

# The role of semantic enrichment in Building Information Modelling

Davide Simeone\*, Stefano Cursi

---

## Highlights

In its application to design phases, BIM has progressively shown limits in terms of the spectrum of representation and efficiency of supporting collaboration. A possibility of overcoming these limits can be found in the enhancement of the level of the semantics of BIM, in order to represent knowledge rather than information. A way to reach this shift in the modelling approach is by integrating BIM template with semantic web technologies, providing a more structured system of interconnected information.

---

## Abstract

In current application of Building Information Modelling to building design processes, two main limits have emerged: 1) restricted representation spectrum and 2) inefficiency in supporting collaboration because of the low-level semantics shared among the actors. The objective of this paper is to provide a conceptual framework about these two relevant aspects of collaboration in BIM methodology, as well as to demonstrate the necessity of moving from modelling approaches based on information to innovative representation systems based on knowledge.

---

## Keywords

Building design process, BIM, Knowledge-based systems, Collaborative design, Semantics

---

## 1. BUILDING INFORMATION MODELLING AND SEMANTICS

Since its introduction in 1992 – the year of publishing of the well-known paper by Charles Eastman in *Automation in Construction*, the Building Information Modelling (BIM) has relied on the principle of the development of a virtual and multidisciplinary model of the building, where geometry representation could be enriched by information oriented to design, construction, maintenance and management of the building itself.

While in the field of Architecture, Engineering and Construction (AEC) field research has progressively added new dimensions to the BIM paradigm (time in the 4D BIM, costs in the 5D BIM and facility management in the 6D BIM), the topic of the BIM semantic enrichment – meant as the quality of the information represented in the model, its accessibility, its interpretation



Vol. 2, No. 2 (2016)

### Davide Simeone

DICEA - Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale, Sapienza Università di Roma, via Eudossiana 18, 00184, Italia

### Stefano Cursi

DICEA - Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale, Sapienza Università di Roma, via Eudossiana 18, 00184, Italia

\* Corresponding author  
e-mail:  
[davide.simeone@uniroma1.it](mailto:davide.simeone@uniroma1.it)

and its use – is still partially uninvestigated [1]. *The BIM effect*, meant as the widespread of the BIM paradigm in the AEC field, has just made things worse: if on one side models are increasing in terms of information amount, on the other a conceptual and methodological approach oriented to an effective knowledge sharing among the actors involved in the building design process, is still missing. Therefore, the Building Information Modelling is an extremely pervasive but still blurred topic, since the ambiguity between the aimed global control of the process and the will of representing the design (meant as the product, the building) in its conceptual and technological features, is still unsolved. As stated in the British Standard normative (as well known, UK is probably the country that is pushing harder the role of BIM in the AEC sector), a building information model is mainly a tool for the management of the building process from the design phase to the construction, the management and use ones, rather than the result of a collaborative process. In this context, the BS PAS 1192:2 states: In a collaborative working environment, teams are asked to produce information using standardized processes and agreed on standards and methods, to ensure the same form and quality, enabling information to be used and reused without change or interpretation. If an individual, office or team changes the process without agreement, it will hinder collaboration – a participant insisting on “my standard” is not acceptable in a collaborative working environment”. In fact, support for collaboration is one of the aspects less solved in the BIM approach and, as a consequence, it hinders its optimal application to the building design process, especially in the early phases. In the building design process, the necessity of collaboration derives from the compresence of a variety of specialists from different disciplinary fields (defined as actors), each of them with her/his own cultural and professional background. Each of them requires to develop the design solution from its own discipline perspective, to abstract it in order to make it understandable to the others actors involved in the process and to share and communicate it to them. Therefore, design collaboration relies on the ability of each actor to integrate into its disciplinary and cultural domain the design solutions provided by the other specialists, and to evaluate both their impact on its solution and the quality of their integration, detecting errors and suggesting improvements. Knowledge, its sharing and its management in the design process are crucial elements in the effectiveness of a collaborative design such as the architectural one. As a consequence, in the current AEC context, so pervaded by the Information and Communication Technologies (ICT), knowledge representation cannot be implicit, in the head of the single actor, but has to be formalized and codified in order to make it completely

## **1. BIM E SEMANTICA - INQUADRAMENTO**

*Sin dalla sua introduzione nel 1992 – data dell'ormai celebre articolo di Charles Eastman su Automation in Construction, il Building Information Modelling (BIM) ha avuto come principio fondante la costruzione di un modello virtuale dell'edificio multidisciplinare e multidimensionale in cui la rappresentazione geometrica fosse arricchita da informazioni utili al processo di definizione, costruzione, manutenzione e gestione del manufatto stesso.*

