

Modello dati per un sistema di monitoraggio energetico

Alberta Bianchin, Massimo Rumor, Silvia Dalla Costa, Jonathan Rizzi

Università IUAV di Venezia, Santa Croce 1957, 30135 Venezia
tel +390412572163, fax +39 0415240403
alberta@iuav.it, rumor@dei.unipd.it, silviad@iuav.it, jonathan.rizzi@poste.it

Sintesi

L'articolo illustra le fasi di definizione di una metodologia e di strumenti per la realizzazione di una piattaforma *webgis* orientata al monitoraggio energetico degli edifici.

Dopo avere presentato il contesto applicativo, elencate in sintesi le esigenze rilevate e le funzionalità richieste al sistema, viene descritto il modello dei dati progettato che ha richiesto la modellazione delle entità spaziali nelle tre dimensioni. Viene adottato un approccio orientato agli standard in particolare a quelli dell'*Open Geospatial Consortium* per i servizi web - SWE per i sensori, WMF o WFS per dati geometrici - come pure per la modellazione 3D, adottando lo standard CityGML.

Abstract

The paper illustrates the stages of the definition of a methodology and of the tools for the development of a webgis platform for the monitoring of buildings energy consumption.

The paper describes the application requirements and more in detail the data model designed to support the system, which contains 3D spatial objects. A standard oriented approach is adopted in the whole project, particularly the OGC standard SWE, WMF, WMS are considered together with the recently released CityGML which is used for the 3D modeling of the identified spatial entities.

Introduzione

Negli ultimi anni la politica energetica a livello internazionale sta puntando fortemente su iniziative sia di tipo normativo che operativo volte all'abbattimento della domanda energetica. Alla Pubblica Amministrazione, in particolare, è richiesto il miglioramento dell'efficienza del proprio patrimonio e una maggiore sensibilità nella scelta di impianti, tecniche e materiali costruttivi sostenibili, assumendo un approccio esemplare nei confronti dei cittadini (Direttiva 2002/91/CE). Per questi enti risulta pertanto di grande utilità poter disporre di strumenti e sistemi di monitoraggio dei consumi e delle prestazioni energetiche in grado di supportare scelte decisionali e gestionali in materia energetica. Le serie storiche sui consumi, unitamente alle informazioni sugli attestati o sui miglioramenti ottenuti da azioni e progetti realizzati dalle amministrazioni, potrebbero quindi diventare oggetto di comunicazione e sensibilizzazione. Tali informazioni, se integrate all'interno di piattaforme *webgis* o comunque geodatabase già in uso presso gli enti pubblici, potrebbero inoltre completare il sistema di conoscenza del territorio amministrato.

La ricerca qui presentata opera in questo senso e specificatamente propone la definizione e la realizzazione prototipale di un sistema finalizzato all'acquisizione e alla gestione di informazioni a supporto del monitoraggio energetico degli edifici pubblici. L'architettura del sistema è orientata ai servizi (*SOA, Service Oriented Architecture*) in modo da gestire sia i dati provenienti dai sensori per il monitoraggio energetico e ambientale sia le informazioni derivate da archivi informatizzati pubblici, cercando di valorizzarne i meccanismi e le modalità di visualizzazione e presentazione.

Componente fondamentale del sistema è il modello dati, necessario a rappresentare le caratteristiche termofisiche degli edifici, i dati sugli impianti, quelli sui consumi e le caratteristiche morfologiche e ambientali del contesto.

Dovendo quindi rappresentare un dominio applicativo molto articolato, buona parte della ricerca è stata dedicata alla definizione della banca dati: la corretta rappresentazione di alcune entità risulta infatti piuttosto complessa, richiede l'utilizzo di un modello dati 3D e l'esplicitazione delle relazioni spaziali tra le entità definite nello spazio tridimensionale.

Altro elemento cardine dell'architettura proposta è la modalità di gestione dei dati di monitoraggio ambientale e dei consumi, acquisiti e immessi nella banca dati attraverso lo sfruttamento di sensori di diverso tipo e *smart meter*.

Fin dalle fasi preliminari si è deciso di avviare la progettazione del sistema a partire da una realtà amministrativa, è stato quindi contattato il Comune di Padova, utilizzato come caso studio su cui progettare e costruire il prototipo del sistema di monitoraggio per l'efficienza energetica del suo patrimonio immobiliare.

