

Un approccio semplificato per la valutazione di sostenibilità dell'ambiente costruito attraverso il BIM

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Sebastiano Maltese, Nicola Moretti, Fulvio Re Cecconi, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

Angelo Luigi Camillo Ciribini, Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e di Matematica, Università di Brescia, Italia

John M. Kamara, School of Architecture, Planning and Landscape, Newcastle University, UK

sebastiano.maltese@polimi.it

nicola.moretti@polimi.it

fulvio.receconi@polimi.it

angelo.ciribini@unibs.it

john.kamara@ncl.ac.uk

Abstract. I rating system sono strumenti per la determinazione della qualità, dell'affidabilità, dell'efficienza energetica ed economica degli edifici, finalizzati all'attribuzione di un certificato di sostenibilità. Tali strumenti possono essere integrati in un modello BIM. Questa ricerca propone una metodologia semplificata per soddisfare i requisiti CESBA attraverso un modello Construction to Operations Building information exchange (COBie) per gli edifici esistenti, in base all'approccio BIM Bronze sviluppato dal Ministero della Giustizia inglese. In questo modo, è possibile estrarre report sulla sostenibilità, minimizzando i costi per la gestione delle informazioni. Sarà, infine, presentato un esempio illustrativo riguardante i criteri di risparmio energetico del protocollo CESBA.

Parole chiave: BIM, Green BIM, sustainability, rating systems, IFC, COBie.

Introduzione

Lo sviluppo di strumenti e pratiche efficaci per la valutazione energetica e ambientale degli edifici è cruciale per l'efficientamento delle fasi di progettazione e di uso degli immobili (SmartMarket Report, 2010). In anni recenti, si possono individuare in ambito europeo alcune ricerche ed applicazioni finalizzate alla sistematizzazione di suddetti strumenti: un esempio è il protocollo Common European Sustainable Built Environment Assessment (CESBA). Inoltre, la necessità di disporre di informazioni attendibili, sin dalle prime fasi del processo edilizio, suggerisce l'integrazione di tali strumenti nel processo Building Information Modelling (BIM) (Hyatt, 2011) (Wu e Issa, 2010). L'elevato numero di attori, la pluralità di sistemi di rating, la varietà di soluzioni tecnologiche di edifici e impianti e l'eterogeneità dei requisiti espressi dagli utenti e dai clienti ostacolano, però, questa integrazione.

A Lean Approach to Enable Sustainability in the Built Environment through BIM

Abstract. Rating systems are assumed as instruments to endorse architectural quality, reliability, energy efficiency, economic convenience and finally expose a sustainability label. Moreover, these tools can be tied to a BIM model. The aim of this research is to set up a lean methodology to fulfil CESBA requirements through Construction to Operations Building information exchange – COBie in project on existing buildings adopting the BIM Bronze approach by UK Ministry of Justice - MoJ. This will allow to develop a semantic model and to extract sustainability reports in a post-construction phase, thereby minimising the cost of gathering information on existing buildings. An illustrated example regarding energy criteria of CESBA protocol will be presented to further the proposed approach.

Keywords: BIM, Green BIM, sustainability, rating systems, IFC, COBie.

Una possibile risposta a tali problematiche può essere identificata nell'uso del protocollo Industry Foundation Classes (IFC), correntemente il formato più avanzato, non proprietario, per lo scambio dei dati nel settore immobiliare (Golabchi e Kamat, 2013). Alcuni criteri utilizzati nei protocolli di rating possono essere, infatti, rintracciati negli oggetti IFC (BuildingSMART, 2016). Per gli edifici esistenti, viene quindi proposta una metodologia semplificata per facilitare l'estrazione dei dati relativi al rating dell'edificio nella fase di uso, o prima di un intervento di riqualificazione. Prendendo spunto dall'approccio BIM Bronze (MoJ, 2016), sviluppato in Inghilterra dal Ministry of Justice (MoJ), ci si pone come obiettivo l'estrazione dei dati relativi al rating report, attraverso il protocollo Construction to Operations Building information exchange (COBie). Infine, viene presentato un esempio illustrativo riguardante la gestione degli *energy criteria*, attraverso COBie, in un modello BIM semplificato in cui l'informazione geometrica è assente.

Metodologia di ricerca

I sustainability rating system stanno diventando sempre più complessi, principalmente a causa della domanda da parte di clienti e utenti, di svilupparne differenti versioni, a seconda della fase del ciclo di vita dell'edificio (nuova costruzione, uso e manutenzione, riqualificazione, fit-out), o in base all'estensione dell'intervento (LEED-ND, DGNB New Urban District) (Komeily e Srinivasan, 2015). L'approccio metodologico supporta lo svolgi-

Introduction

The development of effective building energy and environmental assessment tools and practices is crucial to ensure efficient design and operation (SmartMarket Report, 2010). Efforts to systematically connect different instruments have led to research projects such as the Common European Sustainable Built Environment Assessment (CESBA). The need for reliable results in the early stages of design requires the integration with existing design tools and methods, like Building Information Modelling (BIM) (Hyatt, 2011) (Wu and Issa, 2010). However, this integration is hampered by the plurality of rating systems, the number of actors, the variety of technological solutions for building and services, and the heterogeneity of users' and clients' requirements. Moreover, the involvement of many stakeholders give rise to the need

for exchanging huge amounts of data, and this makes it even more necessary to have a common data exchange protocol. The answer could be given by the Industry Foundation Classes (IFC) protocol, which is currently the most advanced non-proprietary data exchange format for the building sector (Golabchi and Kamat, 2013). Some criteria exploited by the building rating systems can be found in IFC objects (BuildingSMART, 2016), thus IFC can be used as a sharing framework. For existing assets, we aim to propose a lean methodology to ease the extraction of rating data in the in use phase, or before a refurbishment process. The objective concerns the exploitation of the BIM approach developed by UK MoJ (Ministry of Justice), precisely the BIM Bronze level (MoJ, 2016). Accordingly, a method to extract rating data based on Construction to Operations

mento della ricerca, creando un legame tra i sustainability rating system e le più note metodologie per la valutazione del ciclo di vita, aprendo a possibili integrazioni con l'Internet of Things (IoT). Il BIM, dunque, appare un ambiente privilegiato per la valutazione automatica dei criteri presenti nei rating system e per supportare le decisioni circa le strategie di sostenibilità da adottare durante il ciclo di vita dell'edificio (Wong e Zhou, 2015). Lo scambio delle informazioni tra software BIM e rating system deve, quindi, essere basato su protocolli standard, come COBie, utile per rendere l'accesso ai dati più agevole e interoperabile. Tali dati possono essere utilizzati attraverso diversi software, nei successivi momenti della vita dell'edificio, incentivando le decisioni condivise e un ambiente collaborativo.