*Mentre la ricerca nel campo dell'AEC ha progressivamente aggiunto dimensioni al paradigma BIM (quella della gestione dei tempi di costruzione nel BIM 4D, quella di gestione dei costi nel 5D, quella del facility management nel 6D), il tema dell'arricchimento semantico, ovvero della qualità dell'informazione inclusa nel modello, della sua accessibilità, della sua interpretazione e infine del suo uso è ancora solo parzialmente inesplorato [1]. L'effetto BIM, inteso come la dirompente diffusione del paradigma BIM nel mondo delle costruzioni, ha solo accentuato tale problematica: se da un lato i modelli si arricchiscono sempre più di informazioni, dall'altro manca un approccio concettuale e metodologico teso a far sì che tale conoscenza sia scambiata in modo efficace tra i vari specialisti coinvolti nel processo di progettazione di un edificio.*

*Il BIM, inteso come metodo, è perciò un argomento fortemente pervasivo, ma al tempo stesso sfuggente, in quanto si dibatte nell'ambiguità non ancora risolta tra l'aspirazione al controllo globale del processo e la ricerca della capacità tecnica (e culturale) di rappresentare il 'prodotto' in tutte le sue componenti concettuali oltre che tecniche. Che un modello di un edificio espresso attraverso il BIM non si realizzi attraverso la collaborazione progettuale, ma sia fondamentalmente uno strumento per la gestione del processo edilizio, dalla costruzione alla manutenzione e all'uso, viene confermato dalla stessa normativa dei British Standard (la Gran Bretagna è il Paese che spinge di più in Europa per l'impiego del BIM nella gestione del settore delle costruzioni): la norma BS PAS 1192:2 recita: “Si richiede ai gruppi di operatori di produrre informazioni usando processi standardizzati insieme a standard e metodi convenuti in modo da assicurare la stessa forma e qualità, consentendo di usare e riusare la medesima informazione senza cambiamenti o interpretazioni. Se un individuo, un gruppo o un ufficio modifica il processo senza accordi, ostacolerà la collaborazione. Un soggetto che insista sul 'mio' standard non è accettabile in un ambiente collaborativo”.*

*Il supporto alla collaborazione è, appunto, uno degli aspetti che meno sono risolti nel BIM e che, di conseguenza, ne limitano il reale utilizzo nel mondo della progettazione edilizia. Nel processo edilizio la necessità di collaborazione trae origine dalla presenza simultanea di una molteplicità di progettisti specializzati in differenti campi disciplinari (che chiamiamo attori) caratterizzati da differenti estrazioni*

and unambiguously “computable”. At present, BIM still shows limits in this perspective, especially if applied in the early phases of the building design process.

## 2. REPRESENTATION SPECTRUM AND SUPPORT TO COLLABORATION IN BUILDING INFORMATION MODELLING

In the analysis of the relationship between BIM and design process, two main limits can be clearly identified in the current BIM methodology: 1) restricted representation spectrum and 2) inefficiency in supporting collaboration.

The first component is derived from the nature of the BIM process, and from its transfer from the scope of the industrial production to the AEC field. In fact, the objective of Building Information Modelling is the coherent and consistent representation of the object resulting from the design process – the building- from the perspective of its constructability. Therefore, the application domain of BIM is the one of the product or, to be more precise, of its subdomain that is the system of its physical and technological components. This has actually been a mixed blessing for the BIM introduction in the AEC world. While BIM methodologies ensure an effective control on the object defined in the design process, on quantities and typologies of the construction elements (with all the related management advantages during the entire cycle of life), it leaves out from the representation spectrum a large amount of knowledge and information used and shared by the different actors and that essentially contribute to its configuration and articulation. In this perspective, the BIM process is quite similar to a mathematics problem where, during its solving, we lose trace of hypothesis, variables, and solution choices, and just a mute and hermetic result remains. The loss of those elements makes quite difficult to intervene in an efficient way on the design (not only during the design phases) since motivations and knowledge about the design choices are lost during the design process. The limitation of the BIM representation spectrum relies on the exclusion from the representation domain of knowledge areas that are fundamental in the process of definition of the building as basis and motivations of the design choices. The loss of this knowledge – that encompasses users, use, and context meant in a broad sense – reduces the efficiency of the BIM approach during the design phase, limiting its role to supporting only the final phases of documentation and representation of the final design solution. The second component – the inefficiency on supporting collaboration – is related to this aspect: design collaboration, in fact, relies

*culturali e professionali. Ciascuno di essi deve essere in grado di studiare dal proprio punto di vista la propria soluzione progettuale, di generalizzarla in modo tale da renderla comprensibile a ogni altro attore coinvolto nel processo e, infine, di trasferirla a ciascuno di essi. La collaborazione progettuale risiede quindi nella capacità di ogni attore di integrare nel proprio dominio disciplinare e culturale le soluzioni degli altri specialisti e di giudicare sia gli effetti che queste hanno sulla propria soluzione sia la validità dell'insieme integrato delle soluzioni, individuandone le inconsistenze e/o suggerendo proposte. La conoscenza, il suo scambio e la sua gestione nel processo edilizio sono elementi cardine nel successo di un processo collaborativo quale quello di definizione di un organismo edilizio. Ne consegue però che, in un contesto quale quello attuale, così pervaso dall'ICT, la rappresentazione della conoscenza posseduta dagli attori non può più essere implicita, 'nella testa' del singolo operatore, ma deve essere formale e codificata affinché sia interamente e non ambigualmente 'computabile'. In questo il BIM mostra ancora i suoi limiti, specialmente se applicato nelle fasi iniziali del processo progettuale.*