Il caso applicativo

Per poter validare le ipotesi progettuali e per avere un confronto con i possibili utenti finali del sistema si è scelto di lavorare direttamente con una Pubblica Amministrazione locale. La scelta è ricaduta sul Comune di Padova trattandosi di una realtà da tempo particolarmente sensibile ai temi energetici e della sostenibilità. Il suo Piano per l'Efficienza Energetica è infatti datato 2005, e ha già programmato e realizzato consistenti interventi sul proprio patrimonio immobiliare.

Nel corso della ricerca sono stati svolti diversi incontri con l'ufficio Fonti Energetiche Rinnovabili (F.E.R.), nei quali sono state affrontate alcune questioni propedeutiche alla progettazione, tra cui:

- la definizione delle tipologie di utente interessata ad una applicazione di questo tipo, dei relativi obiettivi e dei requisiti;
- l'analisi e l'individuazione delle funzionalità del sistema per ogni utente individuato (Figura 1);
- la definizione dei dati di interesse e la verifica delle fonti informative.

Per finalizzare quest'ultima parte e al fine di individuare le successive procedure di immissione e aggiornamento dei dati all'interno del database progettato si è successivamente passati alla:

- strutturazione e compilazione di un questionario da sottoporre agli uffici tecnici e amministrativi di riferimento per raccogliere le informazioni disponibili relative agli edifici oggetto di monitoraggio;
- individuazione di edifici campione per diverse tipologie funzionali (uffici, scuola, palestra, ecc.) su cui effettuare dei test.

Si sono infine ipotizzate con l'ufficio SIT del Comune le modalità di integrazione del database e dell'architettura proposti con gli archivi e gli applicativi già presenti e utilizzati dal Comune, come per esempio il DB degli impianti termici degli edifici comunali.

Funzionalità del sistema

Sulla base dell'analisi effettuata con il Comune di Padova sono state definite tre possibili tipologie di utente del sistema: 1) *Energy Manager* (E.M.), che in questo caso coincide con l'ufficio F.E.R., 2) Occupanti dell'edificio, 3) Cittadini.

Gli obiettivi principali individuati sono orientati alla definizione di un sistema in grado di:

- monitorare i consumi degli edifici;
- segnalarne le eventuali anomalie;
- interagire con l'utente al fine di suggerire attività o iniziative di efficienza o risparmio energetico;
- valutare l'efficacia ambientale ed economica degli interventi realizzati, attraverso la pubblicazione di indicatori sintetici;
- divulgare e disseminare informazioni relative agli interventi realizzati e sensibilizzare in materia di efficienza energetica per adottare comportamenti efficienti e di responsabilità.

Sulla base di tali obiettivi sono stati esplicitati i requisiti utente e le funzionalità che deve avere l'applicativo *webgis*, oltre a quelle comunemente disponibili (*zoom, pan, ecc.*). La tabella di figura 1 ne propone una sintesi.

Funzionalità	Descrizione	Utenti
Visualizza dati sensore/zona termica	Permette di scegliere un sensore/una zona termica e visualizzarne i dati per uno specifico intervallo temporale.	1
Visualizza statistiche sensore/zona termica	Permette di scegliere un sensore/una zona termica e visualizzare le statistiche per un determinato periodo di riferimento: media, minimo, massimo, deviazione standard.	1, 2
Visualizza anomalie sensore/zona termica	Permette di scegliere un sensore/una zona termica e visualizzare i dati che superano o si trovano sotto una determinata soglia scelta dall'utente.	1, 2
Visualizza andamento dati sensore/zona termica	Permette di visualizzare un grafico o una animazione relativamente ai dati di un sensore/una zona termica.	1, 2
Imposta allerta automatica	Permette di settare dei valori che rappresentano soglie limite al superamento dei quali viene generato un messaggio di allerta.	1
Conteggio costi	Permette di calcolare i costi dei consumi energetici sulla base delle tariffe impostate dall'utente per ogni specifico intervallo temporale.	1
Conteggio consumi	Permette di conteggiare i consumi per uno specifico intervallo temporale.	1
Conteggio CO2	Permette di conteggiare la CO2 prodotta per uno specifico intervallo temporale.	1, 2, 3
Valuta efficienza energetica	Permette di fare un bilancio tra costi degli interventi e i risparmi e tra la CO2 prodotta e risparmiata.	1, 2, 3
Calcola indicatore di efficienza energetica personalizzato	Permette di calcolare degli indicatori personalizzati andando a settare i dati utilizzati e le modalità di calcolo dell'indicatore stesso.	1
Segnala anomalie	Permette di inserire delle annotazioni sotto forma di tagli georiferiti relativamente a situazioni di anomalia o a particolari problematiche di interesse.	1, 2, 3
Gestisci sensori	Funzione amministrativa per gestire (inserire, sospendere, rimuovere, localizzare) i sensori utilizzati dall'applicativo.	1
Gestisci flussi sensori	Funzione amministrativa per gestire (inserire, modificare, rimuovere) flussi di dati provenienti dai sensori da inserire nel DB.	1
Programma sensori	Permette di programmare le attività di raccolta dati di ogni singolo sensore.	1

Figura 1 – descrizione delle funzionalità.

