

Gavardo 3D: un esempio di modellazione integrata di dati secondo CityGML (e la sua estensione Energy ADE)

Alice Pasquinelli^(a), Giorgio Agugiaro^(b)

^(a) Dipartimento ABC, Politecnico di Milano, via Ponzio 31, 20133 Milano, alice.pasquinelli@polimi.it;

^(b) Smart Cities and Regions Research Field, Center for Energy, Austrian Institute of Technology, Vienna, Austria, giorgio.agugiaro@ait.ac.at

Abstract

Questo articolo descrive il lavoro di integrazione e modellazione di dati sugli edifici svolto per il comune di Gavardo in provincia di Brescia. Inizialmente sono state raccolte tutte le informazioni disponibili negli archivi pubblici, le quali sono state analizzate al fine di evidenziare sia le criticità che le potenzialità legate al patrimonio informativo attuale: tali informazioni sono state poi armonizzate e collegate tra loro. Al fine di integrare le diverse fonti di dati in un unico modello (aperto) di dati, si è optato per lo standard internazionale CityGML. È stata quindi effettuata una mappatura tra struttura e contenuto dei dati di partenza e CityGML che ha permesso di definire un workflow per trasportare e organizzare le informazioni in un *city model* semantico e tridimensionale. A partire dal *city model* così creato, e considerata l'attualità del tema sull'efficienza energetica degli edifici, si è proceduto poi con l'integrazione di ulteriori dati utili a descrivere il comportamento energetico degli edifici, modellando i dati secondo la Energy Application Domain Extension (ADE) per CityGML. La Energy ADE estende CityGML e definisce appositamente nuove entità e proprietà per applicazioni di tipo energetico. Il presente lavoro ha pertanto valorizzato il patrimonio informativo di partenza rendendolo disponibile in modo integrato e strutturato. Trattandosi di dati pubblici accessibili da ogni Comune, l'intero lavoro può essere replicato da altri enti locali.

Introduzione

Nell'ambito degli archivi pubblici italiani esistono diverse banche dati riguardanti gli edifici. Ognuna di queste descrive l'edificio in modo parziale, al fine di supportare le specifiche mansioni amministrative che competono ai diversi enti pubblici che le gestiscono. Il mosaico dell'informazione pubblica sugli edifici è caratterizzato da una forte frammentazione dei dati, riportati talvolta in modo incompleto, ripetuto e disallineato. Tuttavia, la necessità di disporre di informazioni esaustive ed armonizzate sul costruito sta sensibilizzando i diversi *data producer* e *manager* sul tema dell'integrazione di dati (Pasquinelli e Guzzetti, 2016).

In Comunità Montana Valle Sabbia è stato promosso un progetto di ricerca finalizzato ad approfondire le potenzialità legate alla disponibilità di dati integrati sugli edifici. L'obiettivo è stato quello di creare un sistema informativo sugli edifici a partire dalle informazioni esistenti, che consenta di risalire, mediante un identificativo univoco, a tutte le informazioni riguardanti l'edificio.

A questo proposito si sono prese in considerazione le seguenti banche dati:

- il Database Topografico comunale (DBT) (in scala nominale 1:2000), da cui si possono desumere dati geometrici georiferiti a partire dalle quali modellare tridimensionalmente gli edifici;
- i dati catastali, in particolare la mappa tramite la quale georiferire le informazioni a grana più fine relative alle unità immobiliari (UIU), entrambi acquisiti tramite portale dedicato dell'Agenzia delle Entrate (SISTER);
- i microdati di censimento, resi disponibili da ISTAT per gli enti pubblici facenti parte del Sistema Statistico Nazionale (SISTAN), previa richiesta;
- i dati sui consumi energetici (elettricità e gas), comunicati dall'Agenzia delle Entrate ai comuni tramite il Sistema di Interscambio Anagrafi Tributarie Enti Locali (SIATEL).

