

# Approccio algoritmico per l'applicazione degli standard grafici in ambiente BIM

Matteo Del Giudice, Emmanuele Iacono

## Abstract

*Nell'era della connessione digitale, il settore delle costruzioni sta attraversando una transizione che coinvolge numerosi aspetti, anche legati alla rappresentazione del manufatto edilizio. Le Information and Communication Technologies (ICTs) nel processo edilizio stimolano l'adozione di metodi e strumenti innovativi orientati alla comunicazione di un'idea progettuale, spostando l'attenzione dal tecnigrafo digitale al modello informativo. L'adozione del Building Information Modelling (BIM) sta innescando un'inversione radicale di prospettiva, tale per cui lo sviluppo di un modello 3D parametrico consente la generazione di una serie di elaborati grafici coordinati, evitando ridondanza informativa e conseguenti incoerenze. Tradizionalmente, la produzione di contenuti progettuali sfrutta standard e convenzioni grafiche, ereditate dagli strumenti di modellazione informativa. Il contributo mira a sviluppare un approccio critico sulle capacità attuali dei modelli collaborativi BIM di produrre tali elaborati, nell'ambito del processo edilizio. Tale studio si inserisce all'interno di un ampio ambito di ricerca focalizzato sull'ottimizzazione del processo edilizio migliorando la connessione fra tradizione e innovazione nella scienza del disegno.*

*Parole chiave: Building Information Modeling, Visual Programming Language, standard grafici, BIM connesso, algoritmi.*

## Introduzione

La digitalizzazione del settore delle costruzioni ha visto negli ultimi anni un'accelerazione notevole, dovuta in gran parte all'influenza dello sviluppo delle cosiddette *Information and Communication Technologies*. Si tratta di un processo di innovazione che non interessa solo l'industria edilizia, ma che coinvolge l'intera società contemporanea, che pertanto si sta orientando verso sempre più articolati e complessi sistemi di connessione e ottimizzazione della gestione dei dati, nell'ottica di procedere verso lo sviluppo di città, e quindi di società, sempre più intelligenti. Tutto ciò è conseguenza della quarta rivoluzione industriale, che implica necessariamente un radicale mutamento dei processi produttivi, attraverso reti di sensori, *smart manufacturing*, *cloud manufacturing*, e un generale

mutamento di paradigma nei metodi progettuali e produttivi [Qi, Tao 2018, p. 3585].

Fra i numerosi esempi che si potrebbero proporre, uno dei più eloquenti può certamente essere l'introduzione di sensori all'interno degli edifici, che consente lo sviluppo di modelli edilizi innovativi che siano in grado non solo di replicarne le proprietà e l'aspetto dei propri componenti costruttivi, ma anche il comportamento degli stessi nel tempo, in maniera dinamica. Tali modelli richiedono tuttavia la presenza di apposite interfacce grafiche che rendano possibile la visualizzazione di dati e informazioni tali da poter soddisfare le esigenze degli utenti interessati.

Per queste ragioni, la rappresentazione architettonica e delle intenzioni progettuali va orientandosi sempre più

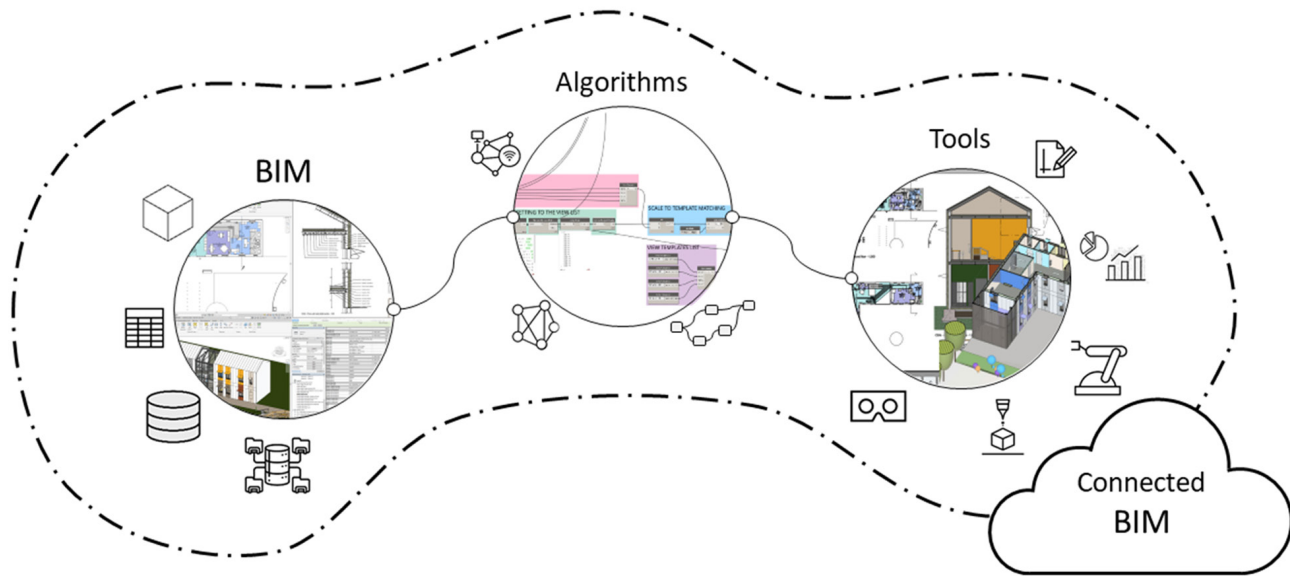


Fig. 1. Concettualizzazione alla base dell'ipotesi del Connected BIM (immagine degli autori).

verso la cosiddetta metodologia BIM (*Building Information Modeling*), che si basa sulla realizzazione di un modello tridimensionale parametrico, i cui elementi costituenti ospitano proprietà, dati, e informazioni numeriche e grafiche di ogni genere, tali da essere in grado di ottimizzare la gestione informativa del processo edilizio [Osello 2012, pp. 29-33].

