POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Verso il Cognitive Digital Twin: interfacce grafiche per la comprensione e la gestione dei Big Data

Original
Verso il Cognitive Digital Twin: interfacce grafiche per la comprensione e la gestione dei Big Data / Del Giudice, M., Zucco, M., Iacono, E., Donato, A.J., Fratto, A., Osello, A.. - (2024), pp. 1285-1300. (45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione, Congresso della Unione Italiana per il Disegno Padova - Venezia (ITA) 12-13-14 Settembre 2024) [10.3280/oa-1180-c535].

Availability:
This version is available at: 11583/2992513 since: 2024-09-16T13:18:34Z

Publisher:
Franco Angeli

Published
DOI:10.3280/oa-1180-c535

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

26 November 2026

Verso il *Cognitive Digital Twin*: interfacce grafiche per la comprensione e la gestione dei *Big Data*

Matteo Del Giudice
Michele Zucco
Emmanuele Iacono
Angelo Juliano Donato
Andrea Fratto
Anna Osello

Abstract

L'era digitale pone numerose sfide all'industria delle costruzioni, tra cui quella dell'interazione Uomo-Macchina. Negli ultimi tempi molteplici metodi e strumenti innovativi hanno avuto un significativo sviluppo e si stanno presentando sul mercato con la promessa di una performante gestione dei dati nell'ambito dell'intero ciclo di vita dei fabbricati. I processi informativi delle macchine devono essere necessariamente correlati con quelli umani secondo la visione di società 5.0. Il contributo propone un'analisi critica sulla idea alternativa di Cognitive Digital Twin, in cui l'utente è al centro di questa interazione, sfruttando interfacce grafiche finalizzate a ottimizzare l'interpretazione critica della dismisura dei dati. Grazie alla metodologia proposta, algoritmi di intelligenza generativa sono stati sfruttati come la chiave di lettura per evidenziare le relazioni tra oggetti con la complessità del manufatto. Molteplici interfacce sono state proposte per mostrare i risultati derivati dalle manipolazioni di dati, immaginando un sistema interattivo in cui l'utente sfrutta le potenzialità del mondo digitale con supporto decisionale per una nuova intelligenza aumentata.

Parole chiave
BIM, patrimonio costruito, *Cognitive Digital Twin*, visualizzazione dei *Big Data*, interazione uomo-macchina.

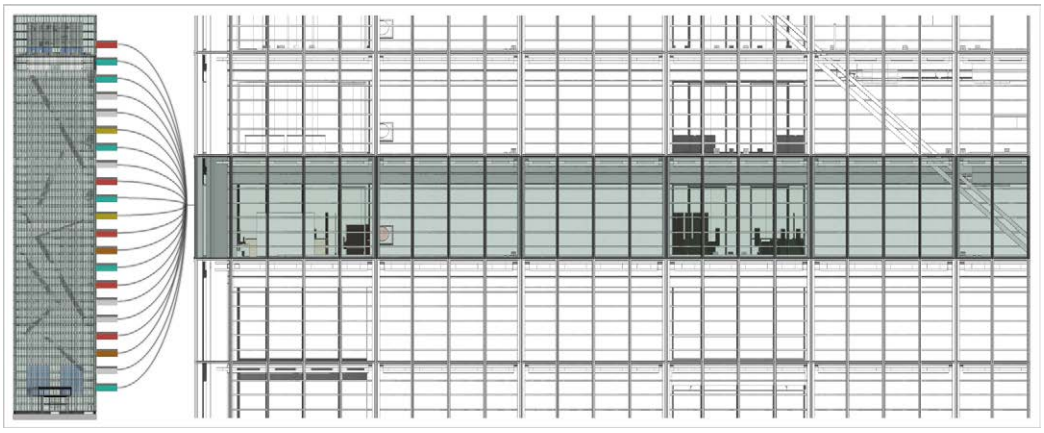


Illustrazione della relazione algoritmica tra la singola entità e la totalità del manufatto esaminato. Elaborazione degli autori.

doi.org/10.3280/oa-1180-c535

Introduzione

Nell'era della trasformazione digitale, il mondo delle costruzioni si trova ad affrontare diverse sfide che vedono al centro il tema della gestione degli edifici e della condivisione dei dati per migliorare lo stile di vita delle persone. Metodi e strumenti innovativi come *Building Information Modeling* (BIM), l'*Internet of Things* (IoT), i *Big Data* e l'Intelligenza Artificiale (AI), configurano nuovi orizzonti per ottimizzare le potenzialità dell'innovazione tecnologica attraverso processi di gestione informativa.
Da questa sfida sono molteplici le ricerche della comunità scientifica sul concetto di *Digital Twin* (DT), con l'integrazione di banche dati statiche e dinamiche attraverso le *Information and Communication Tecnologies* (ICTs).
La quantità e la tipologia di informazioni hanno raggiunto una complessità che trascende la possibilità di gestione diretta, richiedendo un adattamento dei processi interpretativi messi in atto per comprendere la realtà fenomenica e gestire la conoscenza [Buratti et al. 2022]. Tale sfida può essere messa in relazione con le capacità dell'intelligenza umana di utilizzare un linguaggio comune in grado di rendere la complessità dei *Big Data* a portata della capacità interpretativa umana. È quindi necessario un cambio di paradigma incentrando l'attenzione sulle capacità dell'uomo di interpretare i dati presenti nei gemelli digitali sfruttando le piattaforme di supporto decisionale. Algoritmi di parametrizzazione generativa sono i candidati principali a ottimizzare il flusso informativo che può diventare problematico se non gestito con una visione antropocentrica. L'abdicazione della logica causale legata al ragionamento a favore dell'analisi computazionale non deve implicare un determinismo "tecnologico", in