Oltre a queste banche dati, caratterizzate peraltro da una struttura uniforme per tutto il territorio nazionale, si sono utilizzati due dataset locali: il censimento georiferito dei numeri civici e il censimento degli interni residenziali, riportante il numero di residenti in ciascuna UIU comunale.

Su tutte le banche dati citate è stato effettuato un lavoro di armonizzazione e collegamento delle informazioni sulla base di due riferimenti chiave comuni ai diversi *dataset* considerati: l'ID catastale e l'indirizzo. Questo lavoro è stato implementato per il comune di Gavardo, uno dei principali centri della Comunità Montana Valle Sabbia, con il supporto di Secoval, l'ente che gestisce l'ufficio tecnico centralizzato per tutti i comuni della Comunità Montana. A seguito della messa a sistema delle informazioni disponibili, si è proceduto con la loro raccolta e riorganizzazione in un *city model* aderente allo standard internazionale CityGML (Gröger e Plümer, 2012). I dati modellati si riferiscono a 227 edifici ricadenti nel quartiere localizzato lungo via Dossolo, utilizzato come area di approfondimento per diversi temi ed applicazioni affrontati nel progetto: l'area, a carattere residenziale, ospita circa 600 abitanti ed è stata scelta in quanto comprensiva un campione significativo di edifici per le diverse epoche di espansione della città e, quindi, particolarmente interessante dal punto di vista dell'analisi energetica degli edifici (Tagliabue et al., 2016).

Fatta eccezione per qualche precedente esperienza a Trento (Prandi et al. 2014; Agugiaro, 2016a), non sono noti agli autori altri casi concreti, in Italia, di creazione di *city model* basati sullo standard internazionale CityGML.

La creazione di un *city model* secondo lo standard CityGML

La conoscenza della struttura delle banche dati considerate, derivante dal lavoro di armonizzazione sulle stesse, e dei requisiti previsti dallo standard CityGML ha permesso di definire un *workflow* di ETL (*Extract, Transform and Load*) delle informazioni dal loro formato originario verso il modello dati relativo al modulo *Building* in CityGML¹.

¹ Le specifiche di CityGML sono pubblicate all'indirizzo: <https://www.citygml.org>

Dal punto di vista geometrico, i dati disponibili grazie al DBT hanno consentito una loro modellazione geometrica in LoD1 (Level of Detail 1): gli edifici sono stati così rappresentati tramite solidi prismatici composti da una o più unità volumetriche (*BuildingPart*) senza dettagli relativi ai tetti. Inoltre, nonostante i dati geometrici disponibili non fossero in linea con i requisiti previsti per il LoD2, si sono classificate le diverse superfici costituenti l'involucro dell'edificio (parete, tetto, soffitto di portico), riconducendole alle classi *WallSurface*, *RoofSurface*, *GroundSurface*, *ExteriorCeilingSurface*. A tal fine, si sono approssimati i tetti con il poligono orizzontale superiore ottenuto dall'operazione di estrusione.

Da un punto di vista semantico, grazie al lavoro di armonizzazione realizzato sui diversi dataset, diversi attributi sono stati inseriti nel *city model*: tali attributi sono elencati in Tabella 1, la quale riporta contestualmente la mappatura tra dato di origine e attributo previsto da CityGML.

