

TRANSIZIONE DIGITALE PER IL FACILITY MANAGEMENT BIM, CMMS e manutenzione predittiva

DIGITAL TRANSITION IN FACILITY MANAGEMENT BIM, CMMS and diagnostic maintenance

Mario Claudio Dejaco, Chiara Scanagatta, Antonino Mannino,
Massimiliano Condotta

ABSTRACT

La gestione del ciclo di vita è un aspetto fondamentale nella progettazione di edifici sostenibili e nella ricerca di strategie di gestione efficiente del costruito. In tale contesto la ricerca qui presentata ha come obiettivo l'integrazione della fase di Facility Management all'interno di tale processo virtuoso. L'obiettivo è lo sviluppo di una strategia user-friendly e cost-effective che consenta di creare un digital twin, basato su sistema CMMS, sul quale integrare la raccolta dati in tempo reale per ottimizzare le fasi d'uso e manutenzione, verso un sistema predittivo. La strategia è stata sviluppata attraverso due casi studio, il primo legato alla procedura per la realizzazione di un digital twin su database CMMS, il secondo per la definizione degli indicatori necessari per una raccolta dati in tempo reale funzionale alla manutenzione predittiva.

Managing a building's life cycle is a fundamental part of designing sustainable constructions and implementing efficient management strategies. The research described in this paper is inserted within this context, with the objective of integrating the facility management phase within this virtuous process. The purpose of the study is to develop a user-friendly and cost-effective strategy that can be used to create a digital twin, based on CMMS, on which to integrate real-time data in order to optimise the use and maintenance phases, moving towards a predictive system. The strategy was developed through two case studies. The first was linked to the procedure to build the digital twin on the CMMS database, and the second was to define the indicators necessary to collect data in real-time, a function underpinning diagnostic maintenance.

KEYWORDS

gestione del ciclo di vita, BIM, CMMS, digital twin, dati in tempo reale

lifecycle management, BIM, CMMS, digital twin, real-time data

Mario Claudio Dejaco, Engineer and PhD, is an Associate Professor at DICAM, University of Trento (Italy). He carries out research in the field of building construction process management, project choices and consequences for the phases of the asset's execution, use, management and disposal. E-mail: marioclaudio.dejaco@unitn.it

Chiara Scanagatta, Architect and PhD, is a Research Fellow at Università Iuav di Venezia (Italy). Her field of research is on technologies that support participatory planning for urban transformation, and on the tools to manage the maintenance phase in buildings. She also carries out research into environmental planning, sustainability and building technology. Mob. +39 340 597 67 27 | E-mail: cscanagatta@iuav.it

Antonino Mannino, Engineer and PhD, works for Tekser Srl (Italy); his area of research is in the use of real-time data in building management, exploring the methods and procedures to collect and manage data in the various phases of the asset's life cycle (planning, use, maintenance and disposal). E-mail: antonino.mannino@polimi.it

Massimiliano Condotta, Architect and PhD, teaches Architectural Technology at Università Iuav di Venezia (Italy); his research field is information technology applied to architectural/technological design and sustainability processes in architecture. Mob. +39 349 420 12 18 | E-mail: massimiliano.condotta@iuav.it



Il concetto di BIM 7D e di gestione del ciclo di vita del costruito è un tema ormai irrinunciabile nella progettazione di edifici sostenibili e nell'attuazione di strategie di gestione del processo edilizio meno dispendiose in termini di costi e utilizzo dei materiali (Chen et alii, 2019; Dawood, Siddle and Dawood, 2019; Karimi, Iordanova and St-Onge, 2021; Lemaire et alii, 2019). Questa necessità di prestare attenzione a ogni aspetto della vita degli edifici, includendo anche le fasi d'uso e manutenzione, si inserisce all'interno di un'ottica generale di progettazione attenta all'ambiente, che si preoccupa del consumo energetico, della tutela dell'ecosistema naturale e del costruito esistente (Katsigarakis, Lilis and Rovas, 2021; Kazado, Kavgić and Eskicioglu, 2019; Mirzaei et alii, 2018). In tale contesto, il lavoro di ricerca qui presentato, da un lato indaga l'importanza di processi innovativi di Facility Management attuati attraverso strumenti digitali che permettano una ottimizzazione dei consumi e delle risorse, dall'altro propone nuove soluzioni e strumenti, a supporto di tali processi, sviluppati attraverso due casi applicativi. La condizione fondamentale per ottimizzare i processi di manutenzione è l'integrazione di questo approccio fin dalle fasi progettuali, sfruttando le potenzialità degli strumenti BIM per poter disporre di 'gemelli digitali' popolati dalle informazioni necessarie sia alla fase costruttiva sia a quella gestionale dell'edificio.

Nonostante questo concetto possa sembrare scontato, in ambito reale l'utilizzo di strumenti BIM nelle operazioni di gestione e manutenzione presenta delle criticità dovute alle diverse necessità delle fasi del ciclo di vita (Halttula, Haapasalo and Silvola, 2020; Jung, Hakkinen and Rekola, 2018) e alla necessità di integrare software specializzati (Sibenik and Kovacic, 2021; Viklund Tallgren et alii, 2020; Watfa, Hawash and Jaafar, 2021). Pertanto, un primo ambito di problematiche da affrontare riguarda, come affermano Shalabi e Turkan (2020), gli attuali sistemi di Facility Management (FM) che mancano di capacità di interoperabilità e sono gestiti da team diversi. In questa condizione i Facility Manager riscontrano difficoltà nell'identificare gli spazi problematici all'interno delle strutture, isolare i tipi di problemi e dare priorità all'impatto che questi possono avere. Un secondo campo di problematiche è rappresentato dalla mancata gestione, intesa come raccolta e analisi, di dati in tempo reale: tali informazioni, provenienti da ambienti e sistemi impiantistici, si possono utilizzare al fine di trasformare il componente in un prodotto che porta con sé le informazioni che permettano di ricostruire, ottimizzare, e talvolta allungare, il suo ciclo di vita.

In merito alle problematiche di interoperabilità, IFC è lo standard più adatto a supportare lo scambio di informazioni tra diversi software BIM (Ait-Lamallam et alii, 2021; Laakso and Kiviniemi, 2012; Sampaio and Gomes, 2021), mentre lo standard COBie¹ (East, 2007) è il formato più comune per il trasferimento dei dati da BIM a CMMS (Computer Maintenance Management System). Attualmente COBie è costruito sullo standard IFC (East, Nisbet and Liebich, 2013) ed è un MVD (Model View Definition) standard nonché un sottoinsieme dello schema IFC (Kristine Fallon Associates, 2013). In tempi recenti Kumar e Ai Lin Teo (2020b) hanno testato COBie per verificarne i vantaggi; il loro studio ha dimostrato come COBie,

nella sua implementazione come plug-in per software BIM, abbia alcune caratteristiche principali che lo rendono poco adatto per realtà medio-piccole in quanto: a) richiede un'eccessiva quantità di inserimento manuale dei dati, b) non è user-friendly nella sua logica di compilazione dei dati; c) sono assenti meccanismi di controllo automatico del completo trasferimento da BIM a CMMS delle informazioni necessarie alla manutenzione, richiedendo pertanto ulteriore attività di controllo da parte di un operatore (Kumar and Ai Lin Teo, 2020a).

Un'ulteriore criticità, che si manifesta nella fase di post-importazione, è relativa all'aggiornamento del database a seguito di modifiche sul progetto o nell'edificio. Abdalaal e Shukri (2020) hanno già evidenziato come un database CMMS aggiornato sia essenziale per poter gestire correttamente la manutenzione; tuttavia, i sistemi oggi esistenti non permettono un aggiornamento incrementale imponendo invece una completa re-importazione con un evidente intenso impiego di risorse.

Per quanto riguarda le problematiche relative alla gestione delle informazioni, negli ultimi anni un crescente numero di ricerche ha affrontato il tema dell'integrazione dei dati in tempo reale con il modello digitale dell'edificio, proponendo un crescente numero di innovazioni; questo contesto evidenzia come i dati in tempo reale presentino un elevato potenziale nell'ottimizzazione dei processi FM, soprattutto per quanto riguarda la gestione documentale, la sicurezza, la logistica e la gestione energetica dell'edificio (Wong, Ge and He, 2018). Tuttavia, vi sono anche dei limiti dettati più che dagli aspetti tecnologici delle soluzioni, dalla loro implementazione da parte dei vari stakeholders. Risulta pertanto strategico riuscire a definire una procedura di monitoraggio che permetta di capire quali dati è necessario monitorare, con che frequenza e dove conservare le informazioni raccolte.

Tra le principali sfide emerse dai vari studi che hanno affrontato il tema dell'integrazione dei dati in tempo reale con il modello digitale dell'edificio, vi è la definizione di uno standard per integrare e gestire i dati raccolti (Tang et alii, 2019). D'altra parte l'utilizzo di una rete sensori wireless presenta altre due criticità, soprattutto se realizzate in edifici esistenti: la trasmissione del segnale e l'alimentazione dei dispositivi. Relativamente alla prima, il numero dei dispositivi necessari alla corretta trasmissione dati può essere significativamente limitato dal tipo di edificio o, in base alle quantità necessarie, può influenzare negativamente i costi di implementazione delle soluzioni. In merito alla seconda, non sempre il sensore può essere collegato alla rete elettrica, creando difficoltà tecniche nella raccolta dati.

