rilevati da un sensore;
- OGC *Sensor Alert Service* (SAS): gestisce allarmi in tempo reale a utenze registrate;
- OGC *Observations and Measurements* (O&M): codifica standard dei dati raccolti dai sensori [OGC, 2007°];
- OGC *Sensor Model Language* (SensorML): codifica standard dei metadati dei sensori [OGC, 2007b];
- OGC *Transducer Model Language* (TransducerML or TML): codifica standard del modello concettuale e dello Schema XML per supportare il flusso (*streaming*) *real-time* di dati verso e dai sensori.

Il lavoro qui proposto ha considerato gli standard SOS, O&M e SensorML.

L'architettura illustrata in figura 1 è quella da noi utilizzata, dove le diverse fasi dell'esperimento sono rappresentate da diversi piani operativi. Il livello più basso è occupato dall'archivio dei dati; il piano intermedio rappresenta, in modo distinto per i due istituti, i servizi serviti (SOS, O&M e SensorML) con raccolti da sensori differenti; mentre quello superiore rappresenta la possibilità di comporre i dati raccolti attraverso applicazioni/*client* che consentono operazioni semplici di *request* standard per ogni servizio e anche operazioni più complesse come l'accesso a SOS, la scelta di *Feature of Interest*, la selezione e il retrieval delle misure ad esse associate, la loro visualizzazione in grafici e in mappe spazializzate.

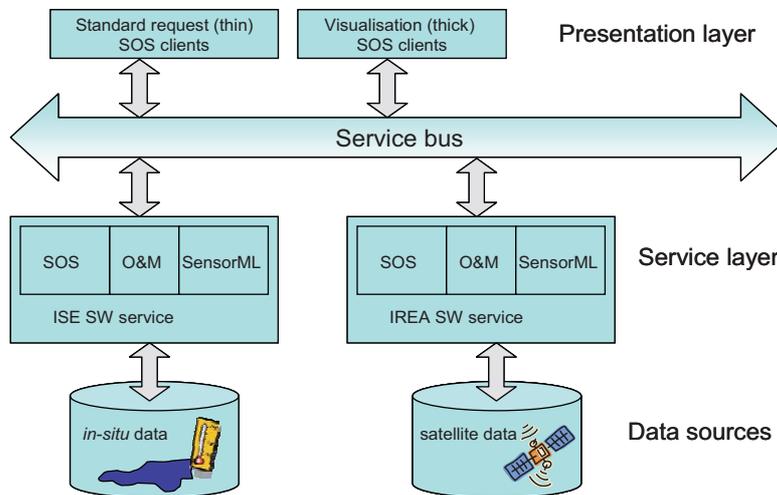


Figura 1. Struttura architetturale dell'esperimento.

Seguendo la filosofia del SW, si è scelto di considerare sia osservazioni relative alla misurazione di temperatura da sensori *in-situ* sia da satellite [Teillet *et al.*, 2002]. Sia per i dati *in-situ* che per i dati satellitari la proprietà misurata è la sola temperatura, per non disturbare con considerazioni legate alla tipologia di misura e ai sensori il vero nucleo dell'esperimento, cioè la prova della filiera tecnologica. Per provare le capacità di interoperabilità dei servizi di SW, le informazioni sulle due sorgenti di misura sono incluse in un diverso servizio di SOS, ospitato nei due diversi Istituti.

