

Progetto SUNSHINE: servizi smart, open ed estendibili, per stimare la performance energetica degli edifici residenziali alla scala urbana

Luca Giovannini (*), Umberto Di Staso (**), Piergiorgio Cipriano (*),
Federico Prandi (**), Raffaele De Amicis (**)

(*) Sinergis srl, Via del lavoro 71, Casalecchio di Reno (BO), Italy.
{luca.giovannini, piergiorgio.cipriano}@sinergis.it

(**) Fondazione Graphitech, Via alla cascata 56/C, Trento (TN), Italy.
{umberto.di.staso, federico.prandi, raffaele.de.amicis}@graphitech.it

Riassunto

Nel 2020 il consumo di energia previsto a livello europeo sarà di $25 \cdot 10^{12}$ kWh e per il 2040 arriverà a $28 \cdot 10^{12}$ kWh. All'interno dell'Unione Europea, gli edifici rappresentano il 40% del consumo totale di energia e gli edifici residenziali sono a loro volta responsabili del 68% dell'energia totale utilizzata dagli edifici. Gli edifici residenziali consumano energia principalmente per il riscaldamento (circa il 70% del consumo totale), raffrescamento, acqua calda sanitaria, cucina ed elettrodomestici. Per poter controllare, e quindi ridurre i consumi, è quindi opportuno determinare l'efficienza energetica a livello degli edifici e questo può essere ottenuto integrando geodati open e interoperabili sulla geometria e sulle proprietà termofisiche degli edifici. Questo è proprio uno degli obiettivi del progetto Sunshine (Smart Urban Services for Higher eNergy Efficiency, <http://www.sunshineproject.eu/>), un progetto triennale di ricerca ed innovazione iniziato nel 2013 e co-finanziato dalla Commissione Europea. Il suo obiettivo principale è quello di sviluppare un toolkit di servizi smart, open ed estendibili, per la stima della performance energetica degli edifici residenziali alla scala urbana, al fine di migliorarne le performances e ridurre i costi futuri. Il modello dati scelto per rappresentare gli edifici 3D è il CityGML che verrà esteso con una nuova Application Domain Extension (ADE) per descrivere le proprietà degli edifici collegate al dominio dell'energia e dei consumi, lavorando insieme a SIG3D e OGC. I dati relativi alla geometria degli edifici saranno forniti dagli archivi catastali, dalle anagrafi edilizie e dai database topografici delle amministrazioni locali. Mentre i dati sul consumo di energia e sulle certificazioni energetiche saranno forniti dagli enti nazionali e locali responsabili della loro raccolta nei vari paesi europei.

Abstract

In 2020 the estimated energy consumption in Europe will be of $25 \cdot 10^{12}$ kWh and in 2040 it will reach $28 \cdot 10^{12}$ kWh. In EU buildings correspond to 40% of total energy consumption and households alone are responsible for 68% of the total energy consumed by buildings. Households consume energy mainly for heating (circa 70% of total), cooling, hot water preparation, cooking and appliances. In order to be able to control consumption and thus to reduce it, the ability to estimate energy efficiency at the building level is fundamental. This can be achieved integrating open and interoperable geodata regarding building geometrical and thermophysical properties. This is exactly one of the aims of Sunshine project (Smart Urban Services for Higher eNergy Efficiency, <http://www.sunshineproject.eu/>), a triennial research and innovation project started in 2013 and co-financed by the European Commission. Its main goal is that of developing a toolkit of smart, open and extendable services for the estimation of the energy performance of residential buildings at the urban scale, so to foster the improving of their performances and reduce future expenditures. The

data model chosen to represent the 3D buildings is CityGML which will be extended with a new Application Domain Extension (ADE), working together with SIG3D and OGC, to describe the building properties pertaining to the domain of energy and consumption. Building geometrical data will be provided by cadastral databases and by the topographical databases of national and local administrations, while data on measured energy consumption and energy certifications will be provided by national and local organizations responsible for their collection in EU countries.