L'organizzazione dei modelli informativi di cui sopra deve quindi essere finalizzata alla rappresentazione non solo tramite gli standard normativi e le convenzioni grafiche, ma anche attraverso modalità nuove di visualizzazione, ad esempio con le tecnologie della realtà virtuale e della realtà aumentata (VAR). Da ciò ne deriva che è possibile ottimizzare notevolmente le potenzialità della rappresentazione attraverso lo sviluppo di modelli informativi rappresentanti gli edifici e il loro comportamento rilevato tramite sensori collegati, generando di conseguenza quello che si identifica come un "gemello digitale" [Maatev 2020].

Date queste premesse, è possibile affermare che ci si trovi in quella che viene detta "era della connessione" [Autodesk 2020, pp. 6-12], nella quale lo sviluppo di modelli BIM deve essere basato su alcuni concetti fondamentali: 1) set

di dati che possano descrivere caratteristiche e comportamento dell'edificio, sia in maniera statica che in maniera dinamica; 2) algoritmi capaci di ricevere, elaborare e produrre ampie quantità di informazioni e dati, così da poter formulare considerazioni sullo stato attuale degli edifici e prevederne il comportamento futuro, ottimizzandone la gestione; 3) interfacce *smart* che siano in grado di garantire una agevole interazione uomo-macchina (fig. 1). Quanto detto dovrebbe essere reso possibile tramite una costante condivisione tra utenti [Ratti, Claudel 2017; Garzino 2011, pp. 135-176].

Al momento, una concezione simile di modello informativo connesso è sovente associata allo sviluppo di un *Common Data Environment* (CDE), ossia una piattaforma dati condivisa, che però non comporta automaticamente la predisposizione di algoritmi in grado di ottimizzare la rappresentazione grafica sulla base dei requisiti progettuali esplicitati dalle normative del disegno; ne consegue che non è sufficiente l'adozione di un CDE per il raggiungimento di un livello di maturità BIM tale da consentire un adeguato *Integrated Project Delivery* (IPD) [Succar 2009, pp. 6-8, 31-34].

Nella migliore delle ipotesi, le modalità di connessione sopra esposte rendono possibile l'utilizzo di sistemi dotati di piattaforme basate su *cloud* che tuttavia consentono unicamente la visualizzazione. D'altra parte, sarebbe invece auspicabile che tali sistemi possano essere ulteriormente sviluppati in maniera tale da consentire agli utenti direttamente interessati non solo di visualizzare, ma anche di interagire in modo diretto con il modello attraverso modifica, creazione, eliminazione, integrazione, aggiornamento degli elementi e dei dati su essi presenti. Questo garantirebbe la possibilità di un agile avanzamento ed evoluzione del modello che vada di pari passo con l'evoluzione del proprio processo edilizio.

Nonostante il processo di modellazione e gestione attraverso il BIM consenta di generare elaborati di progetto notevolmente migliori tramite l'integrazione di modelli, strumenti analitici, piattaforme collaborative, e *Big Data* in generale, al momento è ancora significativo lo scarto tra la produzione di tali modalità di visualizzazione e le rappresentazioni grafiche riferite invece a convenzioni e standard codificati nell'ambito della disciplina del disegno e della rappresentazione grafica.

Il presente articolo presenta un possibile approccio analitico basato sulla creazione di algoritmi, con l'obiettivo di testarne l'efficacia nell'ottica dell'ottimizzazione della rappresentazione grafica in ambiente BIM. Tale approccio implica l'applicazione in maniera quanto più possibile automatizzata delle regole codificate di rappresentazione, applicate a specifiche visualizzazioni create dal modello informativo sulla base della scala grafica adottata, nel tentativo di avvicinare i contenuti forniti dalle piattaforme BIM a quelli normati dagli standard del disegno; tale analisi prende le mosse dagli studi avviati nell'ambito del corso di disegno tenuto, presso il Politecnico di Torino, dalla professoressa Giuseppa Novello.

## Metodologia

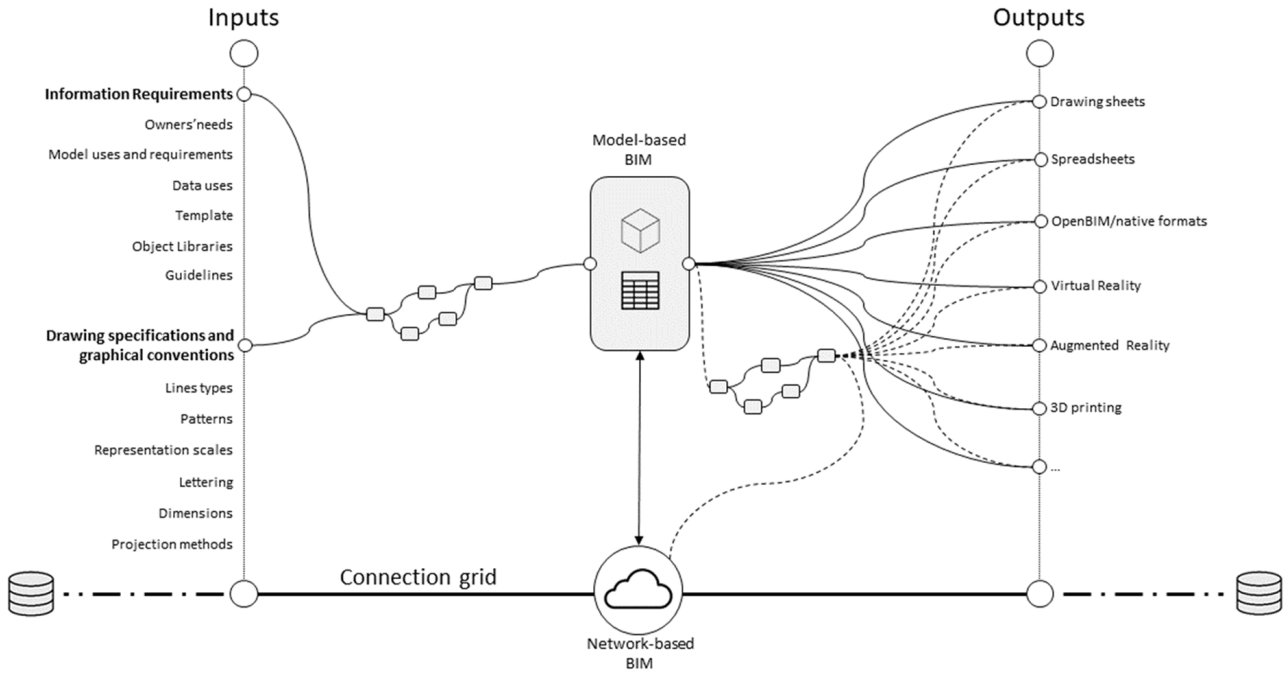
Nella realizzazione di un modello BIM i principali passaggi logici tendenzialmente sono: 1) definizione degli *input*; 2) creazione di modelli tridimensionali parametrici; 3) produzione degli output richiesti da ogni specifica fase. Inoltre, le basi dello sviluppo di un modello informativo rimangono in ogni caso requisiti e specifiche del disegno e convenzioni grafiche, che costituiscono l'insieme degli *input* della modellazione. Dopodiché, al fine di migliorare la comunicazio-