Il modello dati e la rappresentazione 3D

La fase successiva ha riguardato la progettazione della banca dati. L'entità principale di monitoraggio e a cui afferiscono la maggior parte dei dati raccolti è la "zona termica" (*Thermal Zone*), definita nelle EN 13790, e ripresa dalle UNI/TS 11300, come una porzione di edificio, climatizzata ad una determinata temperatura con identiche modalità di regolazione. Per rispondere alle esigenze del sistema, tale definizione è stata ulteriormente specificata, per cui nel database essa rappresenta:

- lo spazio confinato servito da unico impianto di climatizzazione;
- lo spazio con tipologia e modalità di utilizzo interno omogenee (presenze, numero e modalità di utilizzo delle apparecchiature elettriche);
- lo spazio delimitato da elementi con caratteristiche fisico-termiche omogenee (cioè involucro opaco e trasparente analoghi o considerati tali). In questo modo la sommatoria di più zone termiche dà forma all'edificio.

Le altre entità individuate e definite sono:

- Edificio/*Building*: visto come insieme di zone termiche.
- Elemento edilizio opaco/*Opaque building element*: superficie confinante della zona termica, di tipo opaco, sia orizzontale che verticale; che costituisce l'elemento fondamentale per il calcolo delle dispersioni per trasmissione. Un elemento edilizio opaco può costituire separazione fra due zone termiche, e costituire quindi parte del *boundary* di entrambe.
- Elemento edilizio trasparente/*Transparent building element*: superficie vetrata, parte del *boundary* della zona termica.
- Impianto di riscaldamento e ACS/*Heating System*: sistema di produzione, erogazione, distribuzione e regolazione del riscaldamento e dell'ACS.
- Impianto raffrescamento/*Cooling System*: sistema di produzione, erogazione, distribuzione e regolazione del raffrescamento.
- Impianto di ventilazione/*Ventilation System*: sistema e modalità di ventilazione della zona.

- Apparecchiatura elettrica/*Electric Appliance*: insieme delle apparecchiature alimentate elettricamente presenti nella ZT.
- Dati derivati dai sensori /*Sensor data*: entità che esplicita il sensore e i dati da esso ricavati.
- Intervento di riqualificazione/*Intervention*: entità che descrive gli interventi orientati al miglioramento dell'efficienza energetica, compresi gli impianti di generazione di energia da fonti rinnovabili. Riferibile alle singole superfici dell'involucro, a tutta la zona o all'impianto.

Si riporta in figura 2 il modello Entità-Relazione con le entità principali individuate.

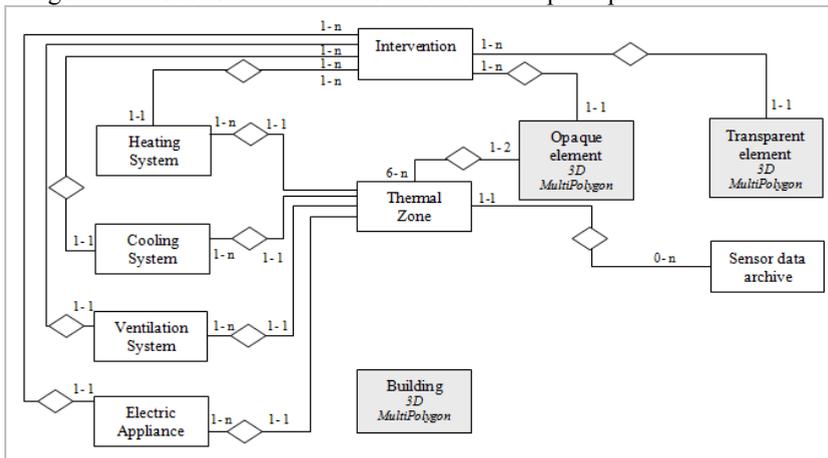


Figura 2 – schema E-R della base dati (versione semplificata).

La relazione tra *Building* e *Thermal Zone* è di tipo spaziale utilizzando la geometria del *Building* e le geometrie degli *Opaque element* che costituiscono il *boundary* della *Thermal Zone*.

Anche le relazioni tra *Opaque element* e *Transparent element* sono di tipo spaziale sulla base delle geometrie.