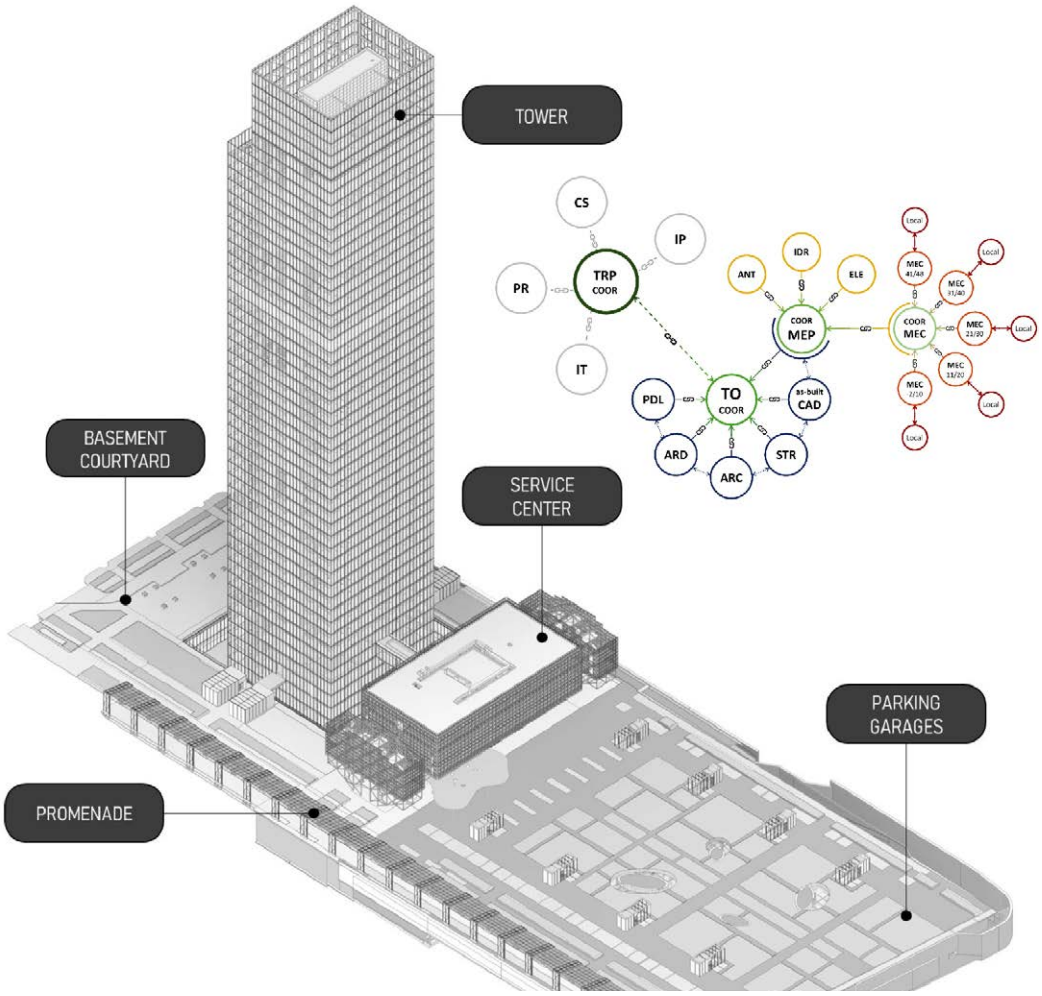


Fig. 1. Modello BIM del Palazzo Unico Regionale con schema di coordinamento per link del fabbricato Torre. Elaborazione degli autori.

cui i flussi di dati guidano tutti i processi cognitivi [Buratti et al. 2022], piuttosto, stimolare lo studio di tecniche e metodi innovativi che aumentino le capacità cognitive umane.
Tecnologie semantiche, come le ontologie e i grafi di conoscenza, forniscono soluzioni che potenziano i DT con capacità cognitive aumentate. Il concetto di *Cognitive Digital Twin* (CDT) rivela una promettente evoluzione dell'attuale DT verso una rappresentazione più intelligente e completa del ciclo di vita dei sistemi complessi [Zheng et al. 2022]. Sebbene l'AI sia un fenomeno tecnologico in rapida crescita anche nel mondo delle costruzioni, i ricercatori stanno studiando come questa non debba sostituirsi all'Intelligenza Umana (HI - *Human Intelligence*), ma essere un valido strumento per aumentare le capacità decisionali umane per nuovi tipi di intelligenza "aumentata" [Carter, Nielsen 2017]. Queste attività devono prevedere lo sviluppo di algoritmi che possano essere messi a servizio dell'uomo, manipolando i dati raccolti per comunicarli attraverso interfacce innovative *data-driven*.
Il contributo propone quindi un approccio critico sulle tematiche dell'Interazione Uomo-Macchina (HMI - *Human-Machine Interaction*) mediante lo sviluppo di un nuovo concetto di CDT in cui l'intelligenza aumentata sfrutterà le capacità percettive umane e gli algoritmi per definire nuove soluzioni in risposta alla complessità dei dati.

Caso studio

La considerevole mole di dati acquisiti tramite un DT basato su BIM costituisce una sfida rilevante nella gestione dei beni immobili e delle relative informazioni. Questa sfida si manifesta come necessità di un'analisi mirata che spesso eccede nelle esigenze immediate e nelle capacità di elaborazione.
Il caso studio esaminato nel presente contributo è il Palazzo Unico della Regione Piemonte a Torino.
Progettato per riunire gli uffici regionali sparsi in più di dieci sedi operative, l'intero complesso è composto da cinque edifici: la torre uffici, il centro servizi, il cortile interrato, i parcheggi interrati e la *Promenade*.
La torre, simbolo dell'intero complesso, si presenta con un design urbano ricercato; lame trasversali inclinate, perfettamente integrate nel prospetto, creano giochi di luce suggestivi nello spazio interno, mentre la terrazza all'ultimo piano offre un inaspettato giardino pensile. Questa cura dei dettagli non solo esalta l'estetica della torre, ma garantisce anche una distribuzione armoniosa dei volumi spaziali.
Dell'edificio si è sviluppato un modello informativo BIM federato per garantire un'elevata precisione e completezza. Globalmente (fig. 1), gli oltre quaranta modelli sono dapprima organizzati nei cinque manufatti architettonici, ricavando lo schema di coordinamento generale, e successivamente suddivisi per discipline tematiche: Architettonico, Strutturale, Elettrico, etc. Con il presente caso studio, si vuole affrontare la dismisura dei dati BIM cogliendo la potenziale essenza delle informazioni per massimizzare l'efficienza della gestione di un

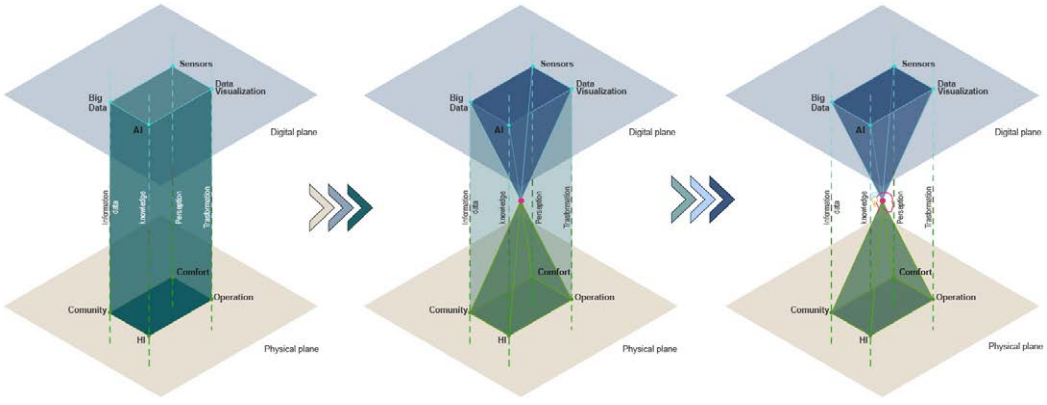


Fig. 2. Dal DT al CDT: rappresentazione spaziale della metodologia esposta. Elaborazione degli autori.

edificio. D'altra parte, si vuole esaminare come il rapporto tra interazione umana e ambienti digitali renda dinamico e cognitivo un DT generalmente statico.

