

Carlo Zanchetta, Giorgio Croatto, Rossana Paparella, Umberto Turrini
Dipartimento ICEA - Università degli Studi di Padova

carlo.zanchetta@unipd.it
giorgio.croatto@unipd.it
rossana.paparella@unipd.it
umberto.turrini@unipd.it

Abstract. La disciplina della progettazione architettonica è influenzata dall'attività di normalizzazione riguardante il sistema edilizio e dallo sviluppo di strumenti per il coordinamento di progetto quali il Building Information Modeling. Le due discipline contribuiscono mutuamente all'ottenimento della qualità complessiva del processo edilizio. A tal fine risulta strategica l'attività di ricerca sui seguenti aspetti:

- definizione di protocolli per il collegamento dei requisiti del sistema edilizio alle unità spaziali e tecnologiche che lo definiscono;
- sviluppo di repertori di “soluzioni tecniche conformi” interoperabili;
- approfondimento della disciplina del *model checking* per la validazione dei progetti e delle metodologie di comparazione tra modelli di intervento;
- implementazione di ambienti collaborativi per la verifica della compatibilità tra programmi e normative quali strumenti necessari alla individuazione delle soluzioni progettuali ottimali.

Parole chiave: BIM, Normalizzazione, Progettazione tecnologica, Performance-based building design (PBB), Lean construction

Introduzione: lo sviluppo del BIM come impulso al processo di normalizzazione

Il tema della qualità edilizia impone lo sviluppo di modelli per la verifica della fattibilità del progetto edilizio e della rispondenza ottimale delle opere ai requisiti.

Tale obiettivo impone un approccio interdisciplinare in quanto le soluzioni tecnologiche e costruttive sono ormai improntate alla massima interrelazione tra l'organismo edilizio, l'organismo strutturale, il sistema ambientale ed il sistema edificio-impianto.

La gestione di queste interrelazioni impone l'adozione di modelli informativi edilizi, BIM¹ per l'appunto, che disciplinano la complessità dell'organismo edilizio (Sanguinetti, 2009; Penttilä, 2006) simulandone il comportamento reale negli aspetti di natura costruttiva, funzionale e formale e nelle gerarchie di sistemi. Per questo la ricerca sulla traduzione del sistema edilizio in termini di progettazione assistita assume un ruolo prioritario. La codifica del BIM cresce sul filone delle ricerche sulla scompo-

sizione del sistema edilizio (Howard e Björk, 2007) in elementi tecnologico funzionali e sulla loro conseguente organizzazione in gerarchie di sistemi definiti e strutturati in funzione delle relazioni che tra questi intercorrono (Eastman, 1979).

Seguendo un approccio esigenziale prestazionale si può dire che l'obiettivo del progetto è quello di definire le modalità con cui l'intervento tecnico della costruzione edilizia risponde alle richieste funzionali del programma, rispetta la normativa vigente e si compone di soluzioni tecniche conformi caratterizzate da prestazioni più o meno elevate (Davis e Ventre, 1990; Davis e Szigeti, 1999).

Per quanto detto la ricerca scientifica si interessa degli strumenti e metodi finalizzati a garantire la qualità edilizia e dei modelli edilizi ed informativi (Chen e Luo, 2014) con cui si può:

- favorire la progettazione di edifici di qualità ossia lo sviluppo di edifici aderenti alle richieste esplicite ed implicite trasmesse dall'utenza;
- garantire che l'edificio realizzato corrisponderà a quello progettato dal punto di vista funzionale e prestazionale;
- incrementare la comprensione e condivisione dell'informazione tecnica lungo tutto il ciclo di vita dell'edificio, dalla sua concezione fino alla sua demolizione.

La qualità del progetto tra aspetti conformativi ed informativi

Appurato che il progetto edilizio è il principale garante per la realizzazione di edifici di qualità è automatico affermare che

la qualità del progetto è misurabile in funzione della capacità che esso ha di assicurare l'obiettivo della corretta esecuzione e gestione dell'opera architettonica.

Performance based building design to ensure building quality: from standardization to LEAN construction

Abstract. The discipline of architectural design is influenced by the standardization activities concerning the construction and the development of tools for the coordination in the design process such as Building Information Modeling. The two disciplines contribute reciprocally to the achievement of the overall quality of the building process. To do so, it is strategic to develop researches on the following aspects:

- definition of frameworks for the connection of the building system requirements to space and technology unit that defines it;
- development of an inventory of interoperable and compliant technical solutions;
- implementation of the discipline of model checking for project validation; and methodologies of comparison between intervention models;
- implementation of collaborative environments for verification of compatibil-

ity between programs and regulations in order to identify the optimal design solution.

Keywords: BIM, Standardization, Technological design, Performance-based building design (PBB), LEAN Construction

Introduction

The theme of building quality requires the development of models for testing the feasibility of the building project and the compliance of requirements to the built architecture. Such a goal requires an interdisciplinary approach because of the fact that constructive and technological solutions are now aimed at maximum interrelation between the building system, its structure, the environmental and technological system, the building-plant system.

The management of these interrela-

tions requires the use of building information models, namely BIM¹, to manage the complexity of the building process (Sanguinetti, 2009; Penttilä, 2006) by simulating its real behavior in terms of constructive, formal and functional aspects and facing its hierarchies of systems.