Dato di origine	Fonte	Attributo in CityGML	Descrizione
ID edificio	DBT	<i>id</i>	Identificativo di ogni edificio mappato in DBT
Destinazione d'uso	DBT	<i>class</i>	Destinazione d'uso prevalente di ciascun edificio
Categoria catastale	Catasto	<i>usages</i>	Elenco delle funzioni ospitate desunte dalle categorie catastali
Presenza di piani interrati	ISTAT	<i>storeys_below_ground</i>	Numero di piani interrati come da rilievo censuario
Quota di gronda	DBT	<i>measured_height</i>	Quota di gronda misurata rispetto al livello del mare (m)
Altezza verticale	DBT	<i>vertical_height</i>	Altezza verticale di ciascun edificio o unità volumetrica (m)
Epoca di costruzione	Catasto /ISTAT	<i>construction_period</i>	Epoca di costruzione
Fonte del dato "Epoca di costruzione"	-	<i>construction_period_source</i>	Specificazione della fonte da cui è stato desunta l'epoca di costruzione dell'edificio
Volume lordo	DBT	<i>lod1volume</i>	Volume lordo calcolato a partire dalle unità volumetriche in DBT (m ³)
Numero di interni residenziali	Catasto	<i>number_of_dwellings</i>	Numero di unità abitative desunte da catasto
Numero di residenti	Anagrafe	<i>number_of_residents</i>	Numero di residenti registrati in anagrafe
Indirizzo/i	Civici georiferiti	<i>address</i>	Elenco di indirizzi di ciascun edificio, strutturato secondo i requisiti .xal
ID catastale	Catasto	<i>externalObject.uri</i>	Identificativo catastale di ciascun edificio

Tabella 1 – Elenco degli attributi popolati nel *city model*

In presenza di informazioni aggiuntive o in caso di informazioni non perfettamente aderenti al modello dati di riferimento, si è fatto ricorso ad attributi generici di CityGML (*GenericAttribute*) al fine di includere più dati possibili nel *city model*: in questo modo è stato possibile definire diversamente gli attributi già previsti (per esempio per ogni edificio è stato indicato il periodo di costruzione invece che lo specifico anno di costruzione) e di aggiungerne

altri rispetto al modello dati definito. Le informazioni inserite mediante *GenericAttribute* sono evidenziate in tabella con sfondo grigio.

Al fine di salvare ed esportare le informazioni elencate nel formato CityGML (estensione .gml) è stato impostato un *workflow* di ETL tramite il software FME 2017 di Safe Software. In termini di database è stato adottato il 3DCityDB per PostgreSQL/PostGIS, che implementa il modello di dati di CityGML a livello di *database schema* e rappresenta oltretutto la soluzione di riferimento e open per quanto riguarda la gestione del dato CityGML².

Grazie al tool *3DCityDB Importer/Exporter* è stato possibile popolare propriamente il database a partire dal file .gml: i dati inseriti nel database diventano dunque facilmente interrogabili tramite qualsiasi software capace di connettersi ad un database. Il *city model* così ottenuto costituisce la base per la successiva modellazione informativa a scopi energetici, come descritto nei paragrafi successivi.

Inoltre, il *3DCityDB Importer/Exporter* consente l'esportazione dei dati spaziali e non verso formati che ne consentono la pubblicazione e fruizione tramite browser: grazie a queste funzionalità, al fine di permettere un'agevole esplorazione via web, il *city model* è stato caricato su Cesium Virtual Globe³, che permette l'esplorazione on-line di dati geografici 3D e senza necessità di plug-in specifici per il web browser. Un esempio è presentato in Figura 1.



Figura 2- Estratto del city model pubblicato su Cesium Virtual Globe

La modellazione energetica degli edifici in CityGML: Energy ADE

Nonostante CityGML sia stato concepito fin dall'inizio come modello di dati destinato a coprire la maggior parte degli aspetti inerenti l'ambito urbano (si pensi ai moduli non solo per gli edifici, ma anche per il traffico, i corpi idrici, il rilievo, i tunnel, i ponti, la vegetazione, ecc.), lo standard non è in grado di coprire – nativamente – ogni specifico ambito applicativo. Proprio per questo è prevista la possibilità di estendere CityGML mediante cosiddette Application

² Documentazione completa sul progetto 3DCityDB è disponibile sulla pagina web dedicata (www.3dcitydb.org) e al seguente indirizzo: <https://github.com/3dcitydb>

