

*Angelo Luigi Camillo Ciribini

**Silvia Mastrolembro Ventura

**Marzia Bolpagni

La validazione del contenuto informativo è la chiave del successo di un processo BIM-based

DOI: 10.14609/Ti_2_15_1i

Parole chiave: Building Information Modelling (BIM), Model Checking, Appalti Pubblici.

Abstract L'industria delle costruzioni, e in particolar modo il settore pubblico, ha iniziato a porre più attenzione al contenimento dei costi e all'aumento delle prestazioni. Per questo motivo diversi enti pubblici in tutto il mondo stanno promuovendo nuove strategie adottando approcci innovativi come il Building Information Modelling (BIM). Paesi come Regno Unito, Germania, Francia e Spagna stanno lavorando in questa direzione investendo nella digitalizzazione del settore. Anche in Italia, sebbene l'implementazione, sempre più diffusa, delle tecnologie *information-based* non sia accompagnata da una strategia governativa, sono stati pubblicati bandi pubblici che richiedono l'uso del BIM. Inoltre, al fine di trarre maggiori vantaggi da un approccio *BIM-based*, si stanno diffondendo processi collaborativi che prevedono un coinvolgimento dei diversi attori fin dalle prime fasi del progetto. In questo modo è possibile anticipare la risoluzione di eventuali criticità prima di entrare in cantiere, individuando nello stesso tempo soluzioni ottimali per l'intero ciclo di vita di un fabbricato. All'interno della metodologia BIM, un ruolo chiave è rivestito dal Model Checking grazie al quale è possibile verificare e validare i progetti non solo in fase progettuale, ma anche durante tutte le fasi del processo. Per garantire risultati affidabili, il controllo deve partire da un'iniziale *pre-check*, definito BIM Validation, che validi il contenuto informativo dell'Information Model per poi procedere ad ulteriori analisi quali Clash Detection e Code Checking. L'Information Model deve essere il risultato di un'accurata fase di modellazione per poterne validare il contenuto geometrico e alfanumerico garantendo risultati affidabili per procedere, poi, con successive analisi *BIM-based*.

* Professore DICATAM, Università degli Studi di Brescia

** Eng. PhD Candidate Politecnico di Milano

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni il settore delle costruzioni, e in particolare il settore pubblico, ha iniziato ad adottare strategie innovative per ridurre i costi e, nello stesso tempo, aumentare le prestazioni. Il successo di un progetto è strettamente connesso alle modalità di gestione di un'enorme mole di informazioni da condividere tra i molteplici attori coinvolti nel processo, e trasversalmente nelle diverse fasi del ciclo di vita di un'opera. Accuratezza e puntualità nello scambio di tali dati, tuttavia, non sono caratteristiche costanti dei processi progettuali e costruttivi tradizionali, spesso caratterizzati da perdita di informazioni all'interfaccia tra le fasi costituenti che ne richiede necessariamente una nuova acquisizione e rielaborazioni, le quali si ripercuotono su tempi, costi e qualità del prodotto finito. Non c'è quindi da stupirsi se il Building Information Modelling (BIM) si sta diffondendo sempre più e diversi paesi come Regno Unito, Germania, Francia e Spagna l'hanno incorporato in una ben definita strategia governativa. Nel Regno Unito, ad esempio, nel 2011 è stato istituito un BIM Task Group, che riunisce competenze del settore delle costruzioni, il governo, le istituzioni e le università, con il compito di definire standard ed educare il settore delle costruzioni in previsione del 2016, anno a partire dal quale il governo richiederà l'implementazione di un processo collaborativo di Information Modelling and Management per tutti gli edifici pubblici sopra una certa soglia economica.

Il Building Information Modelling è un processo di gestione delle informazioni attraverso le fasi di programmazione, progettazione, realizzazione e gestione di un'opera. Non si tratta di una mera modellazione tridimensionale, quanto piuttosto della creazione di un sistema informativo parametrico attraverso il quale incrementare le informazioni connesse al progetto tramite collegamento diretto delle stesse agli elementi costruttivi, i BIM *object* che compongono il modello. Le informazioni veicolate tramite un modello parametrico sono principalmente di due tipi, dati geometrici ed alfanumerici, attraverso i quali un manufatto viene descritto digitalmente. Alla base dell'applicazione del BIM vi è una vera e propria rivoluzione del settore delle costruzioni, la quale prevede un cambiamento nell'approccio, ad oggi consequenziale, alle fasi del processo; nascono, inoltre, nuove parole chiave a regolare i rapporti tra tutti gli attori coinvolti. Il processo, con la metodologia BIM, diventa iterativo e la definizione e gestione dei requisiti progettuali deve svilupparsi in modo parallelo al processo stesso, non fermarsi alla fase iniziale, ma essere in grado di adattarsi ai cambiamenti che intercorrono nell'intero ciclo di vita di un'opera.¹ Tale approccio, è ovvio, non garantisce una migliore qualità architettonica, ma tende a rendere un progetto sviluppabile per alternative, anticipando alcune scelte fondamentali e rendendo i soggetti coinvolti più cooperanti, collaborativi ed integrati, in funzione non solo della costruibilità del progetto, bensì pure delle fasi di uso, manutenzione e gestione dell'opera.² L'obiettivo, quindi, è la mitigazione del rischio di incoerenza e di insuccesso. Ruolo fondamentale in questa rivoluzione è riservato alla committenza, la quale deve essere in grado di definire il quadro delle proprie esigenze e dei propri requisiti, anche in forme contrattualmente vincolanti come gli Employer's Information Requirements (EIR), documento chiave tramite il quale la committenza definisce i requisiti informativi in funzione degli usi del modello BIM, nonché le modalità di gestione delle informazioni.³ Progettisti e imprese devono approfondire e trovare risposta a queste richieste tramite un vero e proprio processo di costruzione virtuale in cui la loro struttura gerarchica, funzionale e relazionale viene allocata direttamente ai singoli oggetti nelle fasi progressive, garantendo una notevole trasparenza e identificazione di responsabilità.

¹ Kiviniemi, 2005.

² Ciribini, 2015.

³ PAS 1192-2:2013.

Anche nel nostro paese si sente parlare sempre più di Building Information Modelling. Tuttavia, a differenza di altri Paesi membri dell'Unione Europea, in Italia l'implementazione delle tecnologie *information-based* non è accompagnata da una efficace strategia *BIM-oriented*. In questa fase iniziale di implementazione del BIM nel mercato italiano, non si è ancora pienamente sviluppata la consapevolezza circa l'intero processo di cambiamento ad esso legato e la tendenza sembra essere l'utilizzo di nuovi strumenti di Information Modelling/Management (IMM) con il solo fine di emulare processi tradizionali e produrre la necessaria documentazione cartacea. Questa pratica porta però alla frammentazione delle informazioni, invalidando il potenziale aspetto innovativo della metodologia IMM.⁴ Purtroppo il numero di presunti 'BIM Manager' ed esperti BIM sta aumentando sempre più, senza tenere in giusta considerazione il fondamentale aspetto dell'effettiva responsabilità, anche a livello professionale ed assicurativo di queste figure nell'implementazione del processo, processo strettamente connesso a quelli di Project Management e Design Management. Questo potrebbe comportare gravi rischi per il settore, in quanto, senza una profonda comprensione, il rischio è l'ottenimento di risultati inferiori rispetto alle reali potenzialità, o anche peggiori rispetto ad una pratica tradizionale.

Ad esempio, anche in Italia sono stati pubblicati alcuni bandi in cui veniva richiesto l'uso del BIM. Nella maggior parte, però, le richieste si limitavano all'uso di software *BIM-based* senza modifiche nel processo o senza definire delle richieste precise. Questa tendenza è assai pericolosa perché il BIM necessita di un cambiamento nella gestione dell'intero settore delle costruzioni. Al fine di ottenere risultati positivi, quindi, è necessaria una strategia governativa in grado di ripensare l'intero settore.

APPALTI E CONTRATTI: TRA TRADIZIONE E INNOVAZIONE

Tra i diversi sistemi per realizzare opere pubbliche, il codice⁵ in vigore permette di usare contratti di appalto e contratti di concessione. I principali appalti di lavori sono quelli per sola esecuzione, appalti integrati e appalti concorso.⁶ In Italia, come nella maggior parte del resto del mondo, la tipologia di appalto relativo a lavori pubblici più diffusa è quella di sola esecuzione, che per questo motivo viene chiamata 'tradizionale'. La stazione appaltante sviluppa il progetto preliminare, definitivo ed esecutivo e l'impresa aggiudicataria ha in carico la realizzazione dell'opera. Il coinvolgimento dell'impresa, quindi, avviene solo in fase esecutiva e diverse parti hanno in carico la progettazione e la costruzione. Solitamente viene messo a base di gara il progetto esecutivo in modo che i concorrenti possano calcolare le quantità e stimare i costi. Il criterio di aggiudicazione spesso riguarda il prezzo più basso. In questa tipologia di appalto la committenza ha maggior controllo sul progetto e prima della gara è possibile avere un'idea precisa del costo finale basandosi su un progetto esecutivo. Inoltre, risulta più semplice controllare diverse offerte perché esse si riferiscono allo stesso progetto. Tuttavia, a causa della separazione tra progettazione ed esecuzione, solitamente i tempi di realizzazione sono più lunghi e il progetto messo a base di gara, pur essendo esecutivo, spesso non contiene un livello di dettaglio sufficientemente alto per iniziare la costruzione o vi sono delle omissioni che generano successivi contenziosi. Inoltre, in fase di gara non è raro assistere ad una pratica viziosa dove l'aggiudicatario offre un prezzo troppo basso e successivamente cerca di recuperare il denaro attraverso varianti o dispute legali.

⁴ Caratozzolo *et al.*, 2015.

⁵ D.Lgs. 12 aprile 2006, n.163.

⁶ *Ibidem*.

Negli appalti integrati, invece, la stazione appaltante ha il compito di sviluppare il progetto preliminare e definitivo; mentre l'aggiudicatario quello esecutivo. In questo modo, un unico soggetto è responsabile per la progettazione e la costruzione dell'opera. Esistono diverse varianti⁷ ma in tutti i casi i principali vantaggi riguardano la riduzione dei rischi per la stazione appaltante e una maggiore qualità dell'opera grazie al contributo dell'impresa in fase progettuale permettendo di risolvere in anticipo possibili criticità. Tuttavia, non è sempre facile confrontare diverse offerte e la stazione appaltante ha meno controllo sulla progettazione.

