

# **Monitoraggio energetico del patrimonio edilizio: sensori, standard ed architetture di sistemi**

A. Bianchin, S. Dalla Costa, J. Rizzi, M. Rumor

Università IUAV di Venezia, 1961, Santa Croce, 30135, Venezia  
[alberta@iuav.it](mailto:alberta@iuav.it), [silvia.dallacosta@iuav.it](mailto:silvia.dallacosta@iuav.it), [jonathan.rizzi@poste.it](mailto:jonathan.rizzi@poste.it), [rumor@dei.unipd.it](mailto:rumor@dei.unipd.it)

**Abstract:** il contributo, dopo una sintetica descrizione dello stato dell'arte delle tecnologie, dei sensori, degli standard e delle applicazioni per il monitoraggio energetico degli edifici, introduce le prime fasi di una ricerca\* finalizzata alla progettazione e realizzazione prototipale di un sistema di acquisizione, interrogazione e pubblicazione via web in tempo reale di dati provenienti da diverse fonti informative, in particolare sensori e reti di sensori, a supporto del monitoraggio dei consumi termici ed elettrici e di accountability energetica relativa al patrimonio edilizio di una Pubblica Amministrazione locale. Obiettivo della ricerca è proporre un'infrastruttura applicativa per la gestione dei dati basata su meccanismi e procedure di interoperabilità service oriented e che utilizzi gli standard internazionali di riferimento, in particolare le specifiche OGC Sensor Web Enablement.

**Keywords:** Sensori, Standard, SWE, Monitoraggio energetico.

## **1. Introduzione alla ricerca e alla problematica energetica**

L'obiettivo della ricerca è la progettazione di una piattaforma tecnologica in grado di acquisire, pubblicare ed interrogare dati sulle prestazioni energetiche, sui consumi termici ed elettrici, sui parametri ambientali e sulle emissioni di gas serra, a supporto delle attività di "accountability energetica" relative al patrimonio edilizio delle Pubbliche Amministrazioni.

A tal fine sono stati analizzati i sensori e i nuovi standard sui sensori con lo scopo di proporre una architettura orientata ai servizi (SOA, Service Oriented Architecture) in grado di gestire sia i dati provenienti dai sensori sia quelli derivati da archivi informatizzati pubblici, cercando di valorizzarne i meccanismi e le modalità di visualizzazione e presentazione.

Trattandosi di standard recenti, le problematiche da risolvere sono ancora numerose, in particolare si evidenziano due questioni che dovrebbero essere oggetto di approfondimento: da un lato è necessario valutare l'efficacia delle nuove specifiche e la loro applicabilità in diversi domini, dall'altro esplorare meccanismi e procedure di integrazione di tali standard all'interno di architetture SOA (Mayer, Stollberg, Zipf 2009).

### **Efficienza energetica e ruolo della Pubblica Amministrazione**

Le competenze e gli interventi in materia energetica della Pubblica Amministrazione (PA) locale costituiti, a partire dagli anni '90 dalla definizione di piani e politiche sul territorio amministrato e, almeno parzialmente, dalle attività di gestione e controllo afferenti alle utility e ai gestori di servizi (Bigi 2008), si focalizzano in anni più recenti, sotto la spinta degli orientamenti internazionali, sulla realizzazione e la promozione di azioni volte al risparmio e al miglioramento dell'efficienza energetica, a partire dal proprio patrimonio immobiliare.

La Direttiva Europea 2002/91/CE sul Rendimento Energetico nell'Edilizia raccomanda un approccio esemplare nei confronti dell'ambiente e dell'energia da parte delle PA locali, il loro assoggettamento alla certificazione energetica, nonché l'esposizione negli edifici pubblici degli attestati di rendimento energetico e di altre informazioni pertinenti. La visibilità e la trasparenza delle azioni energetiche da intraprendere sono diventate quindi un nodo cruciale per gli enti locali, e le scelte da essi promosse non possono più ignorare, ai fini della loro efficacia, aspetti divenuti sempre più rilevanti come il livello di consapevolezza dei cittadini e gli interessi su cui esse incidono (Bastiani e Mirabile 2008). Alcune Amministrazioni stanno lavorando in tal senso, attraverso la redazione di Piani di Efficienza Energetica del proprio patrimonio. L'analisi di queste realtà e della documentazione prodotta evidenzia tuttavia come i piani non siano poi accompagnati da strumenti di gestione delle analisi e di valutazione e monitoraggio degli interventi attuati o programmati.

