



UNIVERSITY OF SALERNO

Department of Civil Engineering

***PhD Course
on
Risk and Sustainability
in Civil, Architectural and Environmental Engineering Systems***

XXXIV (2019-2021)

**Existing BIM to digitize and manage the built heritage
in Campania Region**

Existing BIM per la digitalizzazione e gestione del patrimonio edilizio
della Regione Campania

Andrea di Filippo

Tutor

Prof. Salvatore Barba

Coordinator

Prof. Fernando Fraternali

Abstract

It is now 48 years since Eastman theorized what would become known as BIM: Building Information Modelling. Despite this, we can observe that the methodology, together with its associated tools, is still considered an exception to established practice, an eternal novelty with clearly something unfinished.

If we exclude a few excellences, such as the United States and the United Kingdom, and countries vying for keeping up, such as France and Italy, there are still a lot of regions where BIM is completely unsystematized. As a result, it is first implemented in large design studios and public projects and only then, with difficulty, does it spread to the rest of the market.

While we could accept the idea of a silent revolution that takes time to gain a foothold, it is now clear that too much pressure has been applied to the AEC (Architecture Engineering Construction) sector, which was not ready for such a radical change, first in thought and then in practice. Putting this aside, the time required for innovation is in any case not compatible with that necessary for digitization in other sectors, generally between 5 and 10 years (NBS' 10th National BIM Report).

The fourth industrial revolution (Industry 4.0), the one of data and connections, has brought out the limits of our domain, which is unable to keep up with other sectors of production and services. While it is right that transition can only be triggered by an awareness of needs, it is also true that managing interactions with external fields is an equally relevant factor.

This paradigm can also be extended to the associated tools, which must interact and be connected to the web in order to ensure proper data management and the realization of the so-called "digital twin". The new AEC software has metabolized the BIM methodology, or at least it is oriented towards it, although consistent and significant examples are still linked to large projects and established professional actors.

There are no reports or analyses in the literature that disprove the inevitability of BIM for any product (infrastructure, buildings, etc.), application (new construction, renovation, restoration, etc.) or stakeholder (clients, designers, companies, etc.). Despite commercial maturity and a broad spectrum of technical standards that seem to be converging towards organicity, the most common image is that of an unfinished revolution.

Apart from the abovementioned excellences, we can identify an uncertain use of tools, very specialized, based on approximations through trial and error, accompanied by a limited knowledge of the IT (Information Technology) and complexity behind the software front-end. They are compounded by the weaknesses of a mistaken approach to change: on the one hand, there is a very fragmented experimentation, which has difficulties in dissemination and systemic interaction, and on the other hand, we have the inefficiency of a top-down body of rules and laws, which risks excluding the bottom from participation.

In this panorama, research can play a fundamental role in the dissemination and systematization, encouraging a rational use of tools that can go beyond contingent needs. A hybrid approach of practice and theory, spiced up with training in the basic principles of IT, might be the desirable solution.

If the AEC sector is not able to innovate and govern digital change, it will have to undergo it in order to adapt to this widespread need. The first experiments, which were strongly linked to IT innovations and software tools, have given way to an excessive theorization of the method which leaves us without any practical feedback, a sign of a general uncertainty in the direction to be taken.

A representative example of this lack is the answer to the need for sharing data, information and thus knowledge, a problem common to all disciplines. In the field of BIM, this critical issue is 'solved', in conceptual and normative terms, with the introduction of a dedicated digital environment, defined Common Data Environment (CDE) first in BS 1192-1:2007 and later in PAS 1192-2:2013. Since then, CDEs described by other standards have been proposed, together with those developed by the academic world and those promoted by software houses, capable of responding to the problem in different and not always compatible ways.

Similarly, the interaction between instruments cannot be left to the intensive work of the operator due to the inefficiency of software. The lack of an AEC ontology cannot be solved by using only IFC classes, which are incapable of pursuing targets incompatible with their nature. The transition to object-oriented programming, with its own specific elements, has not been completed in work scheduling and cost management appliances.

Not all the 7 'dimensions' of BIM can be realized. For example, we do not have Project Management (PM) tools capable of independently predicting possible interactions between modelled objects. When BIM is employed as a graphical support for administration, it does not always blend perfectly with data storage systems. Its tools are too often used to replace the old 2D representations (PDF or DWG), without the perception of a strategic and not just instrumental change.

Most of the focus for BIM is on new construction, with protocols being developed to make the production process more efficient. Its use concentrates on planning, design and integrated project delivery for buildings and infrastructure, but since recently, research interest shifted from earlier life cycle (LC) phases to maintenance, refurbishment, deconstruction, and end-of-life considerations, especially of complex structures. Promising benefits of efficient resource management motivate investigation to overcome uncertainties of building condition and deficient documentation, prevalent in existing heritage. A BIM protocol for the latter might end up as being very similar to the one applied for new constructions, but this might not be the most effective way of approaching the problem. The public debate on BIM is often confusing and on occasions lacks a clear vision on final goals.

To completely reformulate the problem and articulate it appropriately could be the first step to take to clarify the scenery just described. A tool in the gearbox of

creative thinking is the so-called Kipling technique, whose archetypes can be found in the structure used by Greek-Roman philosophers to formulate the argumentations. It is a list of six seemingly trivial questions (5W+1H), yet they oblige you to re-examine each element or point of view with respect to a specific topic. The field of documentation and management of the built heritage is not an exception, and a deepening of the details, by articulating each answer in a complete way, can give an overview of the situation.