Negli appalti concorso, invece, la stazione appaltante sviluppa il solo progetto preliminare e in fase di gara i concorrenti presentano un progetto definitivo. Una volta aggiudicata la gara, l'impresa redige un progetto esecutivo sulla base del definitivo ed esegue l'opera. In questo caso l'aggiudicatario ha la possibilità di intervenire in una fase antecedente rispetto a quanto prevede l'appalto integrato. Per questo motivo, il numero di varianti in corso d'opera e contenziosi può essere ridotto notevolmente.

Una stazione appaltante può scegliere di realizzare un'opera pubblica ricorrendo anche ai contratti di concessione. In questo caso, oltre alla sola esecuzione, o progettazione esecutiva ed esecuzione, o progettazione definitiva, esecutiva ed esecuzione; l'aggiudicatario ha in carico la gestione funzionale ed economica del manufatto. In questo caso la gestione costituisce un elemento di primaria importanza al pari della progettazione e costruzione, in quanto soltanto una gestione efficace consente di generare i flussi di cassa necessari a soddisfare gli istituti creditizi.

L'impresa è chiamata a porre maggiore attenzione alla qualità dell'opera e ad implementare soluzioni ottimali già in fase di progettazione per garantire alti livelli di manutenibilità. L'impresa, quindi, ha maggiori responsabilità ed è chiamata a produrre opere funzionali nel tempo.

Sempre più spesso le stazioni appaltanti ricorrono alla locazione finanziaria di opere pubbliche o di pubblica utilità⁸ (*leasing in costruendo*). La stazione appaltante pone a base di gara un progetto di livello almeno preliminare e l'aggiudicatario ha il compito di predisporre i successivi livelli progettuali, l'esecuzione e la gestione per un termine stabilito. La pubblica amministrazione stipula, quindi, un contratto di *leasing* con un soggetto finanziatore o con una società temporanea costituita dal soggetto finanziatore e dal soggetto realizzatore. In questo modo la società di *leasing* assume tutti i rischi finanziari della realizzazione dell'investimento, mentre l'impresa tutti quelli non finanziari.⁹ Grazie al *leasing in costruendo*, quindi, la stazione appaltante reperisce le risorse finanziarie da un soggetto privato e l'integrazione tra la società di *leasing* ed il soggetto costruttore consente l'erogazione del capitale necessario per la costruzione in conformità con l'avanzamento del progetto.¹⁰ Inoltre, fin dall'inizio viene definito un costo e la rata del *leasing*, incentivando così la realizzazione dell'opera in tempi prefissati, in quanto la società di *leasing* inizierà ad incassare i canoni solo al termine del collaudo dell'opera.¹¹ Il *leasing in costruendo*, quindi, impone all'impresa di porre molta attenzione alla qualità dell'opera in modo da diminuire il più possibile i costi di manutenzione. Allo stesso tempo, l'impresa è chiamata a rispettare i tempi di realizzazione in modo da poter ottenere il finanziamento.

Altre tipologie di contratto che si stanno sviluppando recentemente sono i *performance-based contracting* (PBC). Essi prevedono un approccio incentrato sul ciclo di vita del manufatto e sul suo

⁷ Bolpagni, 2013.

⁸ D.Lgs. 12 aprile 2006, n.163.

⁹ Bosetti & Gatti.

¹⁰ Ibidem.

¹¹ Ibidem.

effettivo funzionamento.¹² I pagamenti, infatti, non avvengono più al completamento dell'opera o di alcune sue parti, ma sono legate al raggiungimento di prestazioni precedentemente definite.¹³ Questo comporta un diverso livello di responsabilità dei soggetti coinvolti, che si impegnano nel tempo a garantire determinati risultati. Risulta quindi importante collaborare fin dall'inizio per ricercare soluzioni ottimali. Un esempio di PBC sono gli *energy performance contracting* dove l'aggiudicatario è chiamato a fornire l'energia necessaria per gestire un manufatto, ricevendo i pagamenti a fronte dei risparmi ottenuti adottando soluzioni innovative.¹⁴

È possibile riscontrare una maggiore attenzione al ciclo di vita del manufatto anche all'interno della nuova direttiva europea sugli appalti pubblici.¹⁵ Infatti, per la prima volta, viene introdotto il concetto di "costo del ciclo di vita". Tale concetto di derivazione anglosassone (*life-cycle costing*) pone l'attenzione sulla dimensione "temporale", tenendo in considerazione il costo determinato da oneri successivi all'acquisizione in sé.¹⁶ Tali oneri sono distinti, in un elenco non tassativo, in due categorie: a) "costi interni", sostenuti dall'amministrazione, quali i costi relativi all'acquisizione, all'uso dell'energia, alla manutenzione e ai costi di fine vita; b) costi relativi alle esternalità ambientali, quali i costi delle emissioni e di mitigazione ambientale.¹⁷

Un'altra tipologia di appalto diffusa nel settore delle costruzioni è il cosiddetto *Construction Management*, dove la progettazione e l'esecuzione sono svolte da due enti separati, ma la stazione appaltante seleziona un manager, definito *construction manager*, con il compito di gestire entrambe le fasi. Al contrario della tipologia di appalto di sola esecuzione, in questo caso l'impresa viene coinvolta prima in fase progettuale potendo dare il proprio contributo. In questo modo, solitamente, i tempi di realizzazione si riducono. Tuttavia, il committente assume maggiori rischi dovuti alla presenza di una nuova figura e progettazione ed esecuzione sono comunque sviluppati da enti separati e la possibile collaborazione non viene fruttata appieno.

È possibile implementare un approccio BIM in qualsiasi tipologia di appalto per migliorare l'intero processo.¹⁸ Sia in fase di progettazione che in quella di costruzione, infatti, i benefici nell'uso di un approccio BIM sono ormai evidenti.¹⁹ Sebbene in Italia questa pratica non sia ancora diffusa, in alcuni paesi, come gli Stati Uniti, gli studi di progettazione e le imprese di costruzioni hanno abbandonato l'approccio tradizionale bidimensionale, per utilizzare quotidianamente il BIM. È interessante riflettere sui benefici del BIM anche in fase di gara, in quanto questa pratica è ancora poco diffusa anche nei paesi più avanzati. Un approccio BIM-based, infatti, può essere usato durante un appalto di sola esecuzione. In questo caso la stazione appaltante può mettere a base di gara un modello BIM al fine di permettere ai concorrenti di comprendere meglio la complessità del progetto ed estrarre le quantità in maniera semi-automatica (attraverso il *take off*).²⁰ I concorrenti, quindi, possono risparmiare tempo e denaro nel redigere le offerte e, nello stesso tempo, la stazione appaltante può contare su offerte più

¹² Hughes e Kabiri, 2013.

¹³ Hughes e Kabiri, 2013.

¹⁴ Ibidem.

¹⁵ Parlamento Europeo, 2014.

¹⁶ Lacava, 2014.

¹⁷ Lacava, 2014.

¹⁸ Bolpagni, 2013.

¹⁹ Dodge Data & Analytics, 2015.

²⁰ Ibidem.

accurate riducendo la discrepanza tra il prezzo offerto in sede di gara e quello finale.²¹ Inoltre, i concorrenti possono usare le quantità estratte per redigere un programma lavori.²² In presenza di un Building Information Model, è possibile garantire un maggiore livello di coerenza della documentazione di gara, in quanto le informazioni provengono dalla stessa fonte ed è più difficile avere informazioni contrastanti in grado di generare successivi contenziosi.²³ Tuttavia, l'uso del BIM in questa tipologia di appalto non consente di ottenere tutti i benefici offerti da un approccio BIM a causa della struttura stessa dell'appalto che prevede un tardivo coinvolgimento dell'impresa.²⁴

Un approccio BIM-*based* può essere integrato anche in un appalto integrato. In questo caso, in fase di gara i concorrenti consegnano un Building Information Model che consente alla giuria di comprendere meglio l'offerta grazie ad una visualizzazione 3D.²⁵ Inoltre, i concorrenti sono chiamati a lavorare sull'intero progetto e non solo a parti di esso (*e.g.* piante tipo). In questo modo, possibili criticità sono messe in evidenza in anticipo e possono essere risolte. La stazione appaltante, quindi, riceve offerte più accurate e affidabili.²⁶ Inoltre, grazie al Model Checking, che verrà discusso più nel dettaglio nel paragrafo successivo, è possibile controllare la qualità del modello in modo semi-automatico e verificare che questo sia conforme alle richieste iniziali inserite nel bando di gara.^{27 28}

Negli ultimi anni si sta assistendo allo sviluppo di nuove tipologie di appalto basate sulla collaborazione e cooperazione delle diverse parti e sul coinvolgimento anticipato dei diversi attori in gioco. Alcuni esempi sono Cost Led Procurement (CLP), Integrated Project Insurance (IPI), Two Stage Open Book, Integrated Project Delivery (IPD) e Project Alliancing (PA). CLP, IPI e Two Stage Open Book sono tipologie di appalto introdotte per la prima volta dal governo inglese nel 2011.²⁹ Infatti, il governo inglese afferma che nuove tipologie di appalto “*embrace early contractor involvement, higher levels of integration and transparency and the option of independent assurance. They also emphasise the requirement for improved client capability. The client must know what they want, what it should cost and how best to go to market to achieve their objective. These are critical factors that will drive innovation, identify waste, secure knowledge transfer and corresponding growth opportunities. When considered alongside other existing and emerging approaches to construction procurement, encompassing both buildings and economic infrastructure, the new models offer considerable potential to reduce the cost of construction to the public sector, and therefore taxpayer. Alongside reduced costs, it is likely that the models will contribute to improved programme certainty, reduced risk and greater innovation, as well as improved relationships throughout the supply chain*”.³⁰ Risulta, quindi, evidente il ruolo chiave della stazione appaltante che deve fissare fin da subito gli obiettivi e i requisiti del progetto per ottenere risultati ottimali. La collaborazione promossa dalle nuove tipologie di appalto, infatti, perderebbe efficacia in presenza di un committente incapace di gestire il processo.