ne del progetto è prassi la manipolazione delle specificità del modello per l'ottenimento degli opportuni output grafici e alfanumerici.

Attualmente il trattamento dei contenuti informativi è spesso basato su algoritmi predisposti ad-hoc per svolgere specifiche operazioni di conversione, in funzione delle caratteristiche e specificità degli output di progetto e relativi requisiti. Tramite questo tipo di operazioni, le rappresentazioni di progetto vengono dunque conformate agli standard normativi adottati senza necessità di manipolazioni ulteriori, con conseguente beneficio sul piano grafico.

L'ulteriore passaggio al fine di ottenere un modello BIM connesso (fig. 2) comporta, ad oggi, il suo upload su una piattaforma predisposta in rete per consentirne la condivisione dei propri contenuti e dati. Tale connessione, tra il modello caricato in rete e il modello basato su file, sarebbe auspicabile che fosse regolabile attraverso appositi algoritmi.

Avendo l'obiettivo di unificare le differenti modalità di rappresentazione e visualizzazione dei progetti, è necessario prima di tutto prendere in esame sia quelle che riguardano il processo edilizio che quelle più legate alla metodologia BIM (fig. 3). Riguardo alle prime, il Codice degli appalti pubblici (D.Lgs. 18 aprile 2016, n. 50) indica una serie di macrofasi del processo edilizio, enunciando inoltre nello specifico quelle riguardanti più specificatamente le fasi di progettazione. In aggiunta a queste sono inoltre incluse anche le fasi precedenti e successiva ad essa, per poter considerare il processo nella sua completezza. D'altra parte, per quanto riguarda invece la metodologia BIM, vanno presi in considerazione i cosiddetti livelli di sviluppo (LOD, *Level of Development*), i quali nell'ambito normativo italiano vengono suddivisi su sette fasce, identificate ciascuna da una lettera, con contenuti grafici e informativi crescenti a partire dal LOD A fino ad arrivare al LOD G [De Gregorio 2018, pp. 20-21; Novello, Lo Turco 2014, p. 3]. A livello internazionale, la ISO 19650 aggiorna il concetto di LOD introducendo i livelli di fabbisogno informativo includendo criteri di quantità, qualità e granularità delle informazioni richieste [UNI EN ISO 19650-1 2019, p. 27]. Oltre a quanto enunciato per la legislazione italiana, si è considerato opportuno provare a prendere in considerazione anche il concetto di *Graphic Detail* (GraDe) proposto, in ambito britannico, dal AEC (UK) *BIM Protocol V2.0*, anche se vale la pena osservare che tale concetto tiene in realtà conto unicamente del contenuto grafico dei modelli, non esprimendo dunque una valutazione sul contenuto



LOD	Project phases								GRADE
	Survey	Feasibility study	Preliminary project	Definitive project	Executive project	Accounting	Technical testing	Life-cycle	
A		1: ≥ 500	1: ≥ 500	1:500	1:500				0
B	1: ≥ 200		1:200						1
C				1:100					2
D					1:50				
E					1:20	1:20			
F					1:5	1:5	1:5		
G					1:1	1:1	1:1	1:1	3

Fig. 2. Schematizzazione della transizione tra metodologia BIM File-based e Network-based (immagine degli autori).

Fig. 3. Matrice ipotetica di correlazione tra fasi del progetto, LOD e GraDe attraverso le scale di rappresentazione (immagine degli autori).