To be extremely concise, it can be observed that in the sector of architecture, engineering, and construction (Where?), data flows are today (When?) disorganized and productivity levels do not excel. This is because the world of construction, by its nature, is characterized by a certain level of disorder that does not allow a coordination of the figures involved in processes (Why?). Technicians (Who?) must therefore work hard to develop and adopt digital systems aimed at the effective and efficient management of the information at stake (What?).

If the Wh questions help to clarify and organize thinking, it is only with the H of "How" that we move on to action. How can we solve the problem, and especially how has it been addressed in literature? The BIM could be the answer to the first question if we critically analyse the many facets in which it has been presented since its introduction in the early 2000s.

As mentioned for CDEs, the biggest problem with BIM in relation to research is probably the fragmented treatment, which is unable to contribute to the definition of a best practice. The processes of creating a model can be completely different for new and existing buildings. In the first case, the purpose is to provide a product that is articulated in the different phases of the building's life cycle (ISO 22263:2008-R2017), from inception to demolition. As the implementation of such models is not complete, isolated solutions, designed for a specific purpose, are too often employed. For existing fabrics, depending on the availability of previously developed BIMs, the repository can be updated or re-created. In Italy, structures from the 1970s account for more than 60% of all constructions and they are mainly without documentation in digital format. Therefore, in practice, complex and costly reverse engineering processes are almost always used to retrieve the necessary information.

The panorama previously outlined is therefore very articulated and the complex of problems that derives from it can be more extensive. In order to provide solutions to the critical issues arising from a fragmented and differentiated treatment of the topic (BIM, Existing BIM, Historical/Heritage BIM), this research is oriented towards a broader dissertation, interpreting BIM as a system consisting of 4 interconnected elements:

- **functional aspects;** they analyse the capabilities or services provided by the BIM in the narrow sense (model construction) or by its accompanying software for data output. The functionalities can be internal (the 7 'dimensions')

or connected to it through independent applications. Think of the structural calculation or any operation on specific requirements. This also includes analyses of the accuracy and efficiency of digital reproduction;

- **informational aspects and interoperability**; they include issues related to the structured organization of knowledge and data exchange, to ensure interoperability between different software systems without loss of information;
- **technical aspects**; they refer to the construction of the model and depend on the Level of Development (LOD) relative to the designated functionalities. Some examples are data acquisition, processing, object recognition, and modelling. The procedural pipeline can be differentiated between new and existing buildings;
- **organizational and legal aspects**; they define the general features of the model, the roles of the parties involved, their rights and responsibilities regarding information, their access to the model (reading and writing) or their obligation to provide a defined functionality.

The four elements just introduced are interconnected and can be interpreted as nodes of a graph (leaving out here the presence of some elements external to the system). The arcs that connect them can be grouped into two fundamental paths: the flow of information, which moves from the technical aspects towards the organizational ones, and the flow of definition, which has the opposite orientation. The former coordinates the transfer of data coming from the model, while the latter the instances that, after the processing of such information, define or update the model itself. To establish which of the two flows originates first is not simple and depends more on the characteristics of the object examined.

For what has just been said, two opposite expert categories are involved: on the one hand, those who operate in input, providing services for importing, acquiring, and monitoring data, transforming them into BIM models, and on the other, those who operate in output, producing reports or technical analyses (energy simulations, structural calculations, etc.). Once again, it is not easy to establish a hierarchy, as these are complementary roles within a cyclical process.

The framework presented here certainly does not claim to identify and analyse all aspects of the methodology, but is intended to provide a structured guide to reading the contents. All the proposed experiments can always be traced back to the four fundamental aspects described above. These will not be mere containers but will have the task of fostering the construction of connections between the elements investigated, an indispensable step for a systematization of the methodology.

The project follows two lines of research:

- the first is related to the technical aspects of BIM applied to existing constructions. The main objective is to formalize a procedural pipeline for re-

verse engineering implementations, especially with Scan-to-BIM techniques. Although the literature is rich in contributions analysing this topic, an organic treatment is lacking and there are many punctual experiences, related to the contingencies of the case study. Instead, our approach aims to generalize the results of applications and contribute to the outline of a best practice for the management of data derived from digital surveying. The proposed solutions attempt to foresee possible scenarios and offer valid alternatives to ensure a holistic treatment of the methodology. The structured organisation of models and outputs is not simply the product of factors emerging from the case study investigation, adapting to a wide range of situations without neglecting the requirements of current legislation and technical regulations. There is also no lack of in-depth studies on the processes of integrating survey data, mainly oriented towards low-level solutions, which are still not very widespread and therefore susceptible to refinement, contextualizing the conclusions with respect to design requirements. Downstream of the acquisitions and their processing, we devoted ourselves to object recognition as a preparatory and support phase for the semantic classification. Here again, the aim is to propose a cataloguing system that is flexible and compatible with building regulations;

- the second line of research focuses on the topics of data reliability and accuracy. The possibility of updating and reusing a model depends on precisely these two factors and, despite this, there is a lack of a unified framework to solve this critical issue. As far as the first topic is concerned, valid solutions emerge from the literature, but they struggle to establish themselves because they are not well integrated within the tools outlined by the technical standards. For this reason, our proposal for assessing reliability does not introduce any further novelties, but aims to seek out solutions already used in parametric modelling or related fields, reforming them if necessary and lightening the notional load on technicians, who could make use of tools they know and master. Turning to the subject of accuracy, the main proposals focus on the survey phases, presenting for modelling solutions that are either expeditious or in any case tied to the plug-ins of commercial software platforms. Alternatively, we suggest differentiated frameworks for survey operations and source-based virtualization, focused on statistical data processing and implementable in any workflow, without worrying about the specificities of the software used.