For this reason the development of building information technology is taking priority. The encoding of BIM grows in parallel with the research on the work breakdown structure of the building system in technological and functional elements (Howard and Björk, 2007). As well the discipline is influenced by the study on the hierarchies that define the building system in terms of relations of spaces and elements (Eastman, 1979).

Following a performance based approach it can be said that the goal of the project is to define how the

Con riferimento alla suddivisione del sistema edilizio condivisa in letteratura (Gottfried e Di Giuda, 2011) possiamo trattare il tema della qualità edilizia in relazione a tre aspetti principali:

- Qualità funzionale-spaziale: rappresenta la capacità del progetto di offrire una organizzazione funzionale ed una conformazione spaziale che possano contestualmente rispondere al programma e garantire prestazioni funzionali adeguate;
- Qualità ambientale e tecnologica: esprime l'approfondimento ed il coordinamento con cui il progetto raccorda i livelli di prestazione individuati per ciascun elemento del sistema ambientale e tecnologico alle esigenze espresse dall'utenza o dalla normativa vigente;
- Qualità procedurale consiste nella capacità che ha il progetto di supportare la condivisione dell'informazione e assicurare una corrispondenza tra obiettivi e risultati, tra performance di progetto e di esercizio.

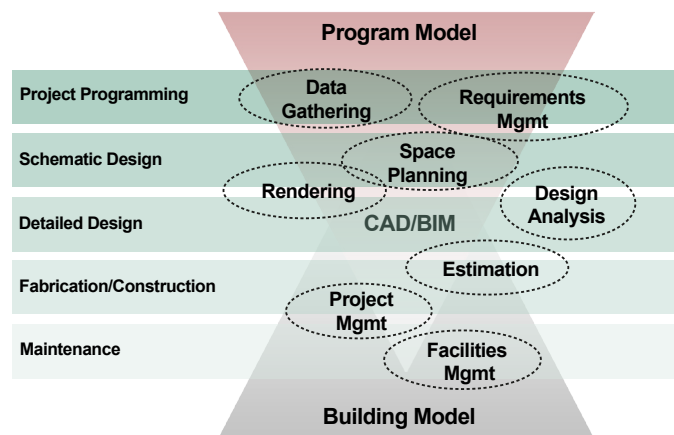
La qualità funzionale-spaziale di un progetto è principalmente collegata alla interpretazione sviluppata dal progettista delle specifiche comunicate dalla committenza attraverso il programma.

Da questo punto di vista esistono principalmente due aspetti sui quali si concentra la discussione sulla qualità del sistema funzionale spaziale espressa dal progetto:

- l'aderenza alle specifiche del programma;
- le prestazioni funzionali spaziali progettate in relazione alle specificazioni condivise nella normativa tecnica.

In relazione al primo aspetto è da notare come la certificazione della progettazione venga spesso ridotta al semplice controllo di conformità del *room data sheet* (RDS). Tuttavia l'ottimale definizione del progetto impone l'utilizzo di strumenti di *space pro-*

01 |



*gramming*² finalizzati alla traduzione del programma in termini progettuali (Peña e Parshall, 2012). Tale attività rappresenta un processo graduale sviluppato da team interdisciplinari che hanno la necessità di gestire e tradurre in termini progettuali i vincoli spaziali e funzionali espressi dal programma (Fig. 1). Poter modellare queste condizioni e tradurle in un sistema informativo rappresenta il primo criterio di qualità nello sviluppo della progettazione in quanto è riconosciuto che nella fase preliminare si ha il massimo della riduzione dei problemi al minimo dei costi di implementazione di una soluzione tecnica (Fig. 2). Poiché la qualità della progettazione dipende dalla qualità degli strumenti utilizzati è necessario attivare forme di controllo sulla qualità della programmazione edilizia. È in questo senso che debbono essere interpretati gli sforzi normativi che si stanno conducendo a livello internazionale per arrivare alla certificazione dei processi di committenza (Ciribini, 2014).

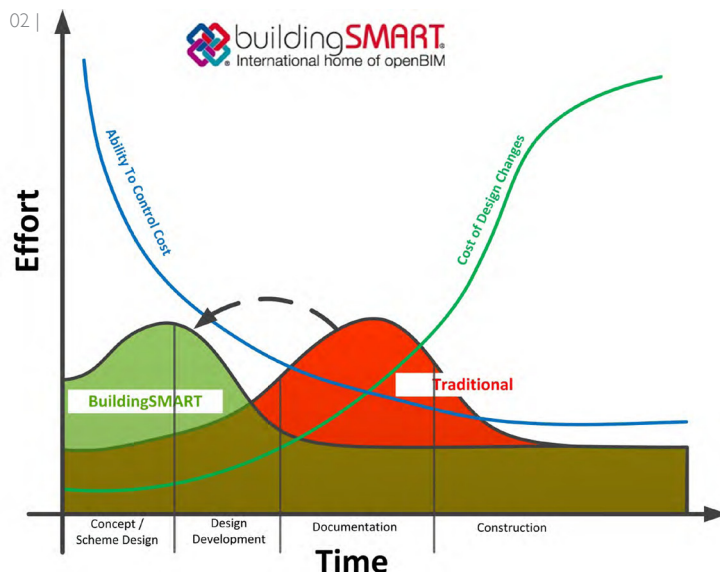
Oltre all'adempimento delle specificazioni espresse nel programma la qualità funzionale spaziale viene misurata con riferimento alle specificazioni del "sistema ambientale" trasmesse nella normativa tecnica. In generale l'obiettivo della modellazione informativa dovrebbe essere quello di offrire uno strumento per la valutazione comparata di una pluralità di soluzioni analizzate