INTRODUZIONE

Nel 2020 il consumo di energia previsto a livello europeo sarà di $25 \cdot 10^{12}$ kWh e per il 2040 arriverà a $28 \cdot 10^{12}$ kWh (US Energy Information Administration, 2014). All'interno dell'Unione Europea, gli edifici rappresentano il 40% del consumo totale di energia (Europa.eu, 2014) e gli edifici residenziali sono a loro volta responsabili del 68% dell'energia totale utilizzata dagli edifici (BPIE, 2011). Gli edifici residenziali consumano energia principalmente per il riscaldamento (circa il 70% del consumo totale), raffrescamento, acqua calda sanitaria, cucina e elettrodomestici (BPIE, 2011). Per poter controllare, e quindi ridurre, i consumi è quindi opportuno determinare l'efficienza energetica a livello degli edifici e questo può essere ottenuto integrando geodati open e interoperabili sulla geometria e sulle proprietà termofisiche degli edifici.

Questo è proprio uno degli obiettivi del progetto SUNSHINE (Smart Urban Services for Higher Energy Efficiency, (Sunshine Project Website, 2014), un progetto triennale di ricerca ed innovazione iniziato nel 2013 e co-finanziato dalla Commissione Europea. Il progetto mira a fornire un toolkit di servizi digitali smart, open ed estendibili che saranno usufruibili sia da un client web-based che da un'app sviluppata appositamente per dispositivi mobili. I servizi sono sviluppati a supporto di tre diversi scenari, tutti accomunati dal tema dell'efficientamento energetico di edifici e reti di illuminazione:

- **Stima della performance energetica degli edifici:** stima automatica su larga scala della classificazione energetica degli edifici residenziali sulla base dei dati disponibili da archivi pubblici (ad es. catasto, uffici pianificazione delle amministrazioni locali, ecc). Le stime saranno utilizzate per creare mappe a scala urbana da utilizzare per le attività di pianificazione e facilitare la previsione dei consumi futuri (DG Energy, 2014), visualizzabili tramite un client web-based.
- **Ottimizzazione dei consumi energetici degli edifici:** avendo accesso tramite web-service interoperabili ai dati di consumo rilevati in tempo reale dagli smart meters e alle previsioni meteo locali sarà possibile ottimizzare i consumi energetici dei sistemi di riscaldamento / raffrescamento tramite avvisi automatici inviati tramite l'app SUNSHINE agli utenti finali.
- **Gestione remota dei sistemi d'illuminazione:** monitoraggio e controllo in remoto di sistemi d'illuminazione, interoperabile con diverse tecnologie di sistemi di illuminazione, mediante l'utilizzo dell'app SUNSHINE.

Questo articolo si concentra sui risultati preliminari del primo dei tre scenari. Come già anticipato, lo scopo del toolkit in questo scenario è la determinazione in maniera automatica della performance energetica degli edifici residenziali su scala urbana e la conseguente visualizzazione di queste stime in modo chiaro e intuitivo, attraverso l'utilizzo di quelle che definiamo energy maps. Le energy maps saranno fruibili dagli utenti del servizio tramite un'interfaccia virtuale basata su WebGL 3D (Marrin, 2011) che sfrutta standard OGC interoperabili, consentendo ai cittadini, amministrazioni pubbliche e agenzie governative di valutare ed eseguire analisi sui dati di rendimento energetico dell'edificio. La rappresentazione in chiave geografica delle performance degli edifici è fondamentale per avere una visione d'insieme dello stato energetico degli edifici a livello urbano ed è la chiave per un'efficace pianificazione. Come descritto in (CHPA, 2014) una energy map può essere infatti utile per molteplici scopi:

- Pianificare una rete di teleriscaldamento: mette in luce zone della città in cui creare una rete di teleriscaldamento come alternativa più efficiente al riscaldamento puntuale.

- Definire una strategia energetica: permette di definire la strategia energetica da attuare nei progetti di sviluppo urbano, consentendo di visualizzare le alternative energetiche disponibili (rete gas, distribuzione impianti fotovoltaici e solari termici, potenzialità geotermiche, ecc).
- Evidenziare le necessità energetiche: gli amministratori delle case popolari possono segnalare le necessità energetiche e le possibili soluzioni per gruppi di edifici più vecchi o con particolari problematiche.
- Evidenziare progetti prioritari: evidenzia possibili opportunità di investimento in progetti di sviluppo e rinnovamento.