L'SOS di ISE descrive, attraverso SensorML, un sensore *in-situ*, che misura una tradizionale temperatura dell'acqua, rilevata attraverso una sonda multiparametrica e ne offre le osservazioni e i valori (O&M) relative a 27 posizioni distribuite sull'intera superficie del Lago Maggiore. L'intervallo temporale si riferisce alla campagna di misura del 7 agosto 2008. L'SOS di IREA descrive un sensore (SensorML), ETM<sup>+</sup> (*Enhanced Thematic Mapper*), a bordo del satellite Landsat7 e ne offre le osservazioni in banda termica (O&M) relative alla temperatura radiometrica e alla temperatura cinetica esotmosferiche dell'intera superficie lacustre come acquisita in data 27 agosto 2008. Entrambi i servizi sono stati implementati in ambiente Windows utilizzando gli strumenti messi a disposizione dall'incubatore 52°North (<http://52north.org>), attualmente una delle più avanzate, utilizzate e consigliate proposte implementative per i servizi Web in ambito OGC. In quest'ambito le basi dati sono archiviate in ambiente PostgreSQL e PostGIS.

Riferendosi alla nomenclatura definita negli standard OGC (Appendice), il modello di dati dei due servizi è riportato in tabella 1. Per ciò che riguarda il sensore satellitare offerto da IREA abbiamo scelto da un lato di adottare come *feature of interest* il pixel; dall'altro di distinguere tra il valore registrato dal sensore (radianza) e quello da esso derivato per calibrazione (temperatura) rappresentandoli come 2 proprietà (*phenomenon*) diverse.

ISE	IREA
<i>Sensor</i> : descrizione del sensore ISE che rileva la temperatura (urn:ogc:object:feature:Sensor:ISE:ise-fp-1)	<i>Sensor</i> : descrizione del sensore ETM <sup>+</sup> che rileva la radianza nell'infrarosso termico (urn:ogc:object:feature:Sensor:IREA:radiance-sensor-1)
<i>Offering</i> : l'offerta è relativa alla sola temperatura (TEMP)	<i>Offering</i> : l'offerta (THERMAL_IR_SAT) comprende le 2 proprietà relative all'acquisizione in infrarosso termico ovvero temperatura di corpo nero e cinetica
<i>Phenomenon</i> : il fenomeno o proprietà misurata è la temperatura (urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:temp)	<i>Phenomenon</i> : il fenomeno o proprietà misurate sono la temperatura di corpo nero (urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:radiance) e quella cinetica (urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:temperature)
<i>Feature Of Interest (FOI)</i> : coordinate e geometria delle 27 posizioni di tipo sa:SamplingPoint <sup>1</sup> (Maggiore_n, n= 1...27)	<i>Feature Of Interest (FOI)</i> : coordinate e geometria dei pixel immagine di tipo sa:SamplingSurface <sup>1</sup> (TM_19528_B62_pixel_n_m, n= colonna e m=riga)
<i>Value and Observation</i> : 27 valori, acquisiti nelle 27 osservazioni e relativi alle 27 posizioni rilevate in data 7 agosto 2008	<i>Value and Observation</i> : valori di ciascun pixel per le 2 proprietà misurate, acquisiti nella scena 19528 nell'osservazione del 27 agosto 2008

Tabella 1: modello dei dati relativo ai 2 servizi forniti dai due Istituti.  
Per ogni voce viene riportata la sua descrizione e tra parentesi l'identificativo utilizzato.

### Analisi dei risultati e problemi aperti

L'esperimento così definito, attraverso il modello di dati precedentemente descritto, implementato con gli strumenti di 52°North in *Data Base Management System* (DBMS - PostgreSQL), fornito come archivio di *default*, ci ha permesso di testare una completa interoperabilità di dati che provengono da sorgenti eterogenee, come sensori *in-situ* e satellite. Risulta quindi possibile fruire di questi servizi per operazioni ulteriori di confronto (*merge*, *fusion*, ecc.).