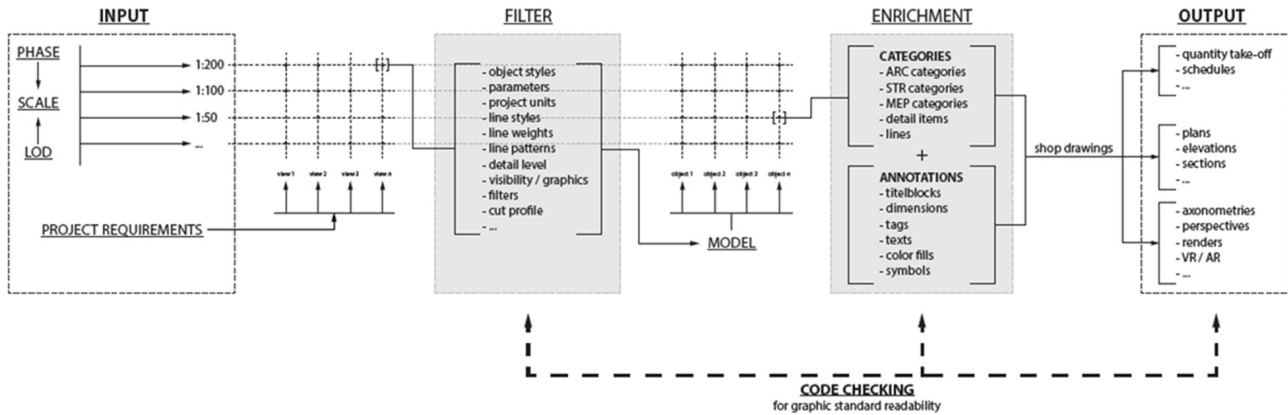


Fig. 4. Schema di workflow dell'ideale processo automatico per il miglioramento degli output di rappresentazione (immagine degli autori).

informativo degli stessi [Caffi et al. 2017, p. 70]. Tuttavia, procedendo a individuare delle corrispondenze fra le tre differenti espressioni dell'evoluzione del processo edilizio, tramite un elemento trasversale quale possono essere le scale di rappresentazione, è possibile tracciare un percorso logico che porti all'impostazione, in modo automatico, delle rappresentazioni necessarie e dei corretti contenuti di una determinata fase corrente del processo, a partire dai requisiti e dalle esigenze di progettazione di essa.

Il workflow illustrato nel presente documento prende le mosse dall'elaborazione di un algoritmo (fig. 4) costituito da una serie di matrici in grado di impostare e regolare la rappresentazione delle Viste di progetto a partire dalla definizione di fase, requisiti progettuali, LOD e scala grafica. Ipoteticamente, il procedimento è il seguente: a seconda della fase di progetto nella quale si trova l'utente, viene individuata la corrispondente fase del processo edilizio, sia essa la fase di progetto di fattibilità tecnica ed economica, quella di progettazione definitiva o infine quella esecutiva. Queste corrispondenze vanno a costituire un primo *input* nello schema logico illustrato. Un ulteriore *input* è costituito dal LOD, a sua volta basato sul livello di dettaglio che deve essere garantito negli elaborati progettuali richiesti dalla fase, e sul rispettivo contenuto informativo. Definiti questi primi due *input*, l'incrocio tra essi, ovvero l'incrocio tra la fase del progetto e il LOD corrispondente, soprattutto per quel che riguarda la componente grafica, individua di conseguenza le scale di rappresentazione più corrette

(1:500, 1:200, 1:100 ecc.) per adempiere i requisiti di partenza. Successivamente, la correlazione tra la scala grafica opportuna e i relativi prodotti grafici da elaborare, al fine di comunicare correttamente l'idea progettuale, costituisce il terzo e ultimo *input* dell'algoritmo. Una prima matrice dei documenti necessari per il completamento della corrente fase di progetto è generata dall'incrocio delle rappresentazioni richieste, nelle quali è suddiviso il progetto, e le scale definite dai primi due *input*. In particolare, ogni elemento di tale matrice deve passare per un elemento, nello schema denominato *Filter*, che viene identificato per ogni tipo di vista (siano esse ad es. piante 1:200, sezioni 1:100, esecutivi 1:50, dettagli 1:20 ecc.). Questo filtro è costituito da una serie di requisiti predefiniti di sistema, ai quali sono associabili una o più funzioni o impostazioni specifiche previste all'interno del software adoperato dall'utente (spessori e tipi di linea, retini, tratteggi, profili ecc.). Tale operazione ha evidentemente l'obiettivo di migliorare la visualizzazione delle diverse viste del modello sulla base delle normative e standard grafici del disegno. Il passaggio successivo riguarda la sezione qui denominata come *Enrichment*, ovvero una specifica implementazione di viste e contenuti del modello informativo. Qui, ogni elemento verrebbe sottoposto a un'analisi attraverso operazioni che aggiungano, eventualmente, specifici elementi a esso tramite categorie e linee di dettaglio, oltre che attraverso ulteriori operazioni che agiscano sulle viste immettendo elementi di categorie di annotazioni (ad es. quote,

OBJECTS LOD

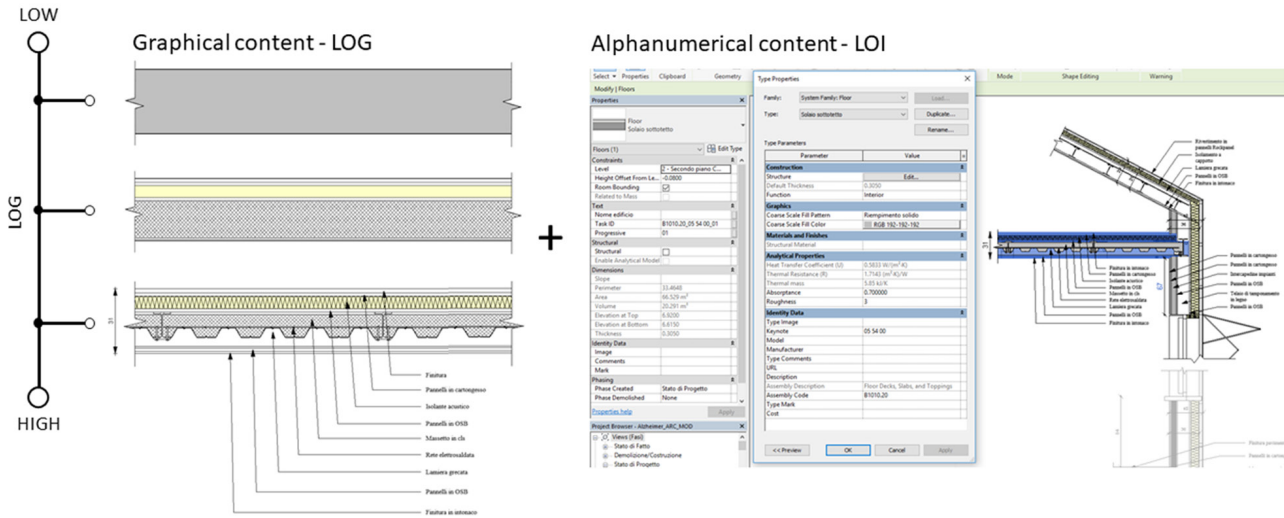


Fig. 5. Esempio di contenuti grafici e alfanumerici dei LOD (immagine degli autori).