²¹ Dodge Data & Analytics, 2015.

²² Ibidem.

²³ Ibidem.

²⁴ Ibidem.

²⁵ Ibidem.

²⁶ Ibidem.

²⁷ Bolpagni, 2013.

²⁸ Ciribini *et al.*, CEO 2015.

²⁹ Cabinet Office, 2012.

³⁰ Ibidem.

Il principale scopo dell'Integrated Project Delivery (IPD) è simile a quello delle tipologie di appalto presentate precedentemente; infatti, l'IPD *"integrates people, systems, business structures and practices into a process that collaboratively harnesses the talents and insights of all participants to reduce waste and optimize efficiency through all phases of design, fabrication and construction"*.³¹

L'Integrated Project Delivery impone a tutti i soggetti coinvolti di firmare un contratto multilaterale con la ripartizione di rischi e benefici e prevede fin dall'inizio di collaborare per ricercare una soluzione ottimale. È importante sottolineare che, anche se è possibile usare l'IPD senza il BIM, esso è rilevante per ottenere in modo efficace i livelli di collaborazione richiesti dell'IPD.^{32 33}

Un'altra tipologia di appalto che promuove un approccio *"no fault, no blame"* basato su principi di apertura e fiducia è *Project Alliancing* (PA), chiamato anche *Alliance Contracting*³⁴. Questa tipologia di appalto sviluppata in Australia prevede la selezione del miglior offerente in base alle sue capacità di sviluppare e portare a termine l'opera piuttosto che sul prezzo.³⁵ Come per l'IPD, anche in questo caso viene stipulato un contratto multilaterale, dove il cliente crea un'organizzazione con le altre parti coinvolte e condivide responsabilità e rischi così come i guadagni.³⁶ Il *Project Alliancing* attualmente non potrebbe essere applicato in Italia, in quanto i progettisti e i costruttori sono tenuti ad avere una polizza assicurativa che tuteli le stazioni appaltanti da potenziali rischi derivanti da una errata progettazione o esecuzione.³⁷ Questo dimostra come la legislazione italiana attualmente non favorisca un clima di corresponsabilità, ma tenda a contrapporre i diversi soggetti.

Attualmente il decreto legislativo³⁸ è in fase di aggiornamento per incorporare quanto contenuto nella Direttiva Europea.³⁹ Per la prima volta la nuova Direttiva europea⁴⁰ introduce la possibilità di usare un approccio BIM: "Per gli appalti pubblici di lavori e i concorsi di progettazione, gli Stati membri possono richiedere l'uso di strumenti elettronici specifici, quali gli strumenti di simulazione elettronica per le informazioni edilizie o strumenti analoghi".⁴¹ Nella versione inglese, *"For public works contracts and design contests, Member States may require the use of specific electronic tools, such as of building information electronic modelling tools or similar"*⁴², viene esplicitato il termine BIM e perciò questa versione risulta essere più efficace rispetto a quella italiana.⁴³ Tuttavia, viene messo in risalto l'aspetto tecnologico legato ai BIM *"tools"*, piuttosto che quello metodologico. Il legislatore italiano sta valutando con attenzione questa tematica al fine di evitare che il BIM venga visto solo come uno strumento. Al giorno d'oggi non è stato ancora comunicato se il nuovo codice legislativo conterrà nuove tipologie di

³¹ AIA, 2007.

³² Ibidem.

³³ Eastman *et al.*, 2011.

³⁴ Petäjaniemi e Lahdenperä, 2012.

³⁵ Ibidem.

³⁶ Ibidem.

³⁷ Bolpagni, 2013.

³⁸ D.Lgs. 12 aprile 2006, n.163.

³⁹ Parlamento Europeo, 2014.

⁴⁰ Ibidem.

⁴¹ Parlamento Europeo, 2014.

⁴² European Parliament, 2014.

⁴³ Bolpagni, 2014.

appalto improntate sulla collaborazione, anticipato coinvolgimento delle controparti e criterio di aggiudicazione dell'offerta economicamente più vantaggiosa. Tuttavia, è auspicabile che questo avvenga per potere utilizzare al meglio un approccio BIM-*based*.

Infatti, nonostante le tipologie innovative di appalto presentate precedentemente siano differenti tra loro, tutte cercano di spostarsi da un atteggiamento "tutti contro tutti" a "siamo tutti sulla stessa barca". Questo è il motivo per cui il Building Information Modelling può essere usato per raggiungere questi obiettivi, in quanto per sua natura favorisce la cooperazione e la trasparenza.

Come si è discusso precedentemente, il Building Information Modelling può essere integrato in diverse tipologie di appalto, da quelle tradizionali a quelle innovative.⁴⁴

Tuttavia, quando il BIM viene usato con tipologie di appalto tradizionali, perde buona parte delle sue potenzialità.⁴⁵ Infatti, secondo Dave *et al.*⁴⁶ gli appalti tradizionali, come quello di sola esecuzione, possono essere il più grande ostacolo alla corretta adozione di Lean e BIM insieme (o anche singolarmente).

Infatti, l'ottimizzazione del valore e la riduzione degli sprechi al minimo è difficile quando l'appalto inibisce il coordinamento, reprime la collaborazione e l'innovazione, incentivando il raggiungimento di obiettivi individuali a spese della controparte.⁴⁷

Un "*partnering approach*", supportato da nuove forme contrattuali come ConsensusDOCS, invece, può favorire i principi di collaborazione e integrazione richiesti da un approccio Lean come da uno BIM-*based*.⁴⁸ Infatti, queste tipologie di contratto favoriscono relazioni commerciali basate non solo sul rispetto reciproco, ma facilitano la condivisione di conoscenza e informazioni promuovendo l'innovazione e la creazione di valore.⁴⁹ Grazie all'adozione di un approccio di questo tipo, è possibile gestire insieme tempi, costi e rischi concentrandosi sul raggiungimento di valori condivisi o scopi comuni come l'adempimento alle richieste della committenza.⁵⁰ Inoltre, in caso di buoni risultati, questi contratti spesso prevedono incentivi o premialità per l'intero gruppo di lavoro, invece che per i singoli individui.⁵¹ Per questo motivo contratti "relazionali" sono ottimali per favorire la co-locazione dei gruppi di lavoro, il coinvolgimento anticipato e lo sviluppo congiunto della progettazione, rispetto a contratti tradizionali.⁵² Forme contrattuali adatte ad un approccio BIM sono già disponibili.⁵³ Ad esempio nel Regno Unito vi è una lunga tradizione relativa a forme collaborative e attualmente il governo sta lavorando in questa direzione.⁵⁴

⁴⁴ Bolpagni, 2013.

⁴⁵ Salmon, 2012.

⁴⁶ Dave *et al.*, 2013.

⁴⁷ Mathews e Howell, 2005.

⁴⁸ Dave *et al.*, 2013.

⁴⁹ Colledge, 2005.

⁵⁰ Ibidem.

⁵¹ Ibidem.

⁵² Dave *et al.*, 2013.

⁵³ McAdam, 2011.

⁵⁴ Ibidem.

NEC3, PPC2000 e JCT Constructing Excellence favoriscono un approccio basato sulla fiducia e la cooperazione.⁵⁵ Per questo motivo, queste forme contrattuali, anche se non sono state sviluppate al fine di supportare il Building Information Modelling, sono appropriate per favorirne l'implementazione.⁵⁶ Inoltre, vi sono altre forme sviluppate in USA, come Document E202 e ConsensusDOCS 301, proprio per essere incorporate in un processo BIM-based.⁵⁷ Solitamente i principi promossi da contratti "relazionali" sono più difficilmente applicabili nel settore pubblico rispetto a quello privato a causa delle numerose limitazioni quali impedimenti legali, barriere culturali o mancanza di competenze.⁵⁸ Per questo motivo, è necessario porre più attenzione quando si adopera nel settore pubblico, al fine di raggiungere risultati ottimali.

IL RUOLO DEL MODEL CHECKING NEL PROCESSO DI INFORMATION MODELLING E MANAGEMENT

Il continuo sviluppo e l'implementazione sempre più diffusa della metodologia e tecnologia BIM, nonché di formati neutri e interoperabili come l'IFC (Industry Foundation Classes) e il BCF (BIM Collaboration Format), ha portato a un sempre maggiore interesse nei confronti degli strumenti di Model Checking e condotto allo sviluppo di una nuova generazione di software per il Quality Assurance e Quality Control (QA/QC) basati su regole parametriche (*rule-based*); il *Model Checking* è ormai parte integrante, nonché momento chiave, del processo di Information Modelling e Management. Partendo dal presupposto che non si tratta di sola modellazione geometrica tridimensionale, il BIM si basa sullo scambio, attraverso le diverse fasi del ciclo di vita di un'opera e trasversalmente tra tutti gli attori coinvolti, di informazioni inerenti la programmazione, progettazione, realizzazione e gestione di un bene. Il contenuto informativo di un modello parametrico deve, quindi, essere validato in modo da garantire risultati affidabili nelle successive fasi di analisi. Inoltre, il Building Information Modelling vede la committenza assumere il ruolo di originatore del processo e co-autore dell'opera ed è quindi fondamentale, anche in termini contrattuali, verificare che il tramite di un tale scambio di dati, il modello parametrico, contenga effettivamente il livello informativo minimo richiesto dagli Employer's Information Requirements (EIR).⁵⁹ In tal senso, lo scambio di informazioni diventa parte integrante delle procedure di Risk Management.

Con il diffondersi dell'implementazione della metodologia BIM, si è cominciato a comprendere quali fossero i benefici e i limiti attribuibili alla tecnologia nello scambio delle informazioni. L'interoperabilità sulla base di modelli in formato nativo può, da un lato, aumentare produttività e efficienza, ma, dall'altro, l'uso di un formato neutro consente una comunicazione aperta e trasversale, in un processo dove si comincia sempre più a comprendere che ciò che conta è la rispondenza agli EIR e l'affidabilità del dato, anche al fine di evitare controversie. La formalizzazione delle procedure di scambio informativo diventa il punto focale e il Model Checking in questo gioca un ruolo decisivo. La digitalizzazione del settore delle costruzioni, infatti, non può prescindere dalla capacità della committenza di definire le condizioni e i contenuti degli interventi da commissionare in ambito computazionale; la validazione dei modelli parametrici, di conseguenza, deve essere uno sforzo

⁵⁵ McAdam, 2011.