Metodologia

Il progresso tecnologico supportato dal costante sviluppo del settore IoT negli edifici sta guidando l'industria delle costruzioni verso la creazione di complessi DT. Tali sistemi raccolgono una vasta gamma di dati, offrendo molteplici opportunità per migliorare la qualità di vita degli occupanti e monitorare lo stato di salute dell'edificio. Come già anticipato, il concetto di *Digital Twin* [Grieves 2014], implica la connessione tra il mondo fisico e quello virtuale tramite una rete di sensori, che trasformano le informazioni dal mondo reale in dati digitali. Questa trasformazione riflette il modo in cui percepiamo e rappresentiamo la realtà attraverso i nostri sensi, rielaborando le percezioni in segni grafici secondo i principi della scienza della rappresentazione.
In quest'ottica, il DT può essere considerato come l'interconnessione spaziale tra elementi tangibili presenti nel piano fisico ed elementi digitali contenuti nel piano cibernetico, pletora di dati e informazioni digitali. L'immagine (fig. 2) illustra come i rispettivi dominii dello spazio fisico e digitale siano idealmente collegati tramite assi proiettanti che definiscono la forma concettuale del DT qui proposto.
Sono potenzialmente infiniti gli assi che permettono la connessione tra i due piani; tuttavia, nel presente contributo vengono esplicitati i seguenti: i) Asse delle informazioni, che collega le necessità e le opinioni della comunità nel piano fisico con i *Big Data* nel piano digitale. Esso rappresenta il ponte concettuale che favorisce l'interazione, la trasmissione e l'elaborazione dinamica delle informazioni tra i due dominii. ii) Asse della conoscenza, che collega l'intelligenza umana con l'intelligenza artificiale, consentendo la creazione di modelli BIM che integrano conoscenze umane con algoritmi e sistemi di AI per migliorare la progettazione, la costruzione e la gestione dei manufatti. iii) Asse della percezione, che connette le sensazioni umane provenienti dall'ambiente circostante (per esempio: temperatura, illuminazione, etc.) con i sensori misuratori di grandezze fisiche rilevabili nel piano digitale, al fine di monitorare e controllare la struttura e il comfort. iv) Asse della trasformazione, che collega le attività e le scelte operative svolte sull'edificio nel piano fisico con la visualizzazione dei dati in differenti interfacce grafiche nel piano digitale, consentendo un'interpretazione e una gestione più efficiente dei processi legati alla costruzione e alla manutenzione degli edifici.
La rappresentazione del DT come connessione spaziale tra il mondo fisico e digitale prende atto dell'interdipendenza tra i due dominii: le modifiche effettuate nel piano digitale si proiettano sul piano fisico e viceversa. In questa dinamica, l'uomo agisce da ponte tra i due mondi, seguendo criteri e regole definite per raggiungere gli obiettivi prefissati. È la centralità dell'uomo che, attraverso i suoi processi cognitivi e le sue interazioni, plasma una nuova forma di DT sempre più orientato al *Cognitive* DT. Forma, che in questo contributo viene rappresentata come una doppia piramide capovolta (fig. 2).
La sistematizzazione dei dati derivanti dal DT è cruciale per garantire che tali informazioni non restino inutilizzate per prendere decisioni informate oppure per l'ottimizzazione dei processi decisionali. Una possibile conseguenza di questa mancata valorizzazione è il fenomeno della *dismisura dei dati*, in cui la mole di dati raccolti rischia di superare notevolmente la loro efficace applicazione. Questo scenario può manifestarsi quando il modello BIM a base del DT non è adeguatamente integrato nei processi decisionali, oppure quando mancano le competenze necessarie per analizzare e sfruttare i dati in modo opportuno.
Dal punto di vista metodologico, lo sviluppo di un CDT, come precedentemente delineato, segue lo schema operativo riportato nell'immagine (fig. 3), dove l'attenzione è rivolta alla gestione della manutenzione di un fabbricato di grandi dimensioni.
La sfida principale riguarda la definizione di una relazione tra il singolo componente e la totalità del manufatto. Come già introdotto, la dismisura di dati proveniente dal contenitore informativo BIM indica la necessità di definire una strategia per estrarne informazioni finalizzate alla gestione dell'edificio nel tempo [Deutsch 2015, pp.5-6]. Lo schema descrive un

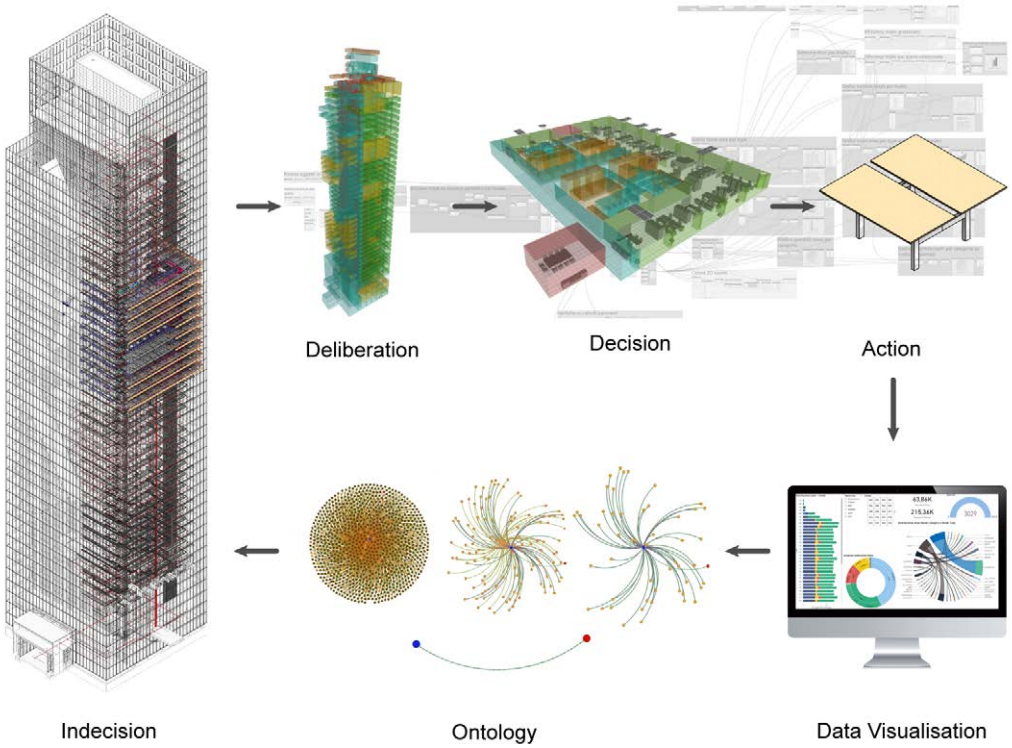


Fig. 3. Dal DT al CDT: schema operativo. Elaborazione degli autori.

metodo di lavoro basato sui principi del pensiero computazionale caratterizzato da quattro fasi principali: i) gestione della complessità dei dati per la manutenzione; ii) identificazione e riconoscimento dell'unità modulare; iii) generalizzazione del problema; iv) sviluppo di una risoluzione del problema. Queste fasi si trasformano operativamente in attività: disporre, deliberare, decidere e compiere azioni. Infatti, lo schema delinea in modo conciso come l'indecisione umana, derivante dall'effettiva complessità del progetto, costituisca il punto di partenza dell'ontologia del processo cognitivo del Gemello Digitale.
Nel concreto, è possibile automatizzare tale processo attraverso lo sviluppo di un algoritmo (fig. 4), realizzato mediante programmazione visuale grazie al plugin Dynamo, all'interno della piattaforma di BIM Authoring Autodesk Revit. In modo particolare, tramite l'automatismo sviluppato si è voluto testare la possibilità di discretizzare la complessità, nel numero

