

Digital Models and natural language. New perspectives for interpreting complexity - Modelli digitali e linguaggio natural. Nuove prospettive per interpretare la complessità

Original

Digital Models and natural language. New perspectives for interpreting complexity - Modelli digitali e linguaggio natural. Nuove prospettive per interpretare la complessità / Osello, A.; Ugliotti, F. M.; Rimella, N.; Loddo, F.. - In: AGATHÓN. - ISSN 2532-683X. - 16:(2024), pp. 212-219. [10.19229/2464-9309/16182024]

Availability:

This version is available at: 11583/2996847 since: 2025-01-23T09:03:34Z

Publisher:

LetteraVentidue edizioni

Published

DOI:10.19229/2464-9309/16182024

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)

ARTICLE INFO

Received	10 September 2024
Revised	11 October 2024
Accepted	14 October 2024
Published	30 December 2024

MODELLI DIGITALI E LINGUAGGIO NATURALE

Nuove prospettive per interpretare la complessità

DIGITAL MODELS AND NATURAL LANGUAGE

New perspectives for interpreting complexity

Anna Osello, Francesca Maria Ugliotti, Nicola Rimella, Francesco Loddo

ABSTRACT

Nuove prospettive per l'interpretazione della complessità sono rese oggi possibili dalla collaborazione tra intelligenza umana e artificiale tramite i grandi modelli di linguaggio. Questo approccio può arricchire la narrazione delle opere edili e infrastrutturali tramite rappresentazioni semantiche tangibili e comprensibili che aumentano l'accessibilità dei modelli digitali agli utenti del settore. La ricerca esplora l'utilizzo di un chatbot come possibile strumento di interpretazione cognitiva per migliorare la comprensione e l'estrazione di conoscenza dai sempre più complessi sistemi di dati. I risultati dello studio descrivono l'implementazione di un prototipo a supporto dell'interrogazione delle informazioni grafiche e alfanumeriche in formato OpenBIM di una infrastruttura critica ai fini gestionali, manutentivi e di formazione del personale.

New perspectives for interpreting complexity are now made possible by the collaboration between humans and artificial intelligence through large language models. This approach can enrich the narrative of construction and infrastructure works through tangible and comprehensible semantic representations that increase the accessibility of digital models to users in the field. The research explores using a chatbot as a possible cognitive interpretation tool to improve understanding and knowledge extraction from increasingly complex data systems. The study results describe and highlight the crucial role of the prototype in supporting the interrogation of graphical and alphanumeric information in OpenBIM format of critical infrastructure for management, maintenance and personnel training purposes.

KEYWORDS

disegno 5.0, openbim, interazione uomo-intelligenza artificiale, large language model, chatbot

design 5.0, openbim, human-artificial intelligence interaction, large language model, chatbot

Anna Osello, Civil Engineer and PhD, is a Full Professor of Drawing at the Department of Structural, Building and Geotechnical Engineering, Politecnico di Torino (Italy). She conducts theoretical and applied research on BIM and interoperability of data management software for the digital built environment. Mob. +39 335/18.00.784 | E-mail: anna.osello@polito.it

Francesca Maria Ugliotti, Building Engineer and PhD, is a Researcher (RTDA) in Drawing at the Department of Structural, Construction and Geotechnical Engineering, Politecnico di Torino (Italy). She conducts research activities mainly on the intelligent digitisation of built heritage. Mob. +39 349/40.73.861 | E-mail: francesca.ugliotti@polito.it

Nicola Rimella, Building Engineer, is a PhD Candidate in Civil Engineering at the Department of Structural, Building and Geotechnical Engineering, Politecnico di Torino (Italy). He carries out research activities mainly in the field of integration of machine learning algorithms and visual programming for linear infrastructures. Mob. +39 366/32.57.734 | E-mail: nicola.rimella@polito.it

Francesco Loddo, Civil Engineer, is a PhD Candidate in Civil Engineering at the Department of Structural, Building and Geotechnical Engineering, Politecnico di Torino (Italy). He conducts research activities to digitalise linear infrastructures' design and maintenance processes. Mob. +39 333/79.18.494 | E-mail: francesco.loddo@polito.it



Il rapporto tra forma e contenuto è da sempre al centro del dibattito critico del settore disciplinare del Disegno; i processi descrittivi e interpretativi dell'architettura hanno subito un'evoluzione nel tempo, ampliando in modo esponenziale i loro confini in relazione al progresso e all'innovazione tecnologica (Pone, 2022; Lo Turco, Giovannini and Tomalini, 2021). Il passaggio dal disegno manuale a quello digitale ha segnato un punto significativo che ha portato a un sempre più creativo utilizzo degli strumenti di rappresentazione (Magliocco and Cane-pa, 2022); la riduzione della complessità di una architettura a una superficie piana è stata ampiamente superata con l'avvento della modellazione tridimensionale virtuale (Fatta, 2020), che estende e arricchisce le raffigurazioni possibili tramite il design parametrico (Massari et alii, 2022), generativo (Man-ni and Valzano, 2023) o computazionale. I processi creativi utilizzano dati, numeri e parametri in forma di algoritmi per trovare soluzioni, facendo entrare i codici informatici prepotentemente nella grammatica del disegno e abilitando nuovi orizzonti per gli ingegneri e gli architetti del mondo delle costruzioni.

L'affermazione negli ultimi decenni di metodologie di avanguardia nella gestione del processo edilizio, come il Building Information Modelling (BIM), e la più ampia adozione da parte dei tecnici della programmazione visuale hanno consentito un controllo sempre più spinto dell'opera (Zheng and Fischer, 2023) attraverso l'utilizzo di strumenti informatizzati a supporto del processo progettuale e gestionale. Questi approcci innovativi hanno portato l'uomo a confrontarsi con sistemi di rappresentazione sempre più vasti e articolati, con una prospettiva multidisciplinare e multi-scalare.

I confini del progetto architettonico diventano sempre più inclusivi abbracciando domini eterogenei attraverso processi interoperabili e integrabili: se da un lato un numero sempre maggiore di variabili può contribuire alla descrizione di un progetto, dall'altro questo proliferare di dati affatica l'intelletto umano (HI) per la loro comprensione e qualificazione. In questo contesto sono necessarie applicazioni software che garantiscano una maggiore efficienza nella ricerca delle informazioni, facilitando il coordinamento dei soggetti nelle diverse fasi, quindi influenzando le performance complessive (Lin, 2023).

Nel contesto attuale l'Intelligenza Artificiale (AI) si configura come tecnologia dirompente per supportare l'uomo nell'elaborazione dei dati per l'estrazione di valore o conoscenza attraverso un approccio di tipo semantico alla rappresentazione. L'interazione HI-AI è possibile grazie ai grandi modelli di linguaggio (LLM) (Elghaish et alii, 2022), contribuendo alla traduzione di un concetto astratto in rappresentazione tangibile e comprensibile, innescando nuove strategie di narrazione di progetti di opere edilizie e infrastrutturali; diverse sono le modalità di collaborazione (Loddo et alii, 2024) per descrivere e interpretare il mondo consentendo la trasformazione di dati grezzi in informazioni utilizzabili (Fig. 1).

L'obiettivo della ricerca è esplorare l'utilizzo di un chatbot come strumento di interpretazione cognitiva per l'estrazione e l'elaborazione automatica di dati rappresentanti modelli digitali tramite algoritmi di comprensione del linguaggio naturale. Il flusso operativo è illustrato in Figura 2: un chatbot facilita la comunicazione tra uomo e algoritmi di AI basati su LLM (Adamopoulou and Maglogiannis, 2020) tramite interfacce o dispositivi che interagiscono con oggetti e servizi (Arquilla and Paracolli,

2023). È un sistema cognitivo, poiché capace di apprendere, ragionare con uno scopo e interagire con HI o altri sistemi digitali (Demirkan, Earley and Harmon, 2017): l'utente formula richieste in linguaggio naturale e il chatbot le interpreta, classificandole in query appropriate e utili a fornire risposte (Chizhik and Zherebtsova, 2020).