E' stato possibile testare la completa interoperabilità tra i dati da noi forniti utilizzando un *client* di interfacce standard per servizi SOS, effettuando con successo, anche contemporaneamente sulle 2 base dati, le seguenti operazioni:

- *GetCapabilities*: identificare dati, relativi sensori e parametri ad essi associati;
- *DescribeSensor*: ottenere la descrizione dei diversi sensori;
- *GetObservation*: accedere ai valori dei sensori;
- *RegisterSensor*: registrare un nuovo sensore;
- *InsertObservation*: inserire di nuovi valori relativi a misure non precedentemente inserite nel DB;
- *GetObservationById*: richiedere osservazioni per relativo ID;

<sup>1</sup> sa:SamplingPoint e sa:SamplingSurface si riferiscono al linguaggio di markup OGC che descrive gli schemi di campionamento definiti dallo standard O&M (<http://schemas.opengis.net/sampling/1.0.0/>)

- *GetResult*: ottenere il risultato dell'osservazione;
- *GetFeatureOfInterest*: ottenere la descrizione della FOI associata alla misura.

Nel corso dell'esperimento ci siamo però imbattuti in alcune difficoltà di implementazione, riconducibili a 3 livelli: conoscitivo, di sviluppo e concettuale. Infatti pur riconoscendo che in questo ambito si stanno compiendo ora i primi passi, si deve rilevare che per un corretto funzionamento dei diversi sistemi occorre una conoscenza informatica elevata a livello di servizi Web, di applicazioni server, di software applicativi per la gestione e archiviazione dei dati e degli schemi OGC per la definizione degli standard; le tecnologie di implementazione si stanno sviluppando solo in questo momento, parallelamente al superamento di problemi concreti; infine dal punto di vista concettuale non esistono ancora incubatori e relative strutture di base dati che permettano di archiviare i valori raccolti con variazioni della dimensione z (profondità o altitudine), caratteristica fondamentale delle nostre tipologie di misura.

In particolare in riferimento alla difficoltà di sviluppo, nel nostro esperimento, la definizione della *feature of interest* "pixel" come poligono ha richiesto il passaggio dalla versione SOS di 52°North 3.0.0 alla versione 3.1.0 disponibile dal 17-08-2009, che abilita l'utilizzo del valore di *feature type* "sa:SamplingSurface". Inoltre a quest'oggi non è disponibile un *client open-source* che ci permetta di fatto di poter sperimentare l'interoperabilità di servizi SOS con servizi tipici dell'SDI come i WMS.

Nel corso del nostro esperimento, pur essendo una tipologia di sensoristica che si sta sviluppando negli ambienti acquatici, non è stata considerata la gestione dei sensori mobili. Questi sono considerati nelle specifiche di implementazione dell'OGC [OGC 07.000] e vengono differenziati in *in-situ* (es. sonde "natanti" di misura in mare) e remoti (es. LIDAR), ma non sono ancora risolti dal punto di vista tecnico cioè non esistono incubatori o base dati che possano implementarli.

### **Conclusioni e sviluppi futuri**

Concludendo è possibile affermare che, utilizzando il sistema di incubazione 52°North, abbiamo potuto testare e comprovare la piena interoperabilità tra sistemi di rilevamento dati *in-situ* e da satellite, compiendo con successo le *request* standard indicate dal consorzio OGC attraverso sistemi di *client* semplici. Mentre per le stazioni di campionamento a terra (*in-situ*) le operazioni di archiviazione dei dati, di riconoscimento delle caratteristiche fondamentali relative all'*offering*, al *phenomenon* e alla *feature of interest* sono risultate immediate e semplici, la stessa operazione si è rivelata complessa per ciò che riguarda i dati relativi a immagini acquisite da sensori remoti. Queste infatti presentano una struttura a banda e una tipica forma poligonale, relativa al *pixel*, che andrebbe ricondotta geometricamente al poligono. Solo un recente passaggio tecnologico ci ha permesso di integrare questo tipo di informazione, che altrimenti avrebbe dovuto essere rappresentata dal centroide di ciascun *pixel*.

L'incubatore 52°North si è rivelato un buon strumento per la creazione di servizi SOS anche per ciò che riguarda la struttura di archiviazione dei dati. Questa infatti risulta essere, anche se mancante in alcune parti, aderente alle norme OGC, semplice e dinamica tanto da poter inserire tipologie di dati provenienti da fonti così eterogenee.