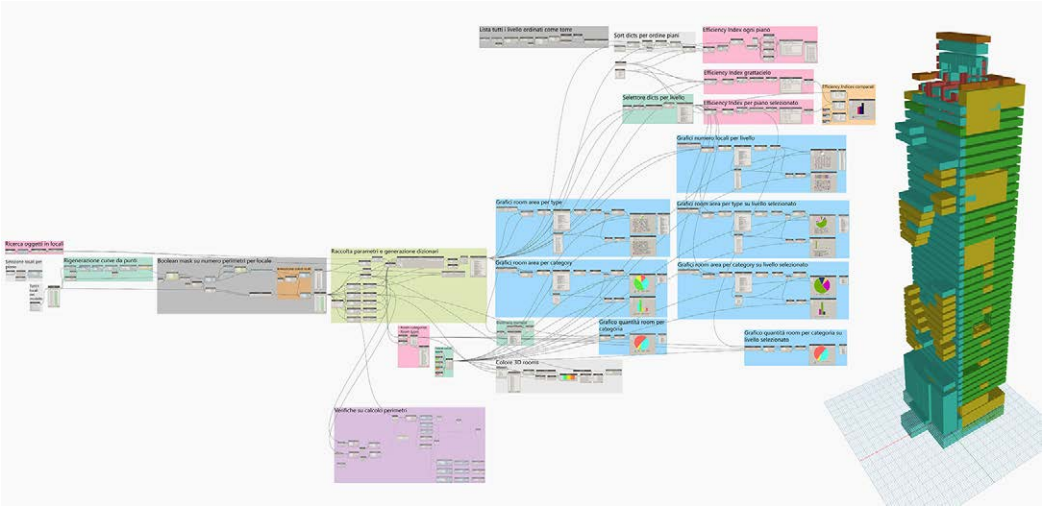


Fig. 4. Script in Dynamo per la gestione della complessità di dati dell'edificio Torre. Elaborazione degli autori.

e tipologia di informazioni codificate, dei dati associati agli oltre tremila locali del grattacielo oggetto di studio. Ciò, infatti, risulta relativamente difficile da realizzare attraverso i normali strumenti a disposizione nei software di BIM Authoring, poiché i locali rappresentano normalmente entità virtuali non materializzate, poco più che dei "vuoti" delimitati dal pieno dei diversi componenti edilizi modellati. Volendo performare operazioni di *query* spaziali analoghe a quelle realizzabili in ambito GIS (*Geographic Information Systems*), si è ricorsi alla lettura dei parametri geometrici di delimitazione dei locali per poterne ricostruire una geometria tridimensionale, e caratterizzarla graficamente sulla base delle proprietà assegnate a ciascuno di essi.
La predisposizione di un simile algoritmo rende molto più facile la lettura di un insieme di complesse informazioni codificate, per ciascuno di tali ambienti, la cui corretta compilazione risulta essenziale per le operazioni di *Facility Management* cui l'edificio è quotidianamente soggetto. Lo script realizzato si configura così come vero e proprio strumento di *code-checking* grafico delle proprietà assegnate agli oggetti del modello [Preidel, Borrmann 2015]. Automatismi come quello qui presentato possono inoltre fornire una fondamentale base algoritmica a favore dello sviluppo di sistemi di interpretazione e gestione di *Big Data* molto più articolati, come quelli basati sull'utilizzo di AI e *Machine Learning* [Bassir et al. 2023].

Risultati

Attraverso questo processo e sfruttando strumenti di *Business Intelligence* è stato possibile convertire un'elevata mole di dati in informazioni accessibili e comprensibili per l'utente. Il risultato di questo processo è un prototipo di interfaccia grafica dinamica, realizzato con il software Power BI (fig. 5), che permette la manipolazione e l'interrogazione semi-automatica dei dati del manufatto, fornendo così un supporto decisionale tramite una dashboard.



Fig. 5. *Dashboard* in Power BI per la manipolazione e l'interrogazione semi-automatica dei dati. Elaborazione degli autori.

In altre parole, la combinazione di un modello informativo dell'edificio, insieme a interfacce grafiche leggere e dinamiche, facilita l'utente nel processo decisionale nel campo del *Facility Management* e nella comprensione dei dati complessi [Halmetoja, Forns-Samso 2020]. Ciò mostra come la smisuratezza dei dati e delle componenti presenti nell'edificio oggetto di studio rappresenti un chiaro segnale che la digitalizzazione del manufatto e l'integrazione dei dati statici e dinamici non sono sufficienti per sviluppare un *Digital Twin* cognitivo.
D'altra parte, l'adozione di un DT nel formato di scambio aperto quale l'IFC evidenzia la conoscenza delle relazioni tra singolo elemento e complessità. Tali relazioni offrono e garantiscono la chiave di lettura fondamentale per comprendere il rapporto tra misura e dismisura. In un confronto tra il mondo fisico e digitale emergono gerarchie di relazioni che si manifestano come un sorprendente fuoco d'artificio: inizia con una semplice traccia tra IFCSite e IFCBuilding, ma si espande poi attraverso una serie di interconnessioni relazionali simili a reazioni a catena, creando così un esplosivo spettacolo di luci. Dall'esplosione dell'IFCBuilding si origina il *digital firework* (fig. 6), generato dalle relazioni tra le varie classi: IFCSite, IFCBuildingStorey, IFCSpace e IFCFurnishingElement.
Considerando la smisurata quantità di dati esplosa da un generico DT, emerge che il fenomeno del digital firework manifesta un comportamento inversamente proporzionale a quello descritto nello schema operativo della metodologia. Infatti, anche partendo da un singolo dato, la comprensione delle sue relazioni può dare origine a una vasta rete di conoscenze.

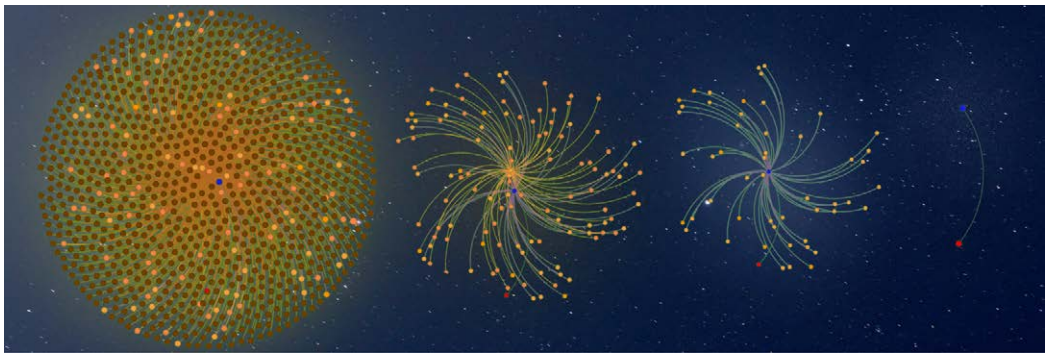


Fig. 6. Rappresentazione del digital *firework* generato dalla visualizzazione delle relazioni fra le classi di oggetti del modello. Elaborazione degli autori.

Conclusioni

Il presente contributo illustra come la relazione tra dati, elementi e complessità di un manufatto possa fungere da chiave di risoluzione per affrontare il problema della dilagante sovrabbondanza di dati, causato dai *Big Data* attuali, nelle pratiche progettuali e manageriali. Attraverso l'HMI, si mira a potenziare il pensiero e il comportamento umano mediante l'utilizzo di interfacce grafiche che traducono le informazioni e le conoscenze *data-driven* in un linguaggio grafico e visivo. Esso sfrutta le abilità intellettuali e percettive umane di interpretare rapidamente modelli e forme per fonderle con le potenzialità del mondo digitale in un sistema interattivo per una nuova intelligenza aumentata.

Ringraziamenti e crediti

Gli autori desiderano ringraziare la Regione Piemonte per il caso studio presentato nel contributo, parte del progetto di ricerca finanziato da CSI Piemonte: "Identificazione di strumenti e metodi innovativi per la manutenzione del patrimonio edilizio". Il contributo è stato così sviluppato: il paragrafo *Introduzione* di M. Del Giudice, M. Zucco e A.J. Donato; il paragrafo *Caso studio* di M. Zucco e A. Osello; il paragrafo *Metodologia* di M. Zucco, M. Del Giudice e E. Iacono; il paragrafo *Risultati* di M. Zucco e A. Fratto; il paragrafo *Conclusioni* di tutti gli autori.