³ Il city model è pubblicato all'indirizzo: <http://sbc1.ait.ac.at:10180/projects/gavardo/cesium/webclient/index.html>

Domain Extension (ADE), che permettono appunto di definire entità ed attributi aggiuntivi al fine di rispondere a necessità specifiche. È questo il caso, per esempio, dell'*Energy ADE*, che mira a fornire un modello di dati di riferimento per implementare simulazioni energetiche sugli edifici, ampliando lo standard corrente con entità e attributi utilizzati dai più diffusi software di analisi energetica a scala urbana. L'*Energy ADE* è composto da 5 moduli:

- *Building Physics module*, dedicato alla modellazione delle caratteristiche fisiche e termiche degli edifici (es. spazi riscaldati, superfici disperdenti, ecc.);
- *Occupancy module*, finalizzato alla caratterizzazione delle costruzioni dal punto di vista degli utilizzi, dati sia dalla parte di persone che di attrezzature;
- *Construction and Material module*, attraverso il quale descrivere le proprietà fisiche ed ottiche dei vari *layer* che compongono la struttura costruttiva degli edifici (trasmissione termica, fattore solare, emissività, riflettanza, trasmittanza ecc.);
- *Energy System module*, che comprende informazioni relative al fabbisogno energetico, alle relative fonti, così come ai sistemi di conversione e distribuzione dell'energia;
- *Timeseries and Schedules module*, utile a modellare variabili temporali (es. i periodi di riscaldamento o la misura dei consumi).

Lo sviluppo della *Energy ADE* è iniziato nel 2014 e viene ora portato avanti da un consorzio internazionale eterogeneo, comprendente università, centri di ricerca ed enti privati. Il modello di dati e la documentazione relativa sono liberamente disponibili⁴ e già utilizzati in una serie di progetti (Agugiaro, 2016b; Brenner et al., 2016).

Estensione di 3dCityDB per l'*Energy ADE*

Se 3dCityDB rappresenta già da qualche anno l'implementazione di riferimento di CityGML a livello di *database schema*, altrettanto non si può dire della corrispondente implementazione per database della *Energy ADE*. Per questa ragione, e per favorire ulteriormente la diffusione e l'adozione della *Energy ADE*, l'Austrian Institute of Technology ha recentemente completato e reso liberamente disponibile i sorgenti del *database schema* della *Energy ADE*.

Il lavoro si inserisce in un contesto più ampio, in cui, a partire dal 3dCityDB esistente, si sono definite e formalizzate regole e procedure per estenderlo mediante *qualsiasi ADE*. A tal fine, si è innanzitutto implementato un layer chiamato "*ADE extension mechanism*", il quale permette di installare più *ADE* allo stesso tempo e fornisce un set condiviso di funzioni e di regole per gestire diverse *ADE* all'interno di una medesima istanza del 3dCityDB.

In aggiunta si sono definite una serie di regole per mappare le classi, gli attributi e le relazioni del modello di dati di una *ADE* (definita secondo il paradigma della modellazione ad oggetti) in una serie di oggetti (tabelle, relazioni, vincoli, stored procedures, ecc.) tipici di un modello entità-associazione usato tipicamente nella progettazione di database.

Nel fare ciò, si sono fatte alcune scelte a livello di software design, al fine di rendere la logica implementativa, le convenzioni sulle denominazioni degli

⁴ Documentazione completa sull'*Energy ADE* è disponibile all'indirizzo: <https://github.com/cstb/citygml-energy>

oggetti e, in definitiva, l'uso da parte dell'utente il più simile possibile a quanto già presente nella versione originale del 3DCityDB.

L'operazione di mappatura è stata eseguita manualmente, al fine di tenere sotto controllo il numero di tabelle risultanti e di mantenere una certa somiglianza tra modello ad oggetti e modello ER. Particolare cura è stata dedicata inoltre all'implementazione di svariate stored procedure che facilitino la gestione dei dati, vista la complessità della struttura del database (che è dovuta anche alla complessità ed alla ricchezza descrittiva di CityGML).