### **2. SPETTRO RAPPRESENTATIVO E SUPPORTO ALLA COLLABORAZIONE NEL BUILDING INFORMATION MODELING**

*Nell'analisi del rapporto tra BIM e processo di progettazione risultano chiari due principali limiti della attuale metodologia BIM, definibili come limitatezza dello spettro rappresentativo e inefficacia del supporto alla collaborazione. La prima componente è legata alla natura stessa del processo BIM e alle origini del suo trasferimento dal mondo della produzione industriale a quello dell'edilizia. Il Building Information Modelling, infatti, ha come obiettivo la rappresentazione, coerente e dettagliata in tutte le sue parti, dell'oggetto risultante dal processo progettuale – l'edificio – dal sostanziale punto di vista della sua costruibilità. Il dominio applicativo del Building Information Modelling è quindi quello del prodotto o, addirittura, un sottodominio, quello delle componenti fisico-tecnologiche che lo compongono. Questo aspetto è, al contempo, croce e delizia dell'introduzione del BIM nel mondo dell'edilizia. Se da un lato il BIM assicura un controllo maggiore sull'oggetto definito nel processo progettuale, sulle quantità e le tipologie di elementi costruttivi utilizzati (con tutti i relativi vantaggi gestionali nell'intero ciclo di vita), dall'altro esso lascia fuori dalla rappresentazione un'enorme area di conoscenza e informazioni utilizzata e scambiata dai vari attori e che, di fatto, è alla base della sua configurazione e articolazione. In quest'ottica, il processo BIM è simile a un problema di matematica in cui, nel corso della sua risoluzione, si siano perse ipotesi, variabili e scelte risolutive, e sia rimasto solo il muto ed ermetico risultato. La perdita di tali elementi rende impossibile intervenire in modo*

on sharing of knowledge regarding the process of generation of the design solution; the sole information sharing allowed by BIM, often confused with interoperability, is a useful but not sufficient condition to ensure the mutual comprehension and collaboration among the different actors involved in the design process. It is necessary instead of an adequate sharing of knowledge, meant as a structure of information, concepts, and relationships, that allow comprehending the information within its own interpretative context. From a sharper analysis, the main difference can be found in the role of the knowledge related to BIM and the one related to the design process: in the first case it is the knowledge related to the design and to the operations that can be performed on it, in the second case to knowledge to design.

In addition, it is necessary to clarify that, at the current state, the semantic level of BIM representation is still quite low since data are essentially linked to “labels” rather than to concepts and their definition modalities, that remain in the designers’ “head”, still reducing the collaborative capabilities of the process.

Although The BIM has been introduced as a possible and necessary support to the design phase, its evolution in the last twenty years has translated its application domain, moving it towards the detailed design and its documentation (a more limited context than the design process) and to verification of validation of design. The clearer demonstration of this domain shift can be found in the building process: the BIM, with its different features, has been pervasive in the sectors of construction and facility management while the design area has been only partially affected by the BIM effect.

If an information model of this kind is not sufficient for the building design, is it possible to develop a model able to support the design decisions of the different actors involved in the design as well as their collaboration?

### 3. THE ROLE OF SEMANTIC ENRICHMENT IN BUILDING INFORMATION MODELLING

As previously shown, the key point is the translation from a model based on information to a model based on knowledge, aiming at not considering the building model only as a sort of information database (often extremely rich in information but not manageable) but at focusing on how knowledge (meant as correct comprehension of the information through its interpretative context) can be shared during the design process. Therefore, it is not crucial a global representation of the object but the attention to have each actor receiving only the information necessary for her/his decisions and the informative context