Sempre la Direttiva 91 ha introdotto inoltre un ulteriore cambiamento di direzione piuttosto significativo rispetto alle disposizioni normative precedenti, riguardante la metodologia di calcolo del rendimento energetico, che non si limita più a considerare solo un aspetto del problema ma assume un approccio integrato ed eventualmente differenziato a livello regionale. Tale disposizione può essere affrontata da un lato attraverso il contributo delle Amministrazioni stesse o di altri enti territoriali, detentori di una vasta mole di dati di tipo ambientale, climatico e relativi al patrimonio edilizio, dall'altro mediante l'apporto delle Nuove Tecnologie per l'acquisizione, l'archiviazione e l'elaborazione di risorse informative, in particolare dati provenienti da sensori di diagnosi e monitoraggio energetico-ambientale.

La ricerca, prendendo spunto da queste problematiche, ovvero dal nuovo ruolo della PA nella promozione dell'efficienza energetica, dalla difficoltà oggettiva a gestire i piani di efficienza stessa ma anche dalle potenzialità delle risorse informative esistenti, integrate a nuovi dati, vuole proporre una metodologia e gli strumenti per la realizzazione di una piattaforma Webgis multiutente orientata alla pubblicazione delle informazioni sugli edifici pubblici oggetto di riqualificazione energetica e dei loro consumi termici ed elettrici in tempo reale.

## **2. Le tecnologie per il monitoraggio dei consumi energetici**

### **Sensori e reti di sensori**

Negli ultimi anni si è assistito a un forte progresso nel campo della sensoristica dedicata alle problematiche territoriali e ambientali, ovvero ad una maggiore varietà di dispositivi presenti sul mercato e ad una diminuzione dei loro costi, che ha favorito la consistente diffusione di tali strumenti.

Ciò ha permesso di potere avere accesso ad una grande quantità di dati dinamici, potenzialmente interrogabili in tempo reale, e diversificati.

Per quanto concerne le problematiche energetiche, e in particolare le verifiche dei consumi e delle prestazioni nell'edilizia, sono presenti sul mercato da un lato sensori utilizzati per la diagnosi energetica, dall'altro dispositivi che forniscono dati in modalità continua e in tempo reale (o quasi reale) sui consumi o su parametri ambientali, da confrontare con le caratteristiche degli edifici, finalizzati a monitoraggi più approfonditi o alla valutazione di interventi già realizzati, alla gestione intelligente degli edifici.

Della prima categoria fanno parte:

- termocamere a infrarossi portatili o alloggiate su aeromobile che rilevano i valori di temperatura attraverso la misurazione dell'intensità di calore emessa da un corpo evidenziando quindi le anomalie termiche;
- termoflussimetri per la determinazione della trasmittanza delle pareti attraverso la rilevazione della temperatura della superficie verso l'interno e l'esterno.

Della seconda categoria fanno invece parte:

- sensori per il monitoraggio del consumo elettrico e in generale i sistemi digitali, sensori, attuatori e applicativi per la gestione e il controllo energetico dell'edificio, che costituiscono i cosiddetti Building Energy Management Systems (BEMS);
- sensori per il monitoraggio dei dati climatici interni, come i termoigrometri in grado di misurare la temperatura e l'umidità;
- sensori per il monitoraggio dei dati climatici esterni: centraline o singoli sensori per la misura della temperatura, umidità, pressione, vento, ecc.;
- sensori per il monitoraggio dei flussi di persone che consentono di contare il numero di persone in transito e quindi di monitorare gli accessi a un edificio o a parte di esso.

I sensori fanno solitamente parte di reti che consentono la raccolta dei dati rilevati e li rendono disponibili per l'archiviazione e le successive elaborazioni. Alcuni cenni dell'approccio vengono forniti al paragrafo 6.