The choice of the case study is not random. The building block analysed, located in the historic centre of a municipality in the province of Salerno, stands out for its stratigraphic complexity and articulated relationship with the surrounding urban spaces. These elements, although strongly characterizing, fully reflect the qualities of many centres in Campania, produced by centuries-old stratifications. Moreo-

ver, they present a wide range of criticalities, both for the surveying and modelling phases, which allow us identifying and field-testing potentially the best solutions for the specificities of the case, contributing to enriching the range of experiences necessary to generalize the results of the research.

As far as the structure of the thesis is concerned, Chapter 1 reconstructs, through an in-depth study of the state of the art, the formation process of the BIM methodology, proposing a framework for the classification of its distinctive elements and framing within it the experiences of our own research path. Chapter 2 focuses on technical aspects, formalizing a workflow for Scan-to-BIM processes oriented towards correct semantic classification of information content and traceability of data implemented in the virtualization. Chapter 3 examines the issue of geometric attribute accuracy, proposing evaluation systems compatible with any case study, acquisition technique or parametric modelling platform. In conclusion, we critically analyse the objectives achieved and the possibilities of transferring the results.

Sintesi

Sono passati ormai 48 anni da quando Eastman teorizzò quello che sarebbe diventato noto come BIM: *Building Information Modelling*. Nonostante questo, possiamo facilmente constatare come questa metodologia, insieme agli strumenti associati, è ancora considerata un'eccezione alla pratica consolidata, un'eterna novità con chiaramente qualcosa di incompiuto.

Se escludiamo alcune eccellenze, come gli Stati Uniti e il Regno Unito, e Paesi che stanno cercando di tenere il passo con i tempi, come la Francia e l'Italia, ci sono ancora grandi aree del mondo in cui il BIM non è sistematizzato. Di conseguenza, è più facile registrare una sua diffusione a livello dei grandi studi di progettazione e soprattutto nell'ambito degli interventi pubblici, con non poche difficoltà di penetrazione nel resto del mercato.

Se da un lato potremmo accettare l'idea di una rivoluzione silenziosa che richiede tempo – troppo? – per prendere piede, dall'altro è ormai chiaro che troppa pressione è stata applicata al settore AEC (*Architecture Engineering Construction*), non ancora del tutto pronto a un cambiamento radicale, prima nella metodologia e poi nella pratica. A parte questo, il tempo richiesto per l'innovazione non è comunque compatibile con quello necessario alla digitalizzazione di altri comparti, generalmente compreso tra i 5 e i 10 anni (*NBS' 10th National BIM Report*).

La quarta rivoluzione industriale, la cosiddetta Industria 4.0, quella dei dati e delle connessioni, ha fatto emergere ancor di più i limiti di questo settore, non sempre al passo con quelli della produzione e dei servizi; se è ovvio che la transizione possa essere innescata solo dalla consapevolezza dei bisogni, è anche vero che la gestione delle interazioni con gli ambiti esterni è un fattore altrettanto rilevante.

Questo paradigma può essere esteso anche agli strumenti associati, che devono interagire ed essere connessi al web per garantire una corretta gestione dei dati e la realizzazione del cosiddetto "gemello digitale". I nuovi software AEC hanno metabolizzato la metodologia BIM, o almeno sono orientati a essa, anche se esempi consistenti e significativi sono legati a grandi progetti e ad attori professionali affermati.

Non ci sono rapporti o analisi in letteratura che smentiscano l'inevitabilità del BIM per qualsiasi prodotto (infrastrutture, edifici, ecc.), applicazione (nuova costruzione, ristrutturazione, restauro, ecc.) o stakeholder (clienti, progettisti, aziende, ecc.). Nonostante la maturità commerciale e un ampio spettro di standard tecnici che sembrano convergere verso l'organicità, l'immagine più comune è quella di una rivoluzione incompiuta.

A parte le eccellenze, possiamo identificare ancora un uso incerto degli strumenti, molto specializzato, basato su approssimazioni per tentativi ed errori, accompagnato da una conoscenza limitata dell'informatica, grafica e non solo, e della complessità dietro il *front-end* del software. A ciò si aggiungono le debolezze di un approccio non corretto al cambiamento: da un lato c'è una sperimentazione

molto frammentata, che ha difficoltà di diffusione e di interazione sistemica, e dall'altro abbiamo l'inefficienza di un corpo di regole e leggi, non sempre condiviso e che rischia di escludere l'utente finale dalla partecipazione.

In questo panorama, la ricerca può giocare un ruolo fondamentale nella diffusione e sistematizzazione, favorendo un uso razionale degli strumenti che possa andare oltre le esigenze contingenti. Un approccio ibrido di pratica e teoria, condito da una formazione sui principi base dell'informatica, potrebbe essere la soluzione auspicabile.

Se il settore AEC non è in grado di innovarsi e governare il cambiamento digitale, dovrà subirlo per adattarsi a questa esigenza diffusa. Le prime sperimentazioni, fortemente legate alle innovazioni informatiche e agli strumenti software, hanno ceduto il posto a un'eccessiva teorizzazione del metodo che ci lascia, spesso, senza alcun riscontro pratico, segno di una generale incertezza sulla direzione da prendere.

Un esempio rappresentativo di questa mancanza è la risposta alla necessità di condividere i dati, le informazioni e quindi la conoscenza, un problema comune a tutte le discipline. Nel campo del BIM questa criticità dovrebbe essere 'risolta', in termini concettuali e normativi, con l'introduzione di un ambiente digitale dedicato, definito *Common Data Environment (CDE)* prima nella BS 1192-1:2007 e poi nella PAS 1192-2:2013. Da allora sono stati proposti CDE descritti da altri standard, quelli sviluppati dal mondo accademico e quelli promossi dalle software house, capaci di rispondere al problema in modi diversi e non sempre compatibili.