*davvero efficace sull'organismo edilizio (non solo in fase di progetto) in quanto le motivazioni e la conoscenza concernente, le scelte progettuali sono ormai perse nel percorso di progettazione. La limitatezza dello spettro rappresentativo risiede proprio in questo: il BIM esclude dalla rappresentazione intere aree di conoscenza che invece sono fondamentali nel processo di definizione dell'edificio in quanto base e motivazione delle scelte progettuali. La perdita di tale conoscenza - che spazia dall'utenza al contesto inteso nella sua forma più ampia - riduce l'efficacia dell'approccio BIM in fase di progetto, relegandolo a un effettivo ruolo di supporto solo nella fase finale di documentazione e rappresentazione della soluzione progettuale finale. L'inefficacia del supporto alla collaborazione è inevitabilmente correlata a questo aspetto: la collaborazione nel design, infatti, ha alla sua base la condivisione di conoscenza relativa al processo di genesi della scelta progettuale stessa; la semplice condivisione di informazioni permessa dal BIM, definita spesso come interoperabilità, è condizione utile ma non sufficiente a garantire la mutua comprensione tra i vari attori coinvolti nel processo progettuale e la loro collaborazione. È invece necessario un adeguato scambio di conoscenza, intesa come struttura di informazioni, concetti e relazioni, che permettano di comprendere l'informazione all'interno del suo effettivo contesto interpretativo. A un'analisi più attenta, una fondamentale differenza si riscontra nel ruolo della conoscenza riferita al BIM rispetto a quella necessaria nel processo di progettazione. Nel primo caso si tratta della conoscenza del prodotto progettato, necessaria per le operazioni che su questo devono compiersi; nel secondo, si tratta della conoscenza per progettare. Va ancora rilevato che allo stato attuale la conoscenza espressa nel modello BIM è di basso livello semantico, in quanto ai dati sono riferite essenzialmente delle “etichette” anziché i concetti e le modalità con cui questi sono stati definiti, che restano interamente “nella testa” dei progettisti: fatto questo che ancor più riduce la capacità collaborativa. Nonostante il Building Information Modelling sia stato introdotto come un possibile e quanto mai necessario supporto alla fase di progetto, la sua evoluzione negli ultimi venti anni ha fortemente traslato il suo ambito di applicazione, spostandolo verso quello della documentazione dettagliata della soluzione progettuale (contesto molto più limitato rispetto a quello del Progetto) e alla verifica della sua coerenza e consistenza. La dimostrazione più evidente di tale domain shift arriva in questo caso proprio dal mondo dell'edilizia: il Building Information Modelling, nelle sue diverse accezioni, ha ormai pervaso i settori della Produzione Edilizia e del Facility Management mentre l'area del progetto ha invece subito solo parzialmente l'onda d'urto del cosiddetto effetto BIM. Se quindi un modello informativo di questo tipo non è sufficiente per la progettazione edilizia, è davvero possibile costruire un modello che sia*

necessary for its interpretation and comprehension. The utopia of a central model that can be endlessly extended and built relying on very rigid common standards (i.e. the IFC) leaves space to a peer to peer system where the representation that is exchanged and shared is actually reduced to the essential (a lean model) but where knowledge sharing is managed in a more effective way. All this process requires a different modelling philosophy that does not focus just on the technological components of the building (as in current BIM) but raises the semantic level of the representation by formalizing and managing concepts networks that are related to the definition of those components. This choice allows overcoming the previously presented two limits of current BIM in design processes. Modelling concepts and relationships among them it is possible to include in the representation any knowledge element that is useful for the design. At the same time, by operating on concepts, it is possible to manage the semantic level of representation in order to ensure to each actor the possibility to access and effectively use the knowledge needed. In this way, specialists can fully comprehend the design choices of the other actors and, therefore, collaborate in a more efficient way towards a shared design with an improved quality. These considerations, that has been formalized in the last 15 years by research in the field of BIM, lead to the necessity of overcoming the actual representation limits of BIM by moving towards different knowledge-based systems [2] [3] [4] [5]. In particular, the best opportunities for the BIM semantic enrichment can be found in the integration of BIM representation structures with theories, methods, and applications derived from the semantic web. In fact, these are based on the construction of networks of concepts and relationships in order to decompose and formalize knowledge, associating information to its interpretative context and making it computable, that is an essential feature in the CAAD world. Since their introduction in the Artificial Intelligence field in the early 70s, semantic networks have been considered an essential paradigm for the formalization of knowledge and representation of relationships among concepts, based on a formal logic, to favor and bind their interpretation (that is crucial for a system oriented to collaboration. But rather than referring to semantic networks, it is correct to refer to a methodological approach to knowledge representation since today different definitions are already available, although influenced by the knowledge domain considered. According to this methodological approach, over the past thirty years, different techniques and construction tools of these semantic networks have been proposed and used. Without going to list them, it is useful to introduce what has been mainly applied (even if experimentally) to the field of building design, namely ontologies. In the ICT field, particularly in the study of artificial

*in grado di supportare le decisioni dei vari attori coinvolti nel progetto e la loro collaborazione? E su cosa dovrebbe fondarsi tale modello?*

### **3. IL RUOLO DELL'ARRICCHIMENTO SEMANTICO NEL BUILDING INFORMATION MODELING**

*Come evidenziato in precedenza, la chiave è appunto nel passaggio da un modello basato sulle informazioni a uno basato sulla conoscenza, ovvero nel non limitarsi a trasformare il modello dell'edificio in una sorta di database di informazioni (spesso talmente ricco da risultare non gestibile), ma nel concentrarsi, invece, su come la conoscenza, intesa come comprensione dell'informazione attraverso il suo corretto contesto interpretativo, possa essere condivisa durante il processo progettuale. Non quindi il raggiungimento di una rappresentazione onnicomprensiva dell'oggetto ma l'attenzione affinché ogni attore riceva solo e soltanto le informazioni utili ai propri processi decisionali e il contesto necessario per la corretta interpretazione e comprensione. L'utopia di un modello centralizzato infinitamente esteso e magari costruito su rigidi standard comuni (ad esempio l'IFC) lascia il posto così a un sistema peer to peer dove la rappresentazione scambiata e condivisa è ridotta all'essenziale (un modello lean, appunto), ma dove lo scambio di conoscenza è gestito in modo più efficace e finalizzato.*