A partire dai presupposti e dalle problematiche evidenziate, obiettivo della ricerca è stato lo sviluppo di una strategia user-friendly e cost-effective per la creazione di database CMMS a partire da modelli BIM, supportata da sistemi per la raccolta di dati in tempo reale attraverso un sistema di sensoristica diffusa. L'obiettivo a lungo termine è un sistema integrato di gestione e manutenzione dell'edificio e di tutte le sue componenti tecniche e tecnologiche in grado di supportare approcci predittivi. La scelta di sviluppare una procedura semplificata nasce dall'idea di consentire alle piccole-medie imprese di accedere a tali

opzioni utili per le fasi di gestione delle operazioni, pratica attualmente poco diffusa poiché gli strumenti già in commercio non sono economicamente sostenibili per queste realtà. Pertanto, gli obiettivi specifici della ricerca riguardano la definizione di procedure per: 1) trasformare un progetto di architettura o la restituzione di un edificio esistente, definiti in ambiente BIM, in un digital twin aggiornabile in modo incrementale; 2) integrare, all'interno dell'ambiente CMMS, sensori e strumenti digitali per la raccolta di dati in tempo reale, permettendo una visualizzazione dei dati semplificata in modo tale da coinvolgere anche gli utenti meno esperti nella gestione dell'edificio, proponendo allo stesso tempo alcune alternative per la gestione e visualizzazione dei dati raccolti tramite sensoristica.

Metodologia e fasi | Per il raggiungimento dell'obiettivo complessivo della ricerca è stato necessario operare in modo separato su ciascuno degli obiettivi specifici. Infatti, date le tempistiche necessarie per la realizzazione di un digital twin funzionale e per la successiva implementazione del sistema di sensoristica ad esso collegato, non era possibile testare l'intera procedura attraverso un unico caso studio. L'attività di ricerca è stata pertanto strutturata in due percorsi paralleli con l'individuazione, per ciascuno dei due ambiti d'indagine, di un caso studio ad hoc, consistente in uno o più asset esistenti (Fig. 1). L'individuazione dei due casi studio è stata condizionata dalla necessità di disporre di temi affini per poter successivamente confrontare i risultati e omogeneizzare gli esiti della ricerca. A una fase iniziale di matrice comune di analisi delle strutture e di definizione delle procedure da mettere in atto è seguita l'applicazione personalizzata alle necessità e opportunità correlate ai singoli casi studio.

In particolare, il primo obiettivo è stato sviluppato e testato attraverso il Complesso edilizio dell'Ospedale di Feltre utilizzando un approccio in quattro fasi (Fig. 2). Il caso presenta asset immobili e mobili già esistenti con la necessità di creare un gemello digitale per la gestione della manutenzione con sistemi CMMS evoluti. La prima fase ha definito una struttura dati chiara e il più possibile condivisibile per il database CMMS e la corrispondente tassonomia per descrivere gli aspetti spaziali dell'edificio, così da non dover ridefinire la struttura dati per ogni caso specifico. A tale scopo sono stati esaminati vari software CMMS esistenti per raccogliere informazioni sulla loro logica di gestione dei dati, ed è stato avviato un confronto con alcuni Facility Managers per comprenderne i desiderata e quali aspetti dei software in commercio avessero effettiva necessità di implementazione.

La seconda fase, attraverso un'attività di desk study, si è concentrata sul confronto tra la struttura dati così definita e lo standard IFC per determinare una struttura di mapping tra quest'ultimo e CMMS. Tale fase è stata necessaria per identificare quali campi IFC sono utili per la procedura di importazione in CMMS, in quanto l'esportazione IFC da BIM propone un set di dati molto ampio e non necessariamente utile nella sua completezza. Il terzo momento ha visto la definizione di una query, basata sulla tassonomia definita in precedenza, per lo sviluppo dello strumento di importazione degli IFC nei CMMS sotto forma di record di database. La fase finale ha riguardato la vali-

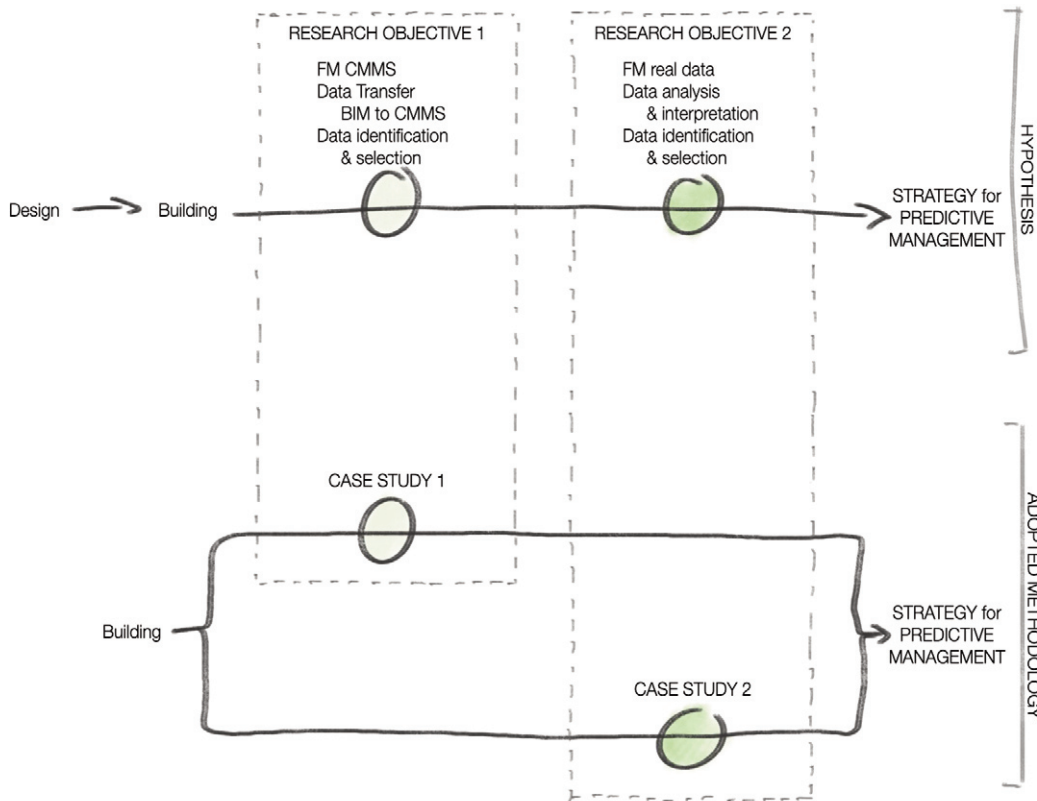


Fig. 1 | Diagram of the method implemented, complete procedure and case studies (credit: C. Scanagatta, 2022).

dazione del metodo: sono stati effettuati dei test sia per verificare l'effettivo funzionamento dello strumento sia per testare l'aggiornamento incrementale del database del CMMS a seguito di modifiche degli asset sia immobili sia mobili.

Il secondo obiettivo è stato affrontato e testato attraverso il caso studio di alcuni Laboratori medici e di analisi situati in Milano dove era la necessità, da un lato, di migliorare e ottimizzare i processi manutentivi con un approccio alla manutenzione predittiva o comunque finalizzato a intervenire tempestivamente al manifestarsi dei guasti, dall'altro, di utilizzare gli stessi dati per il monitoraggio in tempo reale allo scopo di migliorare la sostenibilità economica e ambientale delle diverse strutture, evidenziando eventuali comportamenti scorretti degli utenti. Anche relativamente al secondo obiettivo specifico è stato utilizzato un approccio in quattro fasi (Fig. 3), proponendo e applicando al caso studio una opportuna strategia gestionale che tiene in considerazione lo stato dell'arte e gli standard internazionali ed europei (ISO 41001:2018; EN 15331:2011). Nella prima fase sono stati definiti i dati necessari alla gestione dell'asset, rappresentativi non solo dei dati da integrare nel modello digitale, ma anche delle criticità da monitorare, la tipologia di sensori da installare, gli strumenti e le piattaforme da utilizzare per la raccolta, l'integrazione e la visualizzazione delle informazioni.

Una volta definiti gli obiettivi chiave del monitoraggio, e di conseguenza gli strumenti commerciali da utilizzare per attuare il monitoraggio, si è passati alla fase successiva. Nella seconda fase l'attività principale è stata la raccolta dati, avvenuta sia per mezzo della sensoristica installata sia attraverso i feedback degli utenti che interagiscono con l'edificio o le sue parti/spazi. In entrambi i casi è stato previsto un ambiente digitale centralizzato che favorisce l'analisi e la conservazione

nel tempo del dato. Le ultime due fasi, infine, hanno riguardato rispettivamente l'analisi dati e, quando necessario, l'attivazione della richiesta di intervento. In particolare nella terza fase sono stati analizzati i dati raccolti al fine di ottimizzare i processi di gestione degli interventi, valutando le soglie di alert preimpostate con cui attivare un intervento o le regole con cui attivare un intervento predittivo sull'asset. La quarta fase, che conclude il processo, è quella relativa all'intervento attivato in maniera tempestiva o anticipata e che ha permesso di valutare l'effettiva ottimizzazione di modalità e costi di gestione del sito tramite KPI (Key Performance Indicators) predefiniti. Più in dettaglio la Figura 4 mostra lo sviluppo del flusso informativo nell'applicazione del processo nei casi studio presi in considerazione. In questo caso il processo viene applicato nell'ambito della gestione della manutenzione, ma è comunque scalabile anche agli altri ambiti del Facility Management.