### **Sistemi informativi geografici**

Quella dei sistemi informativi geografici rappresenta l'altra componente tecnologica fondamentale per gli scopi dichiarati dal progetto. Attraverso questa tecnologia è possibile infatti:

#### 4 A. Bianchin, S. Dalla Costa, J. Rizzi, M. Rumor

- collocare spazialmente i sensori utilizzati;
- modellare i manufatti edilizi di interesse;
- conoscere le relazioni spaziali dei manufatti tra loro e con gli altri oggetti naturali ed artificiali del contesto;
- modellare le relazioni dei manufatti con le variabili ambientali.

Si prevede un impiego non tradizionale della tecnologia in relazione al livello di dettaglio elevato richiesto ai modelli ed alla tipologia delle elaborazioni.

#### **Standard OGC**

Gli standard utilizzati nell'ambito del progetto riguardano sia quelli relativi ai dati provenienti da sensori sia quelli attinenti alla condivisione e interoperabilità dell'informazione geografica.

Per quanto concerne il primo gruppo, tali standard servono principalmente alla comunicazione delle informazioni fra sensori e applicativi e per la loro gestione attraverso il web. Sono stati implementati dall'Open Geospatial Consortium (OGC) a partire dal 2007, con la pubblicazione del Libro Bianco sul Sensor Web Enablement (SWE) che ha portato al rilascio di sette specifiche (Botts 2007). Di queste solo alcune sono di interesse nell'ambito del progetto, ovvero:

- Observations & Measurements Schema (O&M): modello standard e schema XML utile per codificare le osservazioni e le misurazioni da un sensore, sia da serie storiche sia in tempo reale; grazie a tale specifica è possibile interpretare tutti i dati raccolti dai sensori nell'ambito dei monitoraggi;
- Sensor Model Language (SensorML): modello standard e schema XML per descrivere i sistemi dei sensori e i processi; fornisce informazioni utili per la scoperta di sensori, per la localizzazione delle osservazioni, per il processamento a basso livello delle osservazioni, per elencare le proprietà delle attività schedulate; di fatto questa specifica permette di raccogliere le informazioni di base per poter comunicare con un sensore e gestire le informazioni che raccoglie;
- Sensor Observations Service (SOS): interfaccia per un servizio web standard orientato alla richiesta, al filtraggio e alla ricezione delle osservazioni e delle informazioni sui sistemi di sensori; rappresenta un livello intermedio fra le postazioni client e gli archivi delle osservazioni o i canali in tempo (quasi) reale dei sensori;
- Sensor Alert Service (SAS): interfaccia per un servizio web standard di pubblicazione e sottoscrizione di messaggi di allerta dai sensori; tale servizio permette di gestire dei messaggi che si attivano quando vengono registrati determinati valori; ad esempio il superamento di certe soglie potrebbe generare dei segnali di avviso che rappresentano valori anomali o prestazioni sintomo di scarsa efficienza.
- Web Notification Services (WNS): interfaccia per un servizio web di invio asincrono di messaggi o segnali d'allerta dai servizi web SAS e da altri elementi del workflow dei servizi; permette di gestire l'invio di messaggi che comunicano agli utenti i segnali di allerta relativi, ad esempio, al superamento di valori soglia o ad anomalie sullo stato del sistema.

5 Monitoraggio energetico del patrimonio edilizio: sensori, standard ed architetture di sistemi

Un'ulteriore specifica di possibile interesse nell'ambito dell'architettura che si sta delineando nell'ambito della ricerca è il Sensor Planning Service (SPS), un servizio web per acquisizioni di dati pianificati dall'utente. L'SPS rappresenta un livello intermedio tra le postazioni client e un ambiente di gestione di una serie di sensori, in quanto permette una interazione diretta fra utente e sensore anche nel definire quando raccogliere i dati e con che frequenza. Mentre le specifiche precedenti costituiscono gli elementi minimi per una infrastruttura essenziale, questa rappresenta un valore aggiunto.

L'utilizzo di tali standard di fatto garantisce l'interoperabilità dei dati, di particolare interesse soprattutto nella progettazione di architetture SOA.