In Figura 2 è rappresentata schematicamente la struttura del 3DCityDB esteso. Quanto detto è stato peraltro già testato con successo non solo con l'Energy ADE, ma anche su altre ADE (Utility Network ADE e Scenario ADE)⁵.

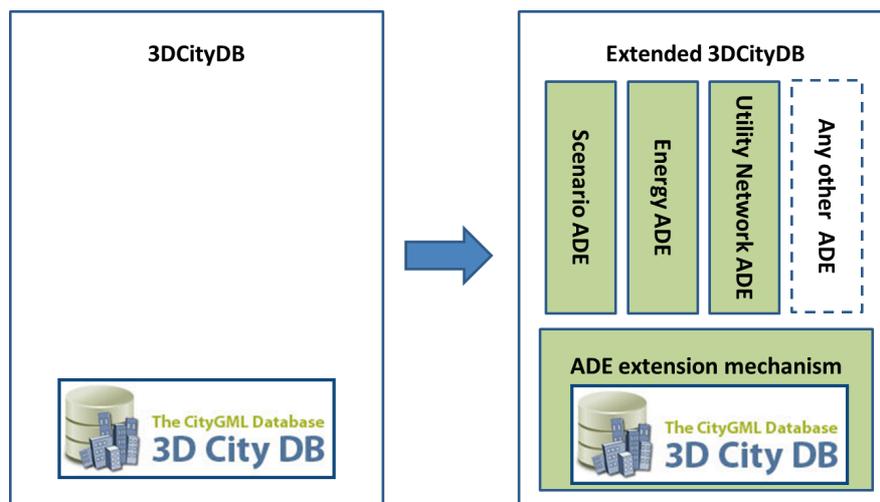


Figura 3 – Rappresentazione schematica della struttura del 3DCityDB esteso

La modellazione dei dati sugli edifici secondo CityGML Energy ADE

A partire dal *city model* di base, si è proceduto con la mappatura dei dati finalizzata alla modellazione energetica degli edifici secondo l'Energy ADE: l'elenco delle classi (e relativi attributi) che è stato possibile popolare è riportato in Tabella 2. Per ragioni di sintesi, nel testo che segue saranno solamente richiamate, tra parentesi, le classi specifiche della Energy ADE: si invita il lettore a fare riferimento alla documentazione pubblicata per una panoramica esaustiva delle classi previste.

Ogni edificio è stato modellato come un'unica zona termica (classe *ThermalZone*) poiché non sono disponibili dati geometrici utili a dettagliare le aree interne agli edifici; inoltre, per ogni edificio sono state distinte le diverse superfici che ne costituiscono l'involucro esterno, modellate come istanze della classe *ThermalBoundary*. Le diverse zone d'uso all'interno dei singoli edifici (*UsageZone*) sono state ricostruite a partire dalle diverse funzioni deducibili a partire dalle categorie catastali. L'unica tipologia di occupanti (*Occupants*) modellata è quella relativa ai residenti, i quali sono stati associati in modo aggregato alle *UsageZone* di pertinenza di ciascun edificio. I valori di trasmittanza associati a ciascun edificio sono stati modellati come *Construction*, assumendo i valori desunti da TABULA a partire dall'epoca di costruzione. Da TABULA sono stati anche ricavati i valori di efficienza degli impianti termici, i quali sono stati tutti modellati come caldaie generiche

⁵ Documentazione relativa a 3DCityDB esteso è pubblicata all'indirizzo: https://github.com/gioagu/3dcitydb_ade

(Boiler). La classe energetica così come dovrebbe essere riportata da Attestato di Prestazione Energetica è stata desunta dai valori di EPH derivanti dall'analisi energetica a scala urbana condotta sull'area di approfondimento di via Dossolo. Infine, i dati di consumo raccolti sono stati modellati come istanze della classe *FinalEnergy*. Si vada un esempio del lavoro ultimato in Figura 3.