Allo stesso modo, l'interazione tra strumenti non può essere lasciata all'intenso lavoro dell'operatore come effetto dell'inefficienza dei software. La mancanza di un'ontologia AEC non può essere risolta utilizzando solo classi IFC, incapaci di perseguire obiettivi incompatibili con la loro natura. Il passaggio alla programmazione orientata agli oggetti, con elementi specifici, non è stato completato nelle applicazioni di programmazione del lavoro e di gestione dei costi.

Non tutte le 7 'dimensioni' del BIM possono essere concretizzate. Per esempio, non abbiamo strumenti di *Project Management (PM)* capaci di prevedere indipendentemente le possibili interazioni tra gli oggetti modellati. Quando il BIM è usato come supporto grafico per l'amministrazione, non sempre si fonde perfettamente con i sistemi di archiviazione dei dati; i suoi strumenti sono troppo spesso utilizzati per sostituire le vecchie rappresentazioni 2D (PDF o DWG), senza la percezione di un cambiamento strategico e non solo strumentale.

La maggior parte dell'attenzione per il BIM è rivolta alle nuove costruzioni, con lo sviluppo di protocolli per rendere più efficiente il processo di produzione. Il suo uso si concentra sulla pianificazione, la progettazione e la consegna integrata di progetti per edifici e infrastrutture, ma da poco l'interesse della ricerca si è spostato dalle prime fasi del ciclo di vita alla manutenzione, ristrutturazione, decostruzione e dismissione, specialmente di strutture complesse. I promettenti benefici di una gestione efficiente delle risorse motivano l'indagine finalizzata al superamento delle incertezze correlate allo stato degli edifici e alla documentazione carente, prevalenti

nel patrimonio esistente. Un protocollo BIM ad hoc potrebbe finire per essere molto simile a quello applicato per le nuove costruzioni, ma questo potrebbe non essere il modo più efficace di affrontare il problema. Infatti, il dibattito pubblico sul BIM è spesso confuso e a volte manca di una visione chiara degli obiettivi finali.

Riformulare completamente il problema e articolarlo in modo appropriato potrebbe essere il primo passo da approntare per chiarire lo scenario appena descritto. Uno strumento nell'ingranaggio del pensiero creativo è la cosiddetta tecnica Kipling, i cui archetipi si ritrovano nella struttura utilizzata dai filosofi greco-romani per formulare le argomentazioni. Si tratta di una lista di sei domande apparentemente banali (5W + 1H), che tuttavia obbligano a riesaminare ogni elemento o punto di vista rispetto a un argomento specifico. Il campo della documentazione e della gestione del patrimonio costruito non fa eccezione e un approfondimento dei dettagli, articolando ogni risposta in modo completo, può dare una visione d'insieme della situazione.

Per essere sintetici, si può osservare che nel settore delle costruzioni (Dove?), i flussi di dati sono oggi (Quando?) disorganizzati e i livelli di produttività non eccellono. Questo perché il mondo delle costruzioni, per sua natura, è caratterizzato da un certo livello di disordine che non permette un coordinamento delle figure coinvolte nei processi (Perché?). I tecnici (Chi?) devono quindi impegnarsi per sviluppare e adottare sistemi digitali finalizzati alla gestione efficace ed efficiente delle informazioni in gioco (Cosa?).

Se le 5W aiutano a chiarire e organizzare il pensiero, è solo con la H del "Come" che si passa all'azione. Come possiamo risolvere il problema, e soprattutto come è stato affrontato in letteratura? Il BIM potrebbe essere la risposta alla prima domanda se analizziamo criticamente le molte declinazioni in cui è stato presentato dalla sua introduzione nei primi anni duemila.

Come menzionato per i *CDE*, il più grande problema del BIM nel campo della ricerca è probabilmente la trattazione frammentata, incapace di contribuire alla definizione di una *best practice*. I processi di creazione di un modello possono essere completamente diversi per gli edifici nuovi e per quelli esistenti. Nel primo caso, lo scopo è quello di fornire un prodotto che si articola nelle diverse fasi del ciclo di vita dell'edificio (ISO 22263:2008-R2017), dall'ideazione alla demolizione. Poiché l'implementazione di tali modelli non è completa, troppo spesso si ricorre a soluzioni isolate, progettate per uno scopo specifico. Per i tessuti esistenti, a seconda della disponibilità di BIM sviluppati in precedenza, il repository può essere aggiornato o ricreato. In Italia, le strutture degli anni '70 rappresentano più del 60% di tutte le costruzioni e sono principalmente prive di documentazione in formato digitale. Pertanto, in pratica, si ricorre quasi sempre a complessi e costosi processi di ingegneria inversa per recuperare le informazioni necessarie.

Il panorama precedentemente delineato è quindi molto articolato e il complesso di problemi che ne deriva può essere più esteso. Per fornire soluzioni alle criticità prodotte da una trattazione frammentata e differenziata dell'argomento (BIM, *Existing*

BIM, *Historic/Heritage BIM*), questo lavoro si orienta verso una più ampia dissertazione, interpretando il BIM come un sistema composto da 4 elementi interconnessi:

- **aspetti funzionali**; analizzano le capacità o i servizi forniti dal BIM in senso stretto (costruzione del modello) o dal suo software di accompagnamento per l'output dei dati. Le funzionalità possono essere interne (le 7 'dimensioni') o collegate ad esso attraverso applicazioni indipendenti, si pensi al calcolo strutturale o a qualsiasi operazione su requisiti specifici, includendo anche l'analisi dell'accuratezza e dell'efficienza della riproduzione digitale;
- **aspetti informativi e interoperabilità**; comprendono questioni relative all'organizzazione strutturata della conoscenza e allo scambio di dati, per garantire l'interoperabilità tra diversi sistemi software senza perdita di informazioni;
- **aspetti tecnici**; si riferiscono alla costruzione del modello e dipendono dal livello di sviluppo (LOD) relativo alle funzionalità designate. Alcuni esempi sono l'acquisizione dei dati, l'elaborazione, l'identificazione degli oggetti e la modellazione. La *pipeline* procedurale può essere differenziata per i nuovi edifici e per quelli esistenti;
- **aspetti organizzativi e legali**; definiscono le caratteristiche generali del modello, i ruoli delle parti coinvolte, i loro diritti e responsabilità riguardo alle informazioni, il loro accesso al modello (lettura e scrittura) o il loro obbligo di fornire una funzionalità definita.