Nell'arco degli ultimi 25 anni la stima dell'efficienza energetica è salita dalla scala dei dispositivi a quella dei sistemi di dispositivi, poi a quella degli edifici e nel futuro prossimo raggiungerà probabilmente la scala dei sistemi urbani (Bloem, 2013). L'obiettivo di sviluppare servizi per la stima su larga scala dei consumi energetici degli edifici è quindi perfettamente in linea con questo quadro e si colloca nel contesto di diverse iniziative europee nel campo delle politiche di efficientamento energetico, prime fra tutte la direttiva Energy Performance of Buildings Directive (EPBD, 2014), il Sustainable Energy Action Plan (SEAP, 2014) e l'Energy Roadmap 2050, che prevede un impegno politico forte della Commissione Europea nell'ottenimento di un significativo risparmio energetico. La performance energetica è anche un caso d'uso preso in considerazione dalla direttiva INSPIRE ed in particolare è discusso nella Data Specification sugli Edifici: la definizione di una certificazione di performance per gli edifici sotto i diversi aspetti di sicurezza, salubrità, efficienza e sostenibilità energetica è uno degli obiettivi a lungo termine del gruppo di lavoro tematico che segue questa specifica (TWG-BU). Sia a livello europeo che extra-UE negli ultimi anni sono stati portati a termine numerosi progetti ed iniziative che hanno a che fare con i consumi energetici e i dati geografici. Diversi progetti di ricerca e sviluppo sono stati finanziati con l'obiettivo di raccogliere, analizzare, fornire dati sull'efficienza energetica degli edifici o di sviluppare metodologie e strumenti in questa area. Lo sviluppo del nostro tool ha attinto da queste esperienze ed ha esteso i risultati di alcune di esse, come il progetto TABULA-EPISCOPE (TABULA Project Website, 2014) sulla classificazione tipologica degli edifici.

SUNSHINE ENERGY MAP

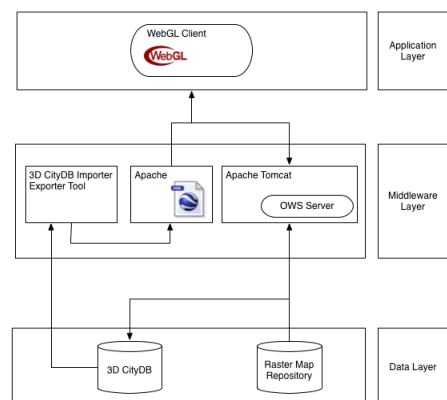
Architettura di sistema

L'architettura di sistema, visibile in

Figura 1 è basata sul modello service-oriented (SOA) con tre livelli (dati, middleware e livello applicativo). Un approccio basato su SOA permette di accedere alle risorse attraverso uno strato middleware in un ambiente distribuito e quindi evita singoli access-points, limitazioni che sono invece tipiche per le architetture basate su desktop.

1. Il Data Layer è il livello inferiore dell'architettura di sistema di SUNSHINE ed è finalizzato a memorizzare geometrie e informazioni semantiche degli edifici e dati raster tematici. I due componenti fondamentali in questo livello sono il 3D City Database (Stadler et al., 2009) ed il Raster Map Repository (Geoserver).

Figura 1 - Architettura di sistema.



2. Il Middleware Layer è il componente principale della piattaforma SUNSHINE. Il suo compito è di gestire il collegamento tra il livello di applicazione e lo strato di dati, fornendo l'accesso alle risorse memorizzate nel database ed il repository di file raster. Lo strato middleware è composto

dal 3DCityDB Importer/Exporter Tool e Apache Tomcat. Il 3DCityDB Import/Export Tool è lo strumento che permette di interagire con il database 3DCityDB. Apache Tomcat (Comunità Apache, 2014) è una implementazione open source delle tecnologie Java Servlet e JavaServer Pages.