Risultati | L'applicazione del metodo al caso studio dell'Ospedale di Feltre ha previsto un lavoro iniziale di rilievo degli asset immobili e di censimento di quelli mobili per poter definire in ambiente digitale gli elementi spaziali (edifici, stanze, ambienti complesso di edifici) e riportare come i diversi asset mobili si relazionino con questi al fine della loro definizione all'interno del database CMMS. Questa attività, realizzata contestualmente alle altre attività della prima e seconda fase, ha prodotto la tassonomia come illustrata in Tabella 1. La logica di database dei software CMMS richiama una struttura basata sulla gerarchia spaziale degli asset; infatti, gli asset mobili sono racchiusi all'interno di ambienti posizionati su un livello all'interno di un edificio che a sua volta può essere parte di un complesso di edifici. La stessa logica di collegamenti è presente anche nello schema IFC.

La tassonomia proposta rispecchia queste strutture spaziali e gerarchiche. In merito all'esito della terza fase, è stata definita una query di importazione (Fig. 5) che può essere implementata sia come strumento integrato nel software CMMS sia come tool esterno da richiamare. Il risultato finale del suo utilizzo rimane il medesimo: la creazione di record che popolano il database CMMS delle informazioni necessarie. La caratteristica fondamentale di tale query è la capacità, in fase di importazione dati nel database CMMS, di selezionare automaticamente dal file IFC completo, esportato dall'ambiente BIM, solo gli elementi utili ai fini manutentivi sulla base della tassonomia.

Infine, data la complessità e le molteplici interrelazioni esistenti all'interno di un modello BIM, al fine di ottimizzare lo svolgimento della procedura descritta, sono state definite delle indicazioni operative per i BIM designer² che consentano di integrare i modelli BIM con le informazioni utili per semplificare la selezione dei dati necessari alla manutenzione. Queste indicazioni, riassunte in Tabella 2, risultano essere semplici accorgimenti, da implementare in fase di realizzazione del modello digitale, che consentono di mantenere una logica coerente tra ambiente BIM, file IFC esportato e database CMMS. Un esempio è quello della prima riga della Tabella 2: all'interno dell'ambiente BIM il dato `lfcSpace` non viene definito automaticamente dalla creazione di muri e solai che definiscono visivamente una stanza, pertanto è necessario agire manualmente per trasformare uno spazio visivamente definito in uno che stabilisce un `lfcSpace` riconoscibile anche dal database CMMS.

La procedura sviluppata per la corretta impostazione delle informazioni ed esportazione-importazione e applicata al caso studio dell'Ospedale di Feltre, consente di produrre un database CMMS aggiornato che, oltre a essere popolato da informazioni relative alla struttura degli asset immobili, presenta sia dati spaziali che informazioni relative agli oggetti e alle apparecchiature presenti nei diversi ambienti. La presenza di informazioni spaziali collegate agli asset mobili consente una corretta e puntuale integrazione di sensoristica in tempo reale per la manutenzione predittiva, rendendo il software CMMS flessibile ed evitando l'utilizzo di ulteriori piattaforme.

Parallelamente alla definizione delle procedure atte a sviluppare un modello digitale quanto più completo possibile ai fini del FM, sono state definite anche le procedure (Fig. 6) per attuare le strategie di monitoraggio nel caso studio dei centri medici. In questo contesto i dati necessari sono stati estrapolati dalla documentazione tecnico-economica (report di intervento, fatture e segnalazioni utenti). I dati raccolti hanno permesso quindi di definire non solo le criticità da monitorare (sia spazi sia componenti impiantistiche), ma anche le modalità di monitoraggio e controllo, tempistiche di segnalazione e risoluzione e tipologie di intervento per ciascuna delle criticità emerse.

Una volta analizzate e definite le criticità del processo è stata impostata la specifica procedura di monitoraggio definendo quindi tipi di sensori da installare, ambienti e macchine da monitorare, frequenze di registrazione dati e gestione delle informazioni, inclusa la visualizzazione del modello e dei dati. In Figura 7 sono mostrati i vari step del processo che permettono, attraverso un sistema automatizzato di allarmi, la segnalazione

e gestione dell'intervento manutentivo pressoché in tempo reale. Il processo proposto è stato pensato in un'ottica di completa automazione. In un primo periodo è previsto il controllo da parte del building manager per valutare l'effettiva necessità dell'intervento, segnalare falsi allarmi dovuti a particolari condizioni ambientali o malfunzionamenti della sensoristica ed eventualmente anche la necessità di monitoraggio con ulteriori tipologie di sensori per ridurre i falsi positivi. Una volta consolidate le strategie di monitoraggio e ridotte a una soglia accettabile le possibilità di falsi positivi, la segnalazione di intervento può essere completamente automatizzata, azzerando quindi i tempi di analisi e inoltrando la segnalazione da parte del Building Manager.

Nei centri medici monitorati sono stati presi in considerazione i parametri di temperatura, umidità, CO₂, TVOC e vibrazioni. La scelta di questi parametri è stata dettata dalle criticità emerse negli impianti HVAC delle diverse strutture, dai blocchi macchina non rilevati in tempo (con conseguenti disservizi e discomfort negli ambienti) e da alcuni macchinari medici critici che necessitano di operare in determinate condizioni ambientali per non incorrere in blocchi o danneggiamenti. La semplicità di monitoraggio e il costo ridotto della sensoristica necessaria sono aspetti cruciali in quanto consentono l'implementazione del sistema anche da parte di piccole e medie imprese.

Per la gestione dei dati e la visualizzazione delle informazioni sono state ipotizzate diverse soluzioni, in base anche alle esigenze specifiche e alla quantità e tipologia di dati da gestire, così come riportato in Figura 8: totalmente sviluppata in-house, (Soluzione 1) molto semplice, economica ma con il limite di poter gestire una ridotta quantità e tipologia di dati e con una gestione esterna del modello digitale BIM; totalmente esternalizzata (Soluzione 4), più onerosa in termini economici, ma la più stabile in quanto fatta sviluppare esternamente da tecnici informatici qualificati. Le soluzioni intermedie (Soluzioni 2 e 3) garantiscono una buona personalizzazione della piattaforma, l'integrazione del modello digitale e la gestione di diverse tipologie di dati con relativi output; possono essere sviluppate in-house, ma necessitano comunque di significative competenze tecniche nella programmazione e nella gestione di database esterni. La gestione dati proposta mira a essere non solo uno strumento di output grafico delle informazioni leggibile anche da un non addetto ai lavori, ma anche strumento di input dati da parte degli utenti finali dell'asset monitorato in maniera tale da semplificarne l'interazione e migliorarne potenzialmente la qualità dei servizi offerti.

Riflessioni e conclusioni | A seguito dei test sviluppati attraverso i casi studio, è possibile confermare il raggiungimento degli obiettivi iniziali e i vantaggi della strategia sviluppata, nonché le sue criticità. Infatti la strategia, risultata user-friendly e cost-effective nella creazione di database CMMS a partire da modelli BIM, allo stesso tempo è finalizzata a supportare sistemi per la raccolta di dati in tempo reale attraverso un sistema di sensoristica diffusa. La sua applicazione integrata può portare, nel lungo termine, a un sistema di gestione e manutenzione dell'edificio e di tutte le sue componenti tecniche e tecnologiche in grado di gestire approcci predittivi. Rimangono tuttavia

presenti diverse criticità, da risolvere con ulteriori studi e applicazioni.

Oltre ai risultati sinora descritti e al raggiungimento dell'obiettivo generale di cui sopra, la strategia sviluppata ha considerato e risolto anche altre problematiche esistenti e già presentate dalla letteratura. A tal proposito, un dibattito ancora aperto sul tema dei software CMMS riguarda il livello di dettaglio delle informazioni necessarie per la fase operativa (Hong, Hammad and Akbarnezhad, 2019; Russo Ermolli, 2019). Per ovviare a questa incertezza la procedura sviluppata è svincolata dal livello di dettaglio del modello BIM originale, consentendo all'utente di scegliere cosa sia necessario, in termini di informazioni, in base alle circostanze specifiche, senza modifiche alla procedura o allo strumento. È possibile fare un discorso analogo anche sulla quantità di macchine e ambienti da gestire. Monitorare in tempo reale un'eccessiva quantità di componenti e informazioni potrebbe richiedere un investimento che non è sempre sostenibile da parte di un'azienda medio-piccola, in particolare quando si deve in-

tervenire su strutture già esistenti adattate all'uso e non progettate ex-novo. Per questo motivo la definizione della strategia di monitoraggio prevede una fase di indagine preliminare che ne stabilisce le priorità. Con la procedura proposta, attraverso un'opportuna selezione e un'analisi integrata dei dati, si è riusciti a intervenire in maniera tempestiva sul guasto nel 90% dei casi. Si sono registrati alcuni falsi positivi, generati da erronea interpretazione dei dati e/o da inopportuno utilizzo e gestione degli spazi fisici.