Quando la creazione di un modello 3D è troppo onerosa, il MoJ propone l'utilizzo di un modello caratterizzato da un alto livello di informazione semantica espressa attraverso lo schema COBie: un contenuto informativo abbastanza accurato da permettere lo svolgimento di analisi e operazioni in ambito di sostenibilità. L'implementazione di questo approccio, chiamato "BIM Bronze" dal MoJ, permette l'integrazione dell'informazione semantica e geometrica, nel caso in cui il modello sia ulteriormente sviluppato (MoJ, 2016). La Figura 1 riassume il processo che porta dall'analisi congiunta dei criteri di rating e dello standard COBie, alla definizione di un modello semantico, quindi al rating report.

I principali passaggi da compiere sono: (A) definizione dei dati da estrapolare e analisi della struttura del rating system report; (B) analisi dello standard COBie, definizione dei dati da memorizzare direttamente nel progetto COBie e creazione di property set personalizzati; (C) creazione di linee guida BIM per l'analisi

di sostenibilità; (D) creazione di web service per estrarre automaticamente da IFC i dati memorizzati nel Common Data Environment; (E) creazione di un template report web in base alla struttura del rating report; (F) creazione di un'applicazione web che permetta di compilare il template report con i dati estratti dal modello BIM COBie e calcoli il sustainability rating del progetto. I passaggi appena illustrati non devono essere intesi come l'unica metodologia plausibile, ma come la migliore messa a punto dagli autori per raggiungere lo scopo della ricerca.

Stato dell'arte

Secondo Kymmel (2008), il BIM è la rappresentazione virtuale dell'edificio: il luogo digitale dove le caratteristiche fisiche del progetto e tutte le informazioni semantiche sono contenute o allegate ai modelli e alle loro parti. Esso può includere una o tutte le rappresentazioni del progetto 2D, 3D, 4D (programmazione), 5D (costi) o nD (energia, sostenibilità, facility management) (O'Keeffe, 2012). La dimensione della sostenibilità, spesso chiamata "Green BIM", viene considerata una delle più innovative applicazioni del BIM. Inoltre, l'integrazione tra BIM e i criteri di sostenibilità appare di grande aiuto nell'ottenimento di una visione olistica sin dalle prime fasi del progetto (Álvarez et al., 2014). Il vantaggio di utilizzare il BIM risiede, dunque, nella possibilità di disporre di un'unica fonte di tutte le informazioni relative al progetto, prima ancora della sua implementazione fisica (Jalaei et al., 2015).

Nel settore AEC (Architecture, Engineering, Construction) i rating system sono largamente utilizzati per misurare le performance di sostenibilità. I diversi rating system, tra i quali LEED e BREEAM possono essere identificati come i maggiormente uti-

Building information exchange (COBie) is suggested. An illustrated example about energy criteria is showed to define how to include green features using COBie in a lightweight BIM model, aimed at delivering assets data when geometric information are unavailable.

Research methodology

Rating systems are getting more and more complex, mainly due to the demand by clients and users to develop different versions, depending on the stage of building life cycle (e.g. new construction, operation and maintenance, refurbishment and fit-out), or accordingly to the extension (e.g. LEED-ND, DGNB New Urban District) (Komeily and Srinivasan, 2015). The underpinning question concerns how to develop a methodological approach to support an additional progress, by associating

more directly the aforementioned tools with computational instruments adopted in lifecycle evaluation and, in perspective, in an Internet of Things (IoT) approach. Accordingly, BIM represents a privileged environment to enable the green requirements automatic evaluation and to support decisions about sustainable strategies during the building life cycle (Wong and Zhou, 2015). Data exchange between BIM software and rating systems must, consequently, be based on a standard exchange protocols like COBie. Using COBie leads to a more interoperable and open access to data, which could be used by professionals in several software, in different moments of the building life, to empower collaborative environment and shared decisions.

When creating a 3D model is too onerous, MoJ proposes a model which, embeds a strong semantic information

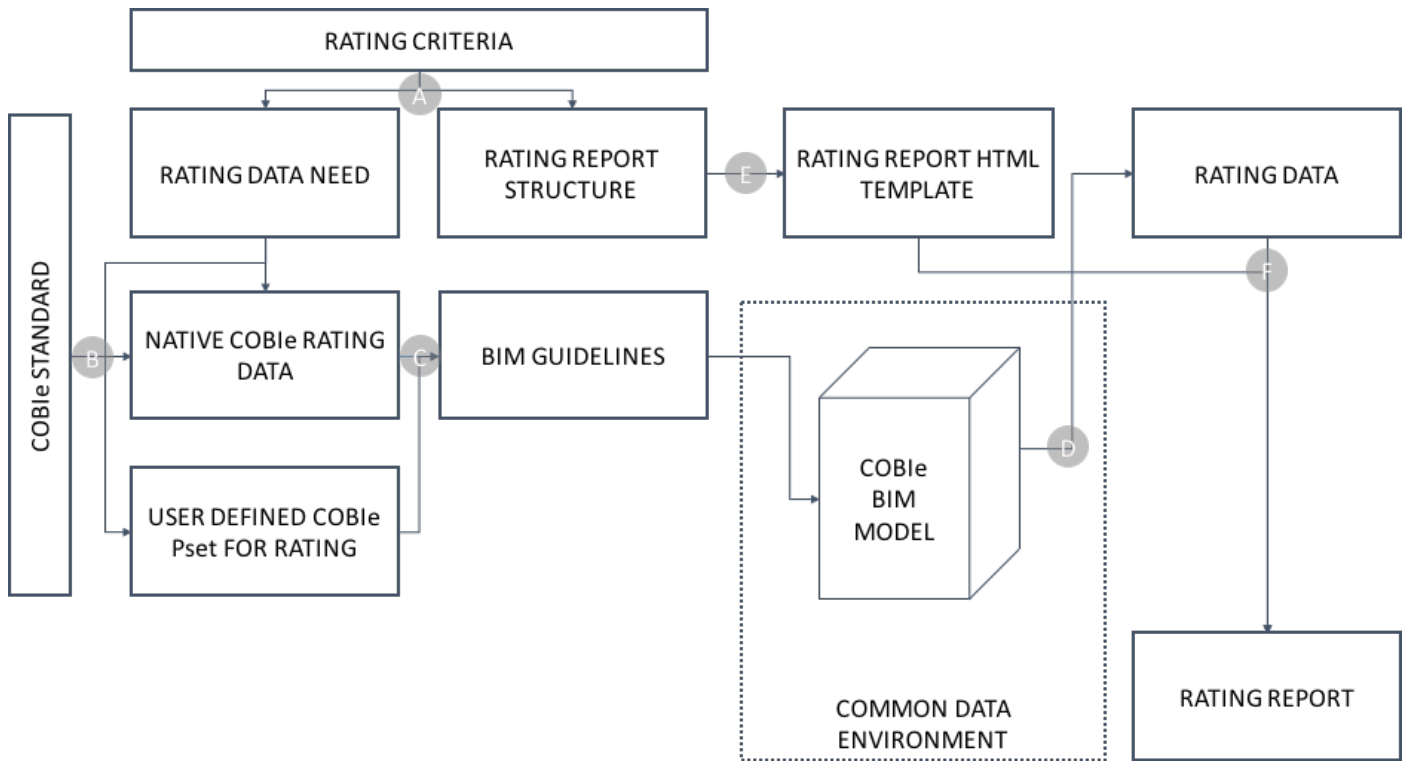
content included in COBie schema; good enough to perform analysis and operations for sustainability evaluations. The implementation of this approach, called by MoJ BIM Bronze, allows the integration of semantic and geometric information, if the model is developed further (MoJ, 2016). Figure 1 summarises the process leading from the joint analysis of rating criteria and COBie standard, to the definition of a semantic model and then to a rating report.