Lo studio si focalizza sull'uso di chatbot per consultare dati relativi a opere edili e infrastrutturali in modo intuitivo; la creazione di un prototipo basato su un caso reale è fondamentale per validare l'approccio e analizzarne le implicazioni. L'innovazione risiede nella capacità di interagire sequenzialmente con le informazioni grafiche e alfanumeriche del modello digitale in formato OpenBIM per finalità gestionali, manutentive e formazione del personale.

L'interfacciamento con banche dati BIM e la selezione automatica di informazioni rispetto a obiettivi formulati in linguaggio naturale sono temi di grande rilevanza per la comunità scientifica, permettendo un'accessibilità senza precedenti, in particolare per utenti privi di competenze specifiche nella modellazione digitale e gestione informatica dei dati. Questo approccio è cruciale nell'ambito del Digital Twin (Barricelli, Casiraghi and Fogli, 2019), che descrive il funzionamento di un sistema tramite il suo gemello digitale, capace di integrare dati statici del patrimonio costruito con Big Data (Osello et alii, 2024).

Stato dell'arte | I cosiddetti programmi chatbot facilitano l'interazione operatore-software attraverso comandi basati sul linguaggio naturale che, vagliati dall'AI, sono in grado di fornire soluzioni più o meno complesse. Nel contesto della filiera delle costruzioni, la possibilità di automatizzare la creazione di immagini e modelli 3D (Zhang et alii, 2023) ha motivato la ricerca a interrogarsi rispetto a questa nuova opportunità.

Diverse pubblicazioni analizzano l'uso della messaggistica istantanea in questo contesto, sottolineandone le potenzialità (Rane, Choudhary and Rane, 2023; Fig. 3) lungo l'intero ciclo di vita di un'opera (Espinosa Gispert et alii, 2023): in fase di progettazione gli assistenti virtuali supportano architetti e ingegneri nella verifica di regolamenti, linee guida e standard edilizi, ma anche nella redazione di documenti preliminari (Ko et alii, 2023); in fase di gestione facilitano la consultazione di inventari e scadenze, con la possibilità di generare notifiche per eventi critici come guasti (Alhammadi, 2023). I chatbot possono anche fornire accesso rapido ai dati attraverso piattaforme di collaborazione come Microsoft Teams e Slack, supportando riunioni tecniche.

Lo sviluppo di interfacce di dialogo per esaminare i modelli BIM è cruciale per facilitare la collaborazione tra professionisti, consentendo una comprensione più chiara delle informazioni (Mutis and Ramachandran, 2021; Lin, Huang and Putranto, 2022).

Secondo Cho e Lee (2019), la principale criticità nell'uso dei chatbot in ambito edilizio riguarda l'interoperabilità con i modelli BIM e nonostante sia possibile creare modelli dettagliati trasferire informazioni durante il ciclo di vita dell'opera è spesso laborioso: la letteratura si concentra infatti sull'interoperabilità tra software, ma anche quella tra persone con varie competenze che operano sul manufatto in tempi diversi è cruciale (Yousefzadeh et alii, 2015). Il problema è evidente nella difficoltà di sfruttare i dati BIM nei programmi operativi nonostante la scomposizione dei modelli BIM in elementi e la loro schematizzazione in tabelle ne faciliti la comprensione e l'i-

spezione. Questa semplificazione avviene tramite open database (Lin, 2023) o esportazione in formato Industry Foundation Classes¹ (IFC) e altri formati testuali (Fernandes et alii, 2024).

L'esportazione in formato IFC garantisce lo scambio di informazioni tra software BIM e altri programmi: il software di importazione deve leggere il file o convertirlo e accedere alle Application Programming Interface² (API) per implementare le funzionalità del chatbot. Tuttavia l'aspetto critico nella condivisione dei dati riguarda la semantica dei modelli in quanto, sebbene il formato IFC sia progettato per favorire l'interoperabilità grazie a una struttura standard (Bormann et alii, 2018), le discrepanze nell'interpretazione dei dati possono causare perdite di informazioni.

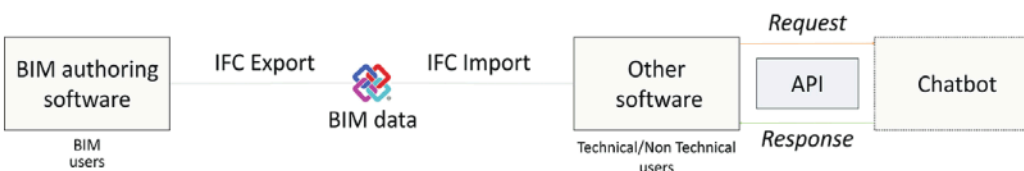
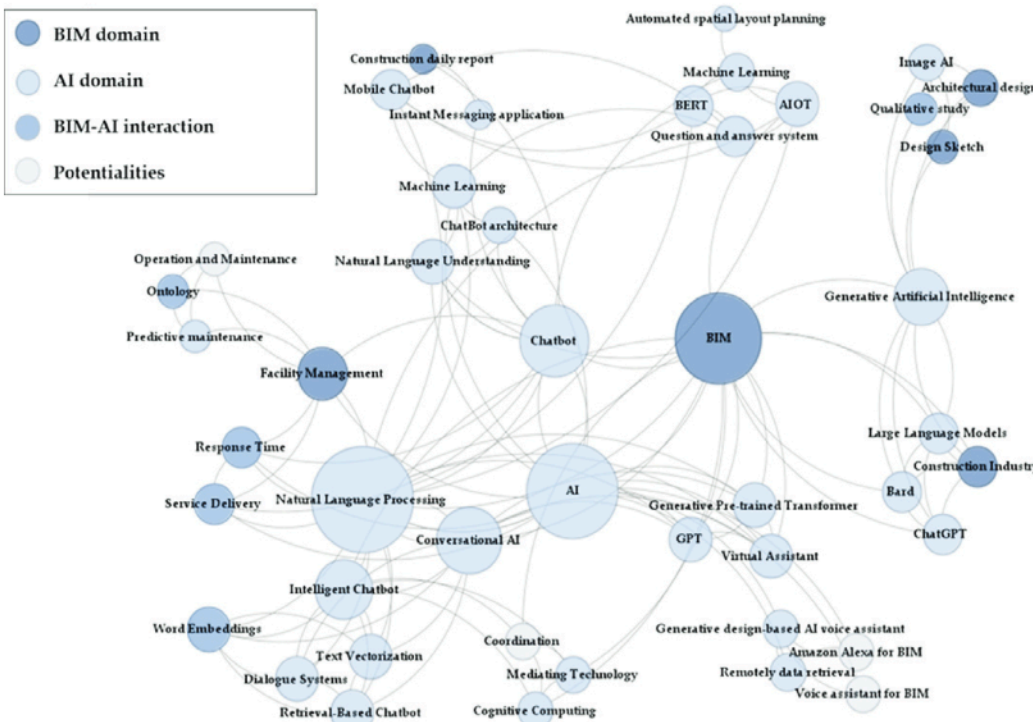
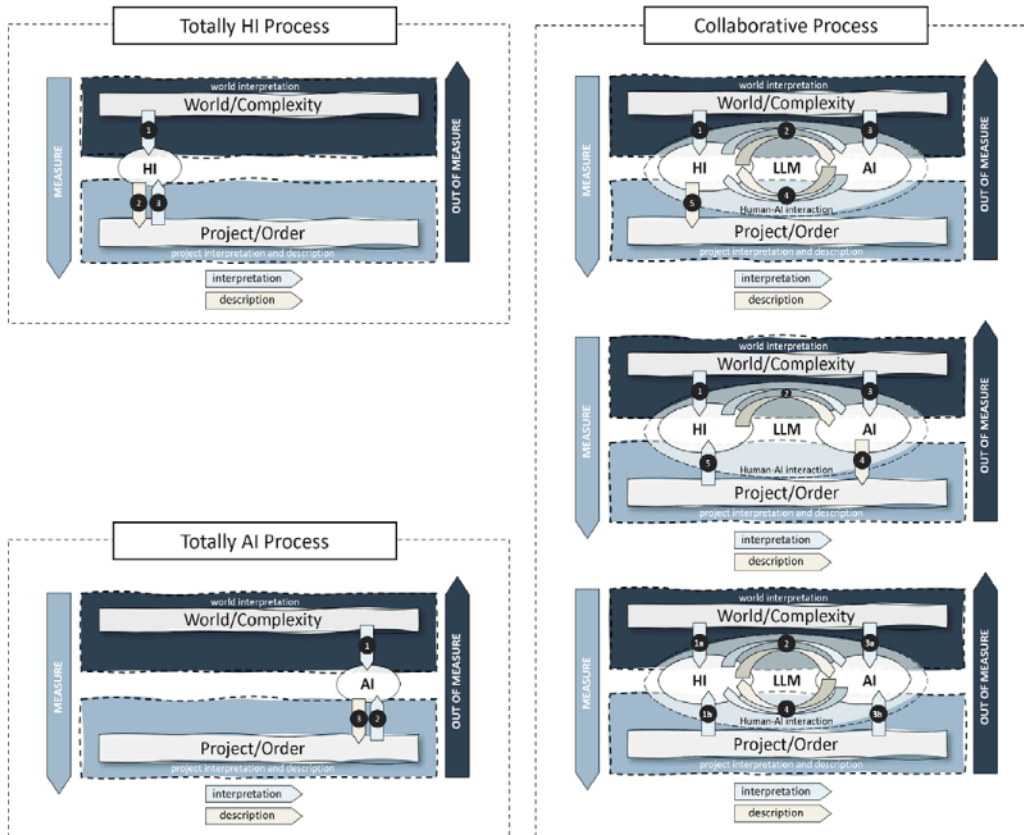
Per risolvere queste problematiche si propone un assistente virtuale che interagisce con i modelli BIM tramite linguaggio naturale (Fig. 4), migliorando l'accesso alle informazioni lungo il ciclo di vita dell'edificio. Il chatbot individua l'intento dell'utente e, attraverso moduli Natural Language Processing (NLP), elabora risposte scritte, vocali o grafiche come immagini o modelli 3D. Un chatbot deve avere un modello Natural Language Understanding (NLU) robusto per identificare gli intenti dell'utente e fornire risposte precise e un database vasto per raggiungere gli obiettivi prefissati.