Un'ulteriore criticità affrontata è relativa al rapporto tra gli aspetti spaziali dell'edificio e i sistemi funzionali presenti. La strategia, infatti, si occupa di analizzare anche la disposizione e le caratteristiche sia degli spazi legati agli asset sia la funzione specifica per poter identificare la sua destinazione d'uso, aspetto questo che ha consentito di effettuare un ulteriore passo avanti rispetto ai software attualmente in commercio. Infatti, stabilita la spazialità dell'edificio, è possibile definire quali siano le esigenze, i requisiti e le prestazioni degli asset immobili, per poter differenziare quan-

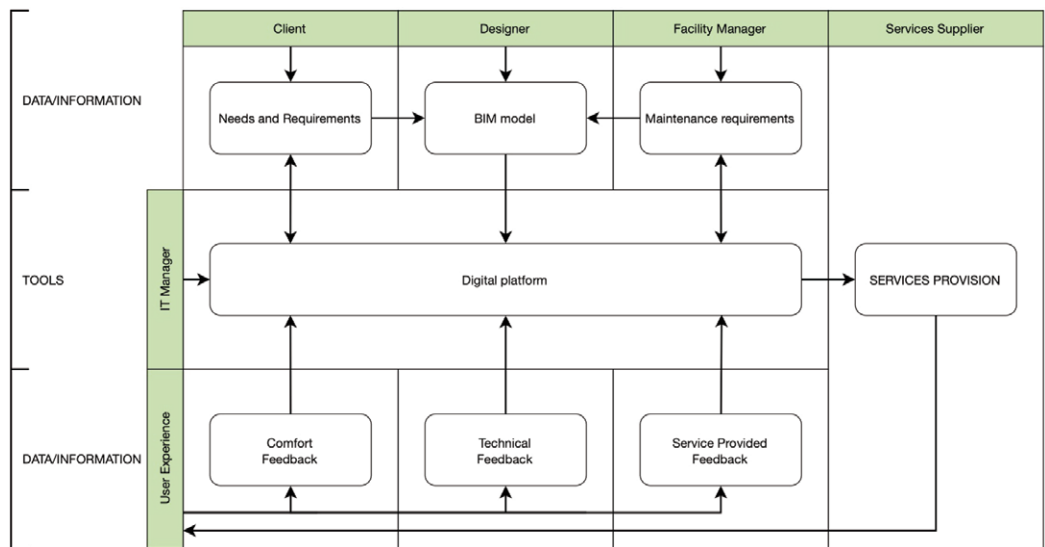
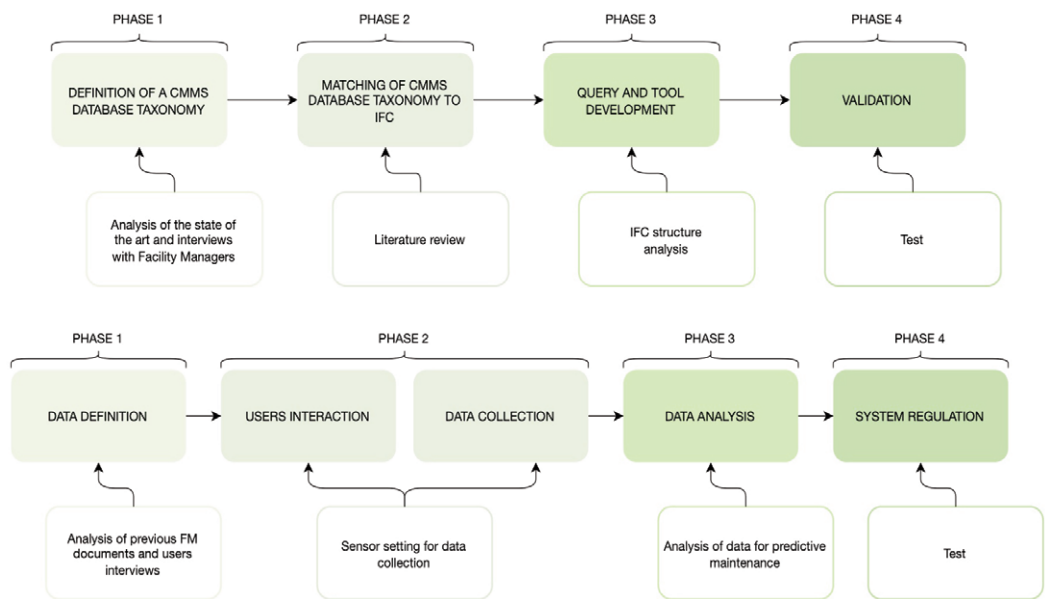


Fig. 2 | Four-phase approach used for the first research objective (credit: C. Scanagatta, 2022).

Fig. 3 | Four phases of the process to collect and manage data (credit: A. Mannino, 2022).

Fig. 4 | Details of the maintenance process based on real-time data (credit: A. Mannino, 2022).

CMMS Database Taxonomy	IFC Metadata
Building complex	IfcSite
Building	IfcBuilding
Floor	IfcBuildingStorey
Room	IfcSpace
Objects and Elements	IFCs* linked to IfcSpace

Tab. 1 | Taxonomy used for the definition of IFCs and the correspondence between IFCs and CMMSs – * refers to IFCs defining e.g. furniture, HVAC, lighting, medical equipment (credit: C. Scanagatta, 2022).

to avviene a livello di gestione di questi ultimi e quanto invece a livello di asset mobili. Infine vi è la possibilità di definire i dati da collegare al modello digitale con relative modalità di raccolta e analisi in tempo reale per controllare e ottimizzare la gestione dell'asset.

In conclusione la strategia definisce dapprima il 'contenitore', il tipo di dati e come trasferirli e restituirli al fine di creare un 'gemello digitale' su cui impostare un processo di ottimizzazione della fase di FM; successivamente, a seguito della definizione del 'contenitore', si valuta l'integrazione in tempo reale di informazioni legate agli asset attraverso l'utilizzo di sensori, il tutto nell'ottica di poter attuare una manutenzione predittiva con i dati acquisiti e analizzati. Quanto proposto permette di fornire informazioni utili ai diversi attori delle fasi d'uso e di manutenzione dell'asset. Pertanto, inserendosi nel contesto esistente, la ricerca qui presentata cerca di definire ulteriormente un ambiente centralizzato per il Facility Management. L'obiettivo è quello di evitare la frammentazione dei dati, con il conseguente rischio di perdere informazioni o riceverne di non corrette. La definizione di requisiti informativi e l'uso dello standard IFC per gestire una parte dell'informazione garantisce l'interoperabilità, spesso ostacolata da software e piattaforme proprietarie, aumentando le possibilità di interagire anche con altre tecnologie come la Realtà Virtuale, la Realtà Aumentata o la Mixed Reality. Creare una replica digitale accurata è fondamentale per poter poi interfacciarsi con queste tecnologie che hanno il potenziale di semplificare e velocizzare processi e interventi.

In merito alle criticità ancora da risolvere, quella principale è legata alla fase iniziale dell'intero processo. La procedura prevede infatti che sia noto fin dall'inizio che il modello BIM verrà utilizzato anche per la gestione della manutenzione, sebbene, per quanto desiderabile, non sempre è possibile. Infatti, se il modello digitale viene realizzato secondo le necessità di una specifica fase di lavoro, o di un determinato ambito, risulta successivamente difficile operare in termini di interoperabilità tra BIM e CMMS, poiché vi sarebbero un numero troppo elevato di dati e informazioni da integrare.

Un'altra criticità fa riferimento alla fase di uso del sistema durante la vita dell'edificio. Si tratta della formazione dell'utente che dovrà interfacciarsi con il modello digitale creato. Le possibili strategie di soluzione per quest'ultima sono due: 1) lo sviluppo di applicativi differenziati in base alle necessità delle diverse categorie di utente; 2) la definizione di diversi livelli di accesso in base alle

credenziali utilizzate. Nel primo caso i diversi applicativi presenteranno sia un'interfaccia utente specifica sia una preimpostazione dei dati a cui avranno accesso gli utenti; ciò consente di personalizzare l'intero ambiente di lavoro e analisi dati sulla base delle specifiche necessità. Per la seconda soluzione, occorrerà predisporre un modello con diversi livelli di accesso che, in base alle credenziali, permetta di accedere a dati e informazioni coerentemente al livello di riservatezza.

In entrambi i casi il manutentore potrà navigare nel modello digitale e aggiornare i dati sull'intervento effettuato direttamente dall'interfaccia utente, ma dovrà possedere una certa padronanza degli strumenti digitali proposti e utilizzati. Anche l'utente finale, che 'vive' l'edificio, dovrà essere formato sulla navigazione all'interno del modello al fine di restituire (ma anche ricevere) i diversi feedback per diventare parte attiva del processo e migliorare il proprio comportamento energetico. Tali criticità non sono strettamente legate alla procedura sviluppata, bensì derivano da un approccio attualmente esistente al tema della gestione del ciclo di vita completo degli edifici il quale, nella sua conformazione attuale, vede la presenza di più figure professionali che operano sulle diverse fasi senza che vi sia condivisione di informazioni e omogeneità di progetto. Tale approccio non è più sostenibile data la transizione digitale in atto; pertanto, l'indirizzo generale è quello di muoversi verso sistemi sempre più integrati e interconnessi, presupposto sul quale è stato sviluppato il lavoro di ricerca.

In merito alla trasferibilità degli esiti della ricerca, attualmente la strategia sarebbe difficilmente trasferibile al campo della costruzione. Questo perché il presupposto principale per l'applicazione della strategia, cioè che sia noto fin dall'inizio che il modello BIM verrà utilizzato anche per la gestione della manutenzione, non è compatibile con all'attuale ridotto utilizzo del BIM come sistema di progettazione integrata. È necessario però rimarcare come l'obiettivo generale del settore sia quello di avere un controllo sempre maggiore su ogni aspetto e fase del ciclo di vita, pertanto è possibile ipotizzare che, data questa tendenza, sarà possibile applicare, in tempi brevi, al contesto reale la strategia sviluppata.