⁵⁶ Ibidem.

⁵⁷ Ibidem.

⁵⁸ Ke *et al.*, 2011.

⁵⁹ PAS 1192:2-2013.

congiunto di progettisti e committenza al fine di migliorare la qualità delle soluzioni progettuali, la loro coerenza con i bisogni della committenza e il loro supporto all'analisi dei costi e alla fase costruttiva in modo da ridurre il numero di modifiche progettuali necessarie durante la realizzazione dell'opera ed assicurare come prodotto finale un edificio funzionale e di qualità, aumentando contestualmente la trasparenza del processo.⁶⁰

In processi di progettazione tradizionale, solo il 5-10% del contenuto informativo del progetto viene sistematicamente controllato.⁶¹ Il Model Checking permette di raggiungere una validazione automatizzata per il 40-60% del progetto,⁶² procedendo per controlli puntuali e non a campione. Sono molteplici i momenti nei quali è necessario controllare il contenuto informativo del modello, i cosiddetti *checkpoint*, in modo da individuare in anticipo potenziali criticità e garantire un risultato affidabile nelle successive applicazioni sulla base di un Information Model adottato come veicolo per una gestione completa e coordinata delle informazioni. Il processo di controllo della qualità, Quality Assurance (QA), di un modello, e quindi di un progetto, sarà utile alla committenza per verificare che il modello contenga tutti gli attributi alfanumerici richiesti negli EIR e sviluppati nel BIM Execution Plan, ma allo stesso modo si tratta di uno strumento fondamentale per il singolo progettista e per tutto il gruppo di progettazione al fine di effettuare una regolare autovalutazione. I momenti di controllo del modello e di analisi dei risultati dovrebbero essere parte di una normale pianificazione delle attività e ad esse dovrebbe essere riservato tempo sufficiente anche includendo quello necessario per eventuali correzioni.⁶³

Durante la fase di Model Checking, i parametri, geometrici e non, implementati nei modelli informativi vengono analizzati e validati sottoponendo il Building Information Model a diversi domini di validazione. Solitamente il set di regole di controllo, il *rule-set*, che viene applicato al modello è organizzato in tre fasi di verifica consequenziali: la BIM Validation, che ne controlla attributi e procedure di modellazione, la Clash Detection, ovvero il controllo interferenze, e il Code Checking, la verifica di conformità del progetto alle normative di riferimento.

BIM VALIDATION

La corretta implementazione della metodologia BIM è imprescindibile dal controllo della coerenza e della qualità del dato veicolato da un Building Information Model, laddove questo sia strutturato per costituire un effettivo strumento a supporto del processo decisionale di Information Management. Innanzitutto, al fine di garantire la comunicazione tra BIM Platform di Information Modelling e BIM *tool* di Model Checking, le regole di controllo e il modello devono contenere la medesima semantica, il che significa che gli oggetti parametrici contenuti nell'Information Model devono necessariamente poter essere mappati e riconosciuti dallo strumento di Model Checking attraverso alcune proprietà; le più comuni per questo tipo di interoperabilità sono l'IfcName e l'IfcType. Prima di procedere ad analisi avanzate, quindi, è necessario effettuare un *pre-check* del contenuto informativo del modello attraverso un *rule-set* che ne validi la correttezza: si parla, in questa fase, di BIM Validation. La BIM Validation, attraverso la gestione di un opportuno set di regole parametriche e sulla base di analisi logiche e semantiche, analizza e determina il livello di qualità e coerenza interna di un Building Information

⁶⁰ COBIM 2012, Series 6.

⁶¹ Ibidem.

⁶² Ibidem.

⁶³ Ibidem.

Model garantendo l'estrazione di risultati affidabili per successive fasi di analisi BIM-based;⁶⁴ controlla, inoltre, che gli elementi siano stati nominati e classificati correttamente. Questo processo di Quality Assurance, infatti, assicura che il modello contenga tutte le informazioni necessarie per un controllo avanzato, inclusi tutti quegli attributi alfanumerici che, in un processo di Information Management correttamente strutturato, rientrano tra i BIM Requirement individuati in fase di redazione del BIM Execution Plan (BEP) e che sono fondamentali per lo scambio informativo tra le parti, nonché per la completezza ed affidabilità dei documenti estratti dal Building Information Model. Si tratta di un passaggio essenziale, preliminare ad altre fasi del Rule-based Model Checking, in quanto verifica che il modello sia costruito in accordo con i requisiti specifici di progettazione, in funzione dei BIM Use definiti dalla committenza e delle finalità da perseguire.

Come anticipato, un BIM *tool* di Rule-based Model Checking consente di disporre di un predefinito set di regole per la fase di BIM Validation: personalizzabile dall'utente, questo va applicato dapprima ai singoli modelli disciplinari e, successivamente, al modello federato, o Merged Model, che integra le diverse progettazioni. Una volta superata questa prima validazione, il modello può poi essere sottoposto ad analisi più specifiche come, per citarne alcune, il *quantity take-off* a fini computazionali, l'analisi energetica (Building Energy Modelling) o la verifica di conformità del progetto alle normative di riferimento (Code Checking). Le criticità rilevabili nella fase di BIM Validation riguardano il contenuto alfanumerico, ovvero gli attributi, del modello parametrico, o l'aspetto meramente geometrico dello stesso rilevando due tipologie di errore: di modellazione e di progettazione.⁶⁵ Controllare la correttezza della modellazione tridimensionale è indispensabile; si consideri la fase di *quantity take-off* e computazione: per esempio, l'erronea, ma non così rara, modellazione di due pavimenti sovrapposti si ripercuoterebbe in un doppio conteggio dei materiali costituenti il relativo pacchetto stratigrafico. Altre criticità rilevabili sono attribuibili ad errori progettuali e vengono individuate tramite le potenzialità di analisi logica del funzionamento dei componenti edilizi delle quali dispongono alcuni degli strumenti di Model Checking. Questo permette di controllare un'eventuale mancanza di coerenza progettuale come, a titolo esemplificativo, il corretto dimensionamento di un infisso rispetto alla quota di un controsoffitto (Figura 1).

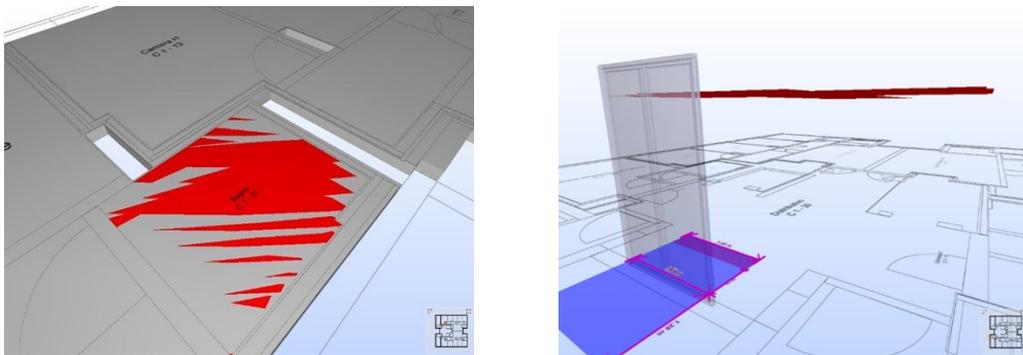


Figura 1 Esempi di risultati geometrici del rule-set di BIM Validation eseguiti con Solibri Model Checker v.9. Un controllo preliminare permette di verificare che non vi siano elementi sovrapposti o che il posizionamento dei componenti edilizi sia coerente. Nell'immagine a sinistra due pavimenti si compenetrano e questo causerebbe un errore nella computazione dei materiali; a destra è rilevata un'incongruenza tra il dimensionamento di un infisso e la quota di un controsoffitto

⁶⁴ Ciribini *et al.*, ISARC 2015.

⁶⁵ Ciribini *et al.*, ISARC 2015.

Infine, la BIM Validation consente di analizzare l'interezza del contenuto informativo associato ad un oggetto parametrico e quindi, attraverso opportuni sistemi di classificazione, permette anche di validarne il relativo Level Of Development (LOD) in funzione di quanto specificato nel BEP. A ogni LOD corrispondono diversi attributi che devono essere necessariamente definiti e compilati per ogni oggetto. Si consideri, ad esempio, un elemento "Door" per il quale a un determinato LOD corrispondono degli attributi quali "Fire rating", "Fire Exit" e "Door Operation".⁶⁶ La validazione del contenuto informativo verifica l'effettiva presenza e corretta compilazione di tali parametri al fine di un confronto tra quanto dichiarato e quanto effettivamente modellato, ponendosi a supporto di un corretto flusso informativo tra le parti interessate.

CLASH DETECTION

Il Model Checking valida due tipologie di dati: dati geometrici e attributi alfanumerici. La Clash Detection, ovvero il controllo delle interferenze, nasce come analisi di coerenza geometrica e spaziale, ed è ad oggi uno degli usi più diffusi del Building Information Modelling in quanto i vantaggi che si ottengono da questa analisi sono considerevoli, a fronte di investimenti ridotti in termini di tempo e sforzi per l'implementazione del processo. Si parla di Advanced Clash Detection quando le capacità di analisi logica dello strumento di Model Checking sono in grado di distinguere e classificare diversamente le interferenze rilevate. Saranno, quindi, classificati a diversi gradi di severità, preliminarmente definiti nel BIM Execution Plan, interferenze tra impianti ed elementi strutturali piuttosto che tra impianti ed elementi architettonici, in quanto anche nella stessa fase progettuale le due casistiche richiederebbero di essere affrontate necessariamente con un'attenzione diversa⁶⁷.