I quattro elementi appena introdotti sono interconnessi e possono essere interpretati come nodi di un grafo (tralasciando in questa sede la presenza di alcuni elementi esterni al sistema). Gli archi che li collegano possono essere raggruppati in due percorsi fondamentali: il flusso di informazione, che si muove dagli aspetti tecnici a quelli organizzativi, e il flusso di definizione, che ha l'orientamento opposto. Il primo coordina il trasferimento di dati provenienti dal modello e il secondo le istanze che, dopo l'elaborazione di tali informazioni, definiscono o aggiornano il modello stesso. Stabilire quale dei due flussi abbia origine per primo non è semplice e dipende più che altro dalle caratteristiche dell'oggetto esaminato.

Per quanto appena detto, due saranno le categorie di esperti coinvolte: da un lato quelli che operano in *input*, fornendo servizi di importazione, acquisizione e monitoraggio dei dati, trasformandoli in modelli BIM, e dall'altro quelli che operano in *output*, producendo relazioni o analisi tecniche (simulazioni energetiche, calcoli strutturali, ecc.). Ancora una volta, non è facile stabilire una gerarchia, poiché si tratta di ruoli complementari all'interno di un processo ciclico.

Il quadro qui presentato non ha certo la pretesa di identificare e analizzare tutti gli aspetti della metodologia, ma ha lo scopo di fornire una guida strutturata alla lettura dei contenuti. Tutte le sperimentazioni proposte sono sempre riconducibili ai quattro aspetti fondamentali descritti sopra. Questi non saranno semplici contenitori ma avranno il compito di favorire la costruzione di connessioni tra gli elementi investigati, passo indispensabile per una sistematizzazione della metodologia.

Il progetto segue due linee di ricerca:

- la prima è relazionata agli aspetti tecnici del BIM applicato alle costruzioni esistenti. L'obiettivo principale è quello di formalizzare una *pipeline* procedurale per le implementazioni di ingegneria inversa, specialmente con tecniche Scan-to-BIM. Sebbene la letteratura sia ricca di contributi che analizzano questo tema, manca una trattazione organica e sono presenti molte esperienze puntuali, legate alle contingenze del caso studio. Il nostro approccio vuole invece generalizzare i risultati della sperimentazione e contribuire al tracciamento di una *best practice* per la gestione dei dati derivanti dal rilievo digitale. Le soluzioni proposte cercano di prevedere i possibili scenari e offrono valide alternative per garantire un trattamento olistico della metodologia. L'organizzazione strutturata dei modelli e degli output non è il semplice prodotto di fattori emergenti dall'investigazione sul caso studio, adattandosi per questo a un ampio ventaglio di situazioni senza trascurare le richieste della legislazione e della normativa tecnica vigente. Non mancano, poi, approfondimenti sui processi di integrazione dei dati del rilievo, orientati principalmente a soluzioni di basso livello, ancora poco diffuse e quindi suscettibili di perfezionamento, contestualizzando le conclusioni rispetto alle esigenze progettuali. A valle delle acquisizioni e del loro trattamento, ci siamo dedicati alla *object recognition* come fase preparatoria e di supporto alla classificazione semantica degli oggetti parametrici. Anche in questo caso l'obiettivo è quello di proporre un sistema di catalogazione flessibile e compatibile con le prescrizioni normative in materia di edilizia;
- la seconda linea di ricerca si concentra sui temi dell'affidabilità e dell'accuratezza del dato. La possibilità di aggiornamento e riutilizzo di un modello dipende proprio da questi due fattori e, nonostante ciò, manca un framework unificato per risolvere questa criticità. Per quanto concerne il primo tema, dalla letteratura emergono soluzioni valide che tuttavia faticano ad affermarsi perché non sono ben integrate all'interno degli strumenti delineati dalle norme tecniche. Per questo motivo, la nostra proposta per la valutazione dell'affidabilità non introduce ulteriori novità ma si pone come obiettivo quello di ricercare soluzioni già utilizzate nell'ambito della modellazione parametrica o di settori affini, riformandole se necessario e alleggerendo il carico nozionistico gravante sui tecnici, i quali potrebbero avvalersi di strumenti che conoscono e padroneggiano. Passando al tema dell'accuratezza, le principali proposte si concentrano sulle fasi di rilievo, presentando per la modellazione soluzioni speditive o comunque vincolate ai *plug-in* delle piattaforme software commerciali. In alternativa, proponiamo framework differenziati per le operazioni di rilievo e virtualizzazione *source-based*, incentrati sul trattamento statistico dei dati e implementabili in qualunque flusso di lavoro, senza preoccuparsi delle specificità dei software impiegati.