01 | Schema del processo edilizio dalla fase di programmazione alla fase di progettazione, fonte http://bim-modeling.blogspot.it/2011/05/01_archive.html
Diagram of the building process from architectural programming to the design stage, available at http://bim-modeling.blogspot.it/2011/05/01_archive.html

02 | Confronto tra la capacità di controllare i costi rispetto ai costi di una modifica progettuale (Curva di Mac Leamy), fonte <http://greghowes.blogspot.it/2012/06/macleamy-curve-real-world-bim-and-ipd.html>

Comparison of the ability to control costs in relation to the cost of a design change (Mac Leamy's diagram), available at <http://greghowes.blogspot.it/2012/06/macleamy-curve-real-world-bim-and-ipd.html>

02 |



attraverso una serie di indicatori di qualità (KPI) (Park e Nakamura, 2013). Ad oggi le ricerche si attestano principalmente sui temi della sostenibilità edilizia e del valore immobiliare, tuttavia è nel completo sviluppo del performance based building design (PBBD) (Blachere, 1988; Becker 2008) che è possibile pensare ad una generazione di risultati significativi.

Dal punto di vista operativo il problema è associare un valore di performance a ciascun elemento del sistema ambientale e tecnologico (Foliente, 2005) (Fig. 3) attraverso la compilazione di campi dati oppure attraverso procedure di calcolo automatizzato (Geyer, 2009). Il problema, al di là della non completa definizione delle specificazioni di prestazione³, resta la possibilità di attri-

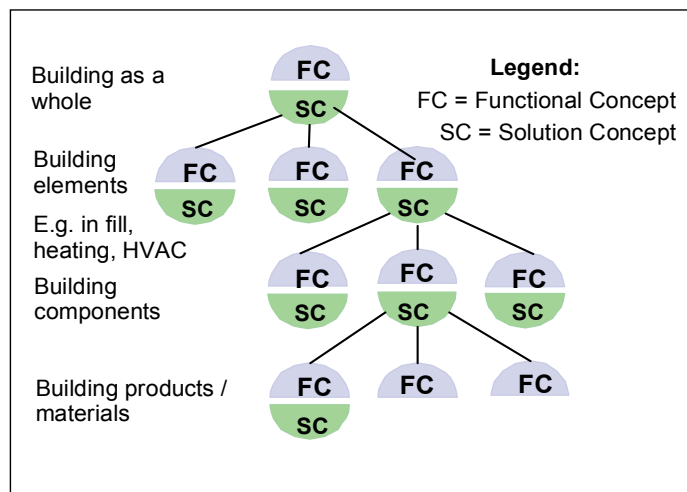
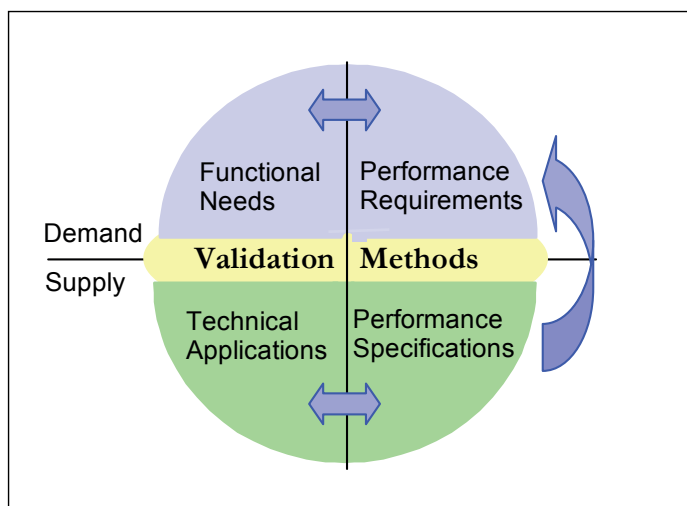
buire e soprattutto di estrapolare dai modelli valutazioni di tipo qualitativo (Sanguinetti et al., 2012). Tale obiettivo è fondamentale per lo sviluppo di tecniche di analisi di valore BIM based. L'analisi del progetto dal punto di vista della qualità ambientale e tecnologica si sviluppa in relazione al complesso organico di specifiche progettuali che riconducono le scelte conformative al sistema di norme vigenti.

Tale processo avviene in tre passaggi fondamentali:

- collegare attraverso la progettazione edile le esigenze espresse dall'utenza ad un complesso di soluzioni progettuali rispettose della normativa edilizia;
- ricondurre le esigenze riferite al sistema ambientale e tecnologico ad un sistema di elementi caratterizzati da determinati standard prestazionali (Atkinson, 2006);
- organizzare una progettazione operativa finalizzata alla determinazione dei prodotti soggetti a marcatura⁴ e delle procedure di controllo in fase di realizzazione (Kang et al., 2012).

Il processo che, partendo dalle esigenze, conduce alla individuazione degli elementi della costruzione segue una scomposizione dell'organismo edilizio che collega le unità spaziali agli elementi tecnologici e contestualmente i requisiti alle prestazioni⁵.