Per quanto concerne i sistemi informativi geografici sono a disposizione una serie di standard, sempre finalizzati a garantire l'interoperabilità, sulla cui base si possono disegnare e realizzare le architetture applicative. Tra questi si evidenziano:

- OGC Web Feature Services (WFS): servizio web che permette a un client di ottenere ed aggiornare dati geografici codificati in GML da vari server;
- OGC Web Map Services (WMS): servizio web che permette a un client di ottenere mappe in forma di immagine da vari server.

### 3. Esempi di applicazioni

In ambito nazionale sono stati recentemente avviati alcuni progetti relativi alla costruzione di Webgis per la visualizzazione e interrogazione di mappe orientate a rappresentare le prestazioni energetiche di edifici pubblici, finalizzati quindi a rispondere a quanto richiesto dalla Direttiva europea 91. Un esempio significativo è il portale "Audit Gis" finanziato dalla Fondazione Cariplo, che pubblica i risultati delle diagnosi energetiche effettuate in 650 Comuni al di sotto dei 30.000 abitanti delle province lombarde e di Novara e Verbania. I dati visualizzati e interrogabili da mappa sono aggregati a livello comunale o riferiti ai singoli edifici e si riferiscono ai consumi storici termici ed elettrici, ai dati relativi alle azioni intraprese, alla CO<sub>2</sub> risparmiata grazie agli interventi e un'indicazione dei tempi di ritorno degli investimenti.

Di spunto per la stesura della proposta qui introdotta è stata inoltre l'analisi di alcuni "Energy dashboard" che alcuni ricercatori di Università statunitensi (San Diego University) e canadesi (British Columbia) hanno sviluppato e stanno sperimentando per il controllo in tempo reale dei consumi elettrici. Si evidenziano in particolare due aspetti di tali esperienze: i meccanismi di competizione che si instaurano tra occupanti degli edifici che si affiancano all'aumento della consapevolezza verso i temi energetici e che possono attivare comportamenti "virtuosi"; l'integrazione di contatori (smart meter) "ufficiali" gestiti dai fornitori di energia, con misuratori installati sui singoli uffici o apparecchi che aumentano anche in questo caso lo spirito partecipativo e al contempo forniscono informazioni dettagliate su consumi, anomalie o comportamenti scorretti.

Si è fatto riferimento inoltre ad applicativi progettati per altri domini tematici. Uno degli esempi più interessanti di infrastruttura applicativa per il monitoraggio ambientale realizzata attraverso l'utilizzo di reti di sensori e l'applicazione delle

specifiche OGC per l'interoperabilità, è il sistema per il controllo dell'inquinamento della Sorgente di Santa Fiora (AR) in relazione al possibile inquinamento derivante da arsenico o idrocarburi.

#### **4. Architetture di sistemi basate su standard**

Basare sugli standard l'architettura di una applicazione presenta come ben noto innumerevoli vantaggi. Lo standard fornisce ampia documentazione di riferimento per la soluzione adottata e si rende possibile la sostituzione, senza rifacimenti o modifiche, di componenti della soluzione con altri ugualmente conformi. Si garantisce così possibilità di sviluppo e qualità alla soluzione adottata.

#### **5. Impostazione della Ricerca**

La scelta della metodologia poteva prevedere la progettazione dell'architettura a partire dagli standard e da un insieme di requisiti ipotizzati, cercando di ottenere dei risultati generali, nell'ottica di un'architettura adeguata a supportare un'ampia gamma di applicazioni.

Si è invece preferito partire da una analisi dei requisiti condotta su un caso reale, attraverso il disegno di un'architettura applicativa adeguata a supportare sia le esigenze presenti ed espresse, nonché le necessità future e potenziali da queste deducibili. L'architettura disegnata dovrà successivamente essere sottoposta a verifica per evidenziarne i limiti e valutare gli interventi per il loro eventuale superamento.

La scelta di questa metodologia è dettata dalla convinzione che una tale impostazione permetta di progettare un'architettura applicativa adeguata allo sviluppo di funzionalità rispondenti ad un vasto raggio di esigenze reali.