La possibilità di implementare come pratica comune la strategia sviluppata, nella sua versione rifinita, consentirebbe di sfruttare le potenzialità del gemello digitale per sviluppare progetti, non solo architettonici, informati, capaci di integrare le informazioni e le necessità derivanti dall'intero ciclo di vita. I progettisti potrebbero dunque sce-

gliere le diverse soluzioni progettuali con una visione d'insieme maggiore per aumentare la sostenibilità e le performance degli edifici, e di ciò che li compone, anche in considerazione della loro gestione e manutenzione e non solo del loro fine vita. Altri sviluppi della ricerca sono orientati alla possibilità di semplificare e automatizzare ulteriormente la valutazione dei dati utili per l'inserimento in database CMMS, e di conseguenza ridurre le indicazioni per i BIM designer in fase di preparazione del modello digitale, e di applicare algoritmi di machine learning al fine di migliorare il rilevamento di un guasto o la necessità di un intervento, evitare falsi allarmi e, con un opportuno set di dati, implementare anche la manutenzione predittiva sui componenti critici.

The concept of 7D BIM (seven-dimensional building information modelling) and managing a building's lifecycle have become a necessary part of designing sustainable buildings and implementing construction strategies that cost less and use fewer materials (Chen et alii, 2019; Dawood and Sidle and Dawood, 2019; Karimi, Iordanova and St-Onge, 2021; Lemaire et alii, 2019). The need to pay careful attention to every aspect in a building's life cycle, including the phases of use and maintenance, inserts itself into the general perspective of design that respects the environment and is concerned about energy usage and protecting the natural ecosystem and existing buildings (Katsigarakis, Liliis and Rovas, 2021; Kazado, Kavgić and Eskicioglu, 2019; Mirzaei et alii, 2018). In this context, on the one side, the research presented in this paper investigates the importance of innovative facility management processes implemented through digital devices that enable the optimisation of consumption and resources. On the other, it proposes new solutions and tools that can support these processes. Both sides are explored through two case studies. The fundamental condition to optimise maintenance processes is for them to be integrated from the early planning stages, exploiting the potential of BIM tools to construct 'digital twins' that are populated with all the information necessary in both the construction phase and that of managing the building.

This may seem a foregone concept. However, in reality, using BIM tools in management and maintenance operations presents difficulties that arise because the various phases of the building's life cycle come with different needs (Halttula, Haapasalo and Silvola, 2020; Jung, Hakkinen and Rekola, 2018) and specialised software is required (Sibenik and Kovacic, 2021; Viklund Tallgren et alii, 2020; Watfa, Hawash and Jaafar, 2021). Hence, the first problem area is linked to the fact that, as stated by Shalabi and Turkan (2020, p. 359), «Current FM systems are lacking interoperability capabilities and are operated by different teams resulting in poor data coordination and management. In addition, facility managers face challenges in identifying problematic spaces in their facilities, isolating types of problems, and prioritizing the impact of those problems». The second problem area relates to non-management, in other words not collecting and analysing data in real-time. This information comes from the

building’s systems and environment and can be used to transform a component into a product that contains information to reconstruct, optimise and sometimes lengthen its life cycle.

With regards to the problem of interoperability, the IFC (Industry Foundation Classes) standard is the appropriate choice when exchanging data between different types of BIM software (Ait-Lamallam et alii, 2021; Laakso and Kiviniemi, 2012; Sampaio and Gomes, 2021), while the COBie¹ (Construction Operations Building Information Exchange) standard (East, 2007) is the most common format to exchange data from BIM to CMMS (Computerised Maintenance Management System). Currently, COBie is built on the IFC standard (East, Nisbet and Liebich, 2013) and is a MVD (Model View Definition) standard and a subset of the IFC scheme (Kristine Fallon Associates, 2013). More recently, Kumar and Ai Lin Teo (2020b) tested COBie to assess its benefits. Their study revealed that COBie, when implemented as a plugin to BIM software, has certain basic properties that make it unsuitable for small and medium-sized companies. More specifically, a) an inordinate amount of data must be input manually; b) its data compilation logics are not user-friendly; and c) there are no automatic control mechanisms to verify that data necessary for maintenance have been successfully transferred from BIM to CMMS, meaning that an operator must carry out further checks (Kumar and Ai Lin Teo, 2020a).

Another issue that appears in the post-import phase concerns updating the database after changes to the project or building. Abdalaal and Shukri (2020) have already observed that an up-to-date CMMS database is essential to manage maintenance correctly. Current systems, however, do not allow users to perform incremental updates, and instead require the total re-importation of data, with the obviously intense use of resources.

With regards to problems relating to managing information, in the past years, growing numbers of studies have explored the topic of integrating real-time data into a digital model of the building, and have suggested several innovations; this setting highlights the high potential for real-time data in optimising FM processes, especially in the areas of document management, security, logistics and managing energy in the building (Wong, Ge and He, 2018). However, other limits are dictated less by the solutions’ technological aspects and more by how they are implemented by the various stakeholders. It, therefore, makes strategic sense to define a monitoring procedure whereby users can understand what data need monitoring, how often and where the information gathered should be stored.

One of the main challenges that emerged from various studies on the topic of integrating real-time data into a digital model of the building is to define a standard to integrate and manage the data collected (Tang et alii, 2019). Nevertheless, a wireless sensor network comes with its own two problems, especially if implemented in existing buildings, namely, transmitting the signal and powering the devices. For the former, the number of devices needed to transmit the signal correctly can be substantially limited by the type of building or, depending on the number of sensors required, can affect the implementation costs negatively. For the latter, it is not always possible to connect

the sensors to the mains, making it technically problematic to collect data.

Starting from the assumptions and problems highlighted, the objective of the research was to develop a user-friendly and cost-effective strategy to create a CMMS database starting from BIM models and supported by processes to collect real-time data through a diffuse sensor system (DSS). The long-term objective is an integrated building management and maintenance system, plus all its technical and technological components, that can support predictive systems. The choice to develop a simplified procedure came out of the idea that small and medium-sized companies should have access to options that are useful in the phases of operations management. The practice is currently rather uncommon, as the tools already on the market are not economically viable for these companies. Therefore, the specific objectives of this research are to define procedures that can 1) transform an architecture project or a project to reclaim an existing building, defined in a BIM environment, into a digital twin that can be updated incrementally; and 2) integrate, within the CCMS environment, digital sensors and instruments that collect data in real-time, giving users a simplified visualisation of the data; in this way, even the least expert user would be involved in the management of the building. This procedure would also offer options to manage and visualise data gathered from the sensors.

Methodology and phases | In order to achieve our overall research objectives, both specific objectives had to be investigated separately. The time needed to build a working digital twin and the subsequent implementation of its connected sensor network made it impossible to test the entire procedure through a single case study. Research was thus subdivided into two parallel paths, and an ad hoc case study was identified for each field of investigation, consisting in one or more existing assets (Fig. 1). The process to identify the two case studies was restricted by the need to work

on similar topics so that the results could be compared and the research findings presented uniformly. The initial phase was common to both paths and consisted of an analysis of the facilities and the definition of the procedures to put in place. The applications were then customised to the needs and opportunities associated with the two case studies.

The first objective was developed and tested on-site at the Feltre Hospital building complex through a four-phase approach (Fig. 2). The case presented existing moveable and immovable property, and there was the need to create a digital twin to manage maintenance using evolved CMMS systems. The first phase involved defining a clear and shared, as far as possible, data structure for the CMMS database, together with the corresponding taxonomy to describe the spatial aspects of the building, so that the data structure would not have to be redefined in each specific case. Several existing CMMS software packages were thus reviewed to gather information on their data management logics, and several facility managers were approached to find out what they wanted from the new software and which aspects in current packages were necessary in practice.

The second phase was mainly a desk study and concentrated on matching the data structure as defined with the IFC standard, to map the IFC structure to the CMMS structure. This phase was necessary to identify which IFC fields should be used in the procedure to import data to CMMS, in that the IFC export from BIM tool proposes a very extensive dataset and this complete set is not necessarily useful. The third phase involved building a query based on the previously defined taxonomy to develop a tool to import IFC files into the CCMS as database records. The final phase was to validate the method. Tests were carried out to verify that the tool was working properly and to test that the CMMS database was updated incrementally after modifications to moveable and immovable assets.