Ciascuno dei nodi di questa struttura di scomposizione riguarda una pluralità di problematiche legate a discipline differenti. Tali problematiche debbono poter essere studiate singolarmente attraverso rappresentazioni della WBS (Work Breakdown Structure) filtrate in relazione agli specifici aspetti analizzati (Szigeti, 2005; Ding et al., 2014) (Fig. 4). Questa rappresentazione settoriale deve però mantenere inalterati i rapporti gerarchico analitici che definiscono la struttura generale. Ancora una volta diviene essenziale la ricerca sulla mappatura delle relazioni



technical construction intervention meets the requirements of the program, follows current regulations and consists of compliant technical solutions characterized by different performances (Davis and Ventre, 1990; Davis and Szigeti, 1999).

Given the above, scientific research concerns itself with the instruments and methods aimed at ensuring quality construction and with building information models (Chen and Luo, 2014) with which it is possible to:

- promote the design quality of buildings, namely the construction of buildings belonging to the explicit and implicit user requirements;
- ensure that built architecture correspond to the designed one from the point of view of function and performance;
- increase understanding and sharing of information throughout the build-

ing life cycle, from its conception until its demolition.

The quality of the project between conformation and informative issues

Building design is the fundamental guarantee for the construction of high quality buildings. The quality of the project is then measured in relation to the ability it has to ensure the proper assemblage and operation of the architectural work. To handle the large number of requirements and specifications that relate to the aspect of quality the paper proposes an analysis of the methods and tools used to develop quality projects pursuant to the current subdivision of the building system.

According to that, quality aspects can be subdivided in three different classes (Gottfried and Di Giuda, 2011):

03 | PBBD in relazione alla WBS di progetto, fonte Szigeti F. (2005) p. 13

PBBD in relation to the WBS of a building project, in Szigeti F. (2005) p. 13

di tipo tecnologico funzionale che legano gli elementi spaziali agli elementi tecnologici e la conseguente traduzione in termini di modelli informativi.

Al fine di ricondurre le esigenze alle prestazioni attraverso il progetto è necessario che i sistemi informativi offrano la possibilità di allocare l'informazione su performance e specificazioni di prestazione sul sistema degli elementi tecnologici e spaziali. L'obiettivo di tale impostazione deve essere la verifica del rispetto della normativa vigente e soprattutto il coordinamento dei differenti contributi disciplinari che, partendo da una specificazione espressa dall'utenza, debbono far pervenire ad un insieme coerente di scelte progettuali ed impostazioni di calcolo.

In relazione al primo aspetto è ormai diffuso l'uso di applicazioni di *model checking* che permettono un controllo sulla correttezza della progettazione. Partendo da una classificazione digitale degli elementi costruttivi basata sullo sviluppo e l'adozione degli standard buildingSMART[®] è possibile verificare le relazioni che si instaurano tra questi al fine di impostare delle regole di controllo e verificare la correttezza del design (Hjelseth, 2012). Dal punto di vista del coordinamento disciplinare invece l'interesse è quello di condividere le esigenze della committenza attraverso le discipline coinvolte nel processo decisionale in modo da collegare tra loro gli aspetti progettuali che dipendono dalla stessa informazione.

Attraverso il PBBD è possibile comparare esigenze e prestazioni al livello degli elementi tecnici e spaziali che definiscono l'organismo edilizio. In accordo con un approccio sistemico alla progettazione edilizia la scomposizione del progetto in differenti contributi disciplinari rappresenta un fattore riduttivo della qualità complessiva. Per questo motivo risulta qualificante l'utilizzo di modelli

interdisciplinari ma soprattutto è necessario che il progresso delle tecniche di modellazione informativa si concentri anche sulla condivisione delle informazioni relative alle esigenze oltre a quelle relative ai dati metrici, economici e prestazionali.

La condivisione dell'informazione tecnica in tutto il ciclo di vita dell'edificio comporta la necessità di provvedere alla collocazione nel progetto di tutte le informazioni da condividere nelle fasi di approvvigionamento, realizzazione e gestione dell'organismo edilizio e quindi di specificare per ciascun elemento tecnico della costruzione l'informazione sui prodotti utilizzati (East e Carasquillo-Mangual, 2013).

Questo obiettivo ha una finalità operativa legata al monitoraggio della corretta rispondenza dell'opera al progetto ma introduce anche il tema della verifica dell'obbligo di marcatura dei prodotti previsti per la realizzazione dell'edificio.

La qualità del progetto dipende quindi da due aspetti:

- dalla possibilità di integrare queste informazioni nel corso del ciclo di vita dell'edificio partendo da un database esistente;
- dalla effettiva esaustività del sistema di dati predisposto in questa fase.

Al di là degli aspetti informativi è importante rilevare come il progetto debba originare da una maturata consapevolezza sulla affidabilità tecnologica e sulla qualità e semplificazione operativa. Questo know-how viene trasferito in letteratura in modelli di riferimento che rappresentano "soluzioni tecniche conformi". Un aspetto importante riguarda quindi la possibilità che il BIM favorisca l'allineamento delle soluzioni progettuali con il catalogo delle soluzioni tecniche conformi condivise che deve necessariamente essere interoperabile (Miettinen e Paavola, 2014; Hiyamaa et al., 2014).

- functional and spatial quality: it is the project's ability to respond to the program by proposing a functional organization and a spatial conformation which can be evaluated according to certain parameters;

- environmental and technological quality: it expresses the capability of the project to link the performance levels identified for each element of the environmental and technological system to the needs expressed by users or by law;

- procedural quality: it consists of the aptitude of the project to support information sharing along the lifecycle of the building in order to ensure the correspondence between goals and results as well as between predicted and actual performance.