Riferimenti bibliografici

Bassir D. et al. (2023). Application of artificial intelligence and machine learning for BIM. In *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 14, 5. <https://doi.org/10.1051/smdo/2023005> (consultato il 22 luglio 2024).

Buratti G., Conte S., Rossi M. (2022). Artificial Intelligency, Big Data and Cultural Heritage. In A. Giordano, M. Russo, R. Spallone (a cura di). *Representation Challenges. Augmented Reality and Artificial Intelligence in Cultural Heritage and Innovative Design Domain*, pp. 29/33. Milano, Italy: FrancoAngeli.

Carter S., Nielsen M. (2017). Using artificial intelligence to augment human intelligence. In *Distill*, vol. 2, n. 12, e9. <https://doi.org/10.23915/distill.00009> (consultato il 22 luglio 2024).

Deutsch R. (2015). *Data-Driven Design and Construction: 25 Strategies for Capturing, Analyzing and Applying Building Data*. New Jersey: John Wiley & Sons, Incorporated.

Grieves M. (2014). Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. Whitepaper.

Halmetoja E., Forns-Samso F. (2020), Evaluating graphical user interfaces for buildings, In *Journal of Corporate Real Estate*, vol. 22, n. 1, pp. 48-70. <https://doi.org/10.1108/JCRE-08-2019-0037> (consultato il 22 luglio 2024).

Preidel C., Borrmann A. (2015). Automated code compliance checking based on a visual language and building information modeling. In *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*. Oulu, 15-18 June 2015, Vol. 32, p. 1. IAARC Publications.

Zheng X., Lu J., Kiritsis D. (2022). The emergence of cognitive digital twin: vision, challenges and opportunities, In *International Journal of Production Research*, 60:24, 7610-7632. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2014591> (consultato il 22 luglio 2024).

Autori
Matteo Del Giudice, Politecnico di Torino, matteo.delgiudice@polito.it
Michele Zucco, Politecnico di Torino, michele.zucco@polito.it
Emmanuele Iacono, Politecnico di Torino, emmanuele.iacono@polito.it
Angelo Juliano Donato, Politecnico di Torino, angelo.donato@polito.it
Andrea Fratto, Politecnico di Torino, andrea.fratto@polito.it
Anna Osello, Politecnico di Torino, anna.osello@polito.it

Per citare questo capitolo: Matteo Del Giudice, Michele Zucco, Emmanuele Iacono, Angelo Juliano Donato, Andrea Fratto, Anna Osello (2024). Verso il Cognitive Digital Twin: interfacce grafiche per la comprensione e la gestione dei Big Data/Towards Cognitive Digital Twin: graphical interfaces to understand and manage Big Data. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1285-1300.

Copyright © 2024 by FrancoAngeli s.r.l. Milano, Italy Isbn 9788835166948

45th International Conference
of Representation Disciplines Teachers
Congress of Unione Italiana per il Disegno

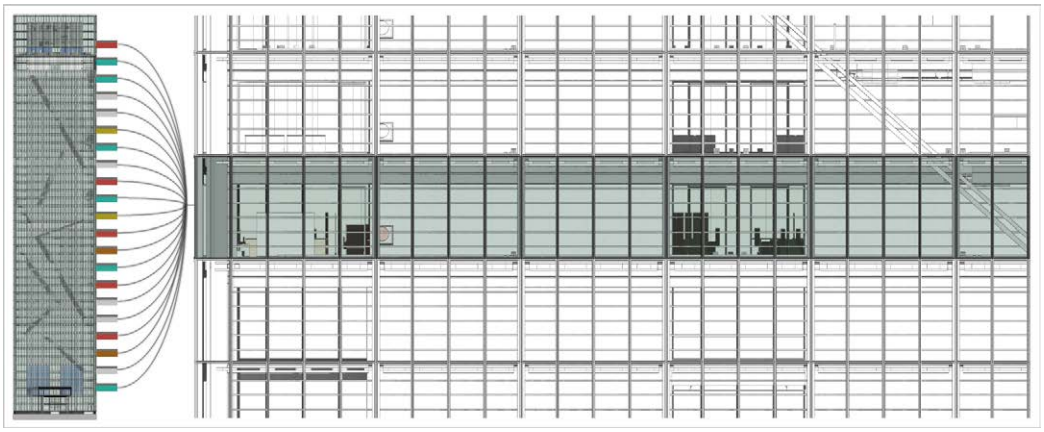
Towards Cognitive Digital Twin: graphical interfaces to understand and manage Big Data

Matteo Del Giudice
Michele Zucco
Emmanuele Iacono
Angelo Juliano Donato
Andrea Fratto
Anna Osello

Abstract

The digital era poses many challenges to the construction industry, including that of Human-Machine Interaction. In recent times, many innovative methods and tools have had significant development and are appearing on the market with the promise of high-performance data management throughout the entire life cycle of buildings. Machine information processes must necessarily be correlated with human ones according to the vision of society 5.0. The contribution proposes a critical analysis on the alternative idea of Cognitive Digital Twin, in which the user is at the center of this interaction, exploiting graphical interfaces aimed at optimizing the critical interpretation of the excess of data. Thanks to the proposed methodology, generative intelligence algorithms were exploited as the key to highlighting the relationships between objects with the complexity of the artefact. Multiple interfaces have been proposed to show the results derived from data manipulations, imagining an interactive system in which the user exploits the potential of the digital world with decision support for a new augmented intelligence.

Keywords
BIM, Built Heritage, Cognitive Digital Twin, Big Data visualization, Human-Machine Interaction



A representation of the algorithmic relationship between the single entity and the whole of the selected case study. Elaboration by the authors.

doi.org/10.3280/oa-1180-c535

Introduction

In the era of digital transformation, the construction industry is facing various challenges that focus on the topic of building management and data sharing to improve people's lifestyle. Innovative methods and tools such as Building Information Modeling (BIM), the Internet of Things (IoT), Big Data and Artificial Intelligence (AI) create new horizons for optimizing the potential of technological innovation through information management processes.
From this challenge there is a lot of research by the scientific community on the concept of Digital Twin (DT), with the integration of static and dynamic databases through Information and Communication Technologies (ICTs).
The quantity and type of information have reached a complexity that transcends the possibility of direct management, requiring an adaptation of the interpretative processes implemented to understand the phenomenal reality and manage knowledge [Buratti et al. 2022]. This challenge can be related to the ability of human intelligence to use a common language capable of making the complexity of Big Data within the reach of human interpretative capacity. A paradigm shift is therefore necessary by focusing attention on human abilities to interpret the data present in digital twins by exploiting decision support platforms.
Generative parameterization algorithms are the main candidates to optimize the information flow which can become problematic if not managed with an anthropocentric vision.
The abdication of causal logic linked to reasoning in favor of computational analysis must not imply a 'technological' determinism, in which data flows guide all cognitive processes [Buratti et al. 2022], rather, stimulate the study of innovative techniques and methods that increase