In questo caso, affinché i risultati ottenuti tramite un *rule-set* di Clash Detection siano affidabili e ad effettivo supporto del processo decisionale, è necessario, dapprima, procedere a una serie di controlli manuali ed, inoltre, definire chiaramente i BIM requirement relativi alla modellazione geometrica. Il controllo interferenze, infatti, prevede una prima parte di gestione manuale del processo di verifica relativo al controllo delle versioni progettuali dei modelli informativi e della loro localizzazione in un corretto sistema di coordinate cartesiane. Prosegue poi con la validazione dei singoli modelli disciplinari e del Merged Model. Per individuare eventuali incoerenze, per esempio tra la progettazione impiantistica e quella strutturale, è indispensabile modellare i sistemi impiantistici con un alto grado di accuratezza geometrica. Solo in questo modo, sarà possibile individuare e correggere eventuali problematiche che altrimenti sorgerebbero nella fase di installazione degli impianti. Le BIM *guideline* finlandesi,⁶⁸ uno dei paesi *leader* nell'implementazione dell'Information Modelling, sottolineano come l'accuratezza geometrica delle reti impiantistiche debba essere tale che l'installazione dei componenti Mechanical, Electrical e Plumbing (MEP) all'interno dell'edificio possa essere condotta sulla base del Building Information Model.⁶⁹ L'obiettivo della modellazione geometrica, in questo caso, deve essere la creazione di un modello senza intersezioni. Un tale approccio si riflette inevitabilmente sulle responsabilità alle quali è soggetto il progettista nell'intero processo costruttivo, responsabilità che

⁶⁶ Solibri, Inc.

⁶⁷ Ciribini *et al.*, ISARC 2015.

⁶⁸ COBIM 2012.

⁶⁹ COBIM 2012, Series 4.

aumenta di pari passo con il sempre maggiore coordinamento interdisciplinare necessario per l'implementazione della metodologia BIM.

La fase di Clash Detection si sviluppa per *step* successivi; innanzitutto, il progettista dovrebbe provvedere a rilevare eventuali interferenze per la parte di propria competenza nella stessa piattaforma di BIM Authoring:⁷⁰ al giorno d'oggi la maggior parte dei software di modellazione parametrica dispone di applicativi di questo tipo o *plug-in* per un controllo preliminare delle interferenze o una parziale BIM Validation relativa ad aspetti geometrici. Per la successiva fase di coordinazione multidisciplinare esistono BIM Viewer e BIM Coordination *tool*, come Tekla BIMsight, Solibri Model Viewer, Autodesk Navisworks o Autodesk BIM 360 Glue, alcuni dei quali funzionano anche su dispositivi mobile. Al fine di effettuare controlli più avanzati sulla base di *rule-set* personalizzabili, invece, è necessario usare BIM *tool* dedicati come Solibri Model Checker, leader in questo settore, che promuove un approccio Open BIM attraverso l'uso del formato interoperabile IFC. Inoltre, sul mercato stanno emergendo nuovi *rule-based* software come, ad esempio, BIM Assure. Dopo aver impostato correttamente il *rule-set* desiderato, esso va applicato dapprima ai singoli modelli disciplinari, per poi rilevare eventuali problemi di coordinamento nel Merged Model (Figura 2).⁷¹ Inoltre, le *clash* e le criticità rilevabili non sono riconducibili esclusivamente ad interferenze fisiche, ma attraverso uno strumento di Rule-based Model Checking è possibile verificare anche la vicinanza tra oggetti e determinare la tolleranza minima, ad esempio, per l'installazione o manutenzione dei diversi componenti presenti nell'edificio.

Il controllo iterativo delle interferenze è anche un processo ad effettivo supporto della fase costruttiva di un manufatto, in quanto permette di verificarne la costruibilità sulla base della documentazione progettuale proposta. Controlli ciclici del modello federato evidenziano eventuali conflitti ed interferenze inter-disciplinari e si pongono a base delle riunioni di coordinamento durante le quali tutte le parti coinvolte propongono delle soluzioni che, una volta testate nell'ambiente virtuale del modello, possono essere nuovamente verificate e discusse garantendo integrazione di conoscenza e condivisione del processo (Figura 3) (Figura 4).

Clash Detection			
Requisiti minimi			
Tutti i modelli richiesti sono disponibili			
Rappresentazione BIM dei progetti (Arch, Struct, MEP) nella stessa versione progettuale			
I modelli sono localizzati nel corretto sistema di coordinate cartesiane			
+	Intersezioni tra componenti architettonici	⚠	✓
+	Intersezioni tra componenti strutturali		OK
+	Intersezioni in modelli MEP	⚠ ⚠ ⚠	✗
Clash detection - Merged BIM (il modello completo)			
+	Modello strutturale vs Modello architettonico	⚠ ⚠ ⚠	✗
+	Modello MEP vs Modello architettonico	⚠ ⚠	✗
+	Modello MEP vs Modello strutturale	⚠ ⚠	✗

Figura 2 Sviluppo di un *rule-set* per la Clash Detection con Solibri Model Checker v.9. Il controllo interferenze prevede una prima parte di gestione manuale del processo di verifica relativo al controllo delle versioni progettuali dei modelli informativi e della loro localizzazione in un corretto sistema di coordinate cartesiane. Prosegue poi con la validazione dei singoli modelli disciplinari e del Merged Model

⁷⁰ COBIM 2012, Series 6.

⁷¹ Ibidem.

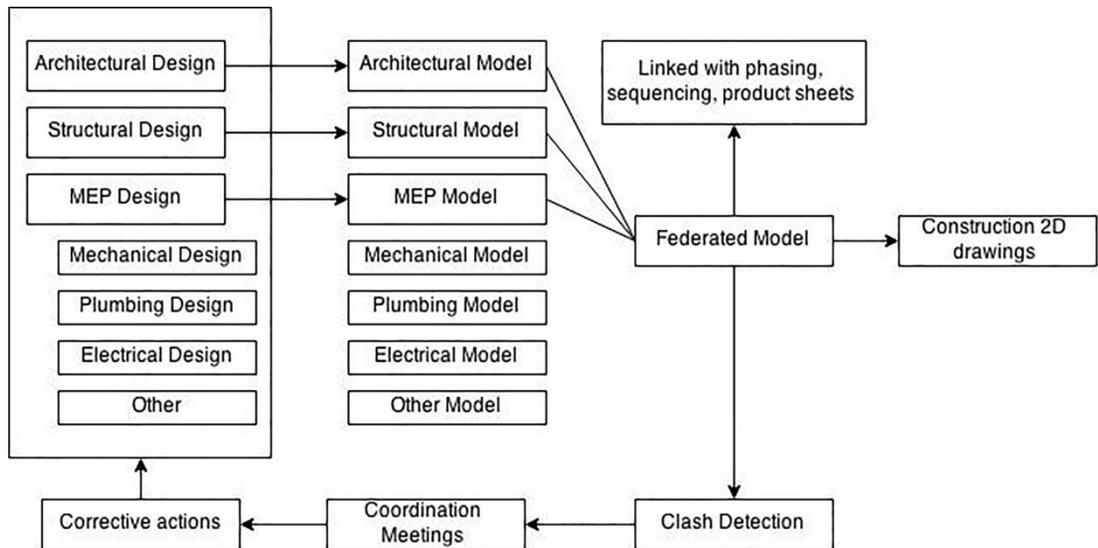


Figura 3 Processo iterativo di Clash Detection disciplinare e multidisciplinare a supporto del processo decisionale e della verifica di costruibilità dell'opera. Flusso operativo riadattato da *The Contractor's Guide to BIM - 2nd edition* (The Associated General Contractors AGC of America)



Figura 4 Esempio di Clash Detection effettuato con Solibri Model Checker v.9 e modellazione MEP ad alta accuratezza geometrica in Autodesk Revit 2014. L'obiettivo è individuare nella costruzione digitale dell'edificio ogni possibile criticità che, altrimenti, si riscontrerebbe solo in fase costruttiva, quando l'efficacia di modifiche correttive sarebbe notevolmente ridotta a fronte di costi molto più elevati

CODE CHECKING

Il Code Checking è una declinazione del Model Checking tramite la quale validare la progettazione⁷² comparando i parametri contenuti nel modello a normative e codici di riferimento. Il processo costruttivo è regolamentato da numerose leggi a livello locale, nazionale ed internazionale⁷³ e le informazioni rilevanti contenute in questi documenti possono essere tradotte in regole parametriche attraverso il supporto di un sistema semantico di lettura ed interpretazione delle stesse. Il medesimo procedimento è applicabile alle richieste della committenza o alle buone pratiche progettuali e costruttive che, una volta tradotte in linguaggio parametrico, possono essere implementate come prescrizioni.

Attraverso un sistema di controllo *rule-based*, l'utente è in grado di eseguire un *check* i cui risultati consistono in "approvato" ("*pass*"), "bocciato" ("*fail*"), "attenzione" ("*warning*") e "sconosciuto" ("*unknown*") nel caso in cui i dati necessari al controllo fossero incompleti o mancanti. Al fine di supportare un processo quanto più possibile automatizzato, i Building Information Model devono, quindi, essere arricchiti di contenuto informativo alfanumerico rappresentato da quei dati che non sempre sono generati automaticamente dalle piattaforme di BIM Authoring, come invece accade per le informazioni geometriche e i dati dimensionali.⁷⁴

Con i metodi di progettazione tradizionali, la verifica di conformità alle norme, basata sulla rappresentazione grafica bidimensionale, è condotta manualmente, a campione, e richiede numerosi incontri e momenti di confronto.⁷⁵ Inoltre, una specifica fase del processo di progettazione non è valutata fino a che tutti gli elaborati progettuali non sono stati completati. Questo approccio spesso comporta discrepanze, ambiguità e soggettività nell'interpretazione dei documenti, oltre ad un aumento di costi e tempi.⁷⁶ Per queste ragioni, la possibilità di semi-automatizzare il processo di verifica dovrebbe essere uno degli obiettivi prioritari nel processo di digitalizzazione del settore delle costruzioni. Tuttavia, innovazioni di questo tipo sono possibili solo modificando il metodo di lavoro, passando dalla definizione di un progetto come somma di molteplici documenti, alla realizzazione di un singolo e coerente Building Information Model a supporto del processo decisionale lungo tutto il ciclo di vita di un'opera e dal quale estrarre la documentazione e le informazioni necessarie.