*Tutto questo passa però anche per una differente filosofia di modellazione che non si concentra più sulle componenti tecnologiche dell'edificio (come nell'attuale BIM), ma innalza il livello semantico della rappresentazione andando a formalizzare e gestire delle reti di concetti cui sottende la definizione di tali componenti. Questa scelta permette al contempo di risolvere due dei limiti del Building Information Modelling, ovvero la limitatezza del dominio rappresentativo e quella del supporto alla collaborazione. Modellando i concetti e le loro relazioni è possibile includere nella rappresentazione ogni elemento di conoscenza utile al progetto, prescindendo dal fatto che esso sia parte dell'edificio o semplicemente utile alla sua definizione. Allo stesso tempo, operando sui concetti è possibile gestire il livello semantico della rappresentazione, garantendo così che ogni attore possa accedere alla conoscenza necessaria e che la stessa risulti ad esso comprensibile e utilizzabile. In questo modo, i vari specialisti possono comprendere a fondo le scelte progettuali degli altri partecipanti al processo e, di conseguenza, collaborare in modo più efficace verso la definizione di una soluzione progettuale condivisa e di qualità (si spera) migliore.*

*Questi ragionamenti, formalizzati in modo più o meno esplicito negli ultimi quindici anni da diverse ricerche nell'ambito del Building Information Modelling, hanno portato alla necessità di superare gli attuali limiti rappresentativi del BIM spostando l'attenzione verso lo sviluppo di diverse tipologie di sistemi knowledge based.[2][3][4][5] In particolare, le migliori prospettive*

intelligence and knowledge representation, the ontologies are defined as “a formal and explicit specification of a shared conceptualization”[6].

In fact, an ontology is a model relative to an area of knowledge, generally called domain, that represents its primary entities (domain objects), the relations between them, the attributes (called properties) of these entities and their values and, sometimes, of the rules that associate entities, relationships, and attributes in a more complex way. The rules allow creating new knowledge based on that one formalized in the conceptual model, according to the properties assigned to the various entities and relationships. To formalize these conceptual models, we refer to specific technologies for the Semantic Web and, more particularly, on the Resource Description Framework (RDF) and the Ontology Web Language (OWL), with a simultaneous adaptation of ontology to the appropriate standards. This knowledge representation is characterized by a very high level of formalization that allows expressing fully and homogeneously the ontological meaning of the data, to explain how these must be interpreted, and also to perform on them reasoning and inferences. Many studies oriented to the semantic enrichment of Building Information Modelling used this modelling technique associated with a specific standard such as that one of the Industry Foundation Classes (now well known by the IFC acronym) [7], introduced in 1995 in order to promote interoperability between software and making “open” the access to the data of the representative model of the considered object.

More specifically, the IFC is a specific modelling codified in the EXPRESS language and conceived according to a bottom-up classification approach of the elements/components commonly used in the construction industry. The bottom-up approach is characterized by the definition of basic elements or attributes (geometrical, logical, physical) that can be applied to more complex elements and that, consequently, constitute their structure. This approach, apparently effective, requires a considerable abstraction of the formalization model, an abstraction that often results in a lack of applicability and efficacy of the model to the real design situations.

Although this choice has led to interesting results and some experimental applications, several doubts arise in relation to the actual usefulness of this method in a design process. The Industry Foundation Classes, in fact, represent an extremely rigid and limited standard that tends to formalize the information obtained from the Building Information Modelling in an encoded and closed system of representative templates according to the building decomposition derived from the building industry field. Instead, as stated in the first part of this article, building design requires an open knowledge system, flexible and

*dell'arricchimento semantico sono sorte verso l'integrazione delle strutture rappresentative del Building Information Modelling con teorie, metodi e applicazioni tipiche del web semantico che, appunto, vedono la loro forza nella costruzione di reti di concetti e di relazioni in grado di scomporre, discretizzare la conoscenza, fornire le informazioni complete del loro contesto interpretativo e, cosa essenziale nel mondo del CAAD, renderle computabili, operabili e “percorribili” da un calcolatore.*

*Sin dalla loro prima introduzione nel campo dell'Intelligenza Artificiale nella prima metà degli anni '70, infatti, le reti semantiche hanno rappresentato un paradigma essenziale per immagazzinare la conoscenza e rappresentare i rapporti tra i vari concetti secondo una specifica logica formale ai fini di “favorirne e vincolarne l'interpretazione”, elemento fondamentale per un sistema basato sulla conoscenza finalizzato al supporto alla collaborazione. È però improprio parlare di una teoria delle reti semantiche; è più corretto invece parlare di un approccio metodologico alla rappresentazione della conoscenza, in quanto esistono a oggi diverse definizioni al riguardo, mediate ovviamente dai rispettivi domini di conoscenza.*