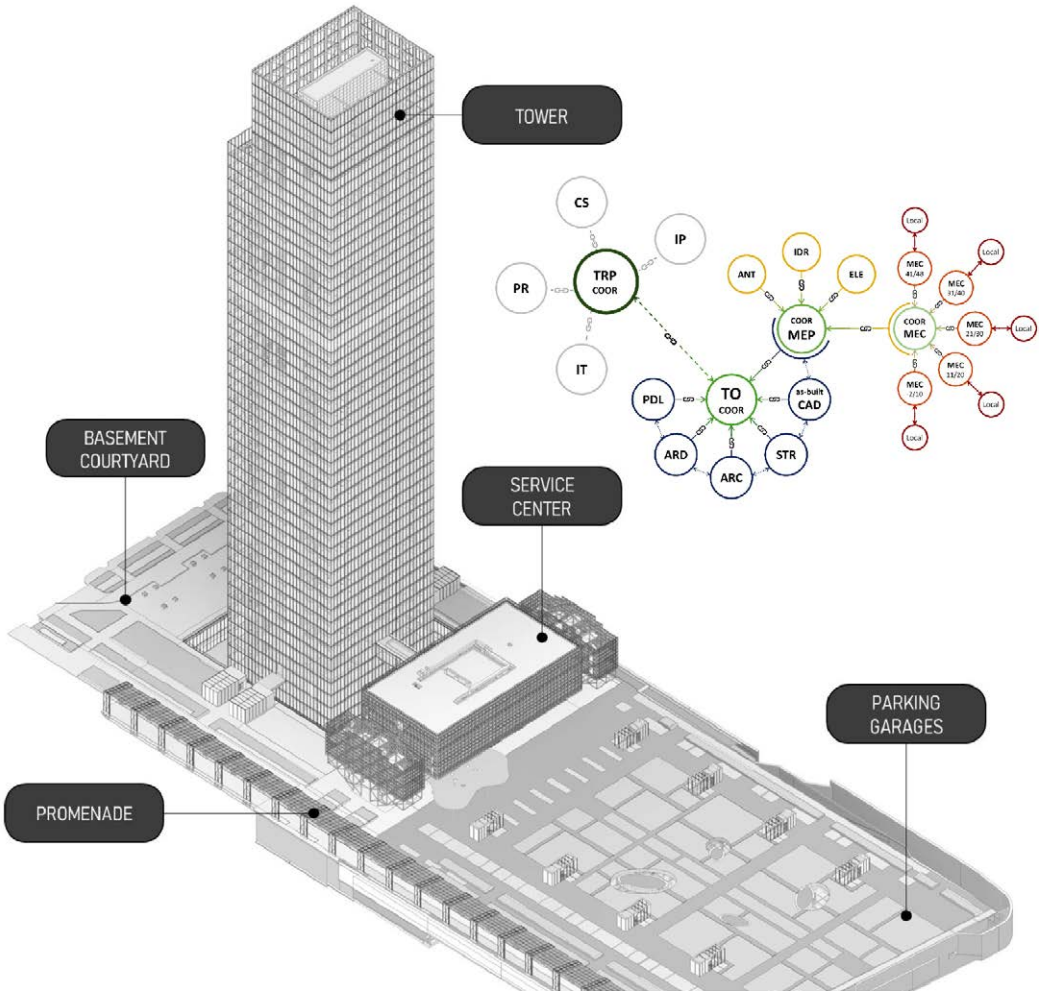


Fig. 1. BIM model of the *Palazzo Unico Regionale* with the link-based coordination diagram of the Tower building. Elaboration by the authors.

human cognitive abilities. Semantic technologies, such as ontologies and knowledge graphs, provide solutions that empower DTs with increased cognitive capabilities. The concept of Cognitive Digital Twin (CDT) reveals a promising evolution of current DT towards a more intelligent and complete representation of the life cycle of complex systems [Zheng et al. 2022]. Although AI is a rapidly growing technological phenomenon also in the construction industry, researchers are studying how it should not replace Human Intelligence (HI), but be a valid tool for increasing human decision-making capabilities for new types of 'augmented' intelligence [Carter, Nielsen 2017]. These activities must include the development of algorithms that can be put at the service of humans, manipulating the data collected to communicate them through innovative data-driven interfaces.
The contribution therefore proposes a critical approach to the issues of Human-Machine Interaction (HMI - Human-Machine Interaction) through the development of a new concept of CDT in which augmented intelligence will exploit human perceptive abilities and algorithms to define new solutions in response to the complexity of the data.

Case study

The considerable amount of data acquired through a BIM-based DT constitutes a significant challenge in the management of built heritage and related information. This challenge manifests itself as a need for focused analysis that often exceeds immediate needs and processing capabilities.
The case study examined in this contribution is the *Palazzo Unico* of the Piedmont Region in Turin.
Designed to bring together regional offices spread across more than ten operational locations, the entire complex is made up of five buildings: the office tower, the service center, the underground courtyard, the underground car park and the Promenade.
The tower, symbol of the entire complex, presents itself with a refined urban design. The inclined transverse blades, perfectly integrated into the façade, create suggestive plays of light in the internal space, while the terrace on the top floor offers an unexpected hanging garden. This attention to detail not only enhances the aesthetics of the tower, but also ensures a harmonious distribution of spatial volumes.
A federated BIM information model was developed for the building to ensure high precision and completeness. Overall (fig. 1), the over forty models are first organized into the five architectural artefacts, obtaining the general coordination scheme, and subsequently divided into thematic disciplines: Architectural, Structural, Electrical, etc.
With this case study, we want to address the excess of BIM data by capturing the potential essence of the information to maximize the efficiency of managing a building. On the other hand, we want to examine how the relationship between human interaction and digital environments makes a generally static DT dynamic and cognitive.

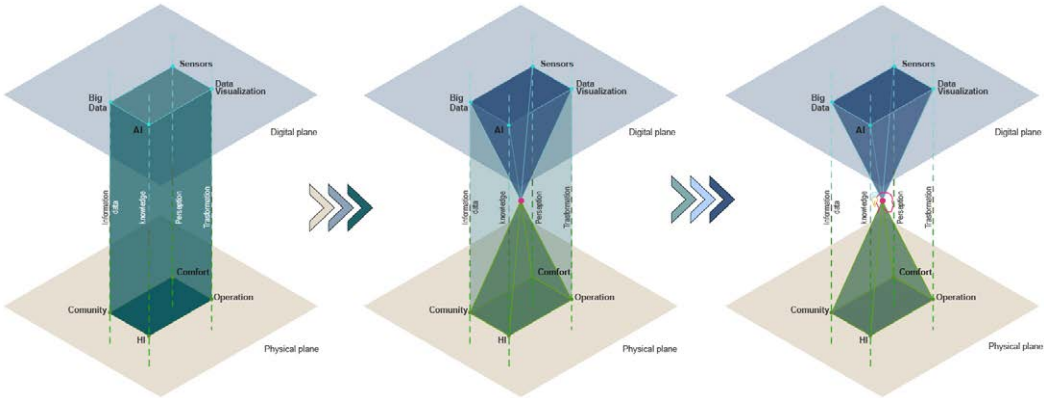


Fig. 2. From DT to CDT: spatial representation of the methodology presented. Elaboration by the authors.