Quindi le *Building*, *Thermal Zone*, *Opaque element*, *Transparent element* devono costituire un modello tridimensionale, comprensivo di semantica e geometria. Tale modello deve includere inoltre tutti gli attributi necessari all'analisi della situazione e ogni elemento essenziale per accedere agli altri dati presenti nel sistema.

La scelta del formato di memorizzazione dei dati è fondamentale per assicurare riusabilità e versatilità al progetto. Considerando che l'intero impianto del progetto è basato sull'utilizzo di standard, si è scelto di valutare solamente formati tridimensionali standard, preferibilmente emanati dall'*Open Geospatial Consortium*. I possibili candidati sono il *Keyhole Markup Language (KML)* e il *CityGML*.

Le operazioni in tempo reale richieste necessitano la presenza della semantica all'interno del formato e l'espandibilità con proprietà ed elementi personalizzati, al fine di veicolare non solo la geometria ma anche i dati ad essa relativi. Date queste esigenze, l'unico formato adatto allo scopo si è rivelato *CityGML*. Esso infatti, impostato sul linguaggio *XML* e realizzato sfruttando un *subset* della componente geometrica offerta da *GML 3*, si basa su tre componenti principali: un modello tematico per la gestione della semantica e delle relazioni tra i vari oggetti del modello, un modello geometrico e un modello di visualizzazione.

CityGML distingue inoltre cinque diversi livelli di dettaglio (*LOD*), attraverso i quali è possibile modellare le *feature* in funzione della complessità desiderata. All'aumentare del livello di dettaglio gli oggetti diventano infatti sempre più particolareggiati, sia in termini geometrici che tematici, a partire dal livello 0 (*Regional, landscape*) per arrivare al livello 5, di rappresentazione degli interni (*Architectural models interior*).

CityGML consente l'inclusione di informazioni tipiche dell'applicazione direttamente nell'istanza del documento. Tuttavia, se la specifica applicazione è ben strutturata, è preferibile rappresentarla in modo sistemico e vincolato tramite la definizione di uno schema aggiuntivo basato sulle schematiche *CityGML* esistenti. Dato il dominio di applicazione del progetto e le sue finalità si è scelta la seconda opzione, utilizzando l'estensione *CityGML Application Domain Extension (ADE)* che permette la validazione sia sullo schema ufficiale che sullo schema personalizzato.

La geometria degli edifici e degli elementi edilizi è di tipo *MultiPolygon 3D* e può essere quindi agilmente contenuta in un modello *CityGML*. Risulta evidente la necessità di usare il livello di dettaglio più elevato.

Standard e sensori

La banca dati, oltre a gestire le informazioni sulle prestazioni energetiche del sistema edificio/impianto deve archiviare anche le informazioni sui consumi termici ed elettrici sia come serie storiche che in *real time*, relazionandole anche alle caratteristiche morfologiche e soprattutto climatiche del contesto. Per rispondere a queste esigenze, una fase preliminare della ricerca è stata dedicata all'analisi delle tipologie di strumenti per il monitoraggio energetico ad oggi sul mercato: *smart meter*, altri sensori di misurazione dei consumi termici ed elettrici, termo igrometri, centraline meteo e sensori per il monitoraggio dei flussi di persone.

Poiché la metodologia di progetto prevede l'uso sistematico e integrale degli standard, la fase successiva si è occupata di approfondire le specifiche *OGC* finora implementate relative ai sensori, ovvero ai modelli e servizi utilizzabili per garantire l'interoperabilità dei dati da essi ricavabili.

Nel 2007 l'*Open Geospatial Consortium (OGC)* ha pubblicato un libro bianco che introduceva il *SWE - Sensor Web Enablement* (Botts et al., 2007) e che ha portato alla stesura di sette specifiche. Esse definiscono la gestione di sensori e reti di sensori attraverso il *web* basandosi sull'utilizzo di servizi standardizzati. Più precisamente gli obiettivi delle specifiche *SWE* sono:

- la conoscenza dei sensori disponibili che rispondono alle esigenze in termini di localizzazione, fenomeni misurati, qualità e capacità di programmazione;
- la possibilità di ottenere informazioni in una codifica standard che sia comprensibile sia dall'utente sia da vari *software*;
- la possibilità di programmare i sensori in base ad esigenze specifiche e impostare livelli di allerta che generino dei messaggi automatici inviati agli utenti che ne abbiano fatta specifica richiesta.