Main steps to be taken are: (A) definition of rating system data needs and rating system report structure analysis; (B) COBie standard analysis and definition of data directly stored in a COBie project and creation of custom property sets; (C) creation of BIM guidelines for sustainability analysis; (D) creation of a web service to automatically extract data from IFC files stored

in a BIM Server; (E) creation of an html report template according to rating report structure; (F) creation of a web app that fills the report template with data extracted from the COBie BIM model and computes the sustainability rating of the project. These steps must not be conceived as the as the only feasible procedure, but as the best to achieve the aim of the research.

State of the art

According to Kymmel (2008), BIM represents the building virtually, where the physical characteristics of the project and all information are contained or attached to the component of the model. It may include any or all of the 2D, 3D, 4D (time element-scheduling), 5D (cost), or nD (energy, sustainability, facilities management, etc.) representations of a project (O'Keeffe, 2012). The dimension of sustainability, often



01 | Schema della ricerca. I passaggi principali sono evidenziati da lettere.
Outline of the research workflow. Main steps are highlighted by letters.

lizzati (Tagliabue e Manfren, 2016), spesso condividono un considerevole numero di simili indicatori, anche se organizzati in aree tematiche differenti. E anche per quanto riguarda parametri che descrivono le stesse performance, si riscontrano talvolta metodologie di calcolo differenti (Maltese, Tagliabue et. al., 2016). Il protocollo CESBA opera un tentativo di superamento di tali disallineamenti, attraverso la promozione di un rating system armonizzato e di un metodo di valutazione standardizzato. Per gli asset esistenti, nel caso di interventi di adeguamento, la possibilità di definire specifici attributi, descritti attraverso un

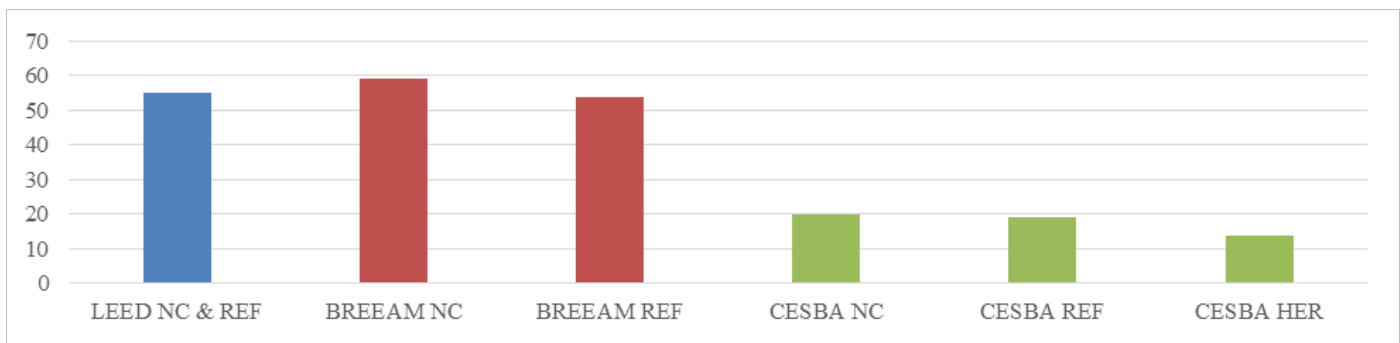
database flessibile e machine-readable (anche se non basato su un modello 3D) suggerisce l'utilizzo di un processo BIM semplificato per la valutazione preliminare delle caratteristiche legate alla sostenibilità. Sebbene sia possibile ottenere un'affidabile rappresentazione degli edifici esistenti attraverso strumentazioni come le nuvole di punti Terrestrial Laser Scanner (TLS) e sia quindi possibile mettere a punto un Asset Information Model (AIM) dettagliato (Wang, Cho et. al., 2015), i costi relativi alla modellazione possono rappresentare un impedimento nell'impiego pratico del modello nell'ambito della valutazione energe-

called Green BIM, can be considered one of the most innovative application of BIM. Moreover, integrating BIM and sustainability criteria helps in achieving a holistic overview since the early stages, which have the greatest influence on the project (Álvarez et al., 2014). The advantage of using BIM is its ability to act as a single source of all the project information before its physical implementation (Jalaei et al., 2015). On the other hand, in AEC sector, rating systems are used to measure sustainability performances. LEED and BREEAM are the most common international and interdisciplinary protocols (Tagliabue and Manfren, 2016). Different rating systems diffused worldwide, often share a considerable number of similar indicators, even if they are organised in areas named differently (Fig. 2). Also parameters, describing the same performance, can be

calculated through different methodologies (Maltese, Tagliabue et al., 2016). CESBA protocol tries to overcome this issue, through a harmonized rating system promoting a standardised evaluation. For existing assets, the possibility to define specific attributes described through a flexible and machine-readable database (not even based on a 3D model) suggests a way to ease the approach for a preliminary green retrofit assessment through a light BIM procedure. Although, a reliable recognition of the existing asset can be handled by instruments like TLS (Terrestrial Laser Scanner) point cloud, thus a detailed Asset Information Model (AIM) could be prepared (Wang, Cho et al., 2015). The related costs could be a drag to the kick-off of any practical use of the model like energy assessment (BIM-2BEM) and AIM-based facility mana-