Methodology

Technological progress supported by the constant development of the IoT sector in buildings is driving the construction industry towards the creation of comples DTs. These systems collect a wide range of data, offering multiple opportunities to improve the quality of life of occupants and monitor the health of the building.
As already mentioned, the concept of Digital Twin [Grieves 2014] implies the connection between the physical and virtual world via a network of sensors, which transform information from the real world into digital data. This transformation reflects the way in which we perceive and represent reality through our senses, reworking perceptions into graphical signs according to the principles of the representation discipline.
From this perspective, the DT can be considered as the spatial interconnection between tangible elements present in the physical plane and digital elements contained in the cybernetic plane, a plethora of data and digital information. The image (fig. 2) illustrates how the respective domains of physical and digital space are ideally connected via projecting axes that define the conceptual form of the DT proposed here.
The axes that allow the connection between the two planes are potentially infinite; however, in this contribution the following are explained: i) Axis of information, which connects the needs and opinions of the community in the physical plane with Big Data in the digital plane. It represents the conceptual bridge that favors the interaction, transmission and dynamic processing of information between the two domains. ii) Axis of knowledge, which connects human intelligence with artificial intelligence, allowing the creation of BIM models that integrate human knowledge with AI algorithms and systems to improve the design, construction and management of artefacts. iii) Axis of perception, which connects human sensations coming from the surrounding environment (i.e.: temperature, lighting, etc.) with the sensors measuring physical quantities detectable in the digital plane, in order to monitor and control the structure and comfort. iv) Axis of transformation, which connects the activities and operational choices carried out on the building in the physical plane with the visualization of data in different graphical interfaces in the digital plane, allowing a more efficient interpretation and management of the processes related to construction and building maintenance.
The representation of DT as a spatial connection between the physical and digital world takes note of the interdependence between the two domains: the changes made in the digital plane are projected onto the physical plane and vice versa.
In this dynamic, humans acts as a bridge between the two worlds, following defined criteria and rules to achieve the set objectives.
It is the centrality of people who, through their cognitive processes and interactions, shapes a new form of DT increasingly oriented towards Cognitive DT. Shape, which in this contribution is represented as a double inverted pyramid (fig. 2).
The systematization of data resulting from DT is crucial to ensure that this information does not remain unused to make informed decisions or to optimize decision-making processes. A possible consequence of this lack of valorisation is the phenomenon of data disproportion, in which the amount of data collected risks significantly exceeding their effective application. This scenario can manifest itself when the DT-based BIM model is not adequately integrated into decision-making processes, or when the necessary skills to analyze and exploit the data appropriately are lacking.
From a methodological point of view, the development of a CDT, as previously outlined, follows the operational scheme shown (fig. 3), where the focus is on the maintenance management of a large building.
The main challenge concerns the definition of a relationship between the single component and the totality of the artefact. As already introduced, the excess of data coming from the BIM information container indicates the need to define a strategy to extract information aimed at managing the building over time [Deutsch 2015, pp.5-6].
The scheme describes a working method based on the principles of computational thinking characterized by four main phases: i) management of data complexity for maintenance; ii) identification and recognition of the modular unit; iii) generalization of the problem; iv)

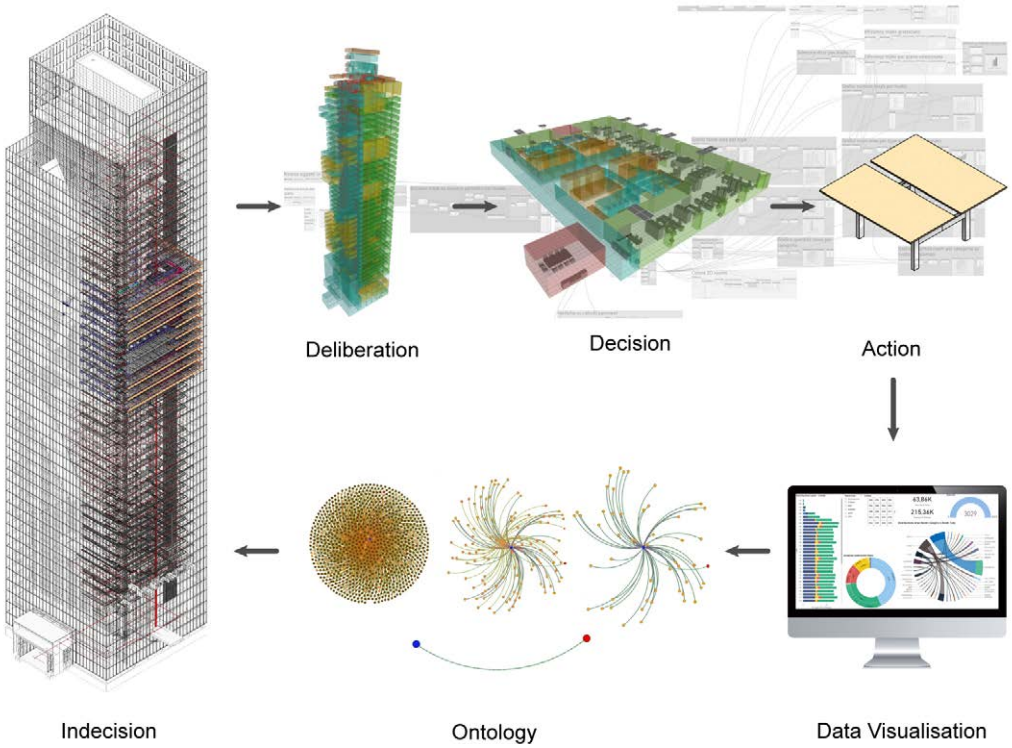


Fig. 3. From DT to CDT: operational scheme. Elaboration by the authors.

developing a resolution to the problem. These phases are operationally transformed into activities: arranging, deliberating, deciding and carrying out actions. In fact, the scheme concisely outlines how human indecision, deriving from the actual complexity of the project, constitutes the starting point of the ontology of the cognitive process of the Digital Twin.
In concrete terms, it is possible to automate this process through the development of an algorithm (fig. 4), created through visual programming with the use of the Dynamo plugin, within the Autodesk Revit BIM authoring platform.
In particular, the developement of the automatism was intended in order to test the possibility of discretization of complexity, in the number and type of coded information, of the data associated with the over three thousand rooms of the skyscraper under study. This, in fact, is relatively difficult to achieve through the normal tools available in BIM authoring

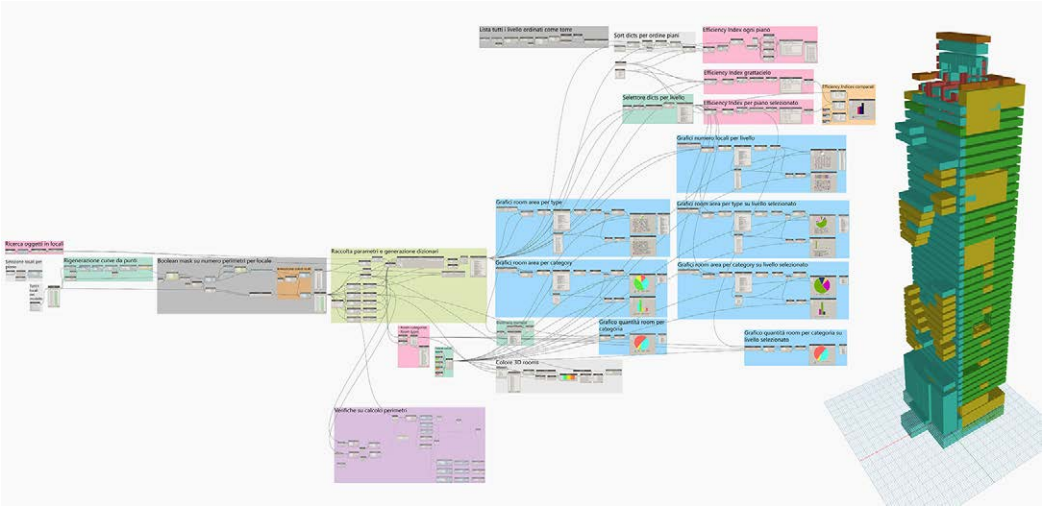


Fig. 4. Dynamo script for the management of the data complexity of the Tower building. Elaboration by the authors.

software, since the rooms normally represent non-materialized virtual entities, little more than "voids" delimited by the solids of the various modeled building components. Wanting to perform spatial query operations similar to those achievable in the GIS (Geographic Information Systems) context, it was resorted to reading the geometric delimitation parameters of the rooms in order to reconstruct a three-dimensional geometry and characterize it graphically on the basis of the properties assigned to each of them.
The preparation of such an algorithm makes it much easier to read a set of complex coded information for each of these environments, the correct compilation of which is essential for the Facility Management operations to which the building is subject on a daily basis. The created script is thus configured as a real graphical code-checking tool for the properties assigned to the model objects [Preidel, Borrmann 2015].
Automatisms like the one presented here can also provide a fundamental algorithmic basis for the development of much more complex Big Data interpretation and management systems, such as those based on the use of AI and Machine Learning [Bassir et al. 2023].