simboli, tag, testi o cartigli). Portata a termine la fase di *Enrichment*, la produzione dei disegni sarà effettivamente in grado di soddisfare i requisiti normativi, sia che si tratti di rappresentazioni bidimensionali (piante, prospetti, sezioni, abachi ecc.) o tridimensionali (assonometrie, prospettive, render, VR/AR ecc.). L'insieme di tali disegni esportati va a formare l'output finale del processo logico, su cui infine è possibile avviare un'operazione di validazione, che fornisca di conseguenza un responso sulla correttezza dei filtri impostati all'interno del software.

Questa articolata serie di operazioni consentirebbe di ottenere, come prodotto, il miglioramento del cosiddetto *Level of Geometry* (LOG) così come l'aggiunta di diversi elementi di dettaglio che siano d'ausilio per la comprensione delle fasi di progetto più avanzate, nonché anche il miglioramento del *Level of Information* (LOI) [Pavan, Mirarchi, Giani 2017] (fig. 5). In base all'applicativo di *BIM authoring* adoperato per svolgere tali operazioni, possono essere necessari diversi sottoinsiemi di impostazioni di rappresentazione, siano essi basati su determinati filtri grafici, o su aggiunta di componenti e annotazioni, o ancora su compilazione, automatica o manuale, di varie proprietà degli elementi. Lo studio portato avanti nel presente documento si è basato sulla scelta del software Autodesk Revit come

piattaforma di *BIM authoring* per valutare i punti di forza e di debolezza del modello informativo e del metodo applicato su di esso. Il grado di automazione nel processo risulta essere un punto cruciale, poiché a seconda della sua incidenza, esso può divenire più o meno oneroso.

L'immagine del diagramma di flusso (fig. 6) propone una ipotetica sequenza di azioni eseguite dall'algorithmo responsabile della validazione. Per ciascuna vista nel modello, la scala di rappresentazione è assegnata come *input* iniziale e associata immediatamente alla relativa vista. Elemento dopo elemento, si effettua la verifica della rispondenza rispetto alle normative sul disegno. Se tale rispondenza è corretta, l'algorithmo procede con l'elemento successivo; in caso contrario invece, viene avviato il processo di verifica e arricchimento. Questo processo valuta, per ogni elemento, i suoi specifici requisiti e le richieste normative. Per ciascuno di essi, nei casi in cui questi non risultino conformi alle norme, lo step successivo è dunque l'implementazione dell'oggetto con i mancanti elementi necessari. Fatto questo, l'algorithmo prosegue con il requisito seguente, fino a che non è stata verificata la rispondenza a ciascuno di essi. Al completamento della procedura, l'elemento viene considerato conforme alla norma, e il programma procede a cascata con gli oggetti successivi.

Potential → full algorithm

Real → excerpt from present-day-working algorithm

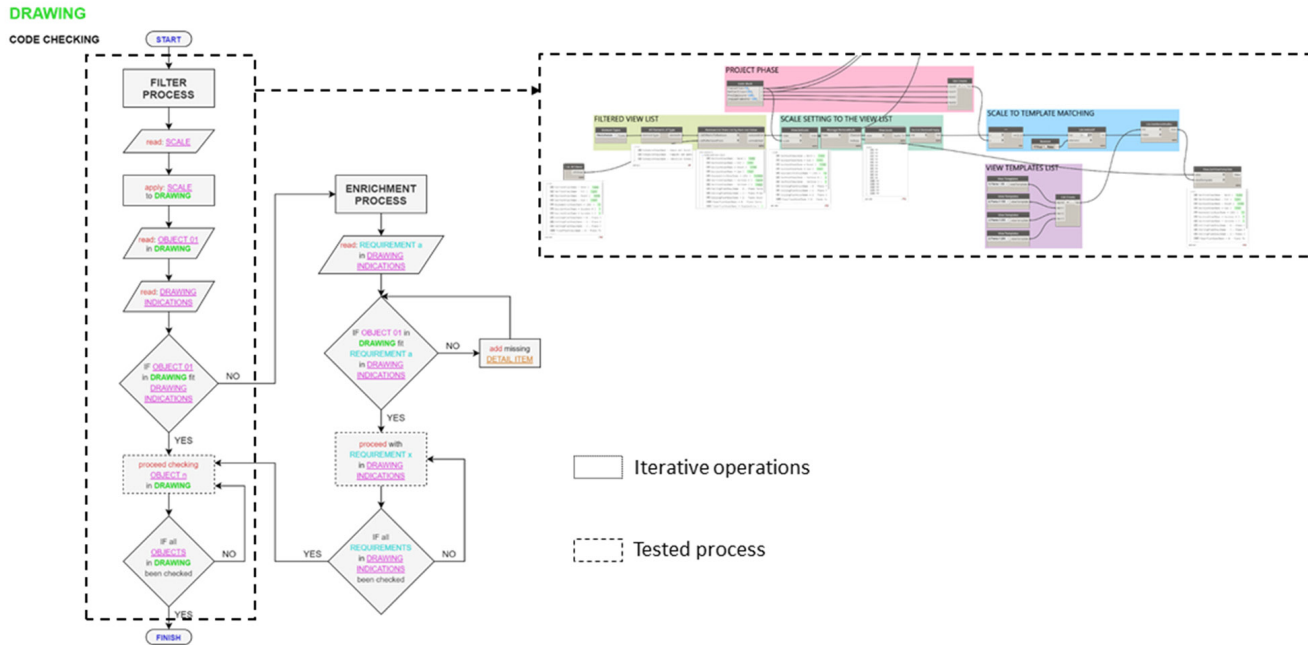


Fig. 6. A sinistra, flowchart logico dell'algoritmo proposto; a destra, una parte dello script testato (immagine degli autori).