3. L'Application Layer si occupa principalmente della diffusione, della valorizzazione e della visualizzazione dei risultati raggiunti, aspetto non marginale che il progetto SUNSHINE ha preso in grande considerazione. Una smart-city diventerà più intelligente solo se tutti gli attori coinvolti (cittadini, amministrazioni pubbliche e agenzie governative) possono fruire agevolmente dei risultati delle attività di ricerca in tale ambito. Per ottenere la massima diffusione dei risultati del progetto, è stato deciso di puntare sull'emergente tecnologia WebGL combinata con elementi HTML5. WebGL è uno standard cross-platform royalty-free che mette a disposizione API 3D basate su OpenGL ES 2.0, esposte attraverso l'elemento Canvas HTML5 come interfaccia DOM.

Algoritmo di stima

L'obiettivo di questa sezione è quello di descrivere la procedura che stima l'indice di performance energetica per gli edifici dell'area di interesse. L'indice di performance energetica è un indice che stima il consumo energetico di un edificio ed è di norma determinato a partire da una serie di dati dettagliati sulle proprietà energetiche dell'edificio, dati che non sono in generale disponibili pubblicamente. Le tipologie di dati che generalmente sono invece di pubblico dominio si limitano ad informazioni molto più basilari, come la geometria degli edifici, l'anno di costruzione, il numero di sotto-unità abitative o d'uso, ecc. Quindi l'approccio che abbiamo seguito è stato quello di dedurre i dati necessari per il calcolo della performance energetica a partire da quei pochi disponibili pubblicamente.

Nello specifico, i dati necessari alla stima sono:

- **Dati geometrici**
 - Per ciascun edificio sono richiesti in input le informazioni sulla geometria (footprint ed altezza), sulla distribuzione spaziale e opzionalmente il numero di piani e la loro altezza.
 - Da questi dati, con specifiche operazioni di geoprocessing, sono dedotte altre proprietà geometriche quali l'estensione delle superfici libere (S) ed il loro orientamento, il volume V, il rapporto S/V, ecc.
- **Dati termofisici**
 - Per ciascun edificio sono richiesti in input i dati basilari sul periodo di costruzione, sull'uso prevalente dell'edificio (residenziale o meno) e opzionalmente il livello di ristrutturazione (nessuno, standard, avanzata).
 - Da questi dati, tramite un approccio tipologico e basandosi su un campione di edifici rappresentativi delle diverse tipologie termofisiche, sono stimate le proprietà termofisiche di ciascun edificio, come la trasmittanza termica degli elementi dell'involucro, la percentuale di superficie finestrata, il tipo di impianto di riscaldamento e di acqua calda sanitaria installati, ecc.
- **Dati climatici**
 - Sono richiesti in input i dati climatici per la località di interesse. Questi dati sono ricavabili dalle normative nazionali in cui vengono descritte la durata del periodo di riscaldamento e di raffrescamento e le temperature medie stagionali per questi periodi.
- **Dati di validazione**
 - Per un campione significativo degli edifici per cui si vuole stimare la performance energetica sono richiesti in input dei dati di consumo di riferimento: consumi energetici annuali misurati (in Italia l'Agenzia delle Entrate dispone di questi dati, conferitile per legge dalle service

companies) oppure certificazioni energetiche ufficiali (in Italia sono le regioni e le provincie autonome ad avere la responsabilità di raccogliere).

A partire dai dati geometrici, termofisici e climatici, utilizzando una procedura di calcolo semplificata basata sugli standard di settore ISO 13790 e ISO 15316, per ciascun edificio vengono calcolate:

- Il fabbisogno di energia termica utile per il regime invernale e quello estivo;
- Il fabbisogno di energia primaria relativo alla climatizzazione invernale e alla produzione di acqua calda sanitaria;
- L'indice di performance energetica corrispondente.

L'esito della stima viene quindi confrontato con i dati di validazione per determinare statisticamente l'accuratezza della stima. Se necessario, la procedura può essere ripetuta modificando i parametri di stima per incrementare l'accuratezza. Le stime finali sono quelle che, visualizzate nella loro distribuzione spaziale, costituiscono l'Energy Map, il prodotto finale dei servizi di Sunshine descritti in questo articolo.