Metodologia e fasi | La metodologia proposta si sofferma nell'interpretazione di un progetto digitale tramite AI, analizzando le modalità di integrazione tra modelli OpenBIM³ e chatbot; in questa sezione viene descritta l'architettura di sistema sviluppata per interpretare i dati IFC dei modelli BIM (Fig. 5). Il software di modellazione 3D Blender⁴ è indagato per l'interazione con il chatbot in quanto offre la maggiore gamma di possibili interazioni, risultando particolarmente ottimizzato per la renderizzazione, le animazioni e le simulazioni direttamente all'interno dell'ambiente di lavoro. L'integrazione dei modelli risulta pertanto particolarmente utile per simulare sequenze di costruzione, movimenti di macchinari o dinamiche di flusso delle persone. Blender eccelle inoltre nella gestione delle geometrie 3D complesse, consentendo modifiche avanzate di mesh, superfici e curve; la comunicazione avviene attraverso un plugin sviluppato in Blender tramite linguaggio di programmazione Python⁵, che integra un chatbot creato tramite Dialogflow.⁶

L'interfaccia è costituita da due parti principali. Il chatbot è responsabile della comunicazione tra l'utente e il software, tramite tecnologie NLP; per il riconoscimento dell'intento (Intent Recognition) e l'estrazione dei valori delle entità (Entity Extraction) vengono utilizzate API specifiche per interagire con il database BIM. Il Viewer consente la visualizzazione del modello BIM direttamente nell'interfaccia, aiutando l'utente a visualizzare e interagire con i dati visivi e informativi.

La prima fase consiste nella progettazione del modulo NLP tramite la creazione di Intent ed Entity; per capire come impostare il dialogo con l'agente di Dialogflow sono state seguite le buone norme discusse in Amershi et alii (2019), in modo da garantire un'esperienza fluida durante la conversazione.

Dopo la creazione dell'agente devono essere create le entità e gli intenti attraverso l'interfaccia di Dialogflow; esse vengono definite per facilitare l'aggiunta della pertinenza agli intenti utente e l'identificazione dei dati dell'obiettivo in una richiesta uten-



te. Sono realizzate in base al contesto del dominio in cui vengono utilizzate e devono essere associate a un intento specifico; a titolo esemplificativo, non esaustivo, viene mostrato l'Entity Class utilizzato nell'Intent 'Class_Selection' per selezionare gli oggetti in base alla loro classe IFC (Fig. 6). L'obiettivo è far riconoscere all'assistente virtuale le classi IFC tramite sinonimi. Ad esempio, si vuole che la classe IfcPipeSegment venga riconosciuta anche inserendo la parola 'pipe', in modo da agevolare la conversazione (Fig. 6, punto 1). Di conseguenza, l'agente reagisce alla frase 'select all the door' individuando correttamente l'Intent e riconoscendo al suo interno il parametro 'class' uguale a 'IfcDoor' (Fig. 6, punto 2).

Contestualmente devono essere impostati gli Intent in modo da poter richiamare funzioni specifiche quando l'agente classifica la richiesta dell'utente nel modo corretto. La definizione degli Intent prevede: l'impostazione delle frasi d'addestramento usate dall' algoritmo in NLP per classificarlo durante la conversazione (Fig. 7, punto 1); l'inserimento di diverse Entity in modo da creare parametri specifici da utilizzare nelle chiamate API dei programmi nei quali viene implementato il servizio di assistente virtuale (Fig. 7, punto 2); la fase di test dell'agente Dialogflow (Fig. 7, punto 3). L'interfaccia per la creazione dell'Intent 'Select_byParameterValue' ripercorre questi passaggi; in questo caso si può osservare che durante la validazione il chatbot ha individuato l'Intent corretto alla frase 'show me the elements with parameter level equal to 0' e all'interno di questo i parametri 'name' corrispondente a 'level' e 'value' corrispondente a '0'.

L'integrazione del modulo NLP con l'interfaccia di Blender avviene tramite l'utilizzo della sezione Scripting del programma, che consente di eseguire script in linguaggio Python e quindi comunicare, tramite API, con il server di Dialogflow. Dopo l'importazione dei dati BIM tramite il formato IFC nel programma è possibile eseguire funzioni specifiche grazie al riconoscimento degli Intent e delle Entity, sfruttando le librerie di IfcOpenShell⁷ per accedere alle informazioni del modello BIM.

Risultati | L'architettura della soluzione tecnica (Fig. 8) precedentemente descritta è stata implementata attraverso un caso studio reale (Fig. 9) per validarne l'approccio; il prototipo realizzato si pone l'obiettivo di interrogare la banca dati grafica e alfanumerica derivante da un processo di digitalizzazione standardizzato di un consistente parco centrali idroelettriche (Ugliotti, 2024). Il chatbot assolve alla necessità di accedere alla complessa struttura del database BIM in modo semplice e intuitivo anche da parte di personale non esperto, al fine di consultare l'anagrafica dei principali componenti che costituiscono gli impianti a fini gestionali e manutentivi (Dejaco et alii, 2022).

Come software di BIM authoring è stato utilizzato Autodesk Revit 2024⁸, successivamente esportato in formato IFC4 e importato in Blender 4.2 tramite

Fig. 1 | Collaborative HI-AI interaction processes (source: Loddo et alii, 2024; adapted by the Authors).

Fig. 2 | Methodological research approach (credit: the Authors, 2024).

Fig. 3 | Keywords in the research context (credit: the Authors, 2024).

Fig. 4 | Designing the strategic solution (credit: the Authors, 2024).

l'Add-on Bonsai⁹ sviluppato da IfcOpenShell e disponibile gratuitamente online. Il linguaggio di programmazione Python rende possibile il collegamento, tramite API, tra Dialogflow e funzioni specifiche di Blender come, ad esempio, la selezione o il conteggio di elementi tramite linguaggio naturale.