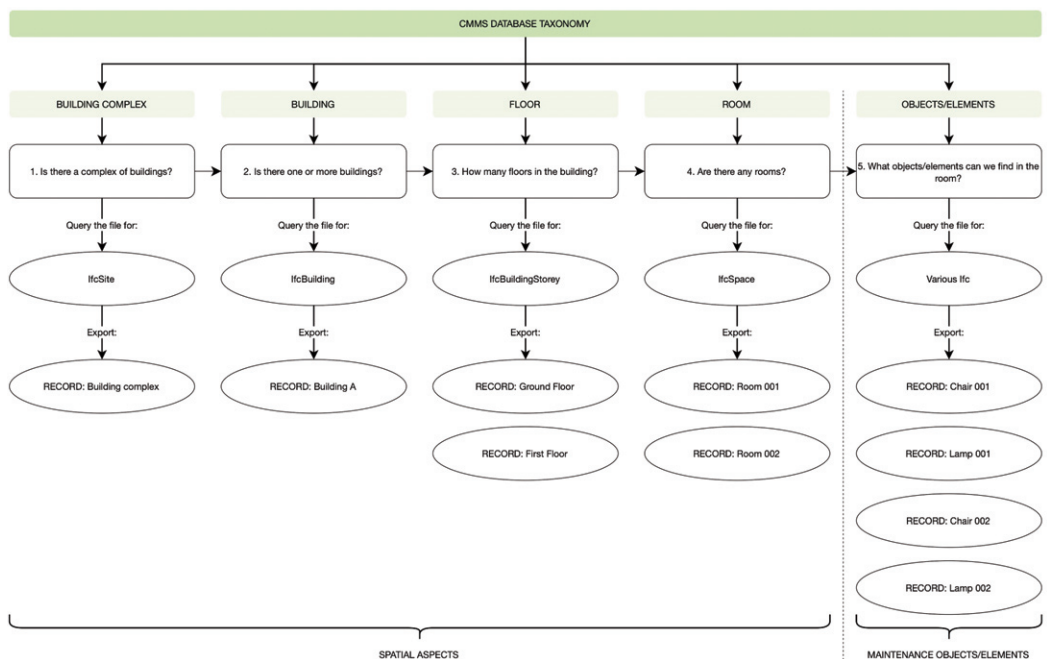


Fig. 5 | Diagram of the query used for the analysis and selection of IFCs (credit: C. Scanagatta, 2022).

CMMS Databases Needs	Drawing Rules for BIM Designers
Definition of IfcSpace	Use the 'zone' instrument to create defined spaces in the BIM model
Manage multiple buildings in the same IfcSite	Model each building in separate BIM file. Mandatory definition of the same IfcSite name within each model property to allow the identification of a shared GlobalID
Easiest management of Objects and Elements	Definition of a custom name for each category. Once the first custom name is defined (e.g. Chair 001) each object from that category will be automatically renamed by the software with the name followed by a progressive numbering
Database update	Combination of the custom name, to recognize elements subject to maintenance, and of its GlobalID, automatically assigned to each object by the BIM software, to update the database without having to re-import all data

Tab. 2 | Design rules for managing the BIM model (credit: C. Scanagatta, 2022).

The second objective was addressed and tested through a case study involving several medical and analysis laboratories in Milan, where they needed, on the one hand, to improve and optimise their maintenance processes, preferably through diagnostic maintenance, or at least by intervening rapidly as soon as a fault was detected. On the other hand, they wanted to use the data for real-time monitoring, in order to improve the economic and environmental sustainability of their facilities, and to highlight any improper user behaviour. A four-phase approach was also used for the second specific objective (Fig. 3). It involved proposing, and applying to the case study, a suitable management strategy that took into account both the state-of-the-art on the subject and European and international standards (ISO 41001:2018; EN 15331:2011). The data needed to manage the assets were defined in the first phase. These data had to be representative both of the data to integrate into the digital model and also of the critical issues to monitor, the type of sensors to install, the tools and the platforms used to collect data, and the integration and visualisation of information.

After the key monitoring objectives were defined, and with them the relative commercial monitoring tools, we went on to the next phase. In the second phase, the main task was to collect data. Data were collected from installed sensors and from feedback given by the users who interacted with the building and its parts and spaces. A centralised digital platform was used in both cases to analyse and store data over time. The last two phases concerned the data analysis and, when necessary, the activation of a request for intervention. In the third phase, in particular, the data collected were analysed to optimise the intervention management processes, assessing the pre-imposed alert thresholds to trigger an intervention or the rules in place to activate a preventive intervention on the asset. The fourth phase, concluding the process, concerned the activating of prompt or early interventions. Predefined KPIs (Key Performance Indicators) were used to assess whether the methods and the site management costs were optimised as expected. In greater detail, Figure 4 shows the progress of the information flow when the process was applied to the cases under study. In this case, the process is applied to maintenance management, but it can be scaled to other facility management areas.

Results | The method applied to Feltre Hospital involved an initial survey of the site and census of the immovable assets to frame the spatial elements in a digital environment (buildings, rooms, building complex areas) and how the various moveable assets interact with these, in order to define them within the CMMS database. This task was carried out at the same time as other work in phases one and two, and produced the taxonomy shown in Table 1. The database logics in CMMS software evokes the spatial hierarchy of the assets. Any immovable asset is located in a room on a floor in a building and that building, in turn, can be part of the building complex. The IFC scheme uses the same connection logics.

The proposed taxonomy mirrors these spatial and hierarchical facilities. As its outcome, the third phase produced a data import query (Fig. 5) which can be integrated into the CMMS software or implemented as an external tool accessed via a procedure call. The final result is the same, namely, to create records that populate the CMMS database with necessary information. A basic feature of this query is that, when importing data to the CMMS database, it is capable of automatically selecting from the complete IFC file (itself exported from the BIM environment) only the elements that are useful for maintenance purposes, based on the taxonomy.

Lastly, given the complexity and the many inter-relations within a BIM model and in order to optimise the running of the procedure described, we defined some practical rules for BIM designers², which suggest how to add useful information to the BIM models to simplify the selection of data necessary for maintenance. These rules are set out in Table 2; they are simple to implement when creating the digital model and help to retain logical coherence between the BIM environment, the exported IFC file and the CMMS database. An example is given on the first row in Table 2: in the BIM environment, IfcSpace is not defined automatically when creating the walls and ceilings that describe a room visually, and users have to intervene manually to transform a space defined visually into a space represented by an IfcSpace which the CMMS database can recognise.

Designers can use the procedure developed to configure the information and the import-export process correctly, which was applied to the Feltre Hospital case study, to produce an up-to-date

CMMS database. This database will be populated with information about the structure of the buildings and also contains spatial data and information about the objects and equipment in the various rooms and areas. By linking spatial information to moveable assets, sensor data can be integrated seamlessly in real time to enable diagnostic maintenance. As a result, the CMMS software is flexible and additional platforms are unnecessary.

In parallel with defining the procedures to create a digital model as complete as possible for FM purposes, other procedures were also defined (Fig. 6) to implement the monitoring strategies in the case study involving the medical centres. In this case, the required data were extrapolated from the technical and economic documentation (maintenance reports, invoices and user warnings). Using the data collected, as well as identifying the critical issues to monitor (both spaces and equipment components), we were able to define the monitoring and control modalities, the timing for reporting and clearing faults, and the type of maintenance for each critical issue.

After the critical issues in the process were analysed and defined, the specific monitoring procedure was configured. This meant specifying the types of sensors to be installed, the environment and equipment to monitor and the frequency with which to record data and manage information, including to visualise the model and the data. Figure 7 shows the various steps in the process. Fault reporting and maintenance are managed virtually in real-time through an automatic alarm system. The process was conceived in the perspective of total automation. The building manager must first check that the intervention is really necessary, record false warnings caused by particular environmental conditions or by malfunctioning sensors, and even whether other monitoring sensors are needed to reduce false positives. Once the monitoring strategies are consolidated, and false positives come under an acceptable threshold, the 'intervention required' procedure can be completely automated, cutting the analysis time to nothing and the building manager can forward the warning.

The parameters monitored in the medical centres related to temperature, humidity, CO₂, TVOC (total volatile organic compounds) and vibrations. These parameters were selected on the basis of the critical issues found in the HVAC (heating, ventilation and air conditioning) systems in the various buildings, machine breakages not discovered in time (causing system disruption or uncomfortable conditions on site) and the fact that some critical pieces of medical equipment can only operate under specific conditions to avoid breakage or damage. The simplicity of the monitoring and the low cost of the sensors are crucial aspects, meaning that even small and medium-sized companies can implement the system.

Four solutions were hypothesised to manage the data and visualise the information, based on specific requirements and the quantity and type of data to manage, as shown in Figure 8. Solution 1 is a totally in-house solution, and is very simple and inexpensive, but restricted by only being able to manage small volumes and typologies of data, and the digital BIM model has to be managed externally. Solution 4 is totally outsourced and is

more costly, but it is also the most stable, being developed externally by expert information technicians. Solutions 2 and 3 are intermediate solutions, with a high level of platform customisation, an integrated digital model, and cater for various types of data with the relative output. These last two solutions can be developed in-house, but the designers must have a good level of technical expertise in programming and managing external databases. Data management should not simply be a tool to produce a graphic output of the infor-

mation that even non-professionals can understand, it must also be a tool utilised by the asset's end users to input data, monitored to simplify interaction and potentially improve the quality of services offered.