gement procedures (Volk, Stengel et al., 2014). To overcome the costs hurdle, the "lean" approach adopted by the UK MoJ may be borrowed, promoting a starting AIM with a very low geometric information and a high information content (Fig. 3). These BIM projects, called BIM Bronze project, may not have a 3D model, nevertheless they involve "machine readable" semantic information through COBie. IFC is an object-oriented data model of buildings which specifies physical or abstract items and relationship between them, to describe, exchange and share information. This structure was adopted as standard through ISO 16739 (2013), ISO 12006 (2007) and ISO 29481 (2010). To specify how information and processes must be mapped to IFC, the Model View Definition (MVD) is used. MDV (Model View Definition) allows to export a portion of the IFC in-

formation on a defined phase of the building process (e.g. structural design, system design, OM&R). Thus these tools are very effective to foster interoperability. One of the most common MVD in OM&R is the Construction Operations Building information exchange (COBie). COBie outlines a standardised methodology to collect information in the design and construction process, as part of the package delivered to the landlord, at the completion of the building. Accordingly, COBie shows a double advantage: it is a machine-readable protocol and can be compiled through a common spreadsheet interface (e.g. Microsoft Excel). Moreover, it had been developed to allow the integration in Computer Maintenance and Management Systems (CMMS), as well as in many other design and facility management software (Eastman, Teicholz et al., 2016).



02 | Numero di criteri nei più comuni rating system.

Number of criteria in the most common rating systems

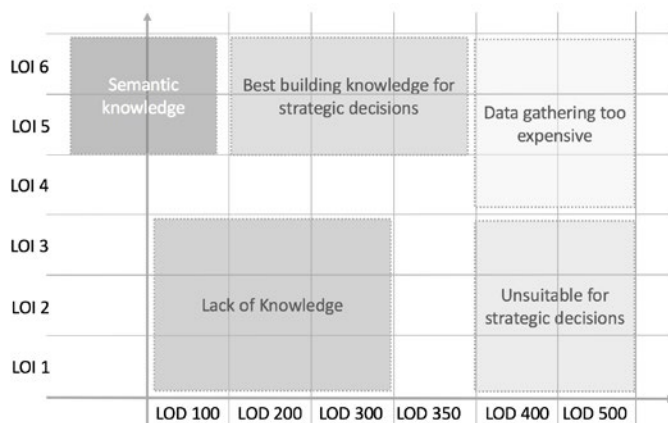
tica (BIM2BEM) e della procedura BIM-based facility management (Volk, Stengel et al., 2014). Per superare tale problematica, può essere sfruttato l'approccio "lean" adottato dal MoJ, che consiste nella promozione di un modello AIM iniziale con un livello di informazione geometrica molto basso, ma un alto contenuto semantico (Fig. 3). Questo progetto BIM, chiamato BIM Bronze, può non essere associato ad un modello 3D. Cionondimeno esso sfrutta l'informazione semantica "machine-readable" attraverso COBie.

IFC è un modello di dati object-oriented per gli edifici, che specifica entità fisiche o astratte e le relazioni tra di esse, al fine di descrivere, scambiare e condividere le informazioni. Questa struttura è stata adottata attraverso gli standard ISO 16739:2013, ISO 12006:2007 e ISO 29481:2010. Per specificare come le informazioni e i processi debbano essere mappati in IFC, viene utilizzata una Model View Definition (MVD), che permette di esportare parte delle informazioni IFC, relative, ad esempio, ad una determinata fase del processo edilizio (ad esempio la fase di progettazione strutturale, della progettazione degli impianti, di OM&R). Tali strumenti sono molto efficaci per favorire l'interoperabilità. Una delle MVD più comuni, nella fase di OM&R, viene chiamata Construction-Operation Building Information exchange (COBie). COBie fornisce una metodologia standardizzata per raccogliere le informazioni nella fase di progetto e di costruzione,

come parte del corredo informativo da consegnare alla proprietà quando l'edificio viene completato. Di conseguenza, COBie presenta un doppio vantaggio: è un protocollo machine-readable e allo stesso tempo può essere compilato attraverso un comune foglio di calcolo (ad esempio Microsoft Excel). Inoltre, esso è stato sviluppato per permettere l'integrazione in Computer Maintenance Management Systems (CMMS), come pure in molti altri software per la progettazione e il facility management (Eastman, Teicholz et al. 2016).

Per dimostrare l'interesse scientifico della ricerca, vengono di seguito riportate alcune recenti esperienze relative all'integrazione dell'approccio BIM con i requisiti di sostenibilità degli edifici (Wu e Issa, 2011). Cheng J.C.P e Das M. (2014) propongono uno schema di web service per la simulazione energetica e il code checking con il protocollo Green Building XML. I risultati della ricerca dimostrano che il protocollo IFC non ricalca perfettamente i requisiti di performance energetica; nonostante sembri essere il protocollo più adatto a questo scopo. Lei, X., Kang M. et al. (2015) investigano la possibilità di utilizzare IFC come supporto per i requisiti informativi di cinque energy benchmarking tools per edifici residenziali e non. I risultati di mostrano, in questo caso, che i requisiti vengono coperti dal 57% al 100% da IFC. El Asmi, E., Robert, S. et al (2015) evidenziano il ruolo chiave della MVD e la necessità di sviluppare una piattaforma

03 |



03 | Informazioni per la decisione strategica (LOD – Level of Detail; LOI – Level of Information).

Information for strategic decision (LOD – Level of Detail; LOI – Level of Information).

Some recent example of systems developed to match sustainability requirements through a BIM approach can be highlighted (Wu and Issa, 2011). Cheng J.C.P and Das M. (2014) developed a web service framework for energy simulation and code checking, in Green Building XML. They found that IFC protocol does not match properly the energy performance requirements, but still appears to be the most suitable for this purpose. Lei, X., Kang M., et al. (2015) investigated the possibility of using IFC to support the information requirement of five residential and non-residential energy benchmarking tools. The results show a coverage from 57% to 100% of requirements. El Asmi, E., Robert, S., et al. (2015) highlight the key role of MVD and the necessity of developing a more extensive and reliable platform to ease the information exchange. Ilhan, B., Yaman, H. (2016)

integrate a prototypical green building assessment tool according to BREEAM protocol in a BIM model. The so called Green Building Assessment Tool – GBAT helps in taking into account sustainability criteria in modelling a building. F. Jalaei, A. Jrade, (2015) developed a tool, that automates the calculation of costs associated to LEED certification, as well as identifies the correct certification type, thanks to a plugin mounted in a BIM software. All of them depict the BIM approach as intrinsically related to a 3D model. Moreover, the authors develop the tools through the customisation of existing instruments, or the creation ex novo of web based applications. Therefore, two issues emerge: the former concerns the possible loss of standardisation of interoperability protocols, the latter regards the choice of a single software to which tie the plugins implementation, that

più comprensiva ed affidabile per facilitare lo scambio di informazioni. Ilhan, B., Yaman, H. (2016) integrano un prototipo di green building assessment tool, basato sul protocollo BREEAM, in un modello BIM. Il cosiddetto Green Building Assessment Tool – GBAT aiuta a tenere in considerazione i criteri di sostenibilità nella modellazione dell'edificio. F. Jalaei e A. Jrade, (2015) hanno sviluppato uno strumento che automatizza il calcolo dei costi associati alla certificazione LEED e identifica il corretto tipo di certificazione, grazie ad un plugin installato in un software di BIM authoring.