Il diagramma logico qui ipotizzato, raffigurante la sequenza di passaggi che la macchina deve seguire, è stato tradotto come Linguaggio di Programmazione Visuale (VPL – *Visual Programming Language*) eseguibile dallo strumento di BIM authoring adoperato (fig. 6), attraverso l'interfaccia di programmazione grafica Dynamo. Lo script risultante, visibile sulla destra dell'immagine, è il prototipo di una delle sezioni testate dell'algoritmo completo, il quale è ancora in fase di sviluppo e dovrà necessariamente essere reso funzionante nella sua interezza.

Si osservi che lo script attualmente funzionante è stato elaborato partendo dal presupposto di testarne innanzitutto le capacità di interazione con le Viste, adoperando dunque una preliminare semplificazione sul lato degli input, che in questa sede sono stati perciò ridotti alla semplice lettura della scala di rappresentazione impostata dall'utente. Inoltre, dal momento che alcune funzioni adoperati su Dynamo non prevedono la possibilità

di un *auto-refresh* al cambiamento dell'input se non tramite riavvio manuale dell'algoritmo, è stato implementato all'interno dello script un gruppo di nodi in grado di temporizzare l'aggiornamento automatico dei dati. L'algoritmo così creato (fig. 7), è strutturato in maniera tale da aggiornarsi automaticamente, secondo una temporizzazione prestabilita se mantenendo Dynamo in esecuzione, o avviando lo stesso ogni volta che sia necessario attraverso il Dynamo Player di Revit.

### Risultati

Al momento, la realizzazione di modelli informativi connessi che siano in grado di rappresentare correttamente le informazioni progettuali è un processo ancora migliorabile (fig. 8) e ottimizzabile, in vista dell'ottenimento di procedure più efficienti sia per quanto riguarda la visualizzazione di infor-



# In-script view template excerpt

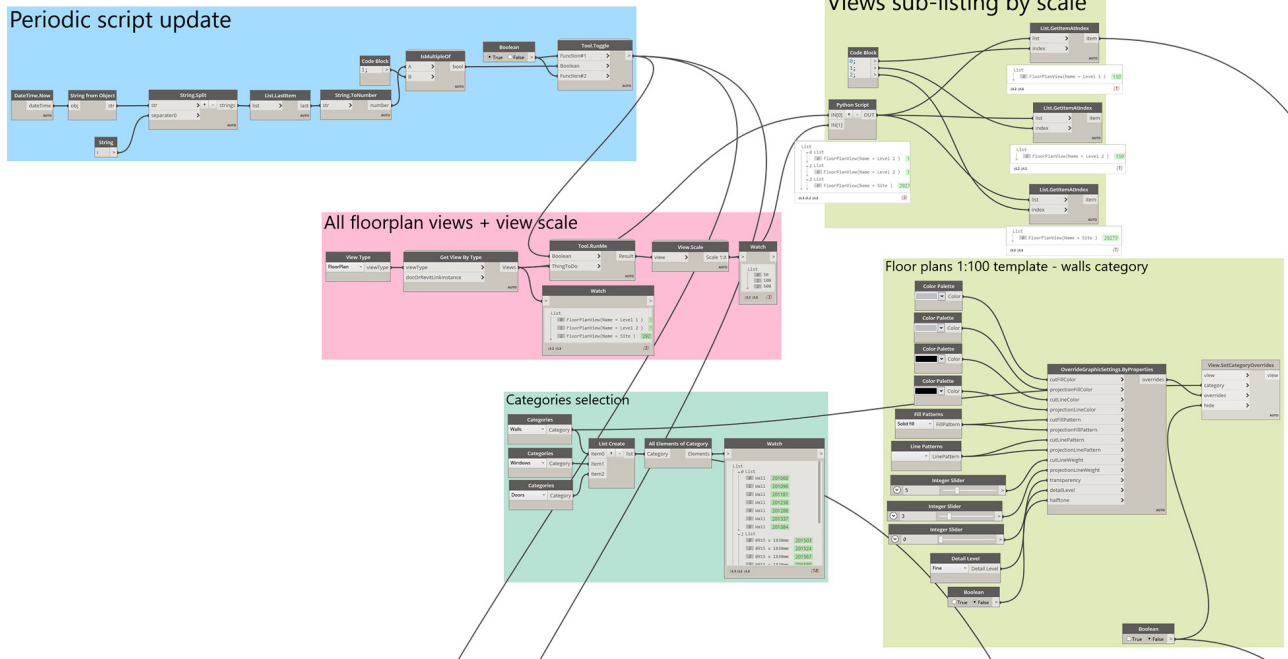
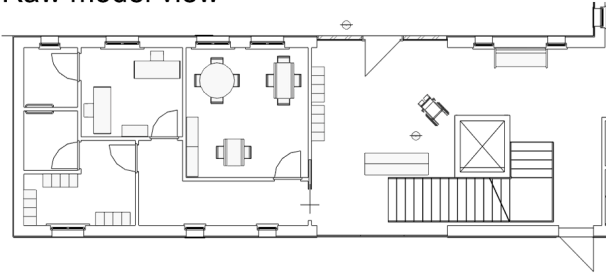


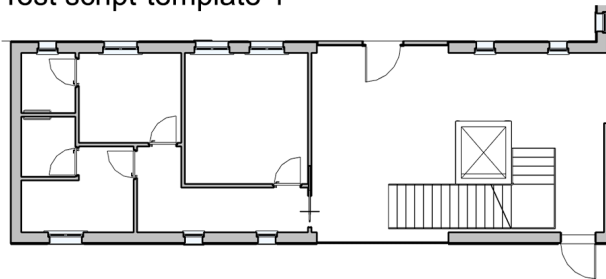
Fig. 7. Estratto dell'algoritmo elaborato, come focus sulla gestione dei template in-script (immagine degli autori).