Considerations and conclusions | Following the tests prepared during the case studies, we can confirm that we met our original objectives, and can outline the benefits of the strategy as well as its critical issues. The strategy to create a CMMS

database starting from a BIM model is both user-friendly and cost-effective. At the same time, it can support processes to collect real-time data through a diffuse sensor system. In the long-term, its application can lead to an integrated building management and maintenance system, plus all its technical and technological components, that can support predictive systems. Several critical issues do remain, however, and must be addressed through further studies and applications. Apart from the results described in this paper, and

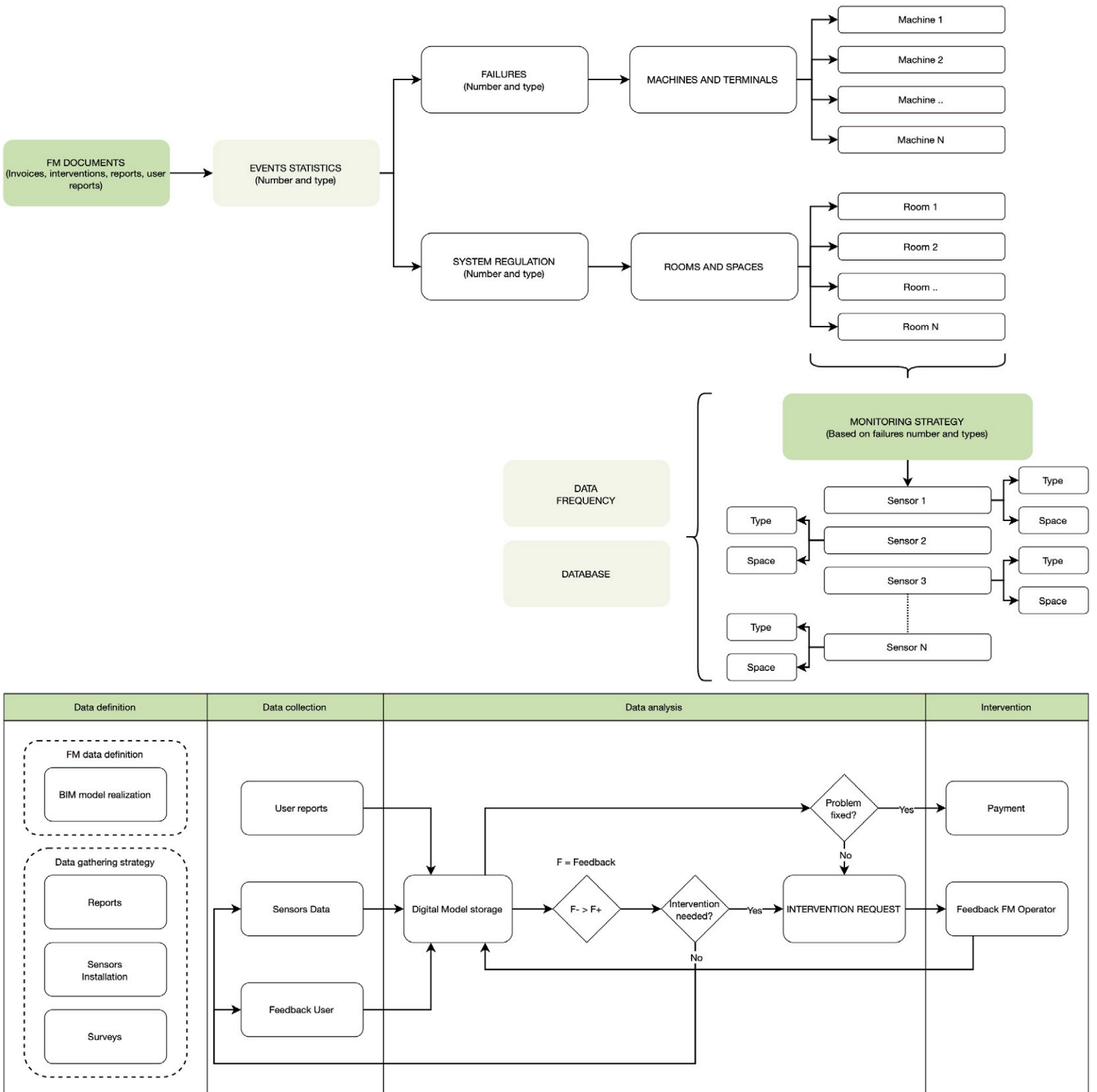


Fig. 6 | Procedure to implement the monitoring strategies (credit: A. Mannino, 2022).

Fig. 7 | Fault reporting and maintenance management process (credit: A. Mannino, 2022).

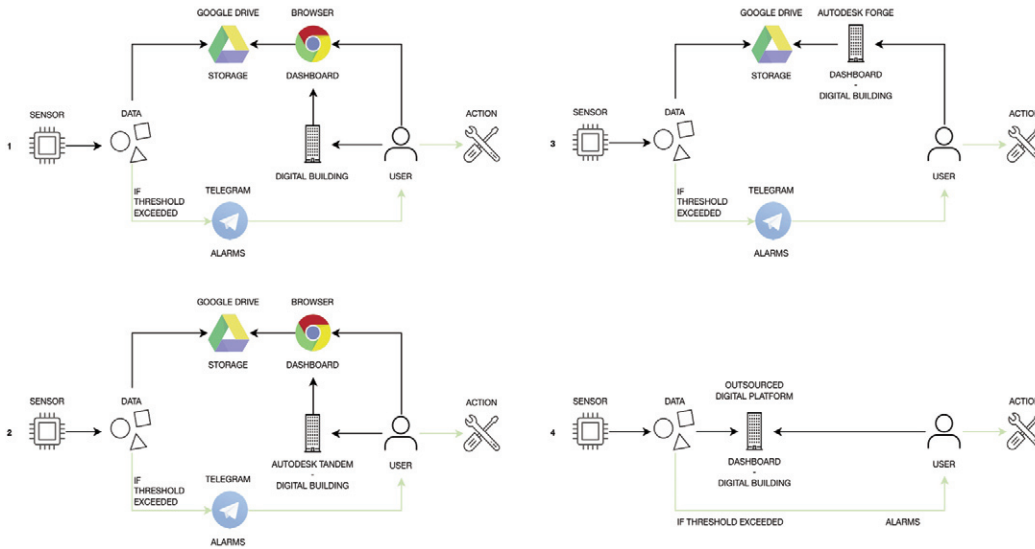


Fig. 8 | Data management solution options and graphic output (credit: A. Mannino, 2022).

the fact that our general objective described above has been achieved, the strategy developed in the study has taken into consideration and resolved other existing issues previously set out in the literature. One debate still open, on the topic of CMMS software, concerns the level of information detail necessary at the operational stage (Hong, Hammad and Akbarnezhad, 2019; Russo Ermolli, 2019). To get around this problem, the procedure presented here is de-coupled from the level of detail found in the original BIM model. Therefore, users can decide what information they need, on the basis of their particular circumstances, without having to alter the procedure or the tool. Similar considerations can be made on the quantity of machinery and rooms/areas to manage. Monitoring an excessive amount of components and information in real-time could mean a level of investment that small and medium-sized companies cannot always afford, especially when they have to work with existing facilities that have been adapted and were not purposely designed. For this reason, the process to define the monitoring strategy includes a preliminary survey to set the priorities before going ahead. Using the proposed procedure, by carefully selecting the data and analysing them in an integrated way, we were able to detect and manage a fault promptly in 90% of cases. Several false positives were recorded, although these were generated by data being interpreted incorrectly or by the improper use and management of physical spaces.

A further critical issue addressed in the study concerns the spatial aspects of the building and the systems currently in place there. An additional feature of the strategy is that it can analyse the layout and characteristics of the spaces linked to the assets, as well as the assets' specific functions, in order to identify their intended use. This particular aspect is a step forward compared to the software currently on the market. After specifying the building's spatial layout, the needs, requirements and performance of the immovable assets can be defined. The reason behind this is to separate what happens during the management of immovable assets from what happens during the management of movable assets. Lastly, there is the option to define which data to con-

nect to the digital model, with the relative modalities for data collection and real-time analysis, to control and optimise the assets' management.

In conclusion, the strategy first defines the 'container', the type of data, and how to transfer and return them to create a digital twin on which to build an optimisation process for the FM phase. After defining the 'container', the next step is to assess the real-time integration of information linked to the assets through sensors, all in a perspective of diagnostic maintenance based on using data acquired from the sensors and analysed. This procedure can provide useful information to the various actors involved in the phases of using and maintaining the asset. Therefore, by inserting the research presented here into the current context, we have tried to expand the definition of a centralised facility management platform. The objective is to avoid data fragmentation, with the ensuing risk of losing or receiving incorrect information. Defining the information requirements and managing part of the information through IFC standards ensures interoperability, which is often hindered when using proprietary software and platforms. Our proposal, thus, increases possible interaction with virtual reality, augmented reality, mixed reality and other such technology. The creation of an accurate digital twin is the essential starting point to then interface with these technologies, with their potential to simplify and speed up processes and interventions.

With regards to unsolved critical issues, the main problem is linked to the initial phase in the entire process. The procedure takes it as known from the start that the BIM model will also be used to manage maintenance. While obviously desirable, this is not always possible. If the digital twin is created according to the needs of a specific work phase, or in a specific environment, later BIM-CMMS interoperability will be difficult to achieve, as the volume of data and information would be too large to integrate.

Another critical issue associated with the system's use phase during the building's life is connected to the training of users expected to interface with the digital model. The problem can be managed through two possible approaches: 1) develop applications that vary according to the different categories of user; and 2) define different

access levels, with different user permissions. In the first solution, the applications will present a specific user interface and pre-set data, which all users can access. The entire work environment can be customised, and data will be analysed based on specific requirements. In the second solution, the model must include various access levels and, according to their access permissions, users will access data and information that match their security level.

In both cases, the maintenance technician has open access to the digital model and can update maintenance data directly from the user interface, but will need a certain level of expertise in the digital tools proposed and used. End users, who 'live' in the building, must be trained on how to navigate the model, to return (and receive) feedback and become active elements of the process, and improve their energy behaviour. These critical issues are not strictly linked to the procedure developed in this study, but derive from an existing approach to the topic of managing a building's complete life cycle. In its current configuration, this involves several professional figures who work on the various phases without sharing information and with no overall project uniformity. This approach is no longer sustainable given the digital transition currently taking place. Therefore, the general direction is to move towards ever-more integrated and interconnected systems, a prerequisite underpinning this research.