Ci sono alcuni aspetti importanti da sottolineare relativamente a questo approccio. Il primo riguarda il dominio di applicazione che è limitato agli edifici residenziali. Questo vincolo deriva dal fatto che per gli edifici con destinazione d'uso diversa (industriale, educativo, ricreativo, ecc) è molto più difficile identificare delle tipologie termofisiche comuni. Il vincolo di occuparsi solo di edifici residenziali non risulta una limitazione per gli scopi di SUNSHINE dal momento che i consumi energetici degli edifici residenziali costituiscono l'ampia maggioranza dei consumi sull'insieme degli edifici (Fenger, 1999).

Un altro aspetto significativo è il ricorso alle tipologie termofisiche degli edifici per stimare proprietà che altrimenti sarebbero difficilmente determinabili direttamente su grande scala senza grande dispiego di mezzi e la cui conoscenza è però necessaria per ottenere una stima delle performance energetiche. La definizione di queste tipologie si basa sui risultati del progetto TABULA (Loga, 2010), integrato ed esteso per adattarsi alle specificità di SUNSHINE. Il progetto TABULA ha definito un insieme di tipologie energetiche per gli edifici di ciascuno dei paesi europei coinvolti nel progetto, basandosi su 4 parametri base: nazione, fascia climatica, anno di costruzione e tipologia strutturale (ad es. villetta monofamiliare, casa a schiera, condominio, ecc). A ciascuna tipologia è associato un edificio stereotipo, descritto dettagliatamente in tutte le sue proprietà geometriche, termofisiche e climatiche, con lo scopo di rappresentare il comportamento energetico medio degli edifici appartenenti a quella tipologia. Quindi, se per un edificio si conoscono i 4 parametri base, lo si può ricondurre alla tipologia energetica di appartenenza e associargli l'indice di performance energetica dello stereotipo corrispondente.

Come anticipato, l'approccio sviluppato per SUNSHINE è ibrido, si differenzia da quello tipologico di TABULA perché limita il ricorso alla stima tipologica alle sole proprietà termofisiche, usando invece un approccio deterministico per le proprietà geometriche reali, rilevate o calcolate, dei singoli edifici. Un approccio totalmente tipologico ha infatti la limitazione intrinseca che la stima ottenuta delle performance energetiche è tanto più significativa quanto estesa è la scala a cui viene considerata. La stima sul singolo edificio, basata sull'assunzione che si comporti esattamente come lo stereotipo della sua tipologia, può essere infatti anche molto inaccurata. Un approccio ibrido che tiene invece conto delle proprietà geometriche reali dell'edificio fa sì che la stima della performance energetica del singolo edificio possa essere effettuata con maggior accuratezza. La fase finale di validazione costituisce un ulteriore sostegno della robustezza di questo approccio.

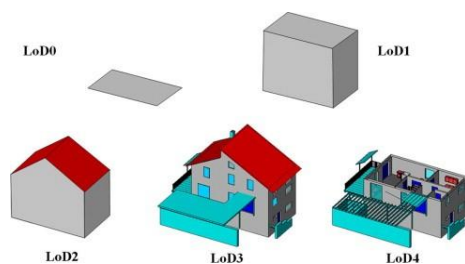


Figura 2 - Livelli di dettaglio (LoD) dei modelli CityGML.

Modello dati

Il modello dati scelto per rappresentare gli edifici 3D è il CityGML (Gröger et al., 2008) a livello di dettaglio LoD-1 (vedi Figura 2) che verrà esteso con una nuova Application Domain Extension (ADE) definita al fine di descrivere le proprietà degli edifici collegate al dominio dell'energia e dei consumi. La definizione di questa ADE è frutto di uno sforzo collaborativo di università ed aziende interessate ad estendere il modello CityGML a supporto della modellazione termica degli edifici, dalle scale più dettagliate a quelle più semplificate. Il consorzio è guidato dal Modeling Working Group dello Special Interest Group 3D (SIG 3D, 2014) a cui partecipano anche gli autori di questo articolo.

Il contributo specifico da parte del progetto SUNSHINE è l'allineamento dell'Energy ADE al Data Model INSPIRE sul tema Building (INSPIRE TWG-Buildings, 2013) e ai modelli dati specifici nel campo dell'efficienza energetica degli edifici sviluppati in altri progetti europei quali SEMANCO (SEMANCO Project Website, 2014).