*In funzione di questo approccio metodologico, nel corso degli ultimi trenta anni diverse tecniche e strumenti di costruzione di queste reti semantiche sono stati proposti e utilizzati. Senza andare a enumerarli, si ritiene utile in questa sede andare a introdurre quello che maggiormente ha visto la sua applicazione (seppur sperimentale) al mondo della progettazione edilizia, ovvero le ontologie. Nel settore ICT, in particolare nello studio dell'intelligenza artificiale e della rappresentazione della conoscenza le ontologie sono definite come “una specificazione formale ed esplicita di una concettualizzazione condivisa” [6]. Difatti, un'ontologia è un modello relativo a un'area di conoscenza, in genere chiamata dominio, che ne rappresenta le entità primarie (oggetti del dominio) e le relazioni tra esse, gli attributi ed i rispettivi valori (in genere chiamati proprietà) di tali entità e, a volte, delle regole che associano entità, relazioni e attributi in modo più complesso. Le regole permettono di generare nuova conoscenza basandosi su quanto espresso dal modello concettuale e dalle proprietà assegnate alle varie entità e relazioni.*

*Per formalizzare questi modelli concettuali si fa riferimento a tecnologie specifiche per il Semantic Web e, più in particolare, sul Resource Description Framework (RDF) e sull'Ontology Web Language (OWL), con contestuale riconduzione dell'ontologia agli standard appropriati. Questa rappresentazione della conoscenza è caratterizzata da un livello di formalizzazione molto elevato che consente di esprimere in modo completo e omogeneo il significato ontologico dei dati, quindi di spiegare come questi devono essere interpretati, e inoltre di eseguire su di essi ragionamenti e inferenze.*

*Molte delle ricerche orientate all'arricchimento semantico del*

adaptable to the characteristics of uniqueness and context dependence, typical of a building design process.

In the case of a system that sees the IFC as a bridge between the BIM modelling environment and the knowledge base built using ontologies, the flexibility and the potentiality of an ontology-based representation is nullified by the IFC structure. Basically, the IFC standard, in this case, is a “bottleneck” that minimizes the actual semantic enrichment of BIM and, consequently, the efficacy of the Building Information Modelling as a supporting element for building design.

According to this assumption, the latter part of this article presents an implementation study with the aim of connecting a BIM environment (in this case developed through the Autodesk Revit platform) with a knowledge base built by means of semantic networks (developed through the Protégé open source software).

#### 4. “SEMANTIC BIM”: EXTENDING BIM THROUGH A KNOWLEDGE BASE

Differently from what happens for the existing knowledge management models, the semantic enrichment of building oriented BIM allows us to include in a single model, besides the geometric representation of the building and of the elements that make it up, all the semantics attributable to them. Such semantic enrichment is possible, both in the theoretical and in the implementation field, by means of the connection of two components: a BIM modelling environment and a knowledge base built by means of ontologies and integrated with a suitable inference engine that favors model checking and reasoning. While the BIM environment allows to integrate the representation for the artefact components, both in terms of geometry and properties directly associated with each element, the knowledge base allows to formalize in RDF / OWL language and to integrate a semantic belonging to different domains of knowledge and necessary to provide a representation of all the essential knowledge for the design process. The connection between the ontology and the BIM model databases is possible since the two systems allow a similar approach for modelling of the architectural object. In fact, both rely on a component-based modelling approach, oriented to the representation of the individual entities that constitute the project, assigning to these a set of properties specific to the class (defined as “family” in the BIM environment) to which they belong. As a result of analysis and tests conducted on different software currently commercially available, for the proposed system it was