The functional and spatial quality of a project is mainly related to the interpretation developed by the designer

of the specifications submitted by the client through the program. Two main themes can be considered while evaluating this approach:

- adherence to the specifications of the program;

- functional and spatial predicted performance in relation to the technical specifications shared in the legislation.

Regarding the first aspect, it is to note how the design certification is often reduced to simple control of compliance of the room data sheet (RDS). However, the optimal project definition imposes the use of space programming tools² aimed at translating the program in design terms. (Peña and Parshall, 2012) This activity represents a step-by-step process developed by interdisciplinary teams who need to manage and translate, in terms of design, functional and spatial

constraints expressed by the program (Fig. 1). To model these conditions and translate them into an information system is the first step to ensure quality in the development of design as it is recognized that, at the preliminary stage, the greatest reduction of problems matches the minimum cost of implementation of a technical solution (Fig. 2).

Since the quality of the design depends on the quality of the tools used, it is necessary to enable forms of control over the quality of architectural programming. In this sense, a significant regulatory effort is currently being developed internationally to get certification for commissioning processes (Ciribini, 2014).

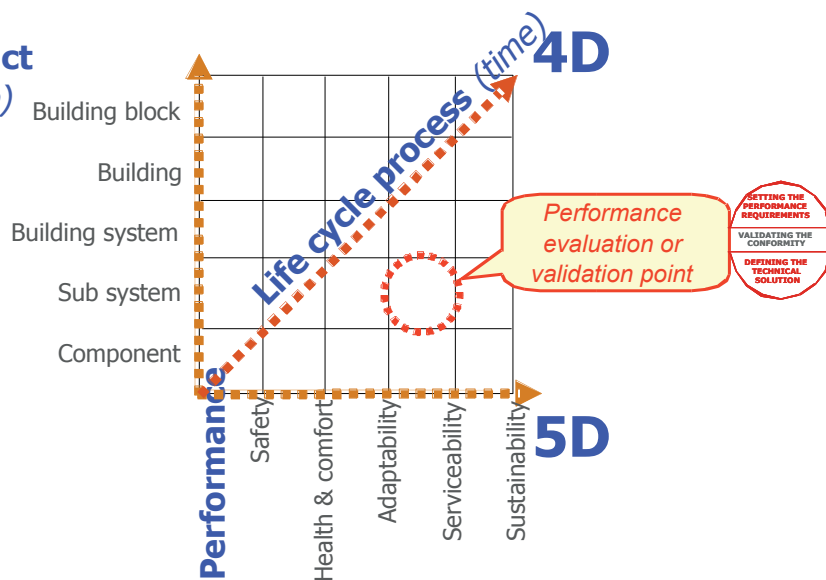
In addition to the fulfilment of the requirements expressed in the program, functional and spatial quality is then measured with reference to the speci-

fications of the environmental system provided in technical legislation. In general, the goal of information modeling should be to offer a tool for comparative evaluation of a plurality of solutions explored through a series of quality indicators (KPIs) (Stouffs et al., 2013).

The current research is mainly focused on the themes of sustainability and real estate value; however, as evidenced in the discussion of environmental and technical system, it is only in a fully developed performance based approach (PBBB) (Blachère, 1988; Becker, 2008) that it is possible to gain the most interesting results.

From the operational point of view the problem is link a performance value to each item in the environmental and technological system as well as in BIM (Foliente, 2005) (Fig.

Product (space) 3D



04 | Matrice degli elementi del Sistema edilizio rispetto alle esigenze della normativa tecnica qualitativa, fonte Foliente G. (2005) p. 28

Elements of the building system in relation to the requirements expressed by technical regulations, in Foliente G. (2005) p. 28

La qualità procedurale dipende direttamente dalla coerenza tra progetto e realizzazione e dalla capacità del progetto di trasmettere le giuste informazioni lungo tutto il ciclo di vita dell'edificio. La coerenza tra progetto ed opera realizzata è subordinata all'inserimento nel progetto delle procedure per il controllo della qualità esecutiva durante la fase realizzativa e alla predisposizione di un idoneo sistema informativo per lo sviluppo della programmazione operativa dei lavori di costruzione.

Il tema della diffusione dell'informazione nel ciclo di vita dell'edificio si confronta con la possibilità che le informazioni ed i requisiti imposti dalla normativa oltre che dalla committenza risultino coerenti. Questo molto spesso non accade di modo che, dal punto di vista procedurale, non è ipotizzabile una qualità completa. Il progetto non deve quindi perseguire l'ottenimento dei singoli obiettivi di performance, spesso non compatibili tra loro. Esso dovrà fungere da supporto per un processo di generale assunzione di responsabilità da parte di tutti i soggetti coinvolti e finalizzato alla massima creazione di valore possibile. Questo approccio che si rifà alla disciplina del LEAN management (Koske-

la, 2002) determina la necessità di fondare il progetto su un sistema informativo collaborativo nel quale siano implementati degli strumenti necessari al mutuo confronto dei soggetti coinvolti.

Conclusioni: elementi strategici per garantire la qualità della progettazione

- qualità degli strumenti di progettazione;
- livello di standardizzazione;
- integrazione degli strumenti di progettazione con i risultati del dibattito scientifico.