Tutte le esperienze brevemente descritte sottintendono un approccio BIM intrinsecamente legato ad un modello 3D. Inoltre gli autori, sviluppano applicativi attraverso la personalizzazione di strumenti esistenti, o la creazione ex novo di piattaforme web. Pertanto emergono due questioni: la prima riguarda la possibile perdita di standardizzazione e interoperabilità dei protocolli, la seconda concerne la scelta di un singolo software al quale associare l'implementazione dei plugin, fatto che può diminuire significativamente la flessibilità degli strumenti. Per tentare di superare, almeno in parte, questi problemi e per fornire un'alternativa valida alle esperienze brevemente descritte sopra, nelle prossime pagine sarà presentato un approfondimento teorico ed un esempio illustrativo relativo ad un modello sviluppato attraverso l'uso della MVD COBie.

Un modello semantico per la gestione dei rating system

In questa ricerca vengono definite delle procedure BIM che permettono l'estrazione dei dati di rating durante la fase di progettazione, uso e dismissione. La gestione dei criteri dei rating

may decrease tools' flexibility. To overcome these shortcomings, in the next pages will be presented a theoretical insight on a model developed through the COBie MVD and an application to a illustrated example.

A semantic model for rating system management

In this research, BIM procedures allowing the extraction of rating data during the design, operation and disposition phases, will be defined. Managing rating systems criteria within a BIM model implies a double level of complexity: the definition of all the right BIM objects attributes to fulfil the criteria calculation procedures and new attributes' compliance with the current IFC schema. Furthermore, not all the attributes are already included in the IFC property sets, so some of them must be created.

Authors performed a preliminary survey on IFC, jointly with the CESBA new construction protocol, to create a map of criteria that can be computed with IFC parameters contained in property sets and associated to defined entities (Table 1). Approximately the 27% of criteria can be calculated with native IFC data. Of course it is possible to implement additional attributes in IFC, both in existing property sets or in new ones.

Table 1 shows that the IfcSpace entity has a great importance in CESBA, on the other hand, none of the attributes contained in IfcProject, IfcSite, IfcStorey, which are the major IFC entities, are useful for storing CESBA criteria values. The information stored in the attributes need further elaboration to compute the final value of the criteria, but this can be done separately through a specific algorithm.

system attraverso un modello BIM implica un doppio livello di complessità: la definizione di tutti i corretti attributi degli oggetti, necessari per eseguire la procedura di calcolo dei criteri e il mantenimento della conformità con il corrente schema IFC.

Gli autori hanno condotto un'analisi preliminare dello schema IFC, congiuntamente al protocollo CESBA New Construction, al fine mappare i criteri che possono direttamente essere computati attraverso i parametri IFC (contenuti nei property set delle relative entità) (Tabella 1). Approssimativamente, il 27% dei criteri può essere calcolato con dati IFC nativi. Ovviamente è possibile creare attributi aggiuntivi in IFC, in property set esistenti o creandone di nuovi.

La Tabella 1 illustra, inoltre, l'importanza dell'entità IfcSpace per il calcolo del rating attraverso il protocollo CESBA. Di contro, nessuno degli attributi contenuti in IfcProject, IfcSite, IfcStorey, ovvero le entità IFC maggiori, è utile a tale scopo. Le informazioni raccolte negli attributi necessitano di un'ulteriore calibrazione per computare il valore finale dei criteri. Tuttavia, tale operazione può essere condotta separatamente attraverso uno specifico algoritmo.

Per quanto riguarda il subset COBie dello schema IFC, il foglio "Attribute" può essere considerato il più rilevante ai fini di questa ricerca. Permette, infatti, di registrare in maniera estensiva dati riguardanti ogni entità dell'immobile, rendendo le informazioni leggibili e disponibili per effettuare tutti i calcoli necessari all'ottenimento del punteggio connesso ai criteri di sostenibilità.

Il foglio di calcolo in Fig. 4 permette di registrare dati circa: (1) l'attributo (Name, createdBy, CreatedOn, Category, Value, Unit, description, AllowedValue); l'oggetto (SheetName, RowName) e (3) il sistema utilizzato per creare ogni riga/oggetto (ExtSystem;

The sheet "Attributes" can be considered the most important for this research. It allows to insert extensive data about any entity of the facility in the IFC format, since information are readable and available to make calculations to achieve the points connected to sustainability criteria.

The spreadsheet in Fig. 4 allows to store data about: (1) the attribute (Name, createdBy, CreatedOn, Category, Value, Unit, description, AllowedValues); (2) the object (SheetName, RowName); and (3) the system used to create each row/object (ExtSystem; ExtObject; ExtIdentifier). The field "Description" could be used to insert the property set containing the attribute, to avoid ambiguity; "AllowedValues" can be used to insert the values coming from the IFC documentation (BuildingSMART, 2016).

The attribute spreadsheet shown is not

the only one to be used, as each object should be described and provided with a unique identifier and categorised with the IFC definition (e.g. objComponent, objFacility, objProject). Once building data are inserted into a COBie spreadsheet, they can be used to calculate the sustainability rating. This step has not been automatized so far, as it requires first the full definition of the CESBA criteria attributes in IFC. This requires the creation of additional property sets and attributes in IFC, so to be able to store both input and output of the calculation in COBie format.

Illustrated example

The illustrated example demonstrates the possibility to implement the relevant attributes into a lightweight COBie model, being able to store and share information in a standardised format. An example of COBie file, to calculate two

Tabella 1 | Mappatura dei criteri CESBA New Construction in IFC.
CESBA new construction criteria mapped with IFC.