Una volta stabilito il flusso operativo è possibile parlare con il chatbot (Fig. 10), in modo da inviare le richieste all'agente Dialogflow. Sono proposti una serie di casi d'uso esplicativi per: a) l'individuazione di elementi, sia per classe – ad esempio tutte le tubature, sia rispetto al valore di un determinato parametro – attrezzature elettriche e meccaniche che risultano afferenti al medesimo gruppo di produzione elettrica (Fig. 11); b) il conteggio di oggetti aventi determinate caratteristiche, come ad esempio le attrezzature mantenute da un determinato soggetto in una specifica data (Fig. 12).

Si illustra nel dettaglio il primo caso. In fase di avvio della conversazione il chatbot comunica all'utente cosa può fare; contestualmente l'interfaccia di Blender mostra il modello IFC (Fig. 11, punto 1) e successivamente l'utente chiede di selezionare gli elementi 'pipe'. Tramite il riconoscimento dell'Intent 'Class_Selection' viene eseguito uno script in grado di selezionare elementi con la classe IFC richiesta (Fig. 11, punto 2), come precedentemente descritto. Per facilitare l'individuazione degli elementi di interesse l'utente chiede di nascondere gli altri oggetti (Fig. 11, punto 3) e il chatbot esegue lo script associato all'Intent specifico. La conversazione prosegue con la richiesta da parte dell'utente di selezionare gli oggetti per valore (Fig. 13), richiedendo l'Intent 'Select_byParameterValue' specificando il nome del parametro 'Raggruppamento' (Fig. 11, punto 4) e il valore 'Gruppo 2' (Fig. 11, punto 5).

Conclusioni | Il contributo si inserisce nel più ampio dibattito internazionale che esplora i benefici che l'AI può apportare alle scienze dure. Nello specifico la ricerca promuove un approccio metodologico e tecnologico, ancora poco esplorato, legato all'interpretazione dei modelli digitali in formato OpenBIM da parte dell'AI attraverso i grandi modelli di linguaggio. Riconosciuto il valore insostituibile della narrazione antropocentrica, l'AI è in grado di descrivere all'HI, in tempo reale, una visione chiara dell'opera interpolando le richieste dell'utente con le informazioni BIM.

Il potenziale impatto positivo rispetto all'efficienza e alla fruizione si arricchisce di significato quando la soluzione, ideata per superare problemi tecnici di accessibilità del dato, viene sfruttata per migliorare le capacità dell'asset management workforce nel suo complesso, non solo in termini di consultazione ma anche come strumento innovativo e user-friendly per le attività di formazione degli operatori nel settore delle costruzioni, indipendentemente dal grado di specializzazione.

I maggiori limiti riscontrati risiedono nella necessità di programmare manualmente tutte le funzioni da attuare con i chatbot e nel collegarle successivamente all'intento. Questo aspetto è rilevante nelle fasi preliminari di utilizzo, tuttavia i diversi obiettivi di interrogazione dei modelli potrebbero richiedere i medesimi intenti ed entità, consentendo la velocizzazione della replicabilità del metodo. Il sistema impostato restituisce un risultato con significato nel momento in cui il modello BIM da interrogare è standardizzato, ovvero quando il relativo formato OpenBIM dispone di una corretta classificazione e map-

patura degli oggetti che deve essere controllata durante le fasi di modellazione ed esportazione.

Il prototipo descritto nel presente contributo è funzionale a comprendere in modo preliminare le potenzialità di utilizzo e risponde a uno stato di avanzamento preliminare della ricerca. Le funzionalità attualmente implementate sono state testate su un unico caso studio, seppur complesso, e si basano su semplici modelli LLM. Ulteriori considerazioni saranno conseguibili nelle fasi successive della sperimentazione, che si concentreranno sia sulla verifica di quanto impostato rispetto ad altri casi studio aumentando la mole di dati e abilitando interrogazioni trasversali tra modelli, sia sull'ampliamento e l'arricchimento delle API utilizzate e delle funzioni disponibili dei programmi per la creazione di oggetti, superando le attuali azioni di selezione e conteggio, sia sull'implementazione di modelli più complessi basati sulle reti neurali, come ChatGPT.¹⁰

Alla luce di quanto esposto si ritiene che lo studio contribuisca a delineare un nuovo filone di ricerca nell'ambito del disegno e della rappresentazione del Patrimonio costruito, allineato con le metodologie più avanzate di gestione dei dati. Lo stimolante paradigma del Digital Twin, combinato con le nuove possibilità offerte dalle tecnologie di informazione e visualizzazione, offre infatti modalità innovative di approcciare, studiare e investigare il Patrimonio costruito e le infrastrutture critiche, sfruttando le potenzialità della rappresentazione semantica. Tali tematiche saranno certamente al centro delle riflessioni della comunità scientifica nei prossimi decenni, riunendo un numero sempre maggiore di ricercatori con competenze diversificate nel paradigma della Società 5.0 (Fukuyama, 2018), nella quale la tecnologia è orientata a migliorare la qualità di vita dell'uomo.

The relationship between form and content has always been at the centre of critical debate in the disciplinary field of Drawing. The descriptive and interpretative processes of architecture have evolved, exponentially expanding their boundaries regarding progress and technological innovation (Pone, 2022; Lo Turco, Giovannini and Tomalini, 2021). The shift from manual to digital drawing marked a significant point that led to an increasingly creative use of representation tools (Magliocco and Canepa, 2022). The reduction of the complexity of architecture to a flat surface has been largely overcome with the advent of virtual three-dimensional modelling (Fatta, 2020), which extends and enriches the representations possible through parametric (Massari et alii, 2022), generative (Manni and Valzano, 2023) or computational design. Creative processes use data, numbers, and parameters in the form of algorithms to find solutions, bringing computer codes powerfully into the design grammar and enabling new horizons for engineers and architects in the construction world.

The emergence over the past decades of cutting-edge methodologies in building process management, such as Building Information Modelling (BIM), and the broader adoption by engineers of visual programming have allowed for an ever-increasing control of the work (Zheng and Fischer, 2023) through the use of computerised tools to support the design and management process. These innovative approaches have led to humans being confronted with increasingly vast and articulated systems of rep-

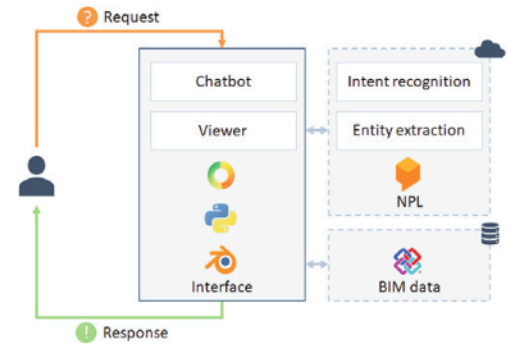


Fig. 5 | Architecture of the technical solution (credit: the Authors, 2024).

resentation with a multi-disciplinary and multi-scalar perspective.

The boundaries of architectural design are becoming more and more inclusive, embracing heterogeneous domains through interoperable and integrable processes. While an increasing number of variables can contribute to the description of a project, this proliferation of data strains the Human Intellect (HI) in understanding and qualifying them. In this context, there is a need for software applications that ensure greater efficiency in the search for information, facilitating the coordination of actors at different stages and thus influencing overall performance (Lin, 2023).

In the current context, Artificial Intelligence (AI) emerges as a disruptive technology that supports humans in processing data to extract value or knowledge through a semantic approach to representation. HI-AI interaction is made possible by Large Language Models – LLM (Elghaish et alii, 2022), contributing to the translation of an abstract concept into a tangible and comprehensible representation, triggering new strategies of storytelling for building and infrastructure projects. Different modes of collaboration (Loddo et alii, 2024) can be used to describe and interpret the world by enabling the transformation of raw data into usable information (Fig. 1).

The research aims to explore using a chatbot as a cognitive interpretation tool for extracting and automatically processing data representing digital models via natural language understanding algorithms. The operational flow is illustrated in Figure 2: a chatbot facilitates communication between humans and AI algorithms based on LLM (Adamopoulou and Maglogiannis, 2020) via interfaces or devices that interact with objects and services (Arquilla and Paracoli, 2023). It is a cognitive system, as it is capable of learning, reasoning with a purpose and interacting with HI or other digital systems (Demirkan, Earley and Harmon, 2017): the user formulates requests in natural language, and the chatbot interprets them, classifying them into appropriate queries to provide answers (Chizhik and Zherebtsova, 2020).