Al contrario va rilevato che mancano le soluzioni tecniche relative ai client di gestione di dati, ma soprattutto alla loro visualizzazione con interfacce che possano supportare i servizi SOS come gli altri tipici di una SDI. Mancanti sono anche le parti relative alla gestione dei sensori mobili e quelle relative alla gestione della terza dimensione, intesa come profondità o altitudine, molto interessanti sia per ciò che riguarda gli ambienti acquatici sia quelli terrestri di ambito meteorologico che atmosferico.

### Riferimenti bibliografici

- Gore A. (1998), "The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century", discorso tenuto al California Science Center, Los Angeles, California, il 31 gennaio 1998, accesso a [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=6210](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=6210), [ultimo accesso 15.9.2009]
- Liang S.H.L., Croitoru A., and Tao V., (2005). "A distributed geo-spatial infrastructure for sensor web". *Computers and Geosciences*, 31: 221-231.
- Murray C. 1999. The Earth will don an electronic skin, intervista di N. Gross per "21 ideas for the 21st Century Internet". [http://www.businessweek.com/1999/99\\_35/b3644024.htm](http://www.businessweek.com/1999/99_35/b3644024.htm).
- Open Geospatial Consortium (2007a), "Observations and Measurements - Part 1 - Observation schema", OGC 07-022r1, ver. 1.0, 2007-12-08, ed. S. Cox, online [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=22466](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=22466).
- Open Geospatial Consortium (2007b), "OpenGIS Sensor Model Language (SensorML) Implementation Specification", [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=21273](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=21273). The European Parliament and the Council of the European Union (2007), "Directive 2007/2/EC", 14<sup>th</sup> March 2007.
- Teillet P.M., Gauthier R.P., Chichagov A., Fedosejevs G. (2002), "Towards integrated earth sensing: advanced technologies for in situ sensing in the context of earth observation", *Canadian Journal of Remote Sensing* 28-6, 713-718.
- S.H.L. Liang, A. Croitoru, C.V. Tao. 2005. A distributed geospatial infrastructure for Sensor Web", *Computers&Geosciences* 31, 221-231.

### Appendice: significato di alcuni termini specifici

(tratto da: OGC-O&M, 07-022r1 e OGC-SOS, 06-009r6)

**Observation:** atto di osservare un fenomeno o una proprietà; agisce come un *fornitore di valori di proprietà* nel senso che attraverso una procedura (tipicamente uno strumento) fornisce un valore (es. 27 °C) di una proprietà (es. temperatura) della Feature Of Interest (es. Stazione meteorologica) a un certo tempo t.

**Value:** osservazione specializzata, il cui risultato è un valore numerico

**Feature Of Interest:** elemento del modello base dell'osservazione, esso è una rappresentazione del target dell'osservazione, l'oggetto del mondo reale rispetto a cui l'osservazione avviene; la geometria della *Feature Of Interest* suggerisce indirettamente la locazione spaziale dell'osservazione.

**Phenomenon:** concetto caratteristico di una o più *feature*, il cui valore può essere stimato applicando una qualche procedura in una osservazione. In questo contesto e' sinonimo di proprietà.

**Offering:** raggruppamento logico di osservazioni offerte da un servizio che sono in relazione tra loro (es. sono effettuate da una stessa stazione o da uno stesso sensore). Ogni *offering* è caratterizzata da parametri tra cui:

- sistemi di sensori che riportano le osservazioni,
- periodo(i) i tempo per cui possono essere richieste le osservazioni,
- fenomeni che vengono considerati,
- regione geografica che contiene i sensori e
- regione geografica che contiene le *feature* che sono oggetto dell'osservazione (differiscono dalla precedente per i sensori remoti)

**Procedure:** metodo, algoritmo o strumento o un sistema di questi