CESBA New Construction criteria	IfcBuilding	IfcSpace	IfcObject	IfcMaterial
A3 – Bicycle Parking		5.4.4.18 Pset_SpaceParking ParkingUnits 5.4.4.13 Pset_SpaceCommon NetGrossArea		
B5 – Energetic optimization during the planning		5.4.4.19 Pset_SpaceThermalRequirements SpaceTemperature 6.2.4.24 Pset_SpaceThermalDesign VentilationAirFlowrate 6.2.4.25 Pset_SpaceThermalLoad TotalSensibleLoad, TotalLatentLoad, TotalRadiantLoad		
B6 – User information		5.4.4.16 Pset_SpaceLightingRequirements ArtificialLighting, Illuminance 5.4.4.19 Pset_SpaceThermalRequirements SpaceTemperature 7.5.4.88 Pset_SpaceThermalPHistory VentilationAirFlowrate	IfcShadingDevice 6.1.4.19 Pset_ShadingDeviceCommon ShadingDeviceType, IsExternal, MechanicalOperated, ...	
C6 – Differentiated documentation of Energy Consumption	6.2.4.27 Pset_ThermalLoadAggregate TotalCoolingLoad TotalHeatingLoad		IfcBoiler 7.5.4.8 Pset_BoilerPHistory AuxiliaryEnergyConsumption PrimaryEnergyConsumption	
C7 – Water consumption/ use of				IfcMaterialLayer LayerThickness

ExtObject; ExtIdentifier). Il campo “Description” potrebbe essere utilizzato per inserire il property set che contiene l'attributo. Per evitare eventuali ambiguità, “AllowedValues” può essere utilizzato per inserire valori derivanti dalla documentazione IFC (BuildingSMART, 2016).

Il foglio di calcolo degli attributi appena illustrato non è l'unico che può essere utilizzato, dato che ogni oggetto potrebbe essere descritto e caratterizzato con un unico identificativo IFC (ad esempio objComponent, objFacility, objProject). Una volta inseriti i dati relativi all'edificio nel foglio di calcolo COBie, essi possono essere utilizzati per computare il sustainability rating. Questo passaggio non è stato automatizzato sino ad ora, dato che richiede prima la totale definizione degli attributi dei criteri CE-

SBA in IFC. Ciò richiede, inoltre, la creazione di nuovi property set e attributi in IFC, così da poter registrare entrambi gli input e gli output della computazione in formato COBie.

Esempio illustrativo

L'esempio illustrativo dimostra la possibilità di calcolare il punteggio dei criteri di interesse attraverso un modello COBie semplificato, il quale permette di registrare e condividere informazioni in un formato standardizzato. Sarà quindi presentato un esempio di file COBie, per calcolare due importanti criteri del protocollo CESBA New Construction: i criteri B5 - Energy optimisation during the planning e C6 - Differentiated documentation of energy consumption, rispettivamente di 60 e 10 punti su 1000. La robustezza

important CESBA New Construction criteria will be presented: B5 – Energy optimisation during the planning and

C6 – Differentiated documentation of energy consumption, respectively 60 and 10 points out of 1000. The robust-

ness of the proposed procedure will be tested, highlighting missing parameters in IFC (according to criteria require-

ments of CESBA), jointly with potential and criticalities connected to the use of COBie as a means for the exchange and

Name	CreatedBy	CreatedOn	Category	SheetName	RowName	Value	Unit	ExtSystem	ExtObject	ExtIdentifier	Description	AllowedValues
Autore	sebastian	2016-12-	Approved	Facility	n/a	n/a	NUMBER	Autodesk	Autodesk	-1019005	n/a	n/a
BCA_Co	sebastian	2016-12-	Approved	Facility	n/a	0.5	NUMBER	Autodesk	Autodesk	633066	n/a	n/a
BCA_Da	sebastian	2016-12-	Approved	Facility	n/a	08/01/20	NUMBER	Autodesk	Autodesk	633068	n/a	n/a
BCA_Fa	sebastian	2016-12-	Approved	Facility	n/a	n/a	NUMBER	Autodesk	Autodesk	633070	n/a	n/a
BCA_Im	sebastian	2016-12-	Approved	Facility	n/a	1	NUMBER	Autodesk	Autodesk	633084	n/a	n/a
BCA_Ser	sebastian	2016-12-	Approved	Facility	n/a	0.25	NUMBER	Autodesk	Autodesk	633094	n/a	n/a
BCA_Site	sebastian	2016-12-	Approved	Facility	n/a	0.5	NUMBER	Autodesk	Autodesk	638530	n/a	n/a

04 | Esempio di foglio Attribute di COBie.
Example of COBie attribute sheet.

Name	FloorName	UsableHeight	GrossArea	NetArea
040_Keeper's flat	Ground Floor	2.7	16.48	16.48
038_Keeper's flat	Ground Floor	2.7	8.12	8.12
036_Keeper's flat	Ground Floor	2.7	9.95	9.95
041_Keeper's flat	Ground Floor	2.7	14.47	14.47
037_Keeper's flat	Ground Floor	2.7	4.78	4.78
039_Keeper's flat	Ground Floor	2.7	4.51	4.51

05 | Foglio COBie Space.

COBie Space sheet.

06 | Foglio COBie Attribute compilato con alcuni delle informazioni del criterio B5.

COBie Attribute sheet filled with some of the B5 information.

07 | Foglio degli attributi COBie compilato con alcuni dati del criterio C6.

COBie Attribute sheet filled with some of the C6 data.

della metodologia proposta sarà testata, evidenziando i parametri mancanti in IFC (in base ai requisiti dei criteri del protocollo CE-SBA), congiuntamente a potenziali criticità connesse all'uso di COBie come mezzo di scambio e di raccolta dei dati. I risultati preliminari saranno d'aiuto nell'affinamento del modello e per fornire le basi dei prossimi sviluppi della ricerca.

Il criterio CESBA B5 richiede molte informazioni circa l'immobile, le quali dovrebbero essere aggiornate durante tutto il suo ciclo di vita. Un modello COBie (o BIM-Bronze, secondo la definizione del MoJ) permette, quindi, di tracciare i cambiamenti durante la fase di uso dell'edificio. In primo luogo, i nomi degli spazi in analisi sono stati inseriti nel foglio "Space" del COBie, come si può riscontrare in Fig. 5 (alcune colonne sono state omesse, solo per una maggiore chiarezza).

Tutti gli spazi possono essere elencati nei record. Quanto appena descritto è la base per computare gli attributi utili al raggiungimento del punteggio del criterio B5. Nella Fig. 6 il foglio "Attribute" COBie viene compilato con alcune delle informazioni necessarie.

Lo stesso attributo può essere connesso a molti spazi (ad esempio due in Fig. 6) e può essere, inoltre, modificato nel tempo, permettendo più compilazioni del singolo campo. Ciò risulta rilevante nel caso in cui si debba monitorare la performance energetica, per la gestione delle operazioni di manutenzione e la conservazione delle informazioni ad esse associate. Gli indicatori sintetici di performance energetica, con il property set corretto (nell'ultima colonna) permettono di ottenere alcuni dei punti del criterio B5. Sfortunatamente, non tutte le informazioni per raggiungere i 60 punti sono presenti in IFC (ad esempio il criterio "Examining the energetic aspects of the offers regarding the requirements given in the tendering"). È dunque necessario personalizzare alcuni attributi.