I dati relativi alla geometria degli edifici saranno forniti dagli archivi catastali, dalle anagrafi edilizie e dai database topografici delle amministrazioni locali. Mentre i dati sul consumo di energia e sulle certificazioni energetiche saranno forniti dagli enti nazionali e locali responsabili nei vari paesi europei per la loro raccolta.

Visualizzazione via web

Come descritto nel paragrafo precedente circa l'architettura del sistema, tramite la visualizzazione WebGL gli stakeholder di progetto possono facilmente visualizzare, confrontare ed eseguire statistiche sui dati esposti dalle energy maps, semplicemente accedendo ad una pagina web.

Le energy maps sono generate fondendo geometrie LOD-1 e informazioni riguardanti le performance energetiche dell'edificio dal CityGML della città presa in considerazione. Queste informazioni sono estratte dal 3DCityDB e messe a disposizione del servizio web in formato KML. Il colore di ogni poligono estruso KML dipenderà dalla classe energetica stimata dell'edificio. Il riferimento tra ogni edificio nel file KML e quello corrispondente nella 3DCityDB è garantito memorizzando i riferimenti univoci di ciascun elemento nel parametro "name" del KML. Con l'uso di un servizio web sarà poi possibile recuperare i dettagli dell'elemento selezionato. Il seguente codice mostra un esempio di come ogni edificio è descritto nel file KML.

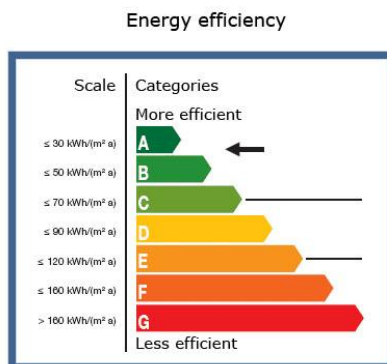


Figura 3 - Scala di classificazione energetica.

Riferendosi al codice riportato qui sotto, la prima parte è usata per offrire una rappresentazione visiva della classe energetica stimata. mostra la codifica in base al colore di ogni edificio in base alla classe energetica calcolata. La seconda parte del codice KML viene utilizzata per descrivere la geometria estrusa di ogni edificio.


```

<Style id="F">
  <PolyStyle>
    <color>FF000FF</color>
    <fill>1</fill>
    <outline>0</outline>
  </PolyStyle>
</Style>

<Placemark>
  <description>Building extruded test 1</description>
  <name>UUID_a2017297-d0cf-45ee-ae6d-94a5d4fcd03</name>
  <styleUri>#F</styleUri>
  <Polygon>
    <altitudeMode>absolute</altitudeMode>
    <extrude>1</extrude>
    <outerBoundaryIs>
      <LinearRing>
        <coordinates>
          11.1263299929,46.0683712643,213.486, 11.1263070656,46.0684180254,214.313
          11.1262141309,46.0684011600,208.837, 11.1262401711,46.0683529640,213.74
          11.1263299929,46.0683712643,213.486
        </coordinates>
      </LinearRing>
    </outerBoundaryIs>
  </Polygon>
</Placemark>

```

Figura 4 mostra il visualizzatore di energy maps, composto da due parti interconnesse:

1. Un canvas HTML5 atto a visualizzare il globo WebGL in cui sono caricate le energy maps KML in conformità alla geometria LoD-1 del CityGML;
2. Una scheda riepilogativa dei dati energetici corrispondenti alla costruzione selezionata. Il confronto tra caratteristiche di efficienza energetica può essere facilmente eseguito utilizzando lo strumento posto nella parte inferiore a sinistra della pagina. Il diagramma permette il confronto tra i più importanti parametri costruttivi degli elementi selezionati.