In relazione al tema degli strumenti di supporto alla redazione del progetto è quasi scontato affermare che al fine di una progettazione di qualità il progetto debba essere sviluppato con un BIM interoperabile e collaborativo.

Quello che però rappresenta un fattore di innovazione strategica è la possibilità di generare un BIM che permetta di collegare le prestazioni alle esigenze in fase di progettazione e che dia la pos-

Lo sviluppo in senso qualitativo dei contenuti del progetto dipende da diverse condizioni riconducibili a tre fattori principali:

3) through the compilation of data fields or through automated calculation procedures (Geyer, 2009). The problem, beyond the incomplete definition of performance specifications³, is the ability to give and to extrapolate qualitative assessments from models. This goal is fundamental for the development of BIM based value analysis techniques (Sanguinetti et al., 2012).

The analysis of the project from the point of view of the environmental and technological quality moves toward the organic complex of design specifications that connect conformation of the building and technical solutions to current standards. This process involves three basic steps:

- connect by means of building design the needs expressed by the users to a set of design solutions that respect the building regulations;

- bring the demands related to environmental and technological system to a system of elements characterized by certain performance standards (Atkinson, 2006);

- organize a construction design aimed at the determination of the products that are subject to conformity marking⁴ and control procedures during construction (Kang et al., 2012).

The process that links requirements to the elements of the building system follows a breakdown structure of the building design that links spaces to building elements and at the same time requirements to performance⁵.

Each of the nodes of this work breakdown structure covers a variety of issues related to different disciplines. These issues must be studied individually through representations of WBS related to the specific aspects analyzed

(Szigeti, 2005; Ding et al., 2014) (Fig. 4). In any case, this sectorial representation must preserve hierarchical relations that define the overall structure. Once again it becomes essential the research on mapping functional and technological relationships that bind the spatial and technological elements and the subsequent translation in terms of information models.

In order to link requirements to performance through the project it is necessary that BIM can offer the possibility to assign performance specifications and information on performance on the elements of the building system. The aim of such an approach must be the verification of compliance with the existing legislation and especially the coordination of different disciplinary contributions. Starting from the requirements expressed by users the model must submit a

consistent set of design choices and calculation settings.

In relation to the aspect of regulation, conformity it has become consolidated in several contexts the discipline of model checking. Starting from a digital classification of building elements, based on the adoption of buildingSMART® standards⁶, it is possible to check the mutual relations between them in order to define a set of control rules and verify the correctness of design (Hjelseth, 2012). From the point of view of disciplinary coordination, the interest is to share the requirements of the client through the disciplines involved in the design process in order to link together the design aspects that depend on the same information. Following a PBBD approach, it is possible to compare performance to requirements on the level of technical and spatial elements

sibilità di modellare i requisiti al fine di verificarne il soddisfacimento nel momento in cui si procede con la modellazione degli elementi spaziali e tecnici. Tali attività necessitano di standard e riferimenti normativi consolidati sia in relazione alla condivisione della informazione tecnica (IFC) che in relazione ai contenuti informativi minimi del progetto divisi per fase del ciclo di vita (LOD) per renderlo non solo completo, ma controllabile attraverso gli strumenti di *model checking*.

Più in generale l'attività di *model checking* si presta alla verifica di rispondenza del modello alla normativa edilizia, tecnica, urbanistica ed amministrativa con il problema però che le regole di verifica debbono essere sviluppate in relazione alle convenzioni locali. Partendo da questo tipo di sperimentazioni è possibile adottare un approccio LEAN basato su un ambiente collaborativo (Sacks 2010; Sacks, 2013) nel quale il mutuo confronto tra regolamenti ed esigenze permetta alle parti interessate di definire il progetto ottimale.

NOTE

¹ Con il termine BIM ci si riferisce alla rappresentazione digitale del processo costruttivo che facilita lo scambio e l'interoperabilità delle informazioni in formato digitale (Eastman, 1999). Analogamente il *Construction Project Information Committee* Inglese definisce il BIM come «a digital representation of physical and functional characteristics of a facility creating a shared knowledge resource for information about it forming a reliable basis for decisions during its life cycle, from earliest conception to demolition».

² A titolo di esempio si può citare l'applicazione Onuma Planning System (OPS™) che è stata sviluppata per acquisire i dati condivisi dal programma e generare un BIM allineato con le relative specificazioni.

³ La norma UNI 10838:1999 stabilisce la terminologia da adottare in relazione all'utenza finale e articola il concetto di qualità secondo tre declinazioni

principali, e cioè secondo l'aspetto ambientale, funzionale-spaziale e tecnologico. Resta parzialmente indefinito e totalmente inarticolato, a discapito dell'operabilità, il sistema ambientale, che dovrebbe essere costituito dagli aspetti ambientali e funzionali-spaziali.

⁴ *Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC* Text with EEA relevance, Regulation (EU) 305 - 2011.