Il criterio C6 necessita di disporre di informazioni a differenti livelli. In Fig. 7 le informazioni relative all'edificio ("facility" in COBie) e ai sistemi meccanici ("component") sono salvate rispettivamente in IfcBuilding e IfcBoiler.

Le informazioni riportate in Fig. 7 permettono, inoltre, di estrar-

Name	CreatedOn	SheetName	RowName	Value	Unit	Description
SpaceTemperature	08/12/16	Space	040_Keeper's flat		°C	5.4.4.19 Pset_SpaceThermalRequirements
VentilationAirFlowRate	08/12/16	Space	040_Keeper's flat		m³/s	6.2.4.24 Pset_SpaceThermalDesign
TotalSensibleLoad	08/12/16	Space	040_Keeper's flat		W	6.2.4.25 Pset_SpaceThermalLoad
TotalLatentLoad	08/12/16	Space	040_Keeper's flat		W	6.2.4.25 Pset_SpaceThermalLoad
TotalRadiantLoad	08/12/16	Space	040_Keeper's flat		W	6.2.4.25 Pset_SpaceThermalLoad
SpaceTemperature	09/12/16	Space	038_Keeper's flat		°C	5.4.4.19 Pset_SpaceThermalRequirements
VentilationAirFlowRate	09/12/16	Space	038_Keeper's flat		m³/s	6.2.4.24 Pset_SpaceThermalDesign
TotalSensibleLoad	09/12/16	Space	038_Keeper's flat		W	6.2.4.25 Pset_SpaceThermalLoad
TotalLatentLoad	09/12/16	Space	038_Keeper's flat		W	6.2.4.25 Pset_SpaceThermalLoad
TotalRadiantLoad	09/12/16	Space	038_Keeper's flat		W	6.2.4.25 Pset_SpaceThermalLoad

06 |

Name	SheetName	RowName	Value	Unit	Description
TotalCoolingLoad	Facility	Keepers's house		W	6.2.4.27 Pset_ThermalLoadAggregate
TotalHeatingLoad	Facility	Keepers's house		W	6.2.4.27 Pset_ThermalLoadAggregate
AuxiliaryEnergyConsumption	Component	IfcBoiler		W	7.5.4.8 Pset_BoilerPHistory
PrimaryEnergyConsumption	Component	IfcBoiler		W	7.5.4.8 Pset_BoilerPHistory

07 |

re reportistiche utili per comparare i consumi energetici attuali con i valori previsti.

Discussione

Il modello COBie semplificato agevola l'approccio per la valutazione di edifici esistenti, nel caso di interventi di riqualificazione, permettendo la redazione di dizionari ontologici finalizzati alla connessione delle informazioni derivanti da database esistenti al modello COBie in quanto: (1) il modello 3D e la cloud point survey non è necessaria; (2) è possibile organizzare efficientemente le informazioni disponibili in una struttura semantica; (3) può essere facilmente arricchito nel corso del tempo e connesso a specifiche necessità e obiettivi (ad esempio lo sviluppo di un modello 3D); (4) può essere facilmente trasferito in un modello BIM 3D una volta creato. La metodologia proposta è un approccio semplificato per il rating degli edifici, che permette di ottenere i report di sostenibilità e di migliorare il processo decisionale durante l'intero ciclo di vita dell'asset. Come menzionato nel secondo paragrafo, quella proposta non deve essere intesa come l'unica possibile metodologia, ma come la migliore e la più efficiente messa a punto dagli autori per raggiungere lo scopo di questa ricerca.

Discutendo i risultati del lavoro, possono essere messi in luce anche alcuni aspetti critici. In primo luogo si può affermare che, nonostante IFC sia un protocollo comprensivo della maggior parte delle informazioni relative all'ambiente costruito, alcuni criteri CESBA NC non possono essere mappati in esso. Per questo motivo sembra opportuno creare nuovi property set per ottenere una maggiore efficacia nella computazione del punteggio finale. Infine, per quanto riguarda il calcolo di alcuni criteri relativi ai parametri, IFC non permette sempre di ottenere direttamente il

valore desiderato. È, pertanto, necessaria una computazione matematica che necessita di un approfondimento ulteriore, al fine di ottenere un adeguato livello di automazione.

Conclusioni

Questa prima applicazione del modello COBie per il calcolo di un rating system dimostra le potenzialità che risiedono nell'uso di protocolli machine e human readable per il calcolo automatico del punteggio dei sistemi di sustainability rating. Con l'intento di rendere la metodologia proposta il più possibile condivisibile e nella prospettiva di ottimizzare i processi di scambio delle informazioni, si è scelto di utilizzare il rating system più diffuso e una delle più comuni MVD. Si nota, però, che l'applicazione della procedura BIM Bronze del MoJ deve essere sostenuta da un'accurata mappatura dei criteri CESBA nel protocollo IFC, al fine di fornire solide analisi e valutazioni. Non tutti i criteri in analisi possano essere rintracciati in IFC, ma possono comunque essere creati in specifici property set. Cionondimeno, c'è una grande quantità di lavoro da compiere al fine di rendere tutte le informazioni rilevanti conformi ai requisiti del protocollo IFC.

REFERENCES

- Álvarez Antón, L., Díaz, J. (2014), "Integration of life cycle assessment in a BIM environment", *Procedia Engineering* Vol. 85, pp. 26-32.
- BuildingSMART (2016), IFC4 Documentation. Available from <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/> (accessed: June, 2016).
- Cheng, J.C.P., Das, M. (2014), "A BIM-based web service framework for green building energy simulation and code checking", *Journal of Information Technology in Construction*, Vol. 19, pp. 150-168.

storage of data. These preliminary results will help in tuning the model and in providing the basis to continue this research.

Moreover, the CESBA B5 criterion requires many information about the building that should be updated during its life cycle. A COBie model (or BIM-bronze model in MoJ definition) allows to track changes during building operation. First of all, the spaces under monitoring have been inserted in the COBie Space sheet, as can be seen in Figure 5. Some of the columns have been hidden in the picture just for visualisation purposes.

As can be seen, all the spaces can be listed in rows. This is the basis for associating relevant attributes to achieve the points of the criteria B5. In Figure 6 the COBie Attribute sheet is filled with some of the information needed.

The same attribute can be connected to

many spaces (two in Fig. 6) and it can even change during the time, allowing more entries of the single value over the time. This is relevant in case of energy monitoring, but also for maintenance operations data backup. The synthetic indicators of energy performance, with the correct property set (in the last column) allow to achieve some of the points of the B5 criterion. Unfortunately, not all the data needed to achieve the 60 points are natively present in IFC (e.g. "Examining the energetic aspects of the offers regarding the requirements given in the tendering"). The creation of some custom attributes and property sets is needed.