Diverse ricerche a livello internazionale si sono focalizzate da una parte sul trasferimento delle prescrizioni contenute nei testi normativi in regole applicabili a strumenti di *rule-based* Model Checking e dall'altra sullo sviluppo di un modello parametrico completo degli attributi alfanumerici necessari per valutarne la conformità alle norme.⁷⁷ Grazie alla creazione di *rule-set* il processo di validazione risulta essere più oggettivo in quanto le richieste sono definite in modo univoco.⁷⁸ In questo modo si riduce il margine di interpretazione soggettiva del testo normativo, spesso generico e privo di una serie di dettagli. Inoltre, uno stesso set di regole, una volta analizzato e parametrizzato un codice o un regolamento, può essere utilizzato per la verifica di Building Information Model rappresentanti lo stesso

⁷² Hjelseth, Nisbet, 2010.

⁷³ Hjelseth, Nisbet, 2011.

⁷⁴ Niemeijer *et al.*, 2009.

⁷⁵ Nguyen, Kim, 2011.

⁷⁶ Greenwood *et al.*, 2012.

⁷⁷ Sanguinetti *et al.*, 2012.

⁷⁸ Ciribini *et al.*, CEO 2015.

ambito progettuale.⁷⁹ Questo è ancora più evidente se si pensa a casi come l'edilizia scolastica, l'edilizia ospedaliera o le strutture ricettive, esempi per i quali la standardizzazione di verifiche funzionali, relazionali e qualitative permetterebbe la comparazione tra diversi modelli, e quindi progetti, in modo più veloce e trasparente.

Il processo di Rule-based Model Checking si sviluppa in quattro fasi: Rule Interpretation, Building Model Preparation, Rule Execution, Rule Reporting.⁸⁰

Rule Interpretation

Nella fase di Rule Interpretation, il testo normativo viene analizzato e strutturato in parametri tramite i quali sviluppare regole di controllo implementabili in *tool* di Rule Checking. Codici e regolamenti solitamente hanno una struttura che facilmente si presta ad esser tradotta in una notazione formale e, quindi, in un linguaggio parametrizzabile. È stato provato che un'interpretazione basata su quattro operatori semantici di controllo assicura regole e risultati affidabili. Gli operatori semantici ai quali si fa riferimento sono:

- **Requisiti (Requirements)**
- **Applicabilità (Applicability)**,
- **Selezione (Selection)**
- **Esclusione (Exception)**

Questi *tag* sono gli strumenti della cosiddetta RASE Methodology,⁸¹ un metodo di analisi logico-semantica a supporto dell'interpretazione dei testi normativi e la loro traduzione in un'unica e ben definita regola facilmente implementabile in un *tool* di *Rule-based Model Checking*. La maggior parte dei testi normativi può essere parametrizzata seguendo questo approccio; tuttavia, esistono alcune eccezioni nel caso di richieste connesse al giudizio umano. Per esempio, un requisito come "la soluzione deve essere amica dell'ambiente" (*environmentally friendly*) può essere implementato come regola parametrica, ma non potrà essere automaticamente verificato fino a quando non sarà chiaramente definito mediante parametri oggettivi. Questo genere di vincoli può comunque essere implementato nel *rule-set* anche solo come testo e considerato come *checklist* a sostegno della progettazione garantendo un'analisi completa degli aspetti di cui tener conto; per questo motivo si parla di validazione "semi-automatica", imprescindibile in alcuni casi dal giudizio umano.

Building Model Preparation

In questa seconda fase, il modello parametrico viene arricchito di contenuto informativo in modo che sia confrontabile con il set di regole per la sua validazione. Il Building Information Model viene integrato con gli attributi informativi necessari all'esecuzione del controllo in funzione dell'ambito tematico e dei domini di validazione individuati. Per supportare un processo quanto più possibile automatizzato, infatti, i modelli BIM devono contenere anche dati che non sempre sono generati automaticamente dalle piattaforme di modellazione, come invece accade per le informazioni meramente geometriche.⁸² In questo caso infatti, il modello non deve contenere solo una corretta classificazione per discipline, sufficiente, ad esempio, per la Clash Detection, ma deve soprattutto essere arricchito con le

⁷⁹ Ciribini *et al.*, CEO 2015.

⁸⁰ Eastman *et al.*, 2009.

⁸¹ Hjelseth e Nisbet, 2011.

⁸² Niemeijer *et al.*, 2009.

informazioni necessarie per il controllo di conformità alla normativa di riferimento.⁸³ A seconda degli aspetti che si è deciso di verificare, indipendentemente che si tratti di regole per la prevenzione incendi, prescrizioni per l'abbattimento delle barriere architettoniche o requisiti di efficienza energetica, il contenuto informativo richiesto è differente a tal punto da portare anche alla definizione di versioni distinte dello stesso modello.⁸⁴ Infine, la fase di Building Model Preparation deve svolgersi parallelamente all'implementazione delle regole per il Rule Checking; queste ultime, infatti, devono essere in grado di parlare con il modello ed interpretarne il contenuto informativo all'interno del quale cercano, per censimento, gli attributi necessari alla sua validazione. Inoltre, oltre alla necessità di definire dei BIM Requirements per la creazione del modello in funzione degli usi e, quindi, dei controlli che si vogliono implementare su di esso, è utile che i progettisti consegnino un documento, Model Specification,⁸⁵ nel quale spiegano come hanno modellato in conformità con quanto richiesto. Tale documento integrativo ha anche l'obiettivo di supportare il validatore nella fase di Model Checking.

La tecnologia BIM supporta un certo livello di automatismo nella valutazione dei progetti, tuttavia queste innovazioni solitamente si scontrano con problemi relativi a convenzioni e semantica, importanti quando riguardano l'individuazione di oggetti fondamentali nelle pratiche di Rule Checking come, ad esempio, i cosiddetti lfcSpace.⁸⁶

Attualmente, i principali software di modellazione BIM rappresentano esplicitamente gli *space* come oggetti tridimensionali ai quali associare forme e proprietà. In essi, infatti, è possibile immagazzinare diversi dati fondamentali per organizzare la "semantica" di un modello: uno *space* non è solo descritto mediante la sua geometria 3D e le relazioni spaziali, ma anche, e soprattutto, attraverso importanti proprietà quali il set di nomi binario "space name" e "space group", lo "space number", l'area, il volume, la destinazione d'uso ed eventualmente i requisiti di Space Programming, gestibili anche esternamente attraverso degli appositi *plug-in*. Fondamentale è un'attenta classificazione dei locali e quindi un'organizzazione sistematica dell'uso dei nomi i quali, nelle attuali pratiche di progettazione CAD bidimensionali, vengono spesso utilizzati senza convenzioni precise, adoperando abbreviazioni o sinonimi differenti persino all'interno dello stesso progetto. Per risolvere questo problema, si potrebbe sviluppare un database esterno che rispecchi la programmazione degli spazi e ne specifichi i requisiti e che, una volta strutturato, assuma un ruolo chiave e possa essere riutilizzato in diverse fasi progettuali o in diversi progetti.

Rule Execution

La Rule Execution è la fase di esecuzione del controllo mediante applicazione del set di regole al modello, importato nel software di Quality Assurance in un formato interoperabile quale, di solito, l'Industry Foundation Classes (IFC). Una volta analizzate a livello semantico dai testi normativi e tradotte in parametri implementabili, le regole possono essere raggruppate in un unico pacchetto di prescrizioni, rappresentando il dominio di validazione a cui sottoporre il modello; inoltre, combinando diversi set di regole è possibile validare automaticamente molteplici domini.⁸⁷

⁸³ Eastman *et al.*, 2009.

⁸⁴ Sanguinetti *et al.*, 2012.

⁸⁵ Bolpagni, 2013.

⁸⁶ Lee *et al.*, 2012.

⁸⁷ Hjelseth e Nisbet, 2010.

Rule Reporting

L'ultima fase del processo, comunque iterativo, di Rule Checking è il Rule Reporting, la reportistica automatizzata dei risultati del controllo in modo che possano essere condivisi e analizzati con altri membri del team di progettazione, con la committenza o altri attori del processo costruttivo.

Il Code Checking può riguardare, innanzitutto, gli aspetti geometrici e verificare, ad esempio, altezze e superfici minime ammissibili, rapporti aero-illuminanti o la disposizione spaziale di aree funzionali (Figura 5) ed unità ambientali. Dagli aspetti geometrici parte anche il Code Checking applicato all'analisi dell'accessibilità: la valutazione dell'accessibilità è un tema di attualità nella progettazione e un articolato insieme di fattori di non facile interpretazione. Ad oggi sono state implementate regole di verifica dei requisiti geometrici (Figura 6), come spazi di manovra e accostamento laterale della sedia a rotelle, ma in futuro sarebbe possibile andare oltre includendo anche l'aspetto sensoriale come la presenza di segnali tattili o lo sforzo necessario per aprire porte e finestre, l'uso di colori, le condizioni di illuminazione o acustiche.⁸⁸ Si tratta di aspetti più difficili da modellare e che richiederebbero una fase di Building Model Preparation molto dettagliata in questo senso, con opportuni BIM requirement definiti fin dalla fase preliminare. L'applicazione del Code Checking, a livello internazionale, sta andando anche in questa direzione.⁸⁹

Inoltre, è possibile trasferire i requisiti contenuti nei bandi di gara in *rule-set* e utilizzare il Code Checking in fase di aggiudicazione per verificare che i modelli presentati in sede di offerta siano conformi alle richieste iniziali della stazione appaltante.⁹⁰

Altro esempio di Code Checking è l'implementazione di regole parametriche per la prevenzione incendi e per il controllo, tra gli altri, delle compartimentazioni e delle vie di fuga. A tal proposito è necessario fare riferimento a uno dei concetti cardine del BIM: "Begin with the end in mind".⁹¹ Ogni progetto potrebbe, teoricamente, essere rappresentato tramite una molteplicità di modelli parametrici in funzione dei BIM Use. Anche il tema della prevenzione incendi prevede che vengano soddisfatti alcuni BIM Requirement alfanumerici, come l'inserimento degli attributi di resistenza al fuoco e direzione di apertura delle porte. Inserire questi parametri in fase di modellazione e, ancora più importante, averli previsti durante la creazione dell'oggetto parametrico permette allo strumento di Code Checking di leggerli direttamente dal file IFC, al pari degli attributi geometrico-dimensionali degli oggetti stessi, garantendo un certo livello di automatismo in fase di analisi.⁹² È importante sottolineare che le regole contenute in un *rule-set* parametrico forniscono dei risultati che si basano sulle informazioni disponibili all'interno del modello BIM. Tali informazioni potrebbero essere inaccurate o false, oppure potrebbero mancare di fondamentali causando la generazione di risultati inaffidabili. Il preliminare controllo di BIM Validation si rileva quindi indispensabile per la verifica dei parametri implementati, o non implementati, in fase di modellazione.⁹³

⁸⁸ Bellomo, 2012.