Modulo	Classi dell'Energy ADE	Attributi modellati	Descrizione
-	<<ADE>>_AbstractBuilding	building ID	Identificativo corrispondente all'ID dell'edificio nel city model di base
Building Physics	ThermalZone	gross floor area net floor area	Informazioni dimensionali relative alle aree, modellate come <i>dimensional attribute</i> nella specifica tabella
Building Physics	ThermalBoundary	type size inclination area	Superfici disperdenti tipologicamente classificate, derivate dalle ThematicSurface modellate nel CityGML di base
Occupancy	UsageZone	type	Zone d'uso derivate dalle diverse funzioni ospitate
Occupancy	Occupants	type number	Numero di residenti associate alle UsageZone classificate come residenziali
Constructions and Materials	Construction	u value	Lista dei valori di trasmittanza desunte da TABULA secondo l'epoca di costruzione
Energy System	ConversionSystem	number nominal efficiency	Numero di impianti termici associato a ciascun edificio: l'efficienza degli impianti è desunta da TABULA secondo l'epoca di costruzione
Energy System	Boiler	condensation	Caratterizzazione degli impianti termici come "caldaia": il campo "Condensation" è lasciato come <null>
Energy System	PerformanceCertification	rating	Classe energetica stimata tramite analisi energetica a scala urbana
Time Series	FinalEnergy	time series	Valori di consumo misurati annualmente

Tabella 4 – Elenco delle informazioni modellate secondo l'Energy ADE

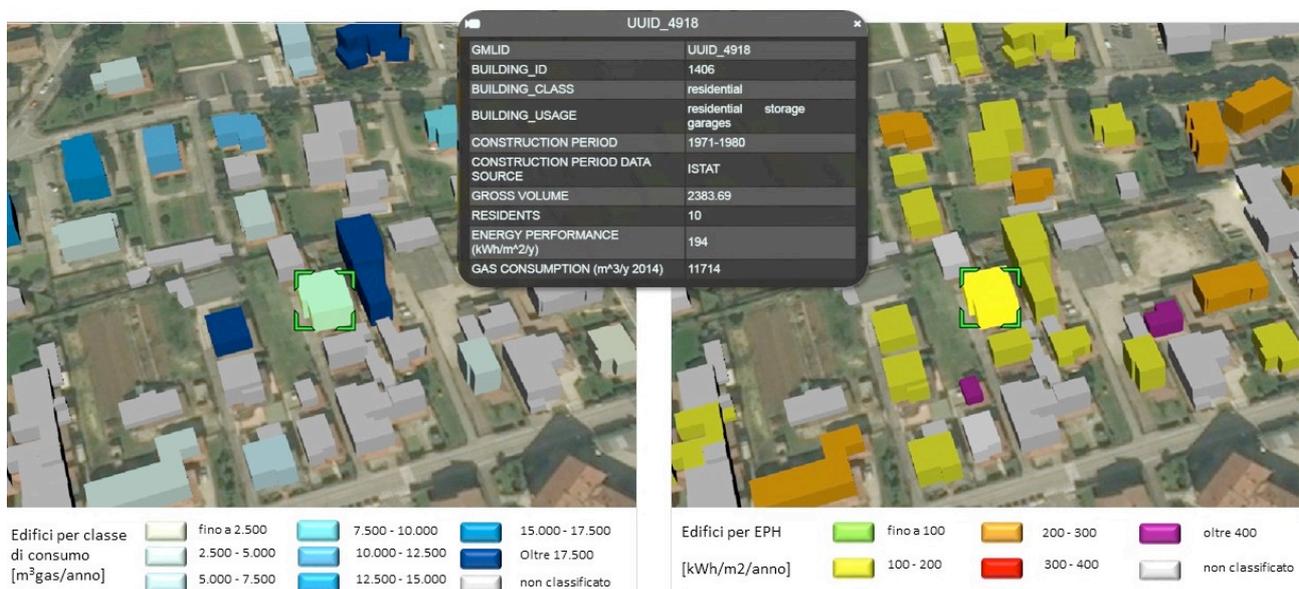


Figura 5 – Visualizzazione dei dati energetici integrati nel city model (EPH e consumi di gas)