#### **Il caso studio**

La fase di avvio della ricerca è stata finalizzata alla scelta di una realtà amministrativa con cui collaborare per la stesura della proposta. Dopo una verifica di interesse presso alcune Amministrazioni è stata attivata una convenzione con il Settore Ambiente del Comune di Padova - ufficio Fonti Energetiche Rinnovabili (FER), che da tempo sta affrontando la problematica energetico-ambientale anche mediante atti concreti quali: l'approvazione del Piano Energetico Comunale (1999); la realizzazione del Piano di Efficienza Energetica e la certificazione di beni immobiliari di proprietà del Comune, nello specifico Palazzo Sarpi (2005).

L'Amministrazione ha inoltre portato a termine diversi progetti di sostituzione delle caldaie e ha in corso l'installazione di pannelli fotovoltaici su numerosi edifici di proprietà comunale. L'esigenza generale, emersa dai primi incontri, è stata quella di poter disporre di uno strumento di verifica e gestione del Piano di Efficienza Energetica, con una logica di accountability, che legasse quindi gli esiti prodotti agli

7 Monitoraggio energetico del patrimonio edilizio: sensori, standard ed architetture di sistemi

impegni assunti e alle responsabilità proprie dell'Amministrazione (Bigi 2008), in un'ottica di ampia trasparenza e visibilità nei confronti dei propri cittadini.

### **Fasi**

Il piano della ricerca prevede di procedere secondo queste fasi principali:

1. analisi della sensoristica per il monitoraggio energetico-ambientale;
2. analisi degli standard di riferimento
3. analisi delle architetture applicative conformi agli standard;
4. definizione con l'ufficio FER degli obiettivi dell'applicazione e delle esigenze espresse;
5. analisi presso il Comune (ed eventuali altri enti) della situazione dei dati esistenti e dei processi di interesse;
6. definizione dei requisiti funzionali e non funzionali del sistema;
7. scelta della sensoristica, delle modalità e tecnologie di acquisizione dati;
8. disegno del modello dei dati;
9. disegno dell'architettura di sistema;
10. approfondimento sulla rappresentazione spaziale degli oggetti e sui metodi di analisi spaziale
11. predisposizione della documentazione sui risultati della ricerca.

## **6. Stato di avanzamento**

Di seguito sono sintetizzati alcuni degli esiti della fasi finora realizzate (da 1 a 8).

### **Individuazione utenti del sistema e analisi dei requisiti**

Con l'ufficio FER sono stati individuati gli obiettivi generali del sistema, che in sintesi deve permettere di:

- monitorare in tempo reale i consumi termici ed elettrici per singolo edificio;
- allertare e monitorare situazioni anomale sia legate al sistema edificio/impianti sia ai comportamenti dei dipendenti;
- programmare interventi per il risparmio energetico e la riduzione dell'inquinamento (CO<sub>2</sub>);
- visualizzare le informazioni sugli interventi nel modo più chiaro e trasparente possibile sia per l'Amministrazione che verso i cittadini;
- valutare l'efficacia in termini di sostenibilità (sociale, economica e ambientale) degli interventi realizzati.

Sono state poi individuate e definite 3 tipologie di utente:

- energy manager: il responsabile - persona fisica o ufficio - incaricato di pianificare, gestire e valutare i progetti comunali di carattere energetico, di avviare la certificazione energetica degli edifici e di individuare la gestione ottimale, a livello

di sostenibilità, del patrimonio pubblico. Per il Comune di Padova coincide con l'ufficio FER;

- occupanti dell'edificio: sebbene possano variare a seconda delle funzioni dell'edificio, si intende il personale tecnico amministrativo e, nel caso delle scuole, in generale le persone che occupano uno stabile in modo continuativo nell'arco della settimana;
- cittadini.

Per ogni utente sono stati individuati ed elencati gli obiettivi specifici e i requisiti, configurando le priorità di sviluppo (figura 1).