With regard to the transferability of the research findings, as of now, it would be hard to transfer the strategy to the construction field. The reason is that the main assumption for the strategy's application (that is, knowing that the BIM model will also be used to manage maintenance) clashes with the fact that, currently, there is a very low take-up on using BIM as an integrated design system. We must however mention that the general objective in the sector is for ever-greater control over every aspect and phase of a building's life cycle. It makes sense, therefore, to speculate that, given this trend, it will be possible to apply our strategy to the real world relatively soon.

If this strategy, in its finished version, can be implemented as a common practice, designers could exploit the potential of digital twins to develop well-informed projects (not only in the world of architecture), where information is integrated with needs arising from the entire life cycle. Designers choosing between various project solutions would see the big picture, and therefore understand how to improve the sustainability and performance of buildings and their constitutive elements. These decisions would take in the facilities' management and maintenance, and not only their end of life. Other research developments are centred on the possibility of simplifying and automating ever further the process of assessing useful data to be included in the CMMS database. The consequence here would be to reduce the specifications for BIM designers creating the digital model. Machine learning algorithms could also come into play to improve fault detection and the need for an intervention, avoid false warnings and, if with the right dataset, even use diagnostic maintenance on critical components.

Acknowledgements

This work is a combined effort and was written jointly by all four authors. In the study presented here, work on the first specific objective was led by teachers and researchers from the Department of Architecture and Arts at the Università Iuav di Venezia (Italy), and was made possible through a POR FESR 2014-2020 grant from Regione Veneto. PROMETEO Srl and GEMMO SpA provided support in the technical aspects and the tests. The second specific objective was developed by teachers and researchers at Politecnico di Milano, DABC Department: Doctorate (Scholarship on 'IoT and real-time data to improve energy use and facilities management') funded by Tekser (Milan) with the support of the Santagostino Medical Centre (Milan).

Notes

1) For more information on the Construction Operations Building Information Exchange (COBie), see: wbdc.org/bim/cobie [Accessed 21 September 2022].

2) For the complete definition of the BIM Designer under UNI EN ISO 19650:2019, see: store.uni.com/p/UNI11605808/uni-en-iso-19650-22019-285297/UNI11605808_EEN [Accessed 21 September 2022].

References

- Abdalaal, O. A. A. and Shukri, M. I. (2020), "Implementation of Computerized Maintenance Management System in Maintenance Workshop", in *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, vol. 4, issue 9, pp. 100-103. [Online] Available at: doi.org/10.33564/IJEAST.2020.v04i09.010 [Accessed 21 September 2022].
- Ait-Lamallam, S., Yaagoubi, R., Sebari, I. and Doukari, O. (2021), "Extending the IFC Standard to Enable Road Operation and Maintenance Management through OpenBIM", in *International Journal of Geo-Information*, vol. 10, issue 8, article 496, pp. 1-27. [Online] Available at: doi.org/10.3390/ijgi10080496 [Accessed 21 September 2022].
- Chen, K., Chen, W., Ting Li, C. and Cheng, J. C. P. (2019), "A BIM-based location aware AR collaborative framework for facility maintenance management", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 24, pp. 360-380. [Online] Available at: itcon.org/2019/19 [Accessed 21 September 2022].
- Dawood, H., Siddle, J. and Dawood, N. (2019), "Integrating IFC and NPL for automating change request validations", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 24, pp. 540-552. [Online] Available at: itcon.org/2019/30 [Accessed 21 September 2022].
- East, B. W. (2007), *Construction Operations Building Information Exchange (COBIE) – Requirements Definition and Pilot Implementation Standard*, U.S. ARMY Corps of Engineers, Engineering Research Developmental Center (ERDC), Construction Engineering Research Laboratory (CERL), ERDC/CERL TR-07-30. [Online] Available at: erdc-library.erdcdren.mil/jspui/bitstream/11681/19704/1/ERDC-CERL-TR-07-30.pdf [Accessed 26 September 2022].
- East, B. W., Nisbet, N. and Liebich, T. (2013), "Facility Management Handover Model View", in *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 27, issue 1, pp. 61-67. [Online] Available at: [doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000196](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000196) [Accessed 26 September 2022].
- Halttula, H., Haapasalo, H. and Silvola, R. (2020), "Managing data flows in infrastructure projects – The lifecycle process model", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 25, pp. 193-211. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2020.012 [Accessed 26 September 2022].
- Hong, Y., Hammad, A.W.A. and Akbarnezhad, A. (2019), "Forecasting the net costs to organisations of building information modelling (BIM) implementation at different levels of development (LOD)", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 24, pp. 588-603. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2019.033 [Accessed 26 September 2022].
- Jung, N., Hakkinen, T. and Rekola, M. (2018), "Extending capabilities of BIM to support performance based design", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 23, pp. 16-52. [Online] Available at: itcon.org/2018/2 [Accessed 26 September 2022].
- Karimi, S., Iordanova, I. and St-Onge, D. (2021), "Ontology-based approach to data exchanges for robot navigation on construction sites", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 26, pp. 546-565. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2021.029 [Accessed 26 September 2022].
- Katsigarakis, K., Lilis, G. N. and Rovas, D. (2021), "A cloud IFC-based BIM platform for building energy performance simulation", in *Proceedings of the 2021 European Conference on Computing in Construction – Online eConference, July 26-28, 2021*, European Council on Computing in Construction. [Online] Available at: ec-3.org/publications/conferences/EC32021/papers/EC32021_177.pdf [Accessed 26 September 2022].
- Kazado, D., Kavgiç, M. and Eskicioglu, R. (2019), "Integrating Building Information Modeling (BIM) and sensor technology for Facility Management", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 24, pp. 440-458. [Online] Available at: itcon.org/2019/23 [Accessed 26 September 2022].
- Kristine Fallon Associates (2013), *Assessment of Life Cycle Information Exchanges (LCie) – Understanding the Value-Added Benefit of a COBie Process*, U.S. ARMY Corps of Engineers, Engineering Research Developmental Center (ERDC), Construction Engineering Research Laboratory (CERL), ERDC/CERL CR-13-6. [Online] Available at: apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA586625.pdf [Accessed 26 September 2022].
- Kumar, V. and Ai Lin Teo, E. (2020a), "Development of a rule-based system to enhance the data consistency and usability of COBie datasheets", in *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 8, issue 1, pp. 343-361. [Online] Available at: doi.org/10.1093/jcde/qwaa083 [Accessed 26 September 2022].
- Kumar, V. and Ai Lin Teo, E. (2020b), "Perceived benefits and issues associated with COBie datasheet handling in the construction industry", in *Facilities*, vol. 39, issue 5/6, pp. 321-349. [Online] Available at: doi.org/10.1108/F-09-2019-0100 [Accessed 26 September 2022].
- Laakso, M. and Kiviniemi, A. (2012), "The IFC standard – A review of history, development, and standardization", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 17, pp. 134-161. [Online] Available at: itcon.org/2012/9 [Accessed 26 September 2022].
- Lemaire, C., Rivest, L., Boton, C., Danjou, C., Braesch, C. and Nyffenegger, F. (2019), "Analyzing BIM topics and clusters through ten years of science publications", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 24, pp. 273-298. [Online] Available at: itcon.org/2019/15 [Accessed 26 September 2022].
- Mirzaei, A., Nasirzadeh, F., Parchami Jalal, M. and Zamani, Y. (2018), "4D-BIM Dynamic Time-Space Conflict Detection and Quantification System for Building Construction Projects", in *Journal of Construction Engineering Management*, vol. 144, issue 7. [Online] Available at: [doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001504](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001504) [Accessed 26 September 2022].
- Russo Ermolli, S. (2019), "La digitalizzazione dei flussi informativi per la fase operativa – Il caso della Apple Developer Academy | Digital flows of information for the operational phase – The Facility Management of Apple Developer Academy", in *Techné | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 18, pp. 235-245. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techné-7535 [Accessed 26 September 2022].
- Sampaio, A. Z. and Gomes, A. M. (2021), "BIM Interoperability Analyses in Structure Design", in *CivilEng*, vol. 2, issue 1, pp. 174-192. [Online] Available at: doi.org/10.3390/civileng2010010 [Accessed 26 September 2022].
- Shalabi, F. and Turkan, Y. (2020), "BIM-energy simulation approach for detecting building spaces with faults and problematic behavior", in *Journal of Information Technol-*
- ogy in Construction (ITcon)*, vol. 25, pp. 342-360. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2020.020 [Accessed 26 September 2022].
- Sibenik, G. and Kovacic, I. (2021), "Interpreted open data exchange between architectural design and structural analysis models", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 26, pp. 39-57. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2021.004 [Accessed 26 September 2022].
- Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Borzorgi, P. and Gao, X. (2019), "A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration – Present status and future trends", in *Automation in Construction*, vol. 101, pp. 127-139. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020 [Accessed 22 September 2022].
- Viklund Tallgren, M., Roupé, M., Johansson, M. and Bosch-Sijtsema, P. (2020), "BIM-tool development enhancing collaborative scheduling for pre-construction", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 25, pp. 374-397. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2020.022 [Accessed 26 September 2022].
- Watfa, M. K., Hawash, A. E. and Jaafar, K. (2021), "Using Building Information and Energy Modelling for Energy Efficient Designs", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 26, pp. 427-440. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2021.023 [Accessed 26 September 2022].
- Wong, J. K. W., Ge, J. and He, S. X. (2018), "Digitisation in facilities management – A literature review and future research directions", in *Automation in Construction*, vol. 92, pp. 312-326. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2018.04.006 [Accessed 22 September 2022].