Results

Through this process and by exploiting Business Intelligence tools it was possible to convert a large amount of data into accessible and understandable information for the user. The result of this process is a prototype of a dynamic graphical interface, created with the Power BI software (fig. 5), which allows semi-automatic manipulation and interrogation of the artefact data, thus providing decision support via a dashboard.
In other words, the combination of an information model of the building, together with lightweight and dynamic graphical interfaces, facilitates the user in decision-making in the field of Facility Management and in understanding complex data [Halmetoja, Forns-Samso 2020]. This shows how the immensity of the data and components present in the building under



Fig. 5. Power BI dashboard for the semi-automatic data manipulation and query Elaboration by the authors.

study represents a clear signal that the digitization of the building and the integration of static and dynamic data are not sufficient to develop a cognitive Digital Twin.
On the other hand, the adoption of a DT in the open exchange format such as IFC highlights the knowledge of the relationships between single elements and complexity. These relationships offer and guarantee the fundamental key to understanding the relationship between measurement and dismeasure.
In a comparison between the physical and digital worlds hierarchies of relationships emerge that manifest as a surprising firework: it begins with a simple trace between IFCSite and IFCBuilding, but then expands through a series of chain-reaction-like relational interconnections , thus creating an explosive light show.
The digital firework (fig. 6) originates from the explosion of IFCBuilding, generated by the relationships between the various classes: IFCSite, IFCBuildingStorey, IFCSpace and IFCFurnishingElement.
Considering the enormous quantity of data exploded by a generic DT, it emerges that the digital firework phenomenon manifests a behavior inversely proportional to that described in the operational scheme of the methodology. In fact, even starting from a single piece of data, understanding its relationships can give rise to a vast network of knowledge.

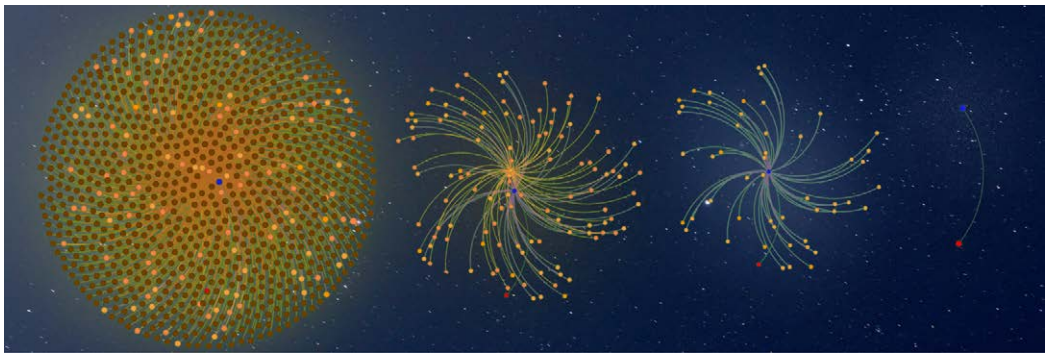


Fig. 6. Representation of the digital firework generated by the visualization of the relations among the model's object classes. Elaboration by the authors.

Conclusions

This contribution illustrates how the relationship between data, elements and complexity of an artefact can act as a key to solving the problem of the rampant overabundance of data, caused by current Big Data, in design and managerial practices.
Through HMI, the aim is to enhance human thinking and behavior through the use of graphical interfaces that translate data-driven information and knowledge into a graphical and visual language. It exploits human intellectual and perceptive abilities to rapidly interpret patterns and shapes to merge them with the potential of the digital world in an interactive system for a new augmented intelligence.

Acknowledgements and credits

The authors would like to thank the Piedmont Region for the case study presented in the contribution, part of the research project financed by CSI Piemonte: 'Identification of innovative tools and methods for the maintenance of built heritage'.
The paper was developed as follows: the paragraph *Introduction* by M. Del Giudice, M. Zucco and A.J. Donato; the paragraph *Case Study* by M. Zucco and A. Osello; the paragraph *Methodology* by M. Zucco, M. Del Giudice and E. Iacono; the paragraph *Results* by M. Zucco and A. Fratto; the paragraph *Conclusions* by all authors.

References

Bassir D., et al. (2023). Application of artificial intelligence and machine learning for BIM. In *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 14, 5. <https://doi.org/10.1051/smdo/2023005> (accessed 22 July 2024).

Buratti G., Conte S., Rossi M. (2022). Artificial Intelligency, Big Data and Cultural Heritage. In A. Giordano, M. Russo, R. Spallone (Eds.). *Representation Challenges. Augmented Reality and Artificial Intelligence in Cultural Heritage and Innovative Design Domain*, pp. 29/33. Milano, Italy: FrancoAngeli.

Carter S., Nielsen M. (2017). Using artificial intelligence to augment human intelligence. In *Distill*, vol. 2, n. 12, e9. <https://doi.org/10.23915/distill.00009> (accessed 22 July 2024).

Deutsch R. (2015). *Data-Driven Design and Construction: 25 Strategies for Capturing, Analyzing and Applying Building Data*. New Jersey: John Wiley & Sons, Incorporated.

Grieves M. (2014). Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. Whitepaper.

Halmetoja E., Forns-Samso F. (2020), Evaluating graphical user interfaces for buildings, In *Journal of Corporate Real Estate*, vol. 22 n. 1, pp. 48-70. <https://doi.org/10.1108/JCRE-08-2019-0037> (accessed 22 July 2024).

Preidel C., Borrmann A. (2015). Automated code compliance checking based on a visual language and building information modeling. In *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*. Oulu, Finland, 15-18 June 2015, Vol. 32, p. 1. IAARC Publications.

Zheng X., Lu J., Kiritsis D. (2022). The emergence of cognitive digital twin: vision, challenges and opportunities, In *International Journal of Production Research*, 60:24, 7610-7632. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2014591> (accessed 22 July 2024).

Authors
Matteo Del Giudice, Politecnico di Torino, matteo.delgiudice@polito.it
Michele Zucco, Politecnico di Torino, michele.zucco@polito.it
Emmanuele Iacono, Politecnico di Torino, emmanuele.iacono@polito.it
Angelo Juliano Donato, Politecnico di Torino, angelo.donato@polito.it
Andrea Fratto, Politecnico di Torino, andrea.fratto@polito.it
Anna Osello, Politecnico di Torino, anna.osello@polito.it

To cite this chapter: Matteo Del Giudice, Michele Zucco, Emmanuele Iacono, Angelo Juliano Donato, Andrea Fratto, Anna Osello (2024). Verso il Cognitive Digital Twin: interfacce grafiche per la comprensione e la gestione dei Big Data/Towards Cognitive Digital Twin: graphical interfaces to understand and manage Big Data. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1285-1300.

Copyright © 2024 by FrancoAngeli s.r.l. Milano, Italy
Isbn 9788835166948