The study's primary focus is on the innovative use of chatbots to intuitively access construction and infrastructure data. Creating a prototype based on a real case is critical in validating the approach and analysing its implications. The novelty lies in the sequential interaction with the digital model's graphic and alphanumeric information in OpenBIM format for management, maintenance, and personnel training purposes.

Interfacing with BIM databases and the automatic selection of information against targets formu-

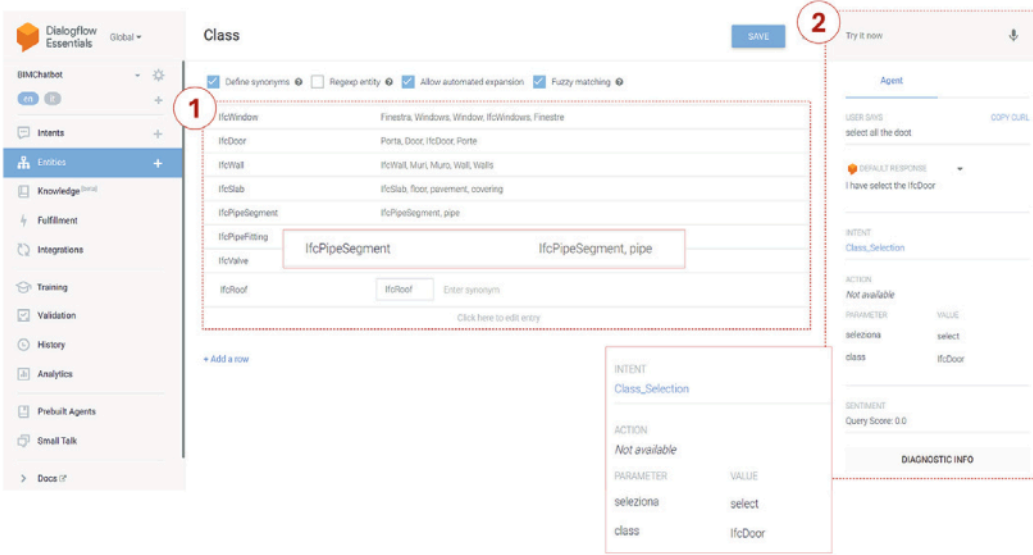
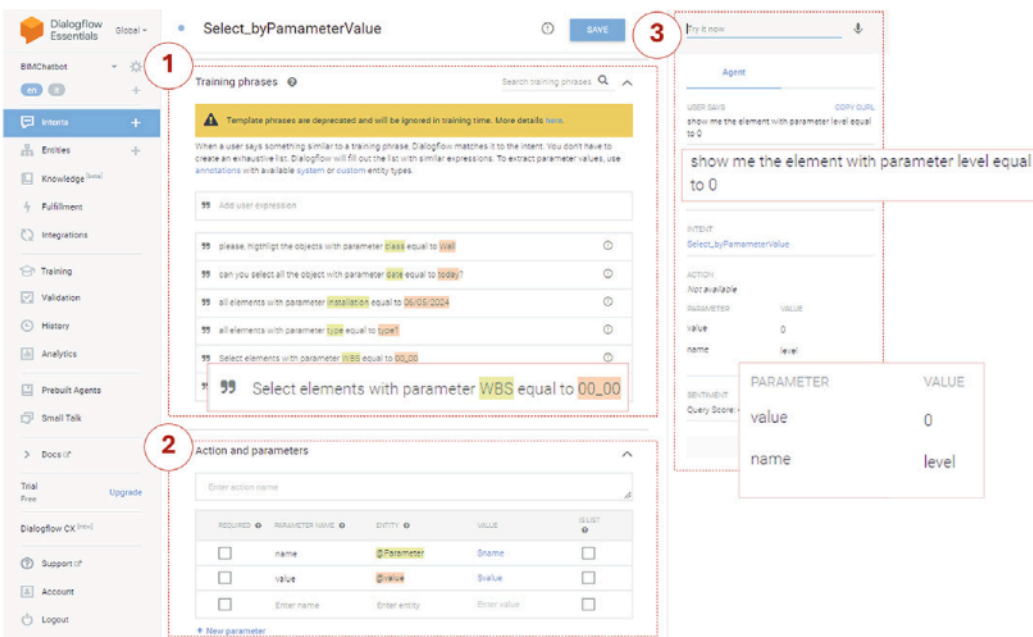


Fig. 6 | Example of setting up Entities on Dialogflow (credit: the Authors, 2024).

Fig. 7 | Example of Intent setting on Dialogflow (credit: the Authors, 2024).

Fig. 8 | Implementing the strategic solution in the case study (credit: the Authors, 2024).



Next page

Fig. 9 | Meano hydroelectric power station in Pomaretto (TO) used as a case study (credit: the Authors, 2024).

Fig. 10 | Blender Scripting interface for prototype development (credit: the Authors, 2024).

Fig. 11 | Example of conversation with natural language element selection (credit: the Authors, 2024).

Fig. 12 | Example of conversation with natural language element counting (credit: the Authors, 2024).

lated in natural language are issues of great relevance to the scientific community, enabling unprecedented accessibility, particularly for users without specific skills in digital modelling and computerised data management. This approach is crucial in the context of the Digital Twin (Barricelli, Casiraghi and Fogli, 2019), which describes the functioning of a system through its digital copy, capable of integrating static data of the built heritage with Big Data (Osello et alii, 2024).

State of the art | So-called chatbot programmes facilitate operator-software interaction through natural language-based commands that, screened by AI, can provide more or less complex solutions. In the construction industry, the possibility of automating the creation of 3D images and models (Zhang

et alii, 2023) has motivated research to question this new opportunity.

Several publications analyse the use of instant messaging in this context, emphasising its potential (Rane, Choudhary and Rane, 2023; Fig. 3) throughout the entire life cycle of a construction project (Espinoza Gispert et alii, 2023). In the design phase, virtual assistants support architects and engineers in the verification of regulations, guidelines and building standards, but also in the drafting of preliminary documents (Ko et alii, 2023); in the management phase, they facilitate the consultation of inventories and schedules, with the possibility of generating notifications for critical events such as failures (Alhammadi, 2023). Chatbots can also provide quick access to data through collaboration platforms such as Microsoft Teams and Slack, supporting technical meetings.

Developing dialogue interfaces to examine BIM models is crucial for facilitating collaboration between professionals and enabling a clearer understanding of information (Mutis and Ramachandran, 2021; Lin, Huang and Putranto, 2022).

According to Cho and Lee (2019), the main critical issue in using chatbots in construction concerns interoperability with BIM models. Despite the creation of detailed models, transferring information during the building lifecycle is often laborious: indeed, the literature focuses on interoperability between software, but interoperability between people with various skills operating on the building at different times is also crucial (Yousefzadeh et alii, 2015). The problem is evident in the difficulty of exploiting BIM data in operational programs, even though the decomposition of BIM models into elements and their

schematisation in tables facilitates their understanding and inspection. This simplification is done through open databases (Lin, 2023) or export in Industry Foundation Classes¹ (IFC) and other textual formats (Fernandes et alii, 2024).

Exporting in the IFC format ensures the exchange of information between BIM and other software: the importing software has to read the file or convert it and access the Application Programming Interface² (API) to implement the chatbot functionality. However, the critical aspect of data sharing relates to the semantics of the models. Although the IFC format is designed to promote interoperability through a standard structure (Borrmann et alii, 2018), discrepancies in data interpretation can cause information loss.