The C6 criterion needs information at different levels to be achieved. In Fig. 7 information related to the building (facility in COBie) and to mechanical equipment (component) are saved respectively in IfcBuilding and IfcBoiler.

The information stored in Fig. 7 allows to produce reports, to compare actual energy consumptions with predicted values.

Discussion

The lightweight COBie models ease the approach to existing buildings evaluation and refurbishment, allowing the creation of dictionaries and ontologies, in order to connect information from existing databases to COBie data models because: (1) a 3D model and cloud points survey is not needed; (2) they permit to effectively organise the available information in a semantic structure; (3) they can be easily enriched during time and connected to specific needs and targets (e.g. development of the 3D model); (4) they can easily be transferred into a 3D BIM model once it is created. Moreover, the proposed procedure can be considered as a lean

approach to building rating, since it enables sustainability reporting and improved asset management decision making during the whole building lifecycle. As mentioned in the second paragraph, this is not the only possible methodology to achieve the purpose of the research but, it is the best suitable, if compared to other more articulated and expensive processes (e.g. TLS cloud point modelling; photogrammetric surveys).

Discussing the work results, can also be spotted some limits of the approach. At first, it must be pointed out that, despite being IFC protocol a good overarching data format, some criteria of CESBA NC protocol cannot be mapped through it. Thus it is necessary the creation of new IFC property sets to be more effective in computation of the final score of the rating protocol. Lastly, not all the criteria's parameters can be di-

Cho, Y.K., Ham, Y. and Golpavar-Fard, M. (2015), "3D as-is building energy modelling and diagnostics: A review of the state-of-the-art", *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 29, pp. 184-195.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Liston, K. (2016), *Il BIM: guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*, ed. it. a cura di Giuseppe Martino Di Giuda e Valentina Villa, Hoepli, Milano.

El Asmi, E., Robert, S., Haas, B. and Zreik, K. (2015), "A standardized approach to BIM and energy simulation connection". *International Journal of Design Sciences and Technology*, Vol. 21, No. 1, pp. 59-82.

Golabchi, A., Kamat, V.R. (2013), "Evaluation of industry foundation classes for practical building information modelling interoperability". *30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, Held in Conjunction with the 23rd World Mining Congress*.

Hyatt, B.A. (2011), "A Case Study in Integrating Lean, Green, BIM into an Undergraduate Construction Management Scheduling Course". *Proceeding of the 47th ASC Annual International Conference*.

Ilhan, B., Yaman, H. (2016), "Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions", *Automation in Construction*, Vol. 70, pp. 26-37.

International Organization for Standardization (2007), ISO 12006-3:2007, Building construction - Organization of information about construction works - Part 3: Framework for object-oriented information - First Edition.

International Organization for Standardization (2010), ISO 29481-1, Building information modelling - Information delivery manual - Part 1: Methodology and format.

International Organization for Standardization (2013), ISO 16739. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries - First Edition.

Jalaei, F., Jade, A. (2015), "Integrating building information modelling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings", *Sustainable Cities and Society*, Vol. 18, pp. 95-107.

rectly matched through IFC, therefore in some cases it is necessary a mathematical computation, which requires a further endeavour to achieve a proper level of automation.

Conclusion

This first application of COBie in rating system calculation shows the potentialities in the use of a machine and human readable protocol for automatic score calculation according to CESBA protocol. The choice of the most comprehensive rating system and one of the most common MVD for the development of the model, is an optimisation attempt of the sharing attitude of the proposed methodology. In spite of that, the application of MoJ BIM Bronze procedure must be backed in an accurate mapping of CESBA criteria in IFC protocol, in order to provide strong evaluations and analysis, despite

not all the criteria of the rating system under analysis can be traced in IFC protocol. Nevertheless, there is a great amount of work to be done to make all the relevant information standardised with the IFC format.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors would like to express their deepest gratitude to PhD Arch. Lavinia Chiara Tagliabue for her great support during this work. We would like to thank also Simone Ciuffreda for his help.

Komeily, A., Srinivasan, R.S. (2015), "A need for balanced approach to neighbourhood sustainability assessments: A critical review and analysis", *Sustainable Cities and Society*, Vol. 18, pp. 32-43.

Kymmel, W. (2008), *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. The Mc-Graw Hill Companies, New York.

Lei, X., Kang M., Akinci, B. and Bergés, M. (2015), "Assessment of Industry Foundation Classes (IFC) in Supporting Building Energy Benchmarking", *Proc. of the 32nd CIB W78 Conference 2015, 27th-29th 2015, Eindhoven, The Netherlands*.

Maltese, S., Tagliabue, L.C., Re Cecconi, F., Pasini, D., Manfren, M. and Ciribini, A.L.C. (2016), "Sustainability Assessment through Green BIM for Environmental, Social and Economic Efficiency", *International High-Performance Built Environment Conference - A Sustainable Built Environment Conference 2016 Series (SBE16)*, iHBE 2016.

Ministry of Justice - MoJ, Home Office, Crown Prosecution Service - CPS (2016), BIM2AIM quick start guide, available from: <https://download.4projects.com/document/publicfiles.aspx?RevisionID=20540548-3a20-4020-9f1e-362072511851>, (accessed: October, 2016).

O'Keeffe, S.E. (2012), "Developing 6D BIM Energy Informatics for GDL LEED IFC Model Elements", *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul*, Turkey, July 3-6, 2012.

SmartMarket Report (2010), *Green BIM - How Building Information Modelling is contributing to green design and construction*, McGraw-Hill Construction, Bedford.

Tagliabue, L.C., Manfren, M. (2016), "Sustainability indicators for buildings: network analysis and visualization", *Sustainable Built Environment (SBE) Regional Conference*, Zurich, June 15-17 2016.

Volk, R., Stengel, J. and Schultmann, F. (2014), "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs". *Automation in Construction*, Vol. 38, pp. 109-127.

Wang, C.K. Cho, Y.K. and Kim, C. (2015), "Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications", *Automation in Construction*, Vol. 56, pp. 1-13.

Wong, J.K.W., Zhou, J. (2015), "Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review", *Automation in Construction*, Vol. 57, pp. 156-165.

Wu, W., Issa, R.R.A. (2010), "Feasibility of integrating building information modeling and LEED® certification process". *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Nottingham UK.

Wu, W., Issa, R.R.A. (2011), "BIM Facilitated Web Service for LEED Automation", *International Workshop on Computing in Civil Engineering 2011*, June 19-22, 2011, Miami, Florida, United States, pp. 673-682.

ACKNOWLEDGMENT

Gli autori ringraziano sentitamente L'Arch. Ph.D. Lavinia Chiara Tagliabue per il suo grande supporto nella ricerca. Si ringrazia, inoltre, Simone Ciuffreda per l'aiuto.