La scelta stessa del caso studio non è casuale. Il blocco edilizio analizzato, localizzato nel centro storico di un comune della provincia di Salerno, si distingue per la complessità stratigrafica e l'articolata relazione con gli spazi urbani circostanti. Questi elementi, per quanto fortemente caratterizzanti, rispecchiano a pieno le qualità di molti centri campani, prodotti da stratificazioni secolari. Inoltre presentano un'ampia gamma di criticità, sia per la fase di rilievo che per quella di modellazione, che ci consentono di individuare e testare sul campo le soluzioni potenzialmente migliori per le specificità del caso, contribuendo ad arricchire la gamma di esperienze necessarie a generalizzare i risultati della ricerca.

Per quanto concerne la struttura della tesi, il Capitolo 1 ricostruisce, attraverso un approfondimento dello stato dell'arte, il processo di formazione della metodologia BIM, proponendo un *framework* per la classificazione dei suoi elementi distintivi e inquadrando in esso le esperienze proprie del nostro percorso di ricerca. Il Capitolo 2 si concentra sugli aspetti tecnici, formalizzando un flusso di lavoro per i processi Scan-to-BIM orientato alla corretta classificazione semantica dei contenuti informativi e alla tracciabilità dei dati implementati nel modello. Il Capitolo 3 esamina la questione dell'accuratezza degli attributi geometrici, proponendo sistemi di valutazione compatibili con qualsiasi caso studio, tecnica di acquisizione o piattaforma di modellazione parametrica. In conclusione, analizziamo criticamente gli obiettivi raggiunti e le possibilità di trasferimento dei risultati.

Resumen

Han pasado 48 años desde que Eastman teorizó por primera vez sobre lo que luego se conocería como BIM: *Building Information Modelling*. Pese a esto, la metodología y sus herramientas asociadas son consideradas una excepción a la práctica aún en la actualidad.

Excluyendo excepciones como Estados Unidos y Reino Unido, países como Italia y Francia intentan estar al día con la aplicación y el desarrollo de esta metodología, mientras que, en otras grandes regiones, el BIM aún no se encuentra sistematizado. Como resultado, su implementación inicial es factible en grandes estudios de diseño o proyectos públicos, mientras que hacia el resto del mercado se extiende con dificultad.

Si bien tarda en afianzarse, está claro que se ha ejercido demasiada presión sobre el sector de AEC (Arquitectura Ingeniería Construcción) para su implementación, que no se encontraba preparado para el cambio radical en el campo del pensar y del accionar. Dejando esto de lado, el tiempo de desarrollo de la innovación no ha sido compatible con el necesario para la digitalización en algunos sectores, tardando entre 5 y 10 años su implementación (*NBS' 10th National BIM Report*).

La cuarta revolución industrial (Industria 4.0), la de los datos y las conexiones, ha evidenciado los límites de nuestro sector, incapaz de equipararse al ritmo de la producción y los servicios. Si bien es cierto que la transición puede desencadenarse únicamente por la conciencia de las necesidades, también es cierto que la gestión de las interacciones con áreas externas es un factor relevante.

Este paradigma puede extenderse a herramientas asociadas, que deben de interactuar y conectarse a la web para garantizar una gestión correcta de los datos y la creación del denominado "gemelo digital". Los nuevos softwares AEC han metabolizado la metodología BIM, o al menos se encuentran orientados hacia ella, aun siendo ejemplos consistentes y significativos, se encuentran vinculados a grandes proyectos y actores establecidos.

No existen informes o análisis en la literatura que desestimen que el BIM puede ser utilizado para cualquier tipo de producto, aplicación o partes interesadas. Si bien la madurez comercial y el amplio espectro de estándares técnicos convergen en la organicidad, la imagen más común es la de una revolución inacabada.

Es posible identificar un uso incierto de herramientas, un uso especializado, basado en aproximaciones de prueba y error, acompañado de un conocimiento limitado de TI (Tecnologías de la Información) y de la complejidad detrás del *front-end* del software. A esto se le suma el agravante de un enfoque erróneo sobre el cambio: por un lado, una experimentación fragmentada con dificultades en la difusión e interacción sistémica, y por otro lado, la ineficacia de reglas y leyes, que ponen en riesgo la participación del usuario final.

En este panorama, la investigación juega un papel fundamental en la difusión y sistematización, favoreciendo el uso racional de herramientas que pueden ir más

allá de las necesidades. Un enfoque híbrido de práctica y teoría, con formación en principios básicos de informática, podría ser la solución.

De no ser capaz de innovar y dominar el cambio digital, el sector *AEC*, deberá de someterse a él para adaptarse a esta necesidad generalizada. Los primeros intentos ligados a innovaciones informáticas y herramientas de software han dado paso a la teorización del método que a menudo no es representado en un *feedback* práctico, lo que genera incertidumbre sobre el rumbo a seguir.

Un ejemplo de esta deficiencia es la necesidad de compartir datos, información y conocimiento, problema común en todas las disciplinas. En el campo de BIM, esta situación crítica se ‘soluciona’, en términos conceptuales y regulatorios, con la introducción de un entorno digital dedicado, definido como *Common Data Environment (CDE)* primero en BS 1192-1: 2007 y luego en PAS 1192-2: 2013. Desde entonces, se han propuesto *CDE* descritos por otros estándares, los desarrollados por el mundo académico y los promovidos por casas de software, capaces de responder al problema de formas diversas y no siempre compatibles.

Así mismo, la interacción entre herramientas no puede dejarse en manos del operador debido a la ineficiencia del software. La falta de una ontología *AEC* no puede solucionarse utilizando únicamente clases de *IFC*, incapaces de perseguir objetivos incompatibles con su naturaleza. La transición a la programación orientada a objetos, con elementos específicos, no se ha completado en aplicaciones de planificación de trabajo y gestión de costos.