⁵ *Construction. Needs of the end-user. Classification, Italian Standard UNI 8289-1981. Sustainability in construction-needs and requirements of environmental compatibility of residential projects and similar, offices and similar, of new construction and renovation, Italian Standard UNI 11277-2008. Residential building - Technological System - classification and terminology, Italian Standard UNI 8290/1-1981. Building - Terminology referring to users, performance, construction process and quality construction, Italian Standard UNI 10838-1999.*

⁶ *Building information modelling, Information delivery manual, Part 1: Methodology and format, ISO Standard 29481/1-2010. Industry Foundation Classes for data sharing in the construction and facility management industries, ISO Standard 16739-2013. Building construction: Organization of information about construction works, Part 3: Framework for object-oriented information, ISO Standard 12006/3-2007.*

REFERENCES

- Atkinson, G.A. (2006), *Construction Quality and Quality Standards: The European Perspective*, Taylor & Francis, London - New York.
- Becker, R. (2008), "Fundamentals of performance based design", *Building Simulation Journal*, vol. 1, Issue 4, pp 356-371.
- Blachere, G. (1988), *Building Principles - Industrial Processes, Building and Civil Engineering*, EUR 11320 Brussels.
- Chen, L., Luo, H. (2014), "A BIM-based construction quality management model and its applications", *Automation in Construction*, vol. 46, pp. 64-73.

that define the building system. It should be noted that, in accordance with a systemic approach to building design, decomposition of the project into different disciplinary contributions represents a reduction factor in the overall quality. For this reason, it is qualifying the use of interdisciplinary models, but above all, it is necessary that modeling techniques embody the sharing of information related to the requirements in addition to those related to metrics, cost and performance. Sharing technical information throughout the building lifecycle means that the project must clearly define products, actions and resources in all the procedures of procurement, assemblage and operation and then specify for each technical element of the construction product information (East and Carrasquillo-Mangual, 2013).

This objective has a purpose related to the operational monitoring of the correct compliance of the construction to the project but also introduces the checking of the compulsory marking of products employed in the construction of the building. The quality of the project thus depends on two aspects:

- the ability to integrate this information in the course of the life cycle of the building starting from an existing database;
 - the actual completeness of the data system prepared at this stage.
- Beyond the informative aspects expressed above it is however important to note that the project should arise from a mature awareness of building technology related in particular to the aspects of quality, reliability and operational simplification. This knowhow is transferred in literature

in reference models that represent compliant technical solutions. An important aspect is then the possibility for BIM to encourage the alignment of design solutions with the shared catalogue of compliant technical solutions that must necessarily be interoperable (Miettinen and Paavola, 2014; Hiyamaa et al., 2014).

The procedural quality directly depends on the consistency between design and construction and the project's ability to convey the right information throughout the life cycle of the building. The coherence between building design and construction depends the project quality control related to the construction phase and on the scheduling of construction work.

The issue of dissemination of information in the life cycle of the building expresses the possibility that infor-

mation and requirements expressed by the legislation as well as by the client are consistent. This does not happen very often so that, from the procedural point of view, there is no possibility of a total quality. In this sense, the project may not need to pursue the achievement of each performance objectives because very often they are not compatible with each other. The quality of the project will be its ability to support and promote a process of assumption of responsibility among all of the parties involved in order to maximize the creation of value by means of the design process.

This approach, which refers to the discipline of LEAN management (Koskela, 2002) determines the need to base the design process upon a collaborative information system in which they are implemented the nec-

Ciribini, A. (2014), "La Committenza e il BIM: la normativa BS PAS 1192-2:2013 nei Mercati Internazionali", available at http://www.ingenio-web.it/Articolo/1871/La_Committenza_e_il_BIM:_la_normativa_BS_PAS_1192_2:2013_nei_Mercati_Internazionali.html.

Davis, G., Szigeti, F. (1999), "Are facilities measuring up? Matching building capabilities to functional needs", *Eighth International Conference on Durability of Building Materials and Components*, 8 dbmc., Vancouver, Canada, may 30-june 3, 1999 pp. 1856-1866.

Davis, G., Ventre, F. T. (1990), *Performance of Buildings and Serviceability of Facilities*, ASTM STP 1029, Philadelphia.

Ding, L., Zhou, Y., Akinci, B. (2014), "Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD", *Automation in Construction*, vol.46, pp. 82-93.

East, B., Carrasquillo-Mangual, M., "The COBie Guide: a commentary to the NBIMS-US COBie standard", available at http://www.nibs.org/?page=bsa_cobieguide.

Eastman, C. (1979), *The representation of design problems and maintenance of their structure*, Technical Report, Carnegie Mellon University.

Eastman, C. (1999), *Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction*, CRC Press, London-New York.

Foliente, G. (2005), *Performance Based Building R&D Roadmap*, PeBBu Final Report, CIBdF, Rotterdam.

Geyer, P. (2009), "Component-oriented decomposition for multidisciplinary design optimization in building design", *Advanced Engineering Informatics*, vol. 23, pp. 12-31.

Gottfried, A., Di Giuda, G. (2011), *Ergotecnica edile*, Esculapio, Bologna.

Hiyama, K., Katob, S., Kubotac, M., Zhang, J. (2014), "A new method for reusing building information models of past projects to optimize the default configuration for performance simulations", *Energy and Buildings*, vol. 73, pp. 83-91.

essary tools to permit mutual comparison among the parties involved.

Conclusions: design strategies to ensure building quality

The increase of quality of building design depends on three main factors:

- quality of design tools;
- level of standardization;
- integration of the design tools with the results of scientific debate.

In relation to the issue of supporting the design process with efficient design tools, it is almost trite to say that the implementation of an interoperable BIM is fundamental. According to the statements expressed about the theme of linking performance to requirements at the design stage it is relevant to specify that the discipline of BIM should address the possibility to model the requirements in order to check them while modeling spatial

and technical elements. Moreover it is strategic the possibility to connect through the building information model different disciplines of the project, in order to contribute to the coherence of the individual specialist contributions.