Conclusioni

Nell'ambito di una *Smart City*, lo sviluppo di applicazioni intelligenti legate all'ambiente costruito punta all'ottimizzazione delle risorse nel governo del territorio ed alla fornitura di servizi innovativi ai cittadini. Requisiti fondamentali sono pertanto la qualità, l'accessibilità e la disponibilità di dati secondo standard noti e, preferibilmente, aperti. La gestione dei rischi associati ad eventi catastrofici, così come il tema dell'efficientamento energetico, costituiscono attualmente alcuni dei campi di applicazione che beneficerebbero maggiormente dell'esistenza di un'informazione completa, aggiornata e facilmente accessibile sugli edifici.

Il lavoro svolto per il comune di Gavardo rappresenta uno dei pochi esempi in Italia di integrazione delle informazioni sugli edifici e secondo uno standard aperto riconosciuto a livello internazionale, e ha portato alla creazione del primo prototipo di *city model* italiano basato su CityGML integrato con l'Energy ADE. Va ribadito che, avendo utilizzato dati disponibili presso gli archivi pubblici esistenti, questo lavoro può essere riprodotto in altri contesti nazionali. Il lavoro qui presentato costituisce una dimostrazione di come sia possibile attivare ed implementare strategie di messa a sistema delle informazioni secondo modelli internazionalmente riconosciuti. Questo è, secondo noi, ovviamente solo un primo passo: ciò che occorre promuovere è la cultura di un dato "utile" perché aggiornato, accurato, affidabile e, nei limiti di legge, condiviso – il tutto a supporto di usi pratici volti all'interesse collettivo.

Riferimenti bibliografici

- Agugiaro, G., (2016a) "Energy planning tools and CityGML-based 3D virtual city models. Experiences from Trento (Italy)", *Applied Geomatics*, 8(1), pp. 41-56, Springer Berlin Heidelberg, ISSN: 1866-928X.
- Agugiaro, G. (2016b) "Enabling energy-awareness" in the semantic 3D city model of Vienna", *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-4/W1, pp. 81-88.
- Benner, J., Geiger, A., Häfele, K.H. (2016) „Virtual 3D city model support for energy demand simulations on city level – The CityGML Energy Extension", *Proc. REAL CORP Conference 2016*, pp. 777-786.
- Corrado, V., Ballarini, I., Corgnati, S., Talà, N. (2011) "Building Typology brochure – Italy", Dipartimento di Energetica, Gruppo di Ricerca TEBE, Politecnico di Torino, Torino, Italy. ISBN: 978-88-8202-070-5.
- Gröger, G., Plümer, L. (2012) "CityGML – Interoperable semantic 3D city models", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71,, pp. 12-33.
- Pasquinelli, A., Guzzetti, F. (2016) "Knowledge for Intelligence: discussing the state and the role of building data in Italy", *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, III-4/W1, pp. 11-18.
- Prandi, F., Soave, M., Devigili, F., Andreolli, M., De Amicis, R. (2014) "Services Oriented Smart City Platform Based on 3D City Model Visualization", *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, II-4, pp. 59-64.
- Tagliabue, L.C., Pasquinelli, A., Ciribini, A.L.C., Di Giuda, G.M., Villa, V., De Angelis, E. (2016) "Cognitive Adaptive Urban Systems for the Living Built Environment", *Proc. 2nd Annual International Conference on Urban Planning and Property Development (UPPD)*, Singapore 10-11 October.