No todas las 7 ‘dimensiones’ de BIM pueden ser llevadas a cabo. Por ejemplo, no disponemos de herramientas de gestión de proyectos (*PM*) capaces de predecir de forma independiente las posibles interacciones entre los objetos modelados. Cuando es utilizado el BIM como soporte gráfico para la administración, no siempre se integra con los sistemas de almacenamiento de datos. Las herramientas se utilizan con frecuencia para reemplazar antiguas representaciones 2D (PDF o DWG), sin la percepción de un cambio estratégico y no solo instrumental.

La mayor parte de la atención en el BIM se centra en la nueva construcción, desarrollando protocolos para que el proceso de fabricación sea más eficiente. Si bien su uso se concentra en la planificación, el diseño y la entrega integrada de proyectos de construcción e infraestructura, el interés de la investigación ha migrado de las primeras etapas del ciclo de vida a las etapas del mantenimiento, renovación, demolición y desmantelamiento, especialmente aplicado a estructuras complejas. Los beneficios de la gestión eficiente de recursos, motiva la investigación para superar incertidumbres relacionadas con el estado de los edificios y la falta de documentación, que prevalecen en activos existentes. Un protocolo BIM para estos últimos, puede ser muy similar al aplicado para la obra nueva, pero puede que no sea la forma efectiva de abordar el problema. El debate público sobre BIM suele ser confuso y, en ocasiones, carece de una visión clara de los objetivos finales.

Reformular por completo el problema y articularlo adecuadamente podría ser el primer paso para aclarar el escenario que se acaba de describir. Una herramienta

del pensamiento creativo es la llamada técnica de Kipling, cuyos arquetipos se encuentran en la estructura utilizada por los filósofos grecorromanos para formular los argumentos. Es una lista de seis preguntas aparentemente triviales (5W + 1H), que sin embargo nos obligan a reexaminar cada elemento o punto de vista respecto de un tema específico. El campo de la documentación y gestión del patrimonio construido no es una excepción y una profundización en los detalles, articulando cada respuesta de forma completa, puede dar un panorama de la situación.

Para ser extremadamente preciso, se puede observar que, en el campo de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (*Where?*), los flujos de datos son hoy (*When?*) desorganizados y los niveles de productividad no sobresalen. Esto se debe a que el mundo de la construcción, por su naturaleza, se caracteriza por un cierto nivel de desorden que no permite una coordinación de las figuras que intervienen en los procesos (*Why?*). Los técnicos (*Who?*) deben, por tanto, comprometerse a desarrollar y adoptar sistemas digitales destinados a la gestión eficaz y eficiente de la información involucrada (*What?*).

Si las 5W ayudan a esclarecer y ordenar el pensamiento, es sólo con la H del "*How*" que entramos en acción. ¿Cómo podemos resolver el problema y, sobre todo, cómo ha sido abordado en la literatura? El BIM podría ser la respuesta a la primera pregunta si analizamos críticamente las múltiples variaciones en las que se ha presentado desde su introducción a principios de la década del 2000.

Como se mencionó para los CDE, el mayor problema con BIM en relación con la investigación es probablemente el tratamiento fragmentado, incapaz de contribuir a una buena práctica. Los procesos involucrados en la creación de un modelo pueden ser completamente diferentes para edificios nuevos y existentes. En el primer caso, el objetivo es proporcionar un producto que diferencie las fases del ciclo de vida del edificio (ISO 22263: 2008-R2017), desde su concepción hasta su demolición. Dado que la implementación de dichos modelos no es completa, con frecuencia se utilizan soluciones aisladas, diseñadas para un propósito específico. Para tejidos existentes, dependiendo de la disponibilidad de modelos BIM desarrollados previamente, se puede actualizar o recrear. En Italia, las estructuras de la década de 1970 representan más del 60% de las construcciones y en su mayoría no poseen documentación en formato digital. Por lo tanto, en la práctica, se utilizan procesos de ingeniería inversa complejos y costosos para recuperar la información.

El panorama esbozado anteriormente es, por lo tanto, muy complejo y el conjunto de problemas resultante puede ser aún más extenso. Para brindar soluciones a los problemas críticos producidos por un tratamiento fragmentado y diferenciado del tema (BIM, BIM existente, BIM histórico/patrimonial), esta investigación se orientará hacia una disertación más amplia, interpretando BIM como un sistema compuesto por 4 elementos interconectados:

- **aspectos funcionales;** analizan capacidades o servicios proporcionados por el BIM en sentido estricto (construcción de modelos) o por el software para

la salida de datos. Las funcionalidades pueden ser internas (las 7 'dimensiones') o conectadas a través de aplicaciones independientes como, por ejemplo, el cálculo estructural o cualquier operación que requiera requisitos específicos; donde se incluye el análisis de la precisión y eficiencia de la reproducción digital;

- **aspectos de información e interoperabilidad;** relacionados con la organización estructurada del conocimiento y el intercambio de datos, para asegurar la interoperabilidad entre diferentes sistemas de software sin pérdida de información;
- **aspectos técnicos;** referidos a la construcción del modelo y dependen del nivel de desarrollo (LOD) relacionado con las funcionalidades designadas. Algunos ejemplos son la adquisición de datos, el procesamiento, la identificación de objetos y el modelado. El flujo de trabajo se puede diferenciar para edificios nuevos y existentes;
- **aspectos organizativos y legales;** definen las características generales del modelo, los roles de las partes involucradas, sus derechos y responsabilidades en relación con la información, su acceso al modelo (lectura y escritura) o su obligación de proporcionar una funcionalidad definida.