Another strategic aspect in the evolution of the discipline of BIM is the possibility of facilitating the transfer of innovation and typological research from the field of the scientific production to the one of information modeling by sharing a set of compliant and interoperable technical solutions. In addition, to ensure the quality of building design it is necessary to experiment techniques of information modeling that permit to link the classes of requirement to spatial and technological units of the building.

These activities require well-established standards and regulations both

Hjelseth, E. (2012), "Converting performance based regulations into computable tools in BIM based model checking software", *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, Proceedings of the 5th European Conference on Product and Process Modelling in the Building and Construction Industry*, Reykjavik, Iceland, pp. 461-469.

Howard, R., Björk, B. (2008), *Building Information Modelling – Experts' Views on Standardization and Industry Deployment*, Advanced Engineering Informatics, Vol 22, No. 2, pp. 271-280.

Kang, J., Ganapathi, A., Lee, J., Faghihi, V. (2012), "BIM to field: Robotic total station and BIM for quality control", *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, Proceedings of the 5th European Conference on Product and Process Modelling in the Building and Construction Industry*, Reykjavik, Iceland, pp. 717-722.

Koskela, L.J., Ballard, G., Howell, G., Tommelein, I. (2002), "The foundations of lean construction" in: Best R., De Valence G., *Design and construction: building in value*, Butterworth Heinemann, Oxford, UK, pp. 211-226.

Miettinen, R., Paavola, S. (2014), "Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling", *Automation in Construction*, vol. 43, pp. 84-91.

Park, J., Nagakura, T. (2013), *A thousand BIM. A rapid value-simulation approach to developing a BIM tool for supporting collaboration during schematic design*, Open Systems: Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013), Hong Kong, pp. 23-32.

Peña, W., Parshall, S. (2012), *Problem Seeking: an Architectural Programming Primer*, John Wiley & Sons, New York.

Penttilä, H. (2006), *Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression*, ITcon Vol. 11, Special Issue The Effects of CAD on Building Form and Design Quality, pp. 395-408, available at <http://www.itcon.org/2006/29>.

in relation to the sharing of technical information (IFC) and to the level of development of information (LOD) stored in the model and divided by the phase of building's life cycle to make it not only comprehensive, but also verifiable through the tools of model checking. More generally, the activity of model checking is suitable for the verification of compliance of the design to architectural, urban, technical and administrative regulations taking in consideration the fact that verification rules must be developed in response to local conventions.

Starting from this kind of experiments it is possible to implement a LEAN approach based on a collaborative environment (Sacks 2010; Sacks, 2013) in which mutual comparison of regulations and requirements allow stakeholders to define the optimal project.

NOTES

¹ BIM acronym refers to the digital representation of the building process that permits the interchange and interoperability of information in a digital format (Eastman, 1999). As well, the UK Construction Project Information Committee defines BIM as «a digital representation of physical and functional characteristics of a facility creating a shared knowledge resource for information about it forming a reliable basis for decisions during its life cycle, from earliest conception to demolition».

² As an example we can mention the application Onuma Planning System (OPS™) that was developed to capture shared data from the program and generate a BIM aligned with its specifications.

³ Regulation UNI 10838: 1999 establishes the terminology to be used in

Sacks, R., Barak, R., Belaciano, B., Gurevich, U., Pikas, E. (2013), "KanBIM Workflow Management System: Prototype implementation and field testing", *Lean Construction Journal*, available at: http://www.leanconstruction.org/media/docs/lcj/2013/LCJ_12_004.pdf, pp. 19-35.

Sacks, R., Radosavljevic, M., Barak, R. (2010), "Requirements for Building Information Modeling based Lean Production Management Systems for Construction", *Automation in Construction*, vol. 4, Issue 5, pp. 641-655.

Sanguinetti, P. (2009), *BIM in academia: Shifting our attention from product to process*, Proceedings of the International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, Montréal, Canada 17th-19th June.

Sanguinetti, P., Abdelmohsen, S., Lee, J., Lee, J., Sheward, H., Eastman, C. (2012), "General system architecture for BIM: An integrated approach for design and analysis", *Advanced Engineering Informatics*, vol. 26, pp. 317-333.

Szigeti, F. (2005), *Performance Based Building: Conceptual Framework*, PeB-Bu Final Report, CIBdf, Rotterdam.

relation to end-user and articulates the notion of quality according to three main aspects: environmental, spatial/functional and technological. The environmental system, which should be formed by environmental and spatial-functional elements, remains partially undefined and inarticulate with lack of operability for the whole framework.

⁴ Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC Text with EEA relevance, Regulation (EU) 305 - 2011

⁵ *Construction. Needs of the end-user. Classification*, Italian Standard UNI 8289-1981. *Sustainability in construction-needs and requirements of environmental compatibility of residential*

projects and similar, offices and similar, of new construction and renovation, Italian Standard UNI 11277-2008. *Residential building - Technological System - classification and terminology*, Italian Standard UNI 8290/1-1981. *Building - Terminology referring to users, performance, construction process and quality construction*, Italian Standard UNI 10838-1999.

⁶ Building information modelling, Information delivery manual, Part 1: Methodology and format, ISO Standard 29481/1-2010. Industry Foundation Classes for data sharing in the construction and facility management industries, ISO Standard 16739-2013. Building construction: Organization of information about construction works, Part 3: Framework for object-oriented information, ISO Standard 12006/3-2007.