⁸⁹ Ciribini *et al.*, ISARC 2015.

⁹⁰ Ciribini *et al.*, CEO 2015.

⁹¹ Eastman, 2011.

⁹² Ciribini *et al.*, ISARC 2015.

⁹³ Ibidem.

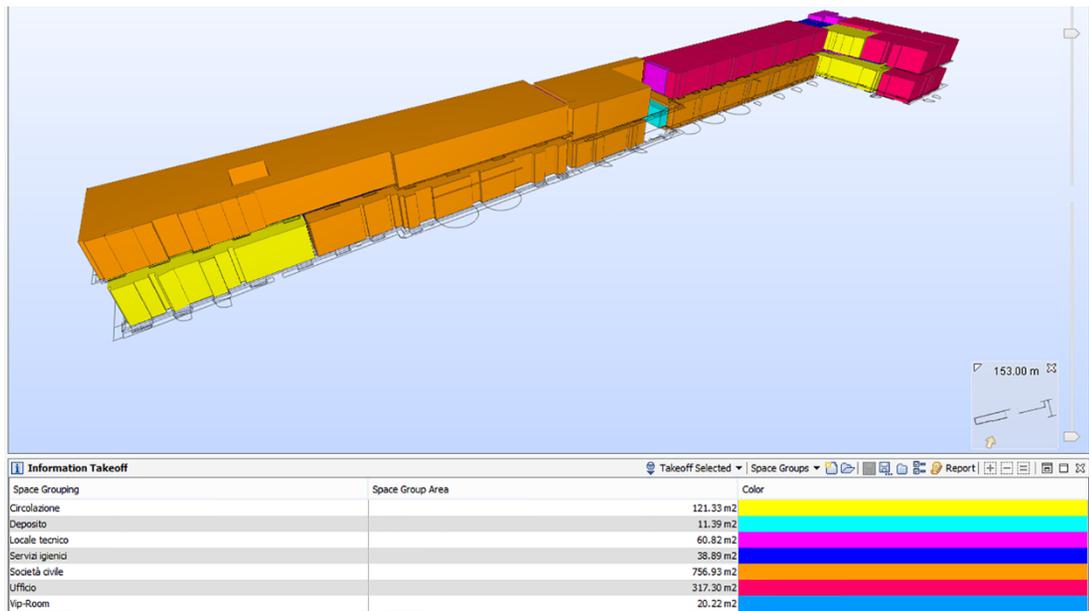


Figura 5 Risultato del controllo della distribuzione delle aree funzionali in un edificio destinato a uffici e spazi espositivi con Solibri Model Checker v.9

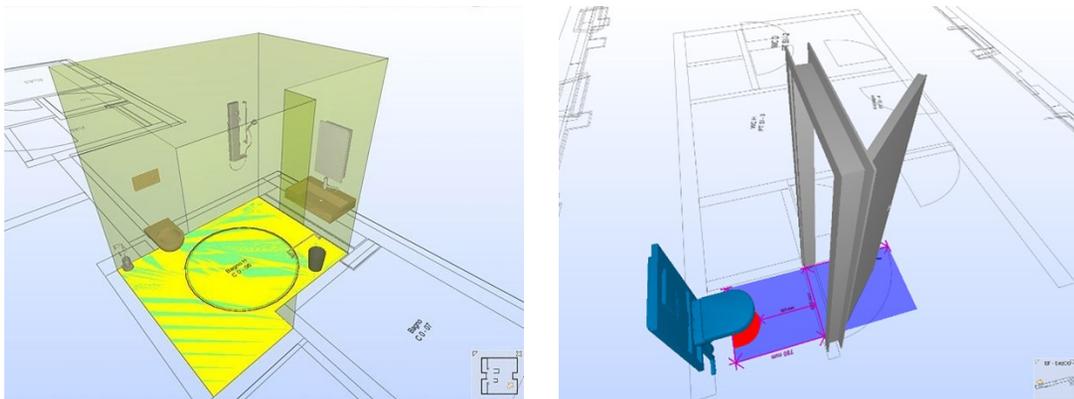


Figura 6 Risultati della fase di Code Checking con Solibri Model Checker v.9. Controlli dimensionali di conformità alla normativa per l'accessibilità in edifici residenziali (a sinistra) ed ai requisiti minimi degli spazi destinati a servizi igienici in luoghi pubblici (a destra)

MODEL CHECKING E VIRTUAL PROTOTYPING

Il Building Information Model può essere visto come un prototipo virtuale (Virtual Prototype) in quanto è l'anticipazione di un prodotto che non esiste ancora nella realtà ma appare e si comporta come se fosse reale. Grazie al Model Checking si possono ottenere numerosi vantaggi rispetto ad un processo tradizionale. Tuttavia, il coinvolgimento del committente o dell'utente finale risulta essere ancora limitato. Per questo motivo si sta diffondendo sempre di più l'uso di tecniche relative al Virtual Prototyping (VP) quali Virtual Reality (VR) e Augmented Reality (AR) al fine di valutare il progetto prima della sua realizzazione. Infatti, grazie al VP, il committente ha una migliore idea del prodotto finale e, se necessario, può collaborare con i progettisti per soddisfare le proprie richieste. Inoltre, il coinvolgimento anticipato dell'utente finale è una parte fondamentale del processo di Validazione, al fine di correggere possibili errori e ottimizzare aspetti ergonomici così come l'uso degli spazi. Più utenti possono validare lo stesso progetto per meglio studiare diversi comportamenti, promuovendo, così, una progettazione attenta ai bisogni di tutti (*design for all*). Ad esempio, uno stesso piano potrebbe essere validato da un bambino, da un adulto in buone condizioni di salute, da una donna incinta e da un disabile per comprendere in anticipo le diverse esigenze.

Sia le tecniche di Virtual Reality immersive e non-immersive possono essere usate per navigare all'interno del Building Information Model. Le tecniche non-immersive permettono agli utenti di interagire con l'ambiente virtuale attraverso strumenti convenzionali come tastiera, mouse e monitor. Tuttavia, le tecniche immersive consentono esperienze più realistiche.⁹⁴ Infatti, in questo caso l'utente è circondato da schermi curvi, *cave automatic virtual environments* (CAVE) o *head-mounted displays* (HMD).

Uno dei più comuni dispositivi è il Rift© di Oculus© (comunemente chiamato "Oculus Rift"). Ad esso è possibile associare dispositivi che tracciano il movimento delle mani (*e.g.* Leap Motion©) consentendo, così, un'esperienza ancora più vicina alla realtà.⁹⁵

Nonostante sia possibile navigare all'interno del Building information Model, solitamente si preferisce usare *game engine software* (*e.g.* Unity©) per ricreare un'esperienza più interattiva. È possibile creare l'ambiente virtuale all'interno di questi software, tuttavia se un modello BIM è disponibile, esso può essere trasferito da software di BIM Authoring ai *game engine* attraverso il formato interoperabile IFC.⁹⁶

È importante sottolineare che l'interazione tra un prodotto finale e l'uomo non coinvolge mai un solo senso ma è un'esperienza multisensoriale.⁹⁷ Per questo motivo, un processo di Validazione efficace non dovrebbe coinvolgere solo la vista, ma anche l'udito, il tatto e l'olfatto. Per esempio, potrebbe essere utile per un disabile validare gli spazi considerando le proprietà fisiche delle superfici dei pavimenti. Grazie ad un *game engine*, infatti, è possibile simulare il comportamento di una carrozzina (*e.g.* centro di massa, accelerazione e decelerazione) (Figura 7).⁹⁸

⁹⁴ Hillfert e König, 2015.

⁹⁵ Ibidem.

⁹⁶ Ibidem.

⁹⁷ Rizzi e Bordegoni, 2011.

⁹⁸ Hillfert e König, 2015.

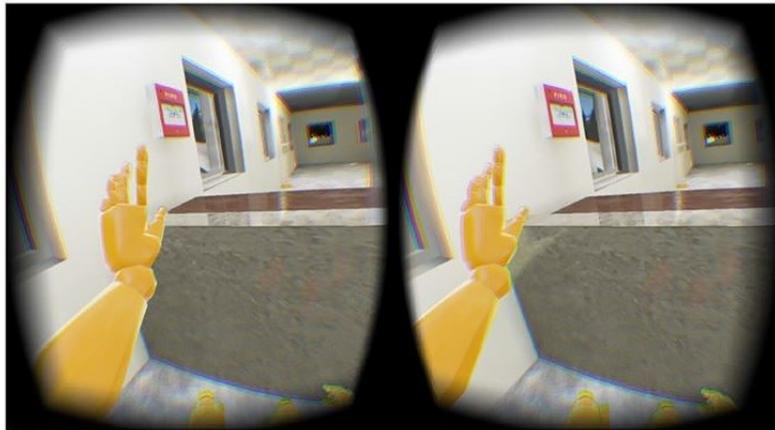


Figura 7 Simulazione della valutazione degli spazi svolta da una persona su carrozzina (Hilfert e König, 2015)

Inoltre, anche la simulazione del tatto può facilitare il processo di Validazione. Per esempio, la tecnologia che simula il senso del tatto (*haptic*) può essere usata per ricreare situazione di emergenza, come un incendio, al fine di controllare che la temperatura delle superfici permetta l'evacuazione in sicurezza. Inoltre, potrebbe essere utile per l'utente finale comprendere le proprietà isolanti dei materiali (*e.g.* dei muri). Le tecniche di Virtual Prototyping, in questo caso, possono riprodurre il corretto livello sonoro (*e.g.* traffico o conversazioni) dando, così, la possibilità all'utente finale di comprendere la qualità acustica degli spazi. Inoltre, anche la simulazione degli odori può essere molto efficace per validare la collocazione degli spazi in base a diverse attività o per selezionare diversi tipi di vegetazione nell'arco dell'anno.