Figura 4 - La visualizzazione della Energy Map.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

In questo articolo sono stati presentati i risultati preliminari del progetto SUNSHINE volti a sviluppare un toolkit di servizi smart, open ed estendibili, per la stima della performance energetica degli edifici residenziali alla scala urbana, al fine di migliorarne le performance e ridurre i costi futuri. L'utilizzo di un approccio ibrido tipologico-deterministico alla stima delle performance energetiche degli edifici, unito alla validazione iterativa su dati di consumo reali, consente di coniugare l'applicazione del servizio a grande scala con una buona affidabilità della stima a livello del singolo edificio. Il modello dati utilizzato è frutto di un'estensione sviluppata in maniera collaborativa di uno standard, il CityGML, open e molto diffuso. La rappresentazione in chiave geografica delle performance degli edifici attraverso le energy map è un valore aggiunto del servizio in quanto offre una visione d'insieme per una efficace pianificazione. Inoltre, l'utilizzo della tecnologia WebGL per la visualizzazione assicura il più vasto pubblico disponibile in termini di dispositivi, sia desktop che mobile, evitando lo sviluppo di client personalizzati dipendenti dalla piattaforma in uso.

Gli sviluppi futuri sul lato dell'algoritmo di stima sono collegati alla sperimentazione e al conseguente adattamento dell'approccio descritto in diversi contesti nazionali europei, e in generale in zone caratterizzate da diverse tipologie edilizie vincolati a diversi climi o diversi stili costruttivi. Un ulteriore obiettivo è quello di cercare di estendere la praticabilità della stima anche agli edifici non residenziali. Per l'aspetto della visualizzazione gli sforzi saranno concentrati sul miglioramento della qualità della geometria visualizzata, rendendo quindi possibile la riproduzione edifici basati su livello di dettaglio CityGML LoD-2.

RINGRAZIAMENTI

Il progetto SUNSHINE è co-finanziato dalla Commissione Europea (CE) attraverso l'azione CIP-Pilot che è parte del Programma Quadro per la Competitività e l'Innovazione. Gli autori sono gli unici responsabili di quanto espresso in questo articolo che non rappresenta l'opinione della CE. La CE non è responsabile per nessun uso che potrà essere fatto delle informazioni contenute in questo articolo.

BIBLIOGRAFIA

- Bloem H. (2013), "The future for standardisation in the building sector; Assessment of high energy performance buildings", *Workshop on High Performance Buildings - Design and Evaluation Methodologies*
- BPIE (2011), Building Performance Institute Europe, "Europe's Buildings under the Microscope", http://www.bpie.eu/eu_buildings_under_microscope.html
- Comunità Apache (2014), Apache Tomcat, <http://tomcat.apache.org/>
- CHPA (2014), Combined Heat and Power Association, "What are Energy maps?" http://www.chpa.co.uk/what-are-energy-maps_245.html
- DG Energy (2014) - Energy efficiency in buildings, http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings_en.htm
- Energy Roadmap 2050 (2014), http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/index_en.htm
- EPBD (2014), Energy Performance of Buildings Directive, <http://www.epbd-ca.eu/>
- Europa.eu (2014), Summaries of EU legislation, http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/construction/en0021_en.htm
- Fenger J. (1999), "Urban air quality", *Atmospheric environment*, 33.29: 4877-4900.
- Gröger G. et al. (2008), "OpenGIS city geography markup language (CityGML) encoding standard", *Open Geospatial Consortium Inc.*
- INSPIRE TWG-Buildings (2013), Thematic Working Group Buildings, "D2.8.III.2 Data Specification on Buildings", *INSPIRE Technical Guidelines*
- Loga T. (2010), "Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks: Existent Experiences in European Countries and Common Approach", *IWU*
- Marrin C. (2011), "WebGL specification", *Khronos WebGL Working Group*
- SEAP (2014), Sustainable Energy Action Plan, http://www.covenantofmayors.eu/actions/sustainable-energy-action-plans_en.html
- SEMANCO Project Website (2014), <http://www.semanco-project.eu/>
- SIG 3D (2014), Special Interest Group 3D, <http://www.sig3d.org/>
- Stadler A. et al. (2009), "Making interoperability persistent: A 3D geo database based on CityGML", *3D Geo-Information Sciences*, Springer, p. 175-192
- Sunshine Project Website (2014), <http://www.sunshineproject.eu/>
- TABULA – EPISCOPE Project Website (2014), <http://episcope.eu/>
- US Energy Information Administration (2013), International Energy Outlook 2013, http://www.eia.gov/forecasts/ieo/excel/ieotab_1.xls