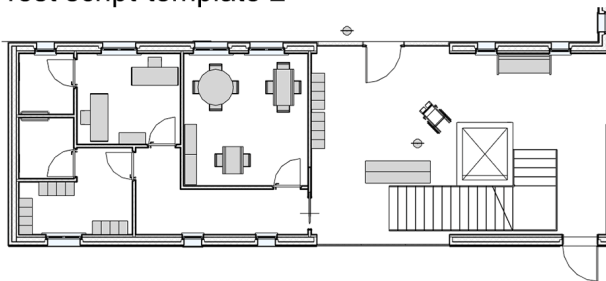
## Raw model view



## Test script-template 1



## Test script-template 2



mazioni e dati sia per un processo integrato. In particolare modo è ancora necessario valutare come *input* del processo sia i requisiti informativi sia le impostazioni grafiche, per procedere allo sviluppo di un potenziale archivio digitale che sia ottimizzato per essere in grado di raccogliere e mettere insieme informazioni grafiche e alfanumeriche.

Il presente contributo sottolinea la validità dell'introduzione di passaggi automatizzati all'interno del processo edilizio, al fine di facilitare la produzione di elaborati progettuali, attraverso una connessione tra gli *input* di progetto e gli *output* richiesti dal processo stesso tramite l'uso degli standard grafici. Pertanto, il livello di automazione necessario per la produzione di elaborati grafici correttamente impostati è stato valutato tramite una rappresentazione schematica dell'*effort* necessario per essa (fig. 9), mettendo a sistema le corrispondenze tra standard grafici e impostazioni lato software. Per esempio, l'impostazione denominata *Detail Level* consente di regolare la visibilità dei differenti elementi del modello in maniera più semplice rispetto a un'impostazione come quella chiamata *Cut profile*, la quale necessita di uno sforzo lavorativo maggiore, in quanto essa richiede di essere applicata per ogni vista desiderata.

Dunque, la procedura automatica precedentemente illustrata presenta ancora determinate criticità, le quali sono da individuarsi sia negli oggettivi limiti tecnologici attuali, sia nella particolarità e unicità, per scelte tecniche e costruttive, di ogni singolo progetto.

Concretamente, è possibile operare sul processo di filtraggio, tramite una serie di impostazioni, che possono essere incorporate all'interno dei *template* di progetto, modificabili attraverso *script* (ad es. con l'uso di *plugin* come *Dynamo*), sulla base delle scale di rappresentazione associate al *Detail Level* impostate su determinate viste. Tuttavia, è ancora del tutto possibile perfezionare la fase di arricchimento con possibilità di renderla ulteriormente automatizzabile, poiché molti elementi presenti in questa fase vanno ancora inseriti singolarmente. Di fatto, la produzione di elaborati grafici a partire da modelli BIM implica anche la necessità, talvolta, di inserire oggetti aggiuntivi, come i cosiddetti *Detail Items* o determinate *Annotations*, i quali possono determinare una comunicazione del progetto più chiara e comprensibile.

Ancora, per quanto riguarda l'integrazione tra *template* di progetto e *script*, tramite la sperimentazione qui testata è stato possibile gestire la grande quantità di impostazioni grafiche finalizzate alla documentazione di progetto attraverso le operazioni di *scripting* via *Dynamo*.

Fig. 8. Esempi di test di semplice avvio di script preimpostati a partire da una vista di modello non trattata (immagine degli autori).