*Building Information Modelling hanno utilizzato tale tecnica di modellazione associata ad uno specifico standard quale quello delle Industry Foundation Classes (ormai ben note con l'acronimo IFC) [7], introdotto nel 1995 allo scopo di favorire l'interoperabilità tra software e rendere “aperto” l'accesso ai dati del modello rappresentativo dell'oggetto considerato. Più nello specifico, le IFC nel loro insieme sono una specifica di modellazione codificata nel linguaggio EXPRESS e concepita secondo un approccio di classificazione bottom-up degli elementi/componenti comunemente utilizzati nell'industria delle costruzioni. L'approccio bottom-up è caratterizzato dalla definizione di elementi o attributi basilari (geometrici, logici, fisici) che possono essere applicati a diversi elementi più complessi e che, di conseguenza, ne costituiscono la struttura. Tale approccio, apparentemente efficace, necessita una notevole astrazione del modello di formalizzazione, astrazione che si traduce spesso in mancanza di applicabilità ed efficacia del modello stesso alle situazioni reali di progetto. Seppur tale scelta abbia portato a interessanti risultati e ad alcune applicazioni sperimentali, diversi dubbi nascono in relazione all'effettiva utilità di tale metodologia all'interno di un processo progettuale. Le Industry Foundation Classes, infatti, rappresentano uno standard estremamente rigido e vincolato che tende a riformalizzare le informazioni derivate dal Building Information Modelling in un sistema codificato e chiuso di template rappresentativi in funzione di una scomposizione dell'organismo edilizio derivata dal mondo della produzione edilizia. Come affermato nella prima parte di questo articolo, la progettazione edilizia, al contrario, necessita di un sistema di conoscenza aperto, flessibile e adattabile ai caratteri di unicità e dipendenza dal contesto tipici del processo di definizione di un organismo edilizio. Nel caso di un sistema che vede l'IFC come ponte tra l'ambiente di modellazione BIM e la base di conoscenza costruita mediante ontologie, la flessibilità e le potenzialità di una rappresentazione mediante ontologie sono di fatto rese nulle dalla strutturazione IFC. In sostanza, lo standard IFC in questo caso rappresenta un “collo di bottiglia” che riduce al minimo l'effettivo arricchimento semantico del BIM e, di conseguenza, l'effettiva efficacia del Building Information Modelling come elemento di supporto alla progettazione edilizia. Proprio in funzione di questo assunto, l'ultima parte del presente articolo presenta uno studio implementativo teso a connettere un ambiente BIM (nel caso specifico sviluppato mediante la piattaforma Revit Autodesk) con una base di conoscenza costruita mediante reti semantiche (sviluppata mediante il software open source Protégé).*

#### 4. “IL BIM SEMANTICO”: ESTENDERE IL BIM ATTRAVERSO UNA BASE DI CONOSCENZA

*Diversamente da quanto accade per i modelli di gestione della conoscenza esistenti, l'arricchimento semantico*

decided to use the following ones: Autodesk Revit 2015 as BIM software; Protégé OWL 3.5 - Frames for editing ontologies in terms of Classes, Properties and Rules and Revit DBLink for exporting the project database from Revit. A serious difficulty for the integration of such different formalization systems concerns not only the homogenization of the information but also of the constructive logic which controls the structure. If on the one hand the BIM environment can be considered, in a simplified and limited to this aspect manner, a relational database with a graphic viewer, a knowledge base built by means of ontologies has a different structure which, translated into a relational database, is presented as a set of strings that identify the slots to which are associated w objects, strings or numerical values. Working on two databases (that one derived from the BIM environment - using DBLink- and that one translated into MySQL from the knowledge-base), is possible to create univocal correspondences between classes and instances corresponding to the same objects in the two databases and also among their properties. In this way, is possible to ensure consistency between the different entities and properties of the two modelling areas and coherence for their associated values. This allows populating the knowledge related to the building and formalized in the ontology with the data retrieved by the objects modelled in BIM environment and vice versa to update the BIM model database with new values and definitions derived through the rules modelled in the SWRL language in the ontology editor.

## 5. CONCLUSIONS

The research presented in this paper focuses on the possibility of extending the knowledge representation capability of the current BIM approaches, working specifically on its extension by means of principles, techniques, and tools typical of the semantic web. This research is carried out in continuity with the work previously developed by the research group led by Prof. Carrara at the Faculty of Engineering of the Sapienza University of Rome [4] [8] and is part of a broader international trend that deals with semantic enrichment in Building Information Modelling and that, with the progressive delineation of the BIM limits, is becoming increasingly important both in terms of scientific publications and introduction of tools and standards such as the IFC-OWL. In this article, the semantic enrichment of BIM representation is achieved through the integration with a knowledge base built by means of ontologies, obtaining: 1) the extension of the representative domain, 2) the increase of the semantic level. The first element allows to integrate in the representation the entities and the concepts not directly related to the components of the building

*del BIM orientato all'edilizia ci permette di includere in un unico modello, oltre alla rappresentazione geometrica dell'edificio e degli elementi che lo compongono, tutta la semantica a essi riconducibile. Tale arricchimento semantico è possibile, sia a livello teorico che implementativo, mediante la connessione di due componenti: un ambiente di modellazione BIM e una base di conoscenza costruita mediante ontologie e integrata con un opportuno motore inferenziale che favorisca checking e reasoning del modello. Mentre l'ambiente BIM permette di integrare una rappresentazione per componenti dell'artefatto, in termini sia di geometria che di proprietà direttamente attribuibili a ciascun elemento, la base di conoscenza permette di formalizzare in linguaggio RDF/OWL e integrare una semantica appartenente a diversi domini di conoscenza e necessaria a fornire una rappresentazione di tutta la conoscenza essenziale per il processo progettuale.*