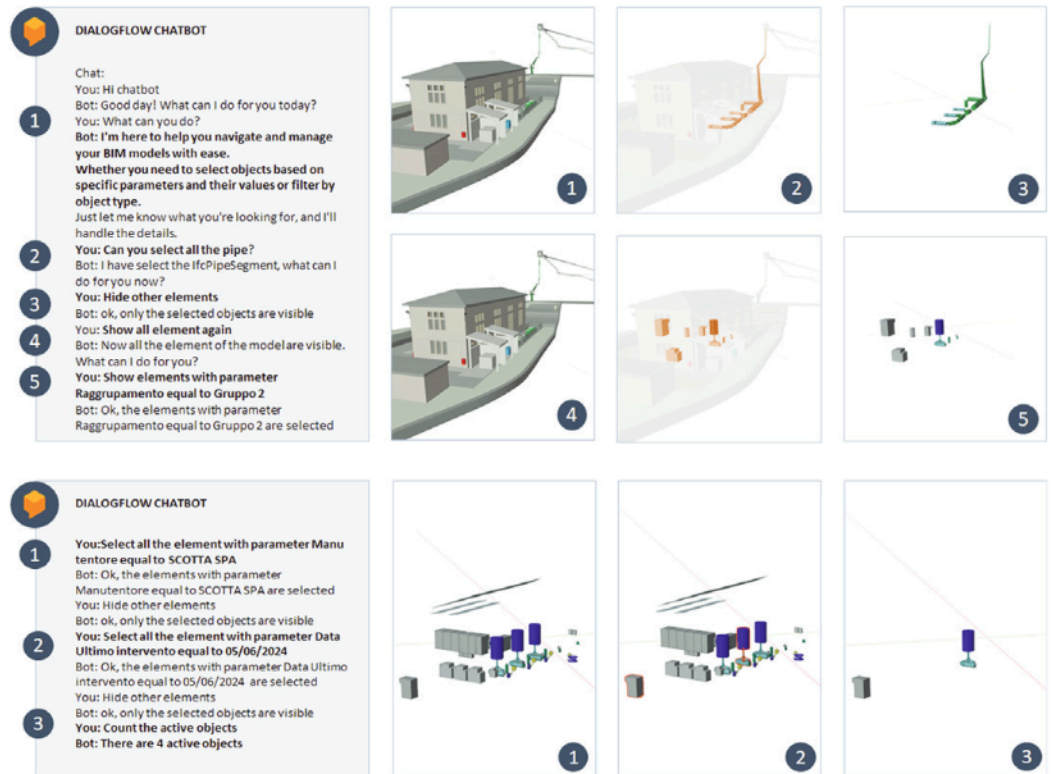
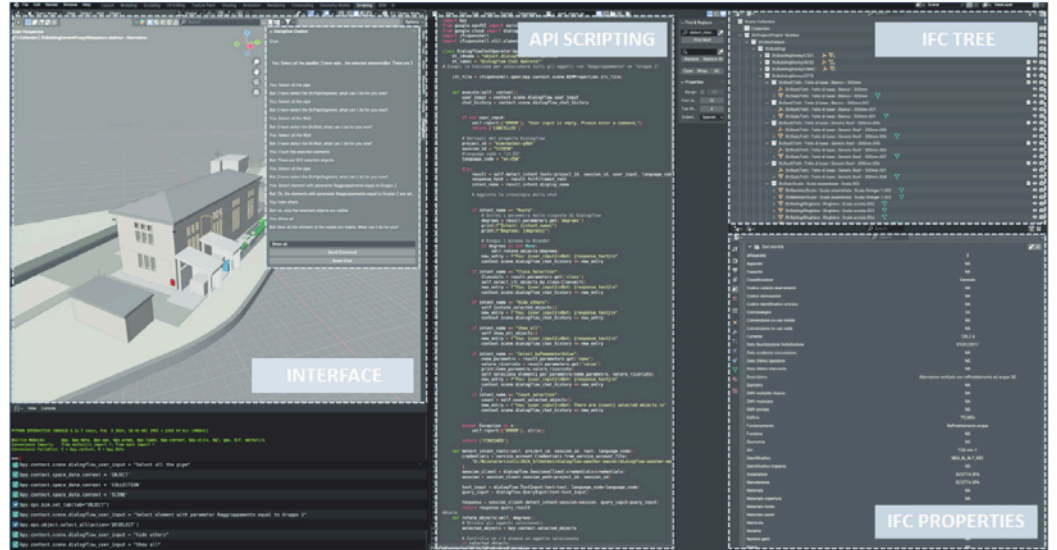
To solve these problems, a virtual assistant is proposed that interacts with BIM models via natural language (Fig. 4), improving access to information throughout the building lifecycle. The chatbot detects the user's intent and, through Natural Language Processing (NLP), modules, processes written, spoken or graphical responses such as images or 3D models. A chatbot must have a robust Natural Language Understanding (NLU) model to identify user intent and provide accurate responses. An extensive database is also required to achieve the intended goals.

Methodology and phases | The proposed methodology focuses on interpreting a digital project through AI and analysing how OpenBIM³ models and chatbots are integrated. This section describes the system architecture developed to interpret the IFC data of BIM models (Fig. 5). The 3D modelling software Blender⁴ is investigated for the interaction with the chatbot as it offers the greatest range of possible interactions, being particularly optimised for rendering, animations and simulations directly within the working environment. Therefore, integrating models is beneficial for simulating construction sequences, machinery movements, or people flow dynamics. Blender also handles complex 3D geometries, allowing advanced modifications of meshes, surfaces and curves. Communication occurs via a plugin developed in Blender using the Python⁵ programming language, which integrates a chatbot created via Dialogflow.⁶

The interface consists of two main parts. The chatbot communicates between the user and the software via NLP technologies. Specific APIs interact with the BIM database for Intent Recognition and Entity Extraction. The Viewer allows the user to visualise the BIM model directly in the interface, helping the user visualise and interact with visual and informative data.

The first step is to design the NLP module by creating Intent and Entity. To understand how to set up the dialogue with the Dialogflow agent, the good rules discussed in Amershi et alii (2019) were followed to ensure a smooth conversation.

After creating the agent, entities and intents must be created via the Dialogflow interface. Entities are defined to facilitate the addition of relevance to user intents and identifying target data in a user request. They are realised according to the context of the domain in which they are used and must be associated with a specific intent. As a non-exhaustive example, the Entity Class used in the Intent 'Class_Selection' to select objects based on their IFC class is shown (Fig. 6). The aim is to make the virtual assistant recognise IFC classes by synonyms. For exam-



ple, we want the class `IfcPipeSegment` to be recognised by entering the word 'pipe' to facilitate conversation (Fig. 6, point 1). Consequently, the agent reacts to the sentence 'select all the door' by correctly identifying the Intent and recognising the parameter 'class' equal to 'IfcDoor' (Fig. 6, point 2). At the same time, Intents must be set to call specific functions when the agent correctly classifies the user's request. The definition of the Intents involves the setting of the training phrases used by the algorithm

in NLP in order to classify it during the conversation (Fig. 7, point 1); the insertion of various Entities in order to create specific parameters to be used in the API calls of the programs in which the virtual assistant service is implemented (Fig. 7, point 2); the testing phase of the Dialogflow agent (Fig. 7, point 3). The interface for creating the Intent 'Select_byParameterValue' retraces these steps. It can be seen that, in this case, during validation, the chatbot identified the correct Intent in the sentence 'show me the ele-

ments with parameter level equal to 0' and within this, the parameters 'name' corresponding to 'level' and 'value' corresponding to '0'.

The integration of the NLP module with the Blender interface takes place through the use of the Scripting section of the program, which allows scripts to be executed in Python language and thus communicate via API with the Dialogflow server. After importing the BIM data via the IFC format into the software, it is possible to execute specific functions thanks to the recognition of Intents and Entities, using the libraries of IfcOpenShell⁷ to access the BIM model information.

Results | The architecture of the technical solution (Fig. 8) described above was implemented through an actual case study (Fig. 9) to validate the approach. The realised prototype aims to query the graphic and alphanumeric database resulting from a standardised digitalisation process of a large hydroelectric power plant park (Ugliotti, 2024). The chatbot fulfils the need to access the complex structure of the BIM database and intuitively, even by non-expert personnel, to consult the master data of the main components making up the plants for management and maintenance purposes (Dejaco et alii, 2022). Autodesk Revit 2024⁸ was used as BIM authoring software. Subsequently, it was exported in IFC4 format and imported into Blender 4.2 via the Add-on Bonsai⁹, developed by IfcOpenShell and available free online. The Python programming language makes it possible to link Dialogflow with specific Blender functions via API, such as selecting or counting elements via natural language.