Grazie a questo approccio il processo di Validazione può essere molto più efficace e il Model Checking può trarre molti vantaggi dalle tecniche di Virtual Prototyping. Infine, promuovendo una validazione di questo tipo, è possibile promuovere controlli in remoto diminuendo i viaggi e rendendo gli incontri più performanti, ponendo l'attenzione sui punti critici del progetto.

CONCLUSIONE E FUTURI SVILUPPI

L'uso del Building Information Modelling si sta sviluppando sempre maggiormente e diversi paesi stanno promuovendo una strategia governativa in questa direzione. Il BIM non è un semplice cambiamento tecnologico, quanto piuttosto una rivoluzione dell'intero processo che richiede necessariamente un approccio culturale differente. Per questo motivo bisogna porre particolare attenzione alla tipologia di appalto da adottare, promuovendo appalti collaborativi dove le diverse parti condividono sia rischi che guadagni. Inoltre, il processo di Validazione tramite il Model Checking deve diventare una pratica imprescindibile al fine di validare in modo semi automatico il contenuto del Building Information Model. In aggiunta, le tecniche di Virtual Prototyping, permettono di ricreare in modo realistico interazioni multisensoriali coinvolgendo maggiormente committenti e utenti finali nel processo di Validazione. In questo modo, è possibile individuare in anticipo possibili criticità e lavorare insieme con i progettisti per ottimizzare l'intero processo. Attualmente esistono buone tecnologie visive e di riproduzione dei movimenti, tuttavia, è necessario ulteriore lavoro per integrare esperienze legate all'udito, olfatto e tatto. Infine, per facilitare il processo di Validazione, fin dall'inizio i progettisti devono lavorare con esperti di scienze umane (*e.g.* neuroscienza, psicologia cognitiva) per favorire una progettazione attenta alle esigenze di diverse tipologie di utenti (*user-centric*).

Bibliografia

- AGC of America (2010), *The Contractor's Guide to BIM* – 2- edition.
- AIA (2007), *Integrated Project Delivery. A Working Definition*, Version 2 Updated 06.13.2007.
- Bellomo G. (2012), *BIM and Model Checking serving people with disabilities*, Solibri Magazine.
- Bolpagni M. (2013), *The implementation of BIM within the public procurement. A model-based approach for the construction industry*, VTT Technology.
- Bolpagni M. (2014), *Il Building Information Modeling debutta negli appalti pubblici europei. Il BIM come metodo di industrializzazione delle conoscenze*. *Ingegneri*, n. 2 Aprile-Giugno 2014 – Anno VI. ISSN 2035-8989.
- Bosetti & Gatti s.r.l., *La locazione finanziaria di opere pubbliche* (leasing in costruendo).
- Cabinet Office (2012) *Government Construction*, Construction Trial projects.
- Caratozzolo G., Mastrolembo Ventura S. e Paneroni M. (2015), BIM Coordination, in *L'Ambiente Costruito tra Building Information Modelling e Smart Land*, a cura di Barbara Angi, Casa Editrice IMREADY, (pp. 17-26).
- Ciribini A., Bolpagni M. e Oliveri E. (2015), An Innovative Approach to e-public Tendering Based on Model Checking, *Procedia Economics and Finance*, vol 21, pp. 32-39. 8th Nordic Conference on Construction Economics and Organization, Tampere, Finlandia.
- Ciribini A., Mastrolembo Ventura S. e Paneroni M. (2015), *Implementation of an open and interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building project: a case study using BIM in a public procurement*. 32th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, Oulu, Finlandia.
- Colledge B. (2005), Relational Contracting – Creating Value Beyond the Project. *Lean Construction Journal*, Vol. 2 Issue 1, pp. 30-45.
- Dave B., Boddy S. e Koskela L. (2013), Challenges and Opportunities in Implementing Lean and BIM on a Infrastructure Project. In: Formoso, C.T. and Tzortzopoulos, P., *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Fortaleza, Brazil, 31-2 Augusto 2013, pp. 741-750.
- Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163. Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE.
- Dodge Data & Analytics (2015), Measuring the Impact of BIM on Complex Buildings. *SmartMarket Report*.
- Eastman C., Lee J., Jeong Y. e Lee L. (2009), Automatic rule-based checking of building designs, *Automation in Construction*, vol. 18, issue 8, pp. 1011-1033.
- Eastman C., Teicholz P., Sacks R. e Liston K. (2011), *BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 2nd ed. USA: John Wiley & Sons, Inc..
- European Parliament, 2014. Directive 2014/24/EU of the European Parliament and of the Council of the 26 February 2014 on public procurement and repealing Directive 2004/18/EC.
- Greenwood D., Lockley S., Malsane S., Matthews J. (2010), Automated compliance checking using building information models, in *The Construction, Building and Real Estate Research Conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors*, RICS, Londra.
- Hilfert T. e König M. (2015), *Low-Cost Virtual Reality Environment For Engineering And Construction*. 32th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, Oulu, Finlandia.
- Hjelseth E. e Nisbet N. (2010), *Exploring semantic based model checking*, CIB W78, 27th International Conference, Cairo, Egitto.
- Hjelseth E. e Nisbet N. (2010), *Overview of concept for model checking*, CIB W78, 27th International Conference, Cairo, Egitto.
- Hjelseth E. e Nisbet N. (2011), *Capturing normative constraints by use of the semantic mark-up RASE methodology*, pp. 1-10, CIB W78-W102, 28-International Conference, Sophia Antipolis, Francia.
- Hughes W. e Kabiri S. (2013), *Performance-based contracting in the construction sector*. University of Reading.
- Ke Y. e Ling F.Y.Y., Kumaraswamy M.M., Wang S.Q., Zou P.X.W. e Ning Y. (2011). *Are relational contracting principles applicable to public construction projects?* COBRA 2011 Proceedings of RICS Construction and Property Conference. Londra.
- Kiviniemi A. (2005), *Requirements Management Interface to Building Product Models*, Stanford University, (CIFE Technical Report, 161).
- Lacava C. (2014), Le nuove procedure, la partecipazione e l'aggiudicazione. In: *Giornale di diritto amministrativo* 12/2014, pp. 1141-1150.

- Lee J-K., Lee J., Jeon Y., Sheward H., Sanguinetti P., Abdelmohsen S. e Eastman C. (2012), Development of space database for automated building design review systems, in *Automation in Construction*, vol. 24, pp. 203-212.
- Mathews O. e Howell G.A. (2005), Integrated Project Delivery An Example Of Relational Contracting, *Lean Construction Journal*, Vol. 2 Issue 1, pp. 46-61.
- McAdam B. (2011), *Could Building Information Modelling be the next new thing for JCT contracts?*, JCT News, Aprile 2011.
- Nguyen T. e Kim J. (2011), *Building code compliance checking using BIM technology*, Winter simulation conference, Phoenix, USA.
- Niemeijer R.A., De Vriès B. e Beetz J. (2009). Check-mate: automatic constraint checking of IFC models, in *Managing IT in Construction/Managing Construction for Tomorrow*, CRC Press, London (pp. 479-486).
- Parlamento Europeo, 2014. Direttiva 2014/24/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 26 febbraio 2014, sugli appalti pubblici e che abroga la direttiva 2004/18/CE.
- Petäjänieniemi P. e Lahdenperä P. (2012), *Alliance contracting –one for all and all for one (Finland)*. In: European Infrastructure Procurement Symposium, Conflict between Institutional Frameworks and Managerial Project Practice. Copenhagen, Danimarca, 8 Maggio 2012, pp. 12-15.
- Rizzi C. e Bordegoni M. (2011), *Innovation in product design: from CAD to virtual prototyping*. London: Springer.
- Salmon J. L. (2012), *Wicked IPD Procurement Programs: IPD & BIM Solutions Unleashed*. Autodesk User Group International (AUGI). 5 Giugno 2012.
- Sanguinetti P., Abdelmohsen S., Lee J., Lee J., Sheward H. e Eastman C. (2012), General system architecture for BIM: An integrated approach for design and analysis, in *Advanced Engineering Informatics*, vol. 26, issue 2, pp. 317-333.

Sitografia

- Sito di Ingenio – rivista di informazione tecnica e progettuale, URL: <www.ingenio-web.it/Articolo/2724/Della_Progettazione_all_Epoca_della_Digitalizzazione.html> [data di accesso: 14/11/2015], cfr. Ciribini, A. (2015), Della progettazione all'epoca della digitalizzazione.
- Sito del UK BIM Task Group, URL: <www.bimtaskgroup.org/pas11922-overview/> [data di accesso: 14/11/2015], cfr. The British Standard Institution, PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling.
- Sito di Building Smart Finland, URL: www.en.buildingsmart.kotisivukone.com [data di accesso: 15/11/2015].
- Sito di Building Smart Finland, URL: <asiakas.kotisivukone.com/files/en.buildingsmart.kotisivukone.com/COBIM2012/cobim_4_mep_design_v1.pdf> [data di accesso: 15/11/2015], cfr. Järvinen, T., Laine, T., Kaleva, K., Heljomaa, K., Common BIM Requirements 2012 – Series 4 MEP Design.
- Sito di Building Smart Finland, URL: <files.kotisivukone.com/en.buildingsmart.kotisivukone.com/COBIM2012/cobim_6_quality_assurance_v1.pdf> [data di accesso: 15/11/2015], cfr. Kulusjärvi, H. (2012) Common BIM Requirements 2012 – Series 6 Quality Assurance.
- Canale YouTube di Solibri, Inc., URL: www.youtube.com/watch?v=EOJgVOD-fzU [data di accesso: 30/01/2015], cfr. Solibri Snapshot Video: Second Generation Clash Detection.
- Canale YouTube di Solibri, Inc., URL: www.youtube.com/watch?v=NNyePtN9J6I [data di accesso: 30/01/2015], cfr. Solibri Snapshot Video: Level of Development (LOD) Checking.