Utente	Obiettivi	Requisiti
Energy Manager	Disporre delle informazioni necessari e a pianificare interventi di riqualificazione energetica negli edifici comunali	Il sistema: <b>deve</b> essere un mezzo per poter visualizzare tutte le informazioni già disponibili e utili ai fini della diagnosi o prediagnosi energetica <b>dovrebbe</b> poter gestire i dati raccolti nel corso della diagnosi energetica
	Monitorare i consumi termici ed elettrici degli edifici riqualificati	<b>dovrebbe</b> sintetizzare i dati sui consumi per evidenziare le priorità di intervento <b>Deve</b> visualizzare e rendere confrontabili le serie storiche sui consumi <b>Deve</b> visualizzare ed estrarre dati sui consumi in tempo reale
	Valutare l'efficacia economica degli interventi già realizzati	<b>Deve</b> allertare l'E.M. qualora si evidenzino anomalie sui consumi, in relazione anche a parametri esterni, ovvero la temperatura esterna <b>Dovrebbe</b> poter comparare il costo degli interventi realizzati con i risparmi e i tempi di ritorno degli investimenti
	Valutare l'efficacia ambientale degli interventi realizzati	<b>Dovrebbe</b> evidenziare il valore di CO2 ridotto con gli interventi
Occupante	Essere sensibilizzato ad adottare comportamenti efficienti e di responsabilità	Il sistema: <b>deve</b> visualizzare dati sintetici utili a far comprendere agli occupanti gli interventi di risparmio energetico realizzati o programmati sugli edifici, i costi di intervento, il valore di CO2 ridotto con gli interventi
	Segnalare le eventuali anomalie	<b>Deve</b> mettere a disposizione un form di segnalazione delle disfunzioni relativi agli impianti di climatizzazione o altre anomalie che potrebbero comportare un aumento di consumi
	Poter suggerire attività/iniziativa di efficienza	<b>Dovrebbe</b> poter mettere a disposizione uno spazio per suggerimenti e segnalazioni generali su iniziative, materiali e immateriali di risparmio
Utente	Obiettivi	Requisiti
Cittadino	Essere reso partecipe degli interventi realizzati dall'amministrazione e sensibilizzato in materia di efficienza energetica	Il sistema: <b>deve</b> visualizzare dati sintetici utili a far comprendere ai cittadini gli interventi di risparmio energetico realizzati o programmati sugli edifici, i costi di intervento e il valore di CO2 ridotto con gli interventi
	Suggerire interventi immateriali di efficienza	<b>Dovrebbe</b> poter mettere a disposizione uno spazio per suggerimenti e segnalazioni generali su iniziative, materiali e immateriali di risparmio

**Fig. 1** Tabella di sintesi degli obiettivi e requisiti utente, a colori sono evidenziate le priorità di sviluppo

### **Modellazione dei dati**

Contestualmente alla definizione dei requisiti e della funzionalità si è passati al disegno della base dati. L'entità principale individuata è la zona termica, definita dalla EN 13790, e ripresa dalle UNI/TS 11300, come una parte dell'ambiente climatizzato mantenuto a temperatura uniforme attraverso lo stesso impianto di riscaldamento, raffrescamento o ventilazione. Per adeguarsi agli obiettivi del sistema che si intende progettare tale definizione è stata così ulteriormente specificata:

- spazio con tipologia e modalità di utilizzo interno omogeneo (presenze e apparecchiature elettriche);
- spazio delimitato da elementi con caratteristiche fisico-termiche omogenee; vale a dire che ogni singola facciata deve essere rappresentata da materiali omogenei, oppure da una trasmittanza termica media, naturalmente non occorre che ci sia omogeneità tra diverse facciate.

Lo spazio va trattato come elemento confinato da superfici perimetrali (verso l'esterno, ma anche verso l'interno) sia verticali che orizzontali. In questo modo la sommatoria di più zone termiche costituisce l'edificio.

Le altre entità individuate sono:

- Involucro: corrisponde alle superfici perimetrali della zona termica, di tipo opaco, come solai e pareti, o trasparente, serramenti e serre, di tipo orizzontale o verticale. Costituisce l'elemento fondamentale per il calcolo delle dispersioni termiche per trasmissione.
- Edificio: selezione e sommatoria degli involucri con cardinalità 1 a cui associare i dati dei sensori qualora necessari.
- Impianto: rappresenta il sistema di produzione, erogazione, distribuzione e regolazione del riscaldamento o raffrescamento.
- Apparecchiatura elettrica: apparecchi elettrici e informatici presenti nella zona termica.
- Sensore: informazioni sui sensori e le sue misure.
- Intervento: rappresenta gli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica, compresi gli impianti alimentati da fonti rinnovabili e riferibile alle singole superficie dell'involucro, alla singola zona termica, all'edificio o all'impianto.