Once the workflow has been established, it is possible to talk to the chatbot (Fig. 10) to send requests to the Dialogflow agent. A series of explanatory use cases are proposed for: a) the identification of items, either by class – e.g., all pipes or concerning the value of a specific parameter – electrical and mechanical equipment, which are about the same electrical production group (Fig. 11); b) the counting of items with specific characteristics, such as the equipment maintained by a particular person on a specific date (Fig. 12).

The first case is illustrated in detail. At the start of the conversation, the chatbot tells the user what he can do; simultaneously, the Blender interface shows

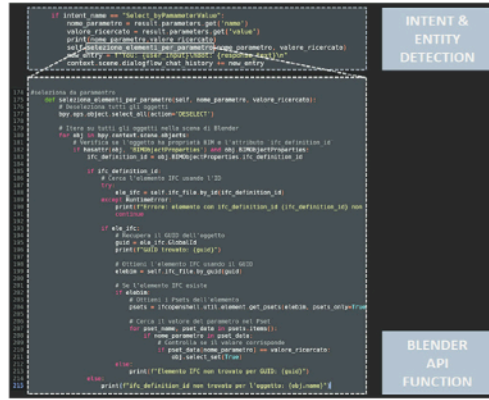


Fig. 13 | Example of Dialogflow agent interaction and Blender API (credit: the Authors, 2024).

the IFC model (Fig. 11, point 1). Next, the user is asked to select 'pipe' elements. By recognising the Intent 'Class_Selection', a script can select elements with the required IFC class (Fig. 11, point 2), as previously described. To facilitate the identification of the elements of interest, the user asks to hide the other objects (Fig. 11, point 3), and the chatbot executes the script associated with the specific Intent. The conversation continues with the user requesting to select the objects by value (Fig. 13), requesting the Intent 'Select_byParameter/Value' by specifying the parameter name 'Grouping' (Fig. 11, point 4) and the value 'Group 2' (Fig. 11, point 5).

Conclusions | The contribution is part of the broader international debate exploring the benefits that AI can bring to the hard sciences. Specifically, the research promotes a methodological and technological approach, which has yet to be explored, related to AI interpreting digital models in OpenBIM format through large language models. Recognising the irreplaceable value of the anthropocentric narrative, AI can describe to the HI a clear vision of the work in real-time by interpolating the user's requests with BIM information.

The potential positive impact concerning efficiency and utilisation is enriched when the solution, designed to overcome technical problems of data accessibility, is exploited to improve the capabilities of

the asset management workforce as a whole, not only in terms of consultation but also as an innovative and user-friendly tool for the training activities of operators in the construction sector, regardless of their degree of specialisation. The major limitation is the need to manually program all functions to be implemented with chatbots and link them to intent. This aspect is relevant in the preliminary stages of use. However, the different model interrogation objectives may require identical intents and entities, allowing the replicability of the method to be speeded up. The system set returns a result when the BIM model to be queried is standardised, i.e., when the relevant OpenBIM format has the correct object classification and mapping, which must be checked in the modelling and export phases.

The prototype described in this contribution is functional to gain a preliminary understanding of the potential for use and corresponds to a preliminary research stage. The currently implemented functionalities were tested on a single, albeit complex, case study based on simple LLM models. Further considerations will be achieved in the subsequent phases of the experimentation, which will focus both on verifying what has been set up concerning other case studies by increasing the amount of data and enabling transversal queries between models and on extending and enriching the APIs used and the functions available in the programmes for creating objects, going beyond the current selection and counting actions, and on implementing more complex models based on neural networks, such as ChatGPT.¹⁰

In light of the above, the study outlines a new line of research in the drawing and representation of the Built Heritage, aligned with the most advanced data management methodologies. The stimulating paradigm of the Digital Twin, combined with the new possibilities offered by information and visualisation technologies, offers innovative ways of approaching, studying and investigating the built heritage and critical infrastructures, exploiting the potential of semantic representation. These issues will undoubtedly be at the centre of the scientific community's reflections in the coming decades, bringing together an increasing number of researchers with diverse expertise in the paradigm of Society 5.0 (Fukuyama, 2018), in which technology is geared towards improving the quality of human life.

Acknowledgements

This study was carried out within the RETURN Extended Partnership and received funding from the European Union Next-GenerationEU (National Recovery and Resilience Plan – NRRP, Mission 4, Component 2, Investment 1.3 – D.D. 1243 2/8/2022, PE0000005) CUP E13C22001860001.

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. Nevertheless, the introductory and 'Conclusions' paragraphs are to be attributed to F. M. Ugliotti, 'State of the art' to F. Loddo, 'Methodology and phases' to N. Rimella, and 'Results' to N. Rimella and F. M. Ugliotti.

Notes

- 1) For more information about the IFC format, please visit: buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/ [Accessed 3 September 2024].
- 2) To learn more about how APIs work, please visit: wikipedia.org/wiki/Application_programming_interface [Accessed 3 September 2024].

- 3) For more information on the OpenBIM methodology, please visit: buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/ [Accessed 3 September 2024].
- 4) For more information on Blender software, please visit: docs.blender.org/ [Accessed 3 September 2024].
- 5) For more information on the Python programming language, please visit: docs.python.org/3/ [Accessed 3 September 2024].
- 6) For more information on the DialogueFlow service, please visit: cloud.google.com/dialogflow/es/docs/basics?hl=it [Accessed 3 September 2024].
- 7) For more information about the ifcOpenShell libraries, please visit: docs.ifcopenshell.org/ [Accessed 3 September 2024].
- 8) For more information on Autodesk Revit software, please visit: autodesk.com/it/products/revit/features [Accessed 3 September 2024].
- 9) For more information on the Blender Bonsai add-on, please visit: docs.bonsaibim.org/ [Accessed 8 September 2024].
- 10) For more information on ChatGPT, please visit: botflo.com/dialogflow-vs-chatgpt/ [Accessed 8 September 2024].

References

Adamopoulou, E. and Maglogiannis, L. (2020), "An Overview of Chatbot Technology", in Maglogiannis, I., Iliadis, L. and Pimenidis, E. (eds), *Artificial Intelligence Applications and Innovations – Proceedings of the 16th IFIP WG 12.5 International Conference, AIAI 2020, Neos Marmaras, Greece, June 5-7, 2020*, IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol. 584, part II, Springer, Cham, pp. 373-383. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-49186-4_31 [Accessed 19 September 2024].

Alhammadi, M. (2023), "Optimising Customer Service Delivery and Response Time through AI-Enhanced Chatbots in Facilities Management-A Mixed-Methods Research", in *American Journal of Smart Technology and Solutions*, vol. 2, issue 2, pp. 43-54. [Online] Available at: doi.org/10.54536/ajsts.v2i2.2206 [Accessed 19 September 2024].

Amershi, S., Weld, D., Vovoreanu, M., Fourney, A., Nushi, B., Collisson, P., Suh, J., Iqbal, S., Bennett, P. N., Inkpen, K., Teevan, J., Kikin-Gil, R. and Horvitz, E. (2019), "Guidelines for Human-AI Interaction", in Brewster, S. and