Los elementos presentados se encuentran interconectados y pueden ser interpretados como nodos de un grafo (omitiendo la presencia de algunos elementos externos al sistema). Los arcos que los conectan se pueden agrupar fundamentalmente de dos maneras: el flujo de información, que se mueve desde los aspectos técnicos hacia los organizacionales, y el flujo de definición, que tiene la orientación opuesta. El primero coordina la transferencia de datos provenientes del modelo y el segundo las instancias que, luego de procesar esta información, definen o actualizan el propio modelo. Establecer cuál de los dos flujos se origina primero no es fácil y depende en gran medida de las características del objeto examinado.

Existen dos categorías de expertos implicados, por un lado, los que operan in *input*, prestando servicios de importación, adquisición y seguimiento de datos, transformándolos en modelos BIM, y por otro lado los que operan in *output*, elaborando informes o análisis técnicos (simulaciones energéticas, cálculos estructurales, etc.). Entre ambos, no es fácil establecer una jerarquía, ya que son roles complementarios dentro de un proceso cíclico.

El marco que aquí se presenta no pretende ciertamente identificar y analizar todos los aspectos de la metodología, sino que pretende ofrecer una guía estructurada para la lectura de los contenidos. Todos los experimentos propuestos se pueden remitir siempre a los cuatro aspectos fundamentales descritos anteriormente. No serán meros contenedores, sino que tendrán la misión de fomentar la construcción de conexiones entre los elementos investigados, paso indispensable para una organización de la metodología.

El proyecto sigue dos líneas de investigación:

- el primero está relacionado con los aspectos técnicos de BIM aplicados a las construcciones existentes. El objetivo principal es formalizar un procedimiento para las implementaciones de ingeniería inversa, especialmente con técnicas de Scan-to-BIM. Aunque la literatura es abundante en contribuciones que analizan este tema, falta un tratamiento orgánico y hay muchas experiencias puntuales, relacionadas con las contingencias del caso de estudio. En cambio, nuestro enfoque pretende generalizar los resultados de la experimentación y contribuir a esbozar una práctica óptima para la gestión de los datos derivados de la topografía digital. Las soluciones propuestas intentan prever posibles escenarios y ofrecer alternativas válidas para garantizar un tratamiento holístico de la metodología. La organización estructurada de los modelos y los resultados no es simplemente el producto de los aspectos que surgen de la investigación del caso de estudio, adaptándose a una amplia gama de situaciones sin dejar de lado los requisitos de la legislación y las normas técnicas vigentes. Tampoco faltan estudios en profundidad sobre los procesos de integración de los datos de levantamiento, orientados principalmente a soluciones de bajo nivel, todavía poco extendidas y, por tanto, propensas a ser perfeccionadas, contextualizando las conclusiones con respecto a los requisitos de diseño. Tras las adquisiciones y su procesamiento, nos dedicamos al reconocimiento de objetos como fase preparatoria y de apoyo a la clasificación semántica de los objetos paramétricos. También en este caso, el objetivo es proponer un sistema de catalogación flexible y compatible con la normativa de construcción;
- la segunda línea de investigación se centra en las cuestiones de fiabilidad y precisión de los datos. La posibilidad de actualizar y reutilizar un modelo depende precisamente de estos dos factores y, a pesar de ello, se carece de un marco unificado para resolver esta cuestión crítica. En cuanto a la primera cuestión, surgen soluciones válidas en la literatura, pero les cuesta consolidarse porque no están bien integradas en las herramientas que marcan las normas técnicas. Por ello, nuestra propuesta de evaluación de la fiabilidad no introduce más novedades, sino que pretende buscar soluciones ya utilizadas en la modelización paramétrica o en campos afines, reformándolas si es necesario y aligerando la carga nomenclatural de los técnicos, que podrían hacer uso de herramientas que conocen y dominan. En cuanto al tema de la precisión, las principales propuestas se centran en las fases de levantamiento, presentando para la modelización soluciones expeditivas o, en cualquier caso, vinculadas a los *plug-ins* de las plataformas informáticas comerciales. Como alternativa, proponemos *frameworks* diferenciados para las operaciones de levantamiento y la virtualización *source-based*, centrados en el procesamiento de datos estadísticos e implementables en cualquier flujo de trabajo, sin preocuparse por las especificidades del software empleado.

La elección del caso de estudio no es azarosa. El bloque de edificios analizado, situado en el centro histórico de un municipio de la provincia de Salerno, destaca por su complejidad estratigráfica y su relación articulada con los espacios urbanos circundantes. Estos elementos, aunque fuertemente característicos, reflejan plenamente las cualidades de muchos centros de Campania, producidas por estratificaciones seculares. Además, presentan una amplia gama de criticidades, tanto para la fase de encuesta como para la de modelización, que permiten identificar y probar sobre el terreno las soluciones potencialmente mejores para las especificidades del caso, contribuyendo a enriquecer el abanico de experiencias necesarias para generalizar los resultados de la investigación.

En cuanto a la estructura de la tesis, el Capítulo 1 reconstruye, a través de un estudio en profundidad del estado del arte, el proceso de formación de la metodología BIM, proponiendo un marco para la clasificación de sus elementos distintivos y enmarcando en él las experiencias de nuestra propia trayectoria investigadora. El Capítulo 2 se centra en los aspectos técnicos, formalizando un flujo de trabajo para los procesos de escaneado a BIM orientado a la correcta clasificación semántica del contenido de la información y la trazabilidad de los datos implementados en el modelo. El Capítulo 3 examina la cuestión de la precisión de los atributos geométricos, recomendando sistemas de evaluación compatibles con cualquier caso de estudio, técnica de adquisición o plataforma de modelización paramétrica. Como conclusión, se analizan críticamente los objetivos alcanzados y las posibilidades de transferencia de los resultados.