Le prime tre specifiche definiscono dei modelli standard e schemi *XML* e hanno l'obiettivo di: codificare le osservazioni e le misurazioni dai sensori, sia da serie storiche sia in tempo reale (*OMS - Observations & Measurements Schema*); descrivere i sensori e i relativi processi fornendo informazioni per la scoperta di sensori, la localizzazione delle osservazioni e il loro processamento a basso livello ed elencare le proprietà delle attività schedulate (*SML - Sensor Model Language*); infine descrivere i *transducers* e supportare lo *streaming* in tempo reale dei dati (*TML - Transducer Markup Language*).

Le ultime quattro specifiche sono invece delle interfacce per servizi *web* standard che servono a: richiedere, filtrare e ricevere le osservazioni e le informazioni provenienti dai sensori (*SOS - Sensor Observations Service*); pianificare acquisizioni sulla base delle esigenze dell'utente (*SPS - Sensor Planning Service*); pubblicare e sottoscrivere messaggi di allerta che si attivano quando vengono registrati determinati valori (*SAS - Sensor Alert Service*); inviare messaggi asincroni o segnali d'allerta sulla base dei servizi *web SAS* o *SPS* (*WNS - Web Notification Services*).

Sulla base di tali standard è possibile realizzare un sistema dotato di tutte le funzionalità necessarie in grado di consentire accesso, elaborazione e modifiche a tutte le informazioni tramite un *webgis* che implementa i servizi *SWE* e gli altri servizi standard definiti dall'*OGC*. Nello specifico gli standard utilizzati sono *SOS* (come servizio fondamentale), *WMS* e *WFS* per la gestione dei dati spaziali. Si evidenzia il fatto che ancora non sono disponibili tali servizi per dati in 3D, sui quali

risultano attività di sviluppo in corso. Altri servizi standard, quali *SAS*, *SPS* e *WNS* per ora non sembrano necessari.

Conclusioni e ulteriori sviluppi

Il progetto ha consentito di sperimentare l'applicabilità degli standard *Sensor Web Enablement* al caso pratico studiato. Di particolare interesse, l'emergere dell'esigenza di rappresentare delle entità nello spazio tridimensionale, cui è stato dedicato una buona parte del lavoro. Questa esigenza è stata affrontata con la volontà di utilizzare ogni possibile standard in modo da garantire l'interoperabilità. Recentemente è stato rilasciato uno standard per la rappresentazione di entità urbane tridimensionali dotate di geometria e di semantica: *CityGML*. Lo standard è stato studiato e se ne è verificata l'applicabilità alla fattispecie.

Risolto il problema della modellazione rimangono aperti alcuni aspetti legati alla necessità di operatori spaziali in 3D e di servizi *web* per la restituzione di geometrie 3D.

Risolti alcuni aspetti tecnici, il sistema potrà essere realizzato e reso operativo presso le Pubbliche Amministrazioni, potenzialmente senza presentare problemi di integrazione in virtù della adesione agli standard ed alle scelte progettuali effettuate.

La ricerca presentata 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.

Bibliografia

- Bergoglio F., Bressan M., Suman D. (Dip. ARPAV di Padova), Angrilli A. (2002), *1° Rapporto sullo Stato dell'Ambiente nel Comune di Padova*, Comune di Padova
- Botts M., Percivall G., Reed C., Davidson J., (2007), *OGC® Sensor Web Enablement: Overview And High Level Architecture*, OGC.
- Ciusani A., Trapani G., Fauri M. (2005), *Caratteristiche energetiche di Palazzo Sarpi definite ai fini della sua certificazione energetica*, Presentazione Power Point
- 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
- Fauri M. (2005), *Interventi di risparmio ed efficienza energetica per l'Amministrazione Comunale di Padova*, Relazione conclusiva
- Garcés D., Krohn A., Schoch O. (2006), *Demo Abstract: Energy Management in Buildings with Sensor Networks*, EWSN 2006, February 13-15, Zurich, Switzerland
- Girardin L., Dubuis M., Darbellay N., Marechal F., Favrat D. (2008), *ENERGIS : a geographical information based system for the evaluation of integrated energy conversion systems in urban areas*, ECOS 2008: 21st International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Kraków, Poland.
- Gröger G., Kolbe T. H., Czerwinski A., Nagel C. (2008), *OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*, OGC
- Jones P. J., Lannon S., Williams J. (2001), *Modelling building energy use at urban scale*, Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brazil. August 13-15, 2001.
- Scofield J. H., Cohen P. S., Gould S. (2004), *Real-time, web based energy monitoring system for a solar academic building*, Solar 2004 Conference Proceedings, Portland, OR., July 11-14, 2004.