- Fitzpatrick, G. (eds), *CHI 2019 – Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Glasgow, Scotland UK, May 4-9, 2019*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3290605.3300233 [Accessed 19 September 2024].
- Arquilla, V. and Paracoli, A. (2023) “Design sull’esperienza dell’utente e sostenibilità degli oggetti con intelligenza artificiale | User experience design and sustainability of AI-infused objects”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 259-268. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13222023 [Accessed 19 September 2024].
- Barricelli, B. R., Casiraghi, E. and Fogli, D. (2019), “A Survey on Digital Twin – Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications”, in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 167653-167671. [Online] Available at: doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953499 [Accessed 19 September 2024].
- Bormann, A., Beetz, J., Koch, C., Liebich, T. and Muhic, S. (2018), “Industry Foundation Classes – A Standardized Data Model for the Vendor-Neutral Exchange of Digital Building Models”, in Bormann, A., König, M., Koch, C. and Beetz, J. (eds), *Building Information Modeling*, Springer, Cham, pp. 81-126. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_5 [Accessed 19 September 2024].
- Chizhik, A. and Zherebtsova, Y. (2020), “Challenges of Building an Intelligent Chatbot”, in Bolgov, R. V., Chugunov, A. V. and Voiskounsky, A. E. (eds), *Proceedings of the International Conference on Internet and Modern Society (IMS-2020), ITMO University, St. Petersburg (Russia), June 17-20, 2020*, Intelligent Memory Systems, pp. 277-287. [Online] Available at: ceur-ws.org/Vol-2813/rpaper21.pdf [Accessed 19 September 2024].
- Cho, J. and Lee, G. (2019), “A Chatbot System for Construction Daily Report Information Management”, in Al-Hussein, M. (ed.), *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2019, Banff, Canada, May 21-24, 2019*, pp. 429-437. [Online] Available at: doi.org/10.22260/ISARC2019/0058 [Accessed 19 September 2024].
- Dejaco, M. C., Scanagatta, C., Mannino, A. and Condotta, M. (2022), “Transizione digitale per il facility management – BIM, CMMS e manutenzione predittiva | Digital transition in facility management – BIM, CMMS and diagnostic maintenance”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 168-177. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12152022 [Accessed 19 September 2024].
- Demirkan, H., Earley, S. and Harmon, R. R. (2017), “Cognitive Computing”, in *IT Professional*, vol. 19, issue 4, pp. 16-20. [Online] Available at: doi.org/10.1109/MITP.2017.3051332 [Accessed 19 September 2024].
- Elghaish, F., Chauhan, J. K., Matameh, S., Farzad, P. R. and Hosseini M. (2022), “Artificial intelligence-based voice assistant for BIM data management”, in *Automation in Construction*, vol. 140, article 104320, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104320 [Accessed 19 September 2024].
- Espinosa Gispert, D., Yitmen, I., Sadri, H. and Taheri, A. (2023), “Development of an ontology-based asset information model for predictive maintenance in building facilities”, in *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. ahead-of-print, issue ahead-of-print, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1108/SASBE-07-2023-0170 [Accessed 19 September 2024].
- Fatta, F. (2020) “Le molte dimensioni del modello digitale | The many dimensions of the digital model”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 7, pp. 16-25. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/722020 [Accessed 19 September 2024].
- Fernandes, D., Garg, S., Nikkel, M. and Guven, G. (2024), “A GPT-Powered Assistant for Real-Time Interaction with Building Information Models”, in *Buildings*, vol. 14, issue 8, article 2499, pp. 1-30. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings14082499 [Accessed 19 September 2024].
- Fukuyama, M. (2018), “Society 5.0 – Aiming for a new human-centered society”, in *Japan Spotlight*, vol. 1, pp. 47-50. [Online] Available at: jef.or.jp/journal/pdf/220th_Special_Article_02.pdf [Accessed 3 September 2024].
- Ko, J., Ennemoser, B., Yoo, W., Yan, W. and Clayton, M. J. (2023), “Architectural spatial layout planning using artificial intelligence”, in *Automation in Construction*, vol. 154, article 105019, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105019 [Accessed 19 September 2024].
- Lin, T.-H., Huang, Y.-H. and Putranto, A. (2022), “Intelligent question and answer system for building information modeling and artificial intelligence of things based on the bidirectional encoder representations from transformers model”, in *Automation in Construction*, vol. 142, article 104483, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104483 [Accessed 19 September 2024].
- Lin, W. Y. (2023), “Prototyping a Chatbot for Site Managers Using Building Information Modeling (BIM) and Natural Language Understanding (NLU) Techniques”, in *Sensors*, vol. 23, issue 6, article 2942, pp. 1-29. [Online] Available at: doi.org/10.3390/s23062942 [Accessed 19 September 2024].
- Lo Turco, M., Giovannini, E. C. and Tomalini, A. (2021) “Fisico, Digitale, Virtuale, Immateriale – Esperienze di ricerca in ambito museale | Physical, Digital, Virtual, Intangible – Research experiences in Museums”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 140-149. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10122021 [Accessed 19 September 2024].
- Loddo, F., Osello, A., Rimella, N., Polania Rodriguez, D., Ugliotti, F. M. and Ventura, G. V. (2024), “Approccio semantico alla rappresentazione – Verso una collaborazione Uomo-AI per la misura della dismisura | Semantic approach to representation – Toward a collaborative Human-AI for the measurement of the out-of-measure”, in Bergamo, F., Calandriello, A., Ciammaichella, M., Friso, I., Gay, F., Liva, G. and Monteleone, C. (eds), *Misura / Dismisura – Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione – Congresso della Unione Italiana per il Disegno | Measure / Out of Measure – Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers – Congress of Unione Italiana per il Disegno, Padova-Venezia, Settembre 12-14, 2024*, FrancoAngeli, Milano, pp. 3135-3144. [Online] Available at: doi.org/10.3280/oa-1180-c630 [Accessed 19 September 2024].
- Magliocco, A. and Canepa, M. (2022), “Cruscotti a servizio della governance – Monitoraggio di indicatori di prestazione e indicatori aggregati | Governance dashboards – Monitoring of key performance and aggregate indicators”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 36-45. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1232022 [Accessed 19 September 2024].
- Manni, V. and Valzano, L. S. (2023) “Modularità e Architettura Adattiva – Una strategia per la gestione di sistemi d’involucro complessi | Modularity and adaptive architecture – A strategy for managing complex envelope systems”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 134-151. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14112023 [Accessed 19 September 2024].
- Massari, G. A., Barbini, A., Bernardini, E. and Roman, O. (2022) “Riquilificazione energetica dell’edilizia esistente – Modellazione e gestione geometrico-informativa | Energy retrofitting of existing buildings – Geometric-informative modelling and management”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 146-157. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12132022 [Accessed 19 September 2024].
- Mutis, I. and Ramachandran, A. (2021), “The Bimbot – Mediating technology for enacting coordination in team-work collaboration”, in *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 26, pp. 144-158. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2021.009 [Accessed 19 September 2024].
- Osello, A., Del Giudice, M., Donato, A. J. and Fratto, A. (2024) “Verso la neutralità climatica – Il ruolo chiave del Digital Twin nell’Industria 5.0 | Towards Climate Neutrality – The key role of the Digital Twin in Industry 5.0”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 276-285. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15222024 [Accessed 19 September 2024].
- Pone, S. (2022) “Maker – Il ritorno dei costruttori – Una possibile transizione digitale per l’Architettura | Maker – The return of the builders – A possible digital transition for Architecture”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 14-23. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1212022 [Accessed 19 September 2024].
- Rane, N., Choudhary, S. and Rane, J. (2023), “Integrating Building Information Modelling (BIM) With ChatGPT, Bard, and Similar Generative Artificial Intelligence in the Architecture, Engineering, and Construction Industry – Applications, a Novel Framework, Challenges, and Future Scope”, in *SSRN*, pp. 1-22. [Online] Available at doi.org/10.2139/ssrn.4645601 [Accessed 19 September 2024].
- Ugliotti, F. M. (2024), *Sostenibilità e digitalizzazione nella produzione idroelettrica – Una sfida moderna per una forma di generazione antica*, Gangemi Editore, Roma.
- Yousefzadeh, S., Spillane, J. P., Lamont, L., McFadden, J. and Lim, J. P. B. (2015), “Building information modelling (BIM) software interoperability – A review of the construction sector”, in Raidén, A. and Aboagye-Nimo, E. (eds), *Proceeding of the 31st Annual ARCOM Conference 2015, Lincoln, England, September 7-9, 2015*, ARCOM, pp. 711-720. [Online] Available at: hdl.handle.net/10344/7152 [Accessed 19 September 2024].
- Zhang, C., Wang, W., Pangaro, P., Martelaro, N. and Byrne, D. (2023), “Generative Image AI Using Design Sketches as input – Opportunities and Challenges”, in *C&C ’23 – Proceedings of the 15th Conference on Creativity and Cognition, New York, USA, Virtual Conference, June 19-21, 2023*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 254-259. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3591196.3596820 [Accessed 19 September 2024].
- Zheng, J. and Fischer, M. (2023), “Dynamic prompt-based virtual assistant framework for BIM information search”, in *Automation in Construction*, vol. 155, article 105067, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105067 [Accessed 19 September 2024].