Inoltre è necessario gestire:

- i dati meteorologici, derivabili da centraline ARPAV o sensori installati ad hoc;
- i dati sugli apporti umani, attribuiti alla zona termica e derivati da stime sulle presenze e da sensori di presenza.

Un aspetto significativo rilevato è costituito dalla consistente mole di dati necessaria a rappresentare il problema energetico e dal fatto che molte relazioni tra le entità della base dati delineata sono di tipo spaziale, non esplicitabili in termini di relazione alfanumeriche. Una ulteriore complicazione deriva dal fatto che tali relazioni spaziali vanno trattate nello spazio tridimensionale.

Sono state previste quindi entità dotate di geometrie tali da fornire una rappresentazione nello spazio 3D la cui gestione necessita la definizione di operatori spaziali in 3D. In particolare per la zona termica, come deducibile da quanto illustrato, è stata delineata una rappresentazione di tipo boundary con individuazione

delle singole superfici componenti. Si è fatto riferimento, valutando l'adozione di una serie di estensioni, allo standard CityGML, che si è rilevato adeguato alle necessità.

## Conclusioni

Tenuto conto dell'obiettivo della ricerca si è proceduto all'approfondimento degli standard applicabili e al disegno di una architettura applicativa conforme a questi. Si sono poi evidenziati alcuni aspetti interessanti per quanto riguarda la modellazione dei dati. Gli standard applicabili sono, come noto, quelli recenti della serie SWE, e quelli OGC relativi all'interoperabilità basata sui servizi. In relazione alle esigenze rilevate, di utilizzo di una rappresentazione tridimensionale di alcune entità, è emerso anche il riferimento allo standard CityGML. La ricerca quindi si caratterizza per il disegno di una soluzione applicativa conforme ad una serie di diversi standard che generalmente sono adottati separatamente. Non ultimo si evidenzia la necessità di trattare relazioni spaziali nello spazio tridimensionale, con associate alcune difficoltà di impostazione e di realizzazione pratica, ma al contempo adatte a rappresentare una tematica così complessa come quella energetica.

\* La ricerca rientra nel progetto PRIN 2007 "La Geomatica a supporto degli Enti Locali", coord. nazionale prof. Maurizio Barbarella Università di Bologna, e riguarda le attività svolte dall'Unità di Ricerca IUAV di Venezia, coordinata dalla prof.ssa Alberta Bianchin.

## References

- Mayer C, Stollberg B, Zipf A (2009). Providing near Real-time Traffic Information within Spatial Data Infrastructures. 2009 International Conference on Advanced Geographic Information Systems & Web Services. DOI 10.1109/GEOWS.2009.17
- Bigi M (2008) Verso l'Energy Accountability e il Bilancio ambientale energetico. In: Fauri M et Al. (a cura di) Energia e Clima, Beni Comuni, Formez. Guerini e Associati, Milano.
- Bergoglio F, Bressan M, Suman D (Dip. ARPAV di Padova), Angrilli A (2002). 1° Rapporto sullo Stato dell'Ambiente nel Comune di Padova.
- Bastiani M, Mirabile M 2008. Gli enti locali hanno un piano.  
<http://www.qualenergia.it/view.php?id=126&contenuto=Articolo>
- Botts M, Percivall G, Reed C, Davidson J, (2007). OGC® Sensor Web Enablement: Overview And High Level Architecture. Open Geospatial Consortium  
<http://www.opengeospatial.org/pressroom/papers>
- Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia
- Fauri M (2005). Interventi di risparmio ed efficienza energetica per l'Amministrazione Comunale di Padova. Relazione conclusiva
- Fauri M, Manica M, Taralli M (2005). Il Comune di Padova taglia i costi energetici e riduce l'impatto ambientale dell'Amministrazione pubblica. Ambiente Risorse Salute 103: 29-37