## Project representation results

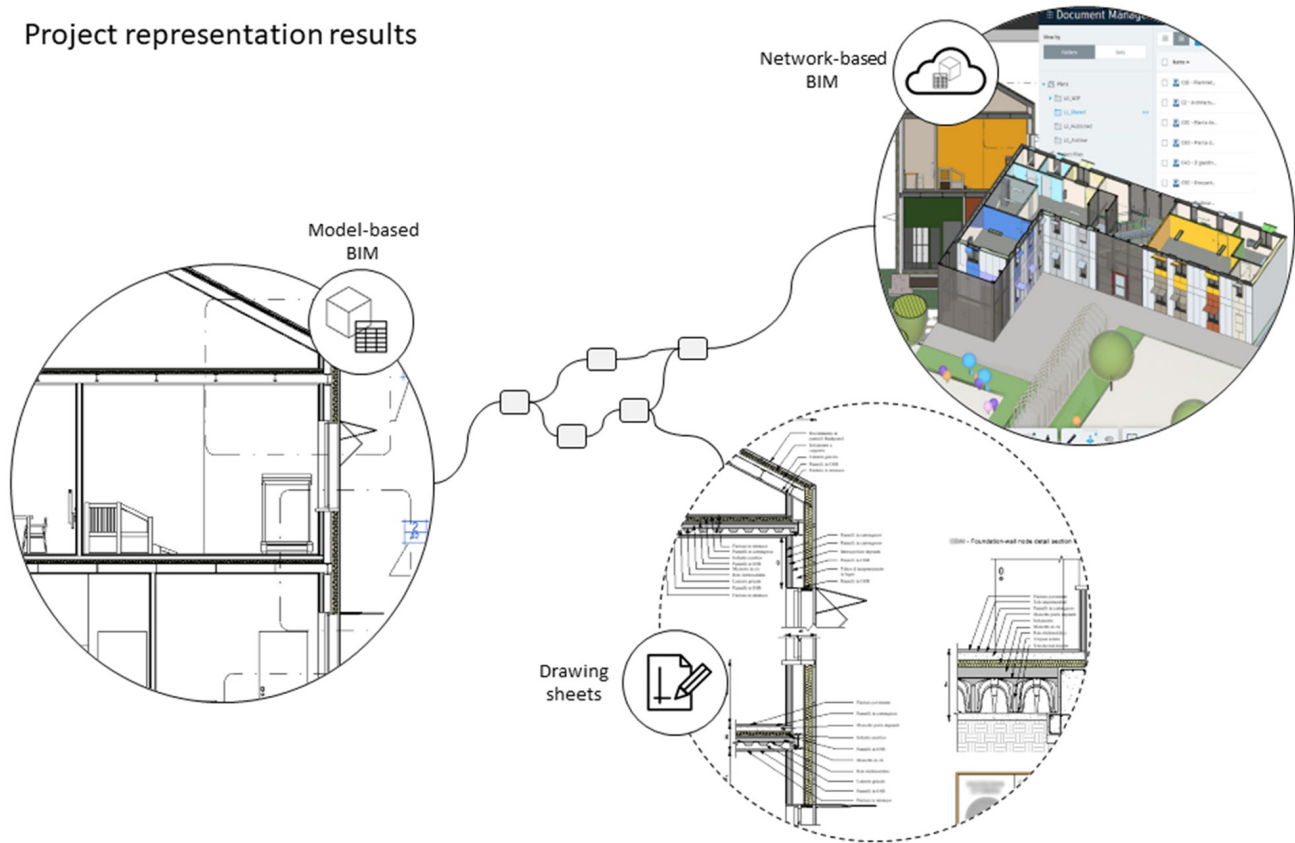


Fig. 10. Interazione teorica tra il modello BIM connesso e le sue rappresentazioni (immagine degli autori).

allineato ai requisiti normativi, raccogliendo la sfida del BIM sul superamento dell'attuale divario tra semplice visualizzazione e corretta rappresentazione (fig. 10). Una ottimizzazione ulteriore potrebbe essere quella dell'autoregolazione degli algoritmi proposti sulla base di determinati dati immessi. Ci si auspica che nel prossimo futuro la definizione dei requisiti grafici e informativi dei documenti di progetto potrà essere ulteriormente codificata tramite l'uso di sistemi in grado di rielaborare correttamente i dati messi a sistema all'interno dei vari database, per poi trasferirli in determinate rappresentazioni specifiche della realtà.

A causa della complessità legata al mondo della collaborazione e dell'interoperabilità tra le tecnologie presenti sul mercato delle costruzioni, è auspicabile che i limiti tecnolo-

gici attuali vengano superati nel prossimo futuro. In conclusione, l'innovazione tecnologica avrà il compito di fornire nuovi metodi e strumenti per la realizzazione di modelli informativi connessi, da utilizzare con differenti interfacce per le molteplici specificità della società contemporanea.

#### Ringraziamenti

Gli autori concordano sui contenuti, l'approccio metodologico e sulle considerazioni finali presentati in questa ricerca. In particolare, Matteo Del Giudice ha introdotto il contributo nel primo paragrafo sviluppando l'introduzione. La metodologia è stata affrontata sia da Matteo Del Giudice che da Emmanuele Iacono. Quest'ultimo si è dedicato ai risultati ottenuti, mentre le conclusioni vogliono essere una sintesi dei due autori. Si ringrazia la tesista Isabella Dusi per aver acconsentito alla diffusione di alcuni contenuti sviluppati nella sua tesi di laurea.

#### Autori

Matteo Del Giudice, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino, [matteo.delgiudice@polito.it](mailto:matteo.delgiudice@polito.it)  
Emmanuele Iacono, Dipartimento di Studi per l'Economia e l'Impresa, Università del Piemonte Orientale, [emmanuele.iacono@uniupo.it](mailto:emmanuele.iacono@uniupo.it)

#### Riferimenti bibliografici

Autodesk. *BIM and the cloud for building design. Improved project insight with connected BIM*. Autodesk.com. <<https://www.autodesk.com/solutions/bim/discover-building-design/bim-for-building-design>> (consultato il 19 febbraio 2020).

Caffi, V. et al. (2017). *Il processo edilizio supportato dal BIM: l'approccio INNOVance*. Roma: EdilStampa.

De Gregorio, M. (2018). BIM: la normazione nel futuro dell'edilizia. In *U&C Dossier UNI*, 8, pp. 19-34.

Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50, Codice dei contratti pubblici.

Garzino, G. (2011). *Disegno (e) in\_ formazione. Disegno politecnico*. Segrate (MI): Politecnica, Maggioli Editore.

Mateev, M. (2020). Industry 4.0 and the digital twin for building industry. In *International Scientific Journals of Scientific Technical Union of Mechanical Engineering "Industry 4.0"*, Issue 1, vol. 5, pp. 29-32.

Novello, G., Lo Turco, M. (2014). *Linee guida per la modellazione dei componenti in ambiente BIM*. Torino: Politecnico di Torino.

Osello, A. (2012). *Il futuro del disegno con il BIM per Ingegneri e Architetti*. Roma: Gangemi Editore.

Pavan, A., Mirarchi, C., Giani, M. (2017). *BIM: metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale*. Milano: Tecniche Nuove.

Qi, Q., Tao, F. (2018). Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison. In *IEEE Access*, vol. 6, pp. 3585-3593. <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8258937>> (consultato il 12 febbraio 2021).

Ratti, C., Claudel, M. (2017). *La città di domani. Come le reti stanno cambiando il futuro urbano*. Torino: Einaudi.

Succar, B. (2009). Building Information Modelling Maturity Matrix. In J. Underwood, U. Isikdag, (eds.), *Handbook of Research on Building Information Modelling and Construction Informatics: Concepts and Technologies*, pp. 65-103. Information Science Reference, IGI Publishing.

UNI EN ISO 19650-1:2019, Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 1: Concetti e principi.