*La connessione tra il database dell'ontologia e quello del modello BIM è possibile in quanto i due sistemi consentono un approccio simile alla modellazione dell'oggetto architettonico. Difatti, entrambi si basano su una modellazione per componenti orientata alla rappresentazione delle singole entità che costituiscono il progetto, assegnando a quest'ultime un insieme di proprietà specifiche per la classe (definita come "famiglia" nell'ambiente BIM) cui appartengono. A seguito di analisi e test condotti su diversi software attualmente in commercio, per il sistema proposto si è scelto di utilizzare i seguenti componenti: Autodesk Revit 2015 come software BIM; Protégé OWL 3.5 - Frames per l'editing delle ontologie in termini di Classi, Proprietà e Regole e Revit DBLink per l'export del database di progetto da Revit. Una forte difficoltà nell'integrazione tra sistemi di formalizzazione così diversi riguarda l'omogeneizzazione non solo delle informazioni, ma anche della logica costruttiva che ne controlla la struttura. Se da un lato l'ambiente BIM può essere considerato, in via semplificata e limitatamente a questo aspetto, un database relazionale con visualizzatore grafico, una base di conoscenza costruita mediante ontologie ha una struttura diversa e, tradotta in un database relazionale, si presenta come un formato di stringhe che individuano slot cui sono associati oggetti, stringhe o valori numerici. Operando sui due database (quello derivato dall'ambiente BIM -tramite DBLink- e quello tradotto in MySQL dalla base di conoscenza), è possibile creare delle corrispondenze biunivoche tra classi e istanze corrispondenti ai medesimi oggetti presenti nei due database e delle relative proprietà. In questo modo, si garantisce una corrispondenza tra le differenti entità e proprietà delle due aree di modellazione e la coerenza dei valori ad esse associate.*

## 5. CONCLUSIONI

*La ricerca presentata in questo paper si focalizza sulla possibilità di estendere le capacità di rappresentazione della conoscenza*



but still used during the design process, while the second refers to the ability of obtaining a model able to formalize not only the individual information but also their interpretive context, thus promoting the understanding of the different specialists involved during the design process.

## 6. REFERENCES

- [1] Simeone D. [et al.], "Adding users' dimension to BIM", in Morello E. and Piga B.E.A. (eds.), *Envisioning Architecture: Design, Evaluation, Communication - Proceedings of the 11th conference of the European Architectural Envisioning Association*, Milano, 25-28 September 2013. Roma: Edizioni Nuova Cultura, 2013.
- [2] Beetz J., Van Leeuwen J.P., De Vries B., An ontology web language notation of the industry foundation classes. In: the 22nd CIB W78 Conference on Information Technology in Construction, CIB-W78, Dresden, Germany, 2005, pp. 193-198.
- [3] Yongwook J., *Mediating semantics for multidisciplinary collaborative design*. Ph.D. dissertation, Berkeley University of California (2008).
- [4] Carrara G. [et al.], *Conoscere Collaborare Progettare, Teoria tecniche e applicazioni per la collaborazione in architettura*, Gangemi Editore, Roma, ISBN 978-88-492-2955-4, 2014.
- [5] Simeone D. [et al.], BIM and knowledge management for building heritage. In: *ACADIA 14: Design Agency - Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, Los Angeles, 2014, pp. 681-390.
- [6] Gruber T.R., Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In: Guarino N. & Poli R. (eds.): *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*, Kluwer Academic Publishers, Deventer, the Netherlands, 1993.
- [7] Hietanen J., IFC Model View Definition Format, International Alliance for Interoperability (AIA), ([http://www.iai.international.org/software/MVD\\_060424/IAI\\_IFCModelViewDefinitionFormat.pdf](http://www.iai.international.org/software/MVD_060424/IAI_IFCModelViewDefinitionFormat.pdf)), Mar. 15, 2009.

*degli attuali approcci BIM, lavorando in particolare sulla sua estensione mediante principi, tecniche e strumenti tipici del web semantico.*

*Tale ricerca si svolge in continuità con il lavoro precedentemente sviluppato dal gruppo di ricerca guidato dal Prof. Carrara presso la Facoltà di Ingegneria della Sapienza Università di Roma [4] [8] e si inserisce in un filone internazionale più ampio che si occupa di arricchimento semantico nel Building Information Modelling e che, con il progressivo delinarsi dei limiti del BIM, sta assumendo sempre maggiore rilevanza sia in termini di numero di pubblicazioni scientifiche che di introduzione di strumenti e standard quali ad esempio l'IFC-OWL. In questo lavoro, l'arricchimento semantico della rappresentazione BIM viene raggiunto attraverso l'integrazione con una base di conoscenza costruita attraverso le ontologie, ottenendo: 1) l'estensione del dominio rappresentativo, 2) innalzamento del livello semantico. Il primo elemento permette di andare a integrare nella rappresentazione entità e concetti non direttamente riferibili alle componenti dell'edificio ma comunque utilizzate nel processo progettuale, mentre il secondo si riferisce alla possibilità da un modello in grado di formalizzare non solo le singole informazioni ma anche il loro contesto interpretativo, favorendo così la comprensione da parte dei differenti specialisti coinvolti nel processo progettuale.*