

ARTICLE INFO

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

LOGICHE NASCOSTE DELLA COMPLESSITÀ

Interfacce grafiche e algoritmi per il sistema edificio

HIDDEN LOGIC OF COMPLEXITY

Graphical interfaces and algorithms for the building system

Anna Osello, Michele Zucco, Emmanuele Iacono, Matteo Del Giudice

ABSTRACT

La teoria della complessità fornisce un quadro essenziale per analizzare gli edifici come sistemi complessi, dove elementi architettonici, strutturali e impiantistici interagiscono e influenzano il comportamento globale del sistema. Per gestire tale complessità, metodi e strumenti BIM per il Facility Management sfruttano il linguaggio del disegno per rappresentare la complessità dei dati e ottimizzarne la gestione. L'analisi di oltre tremila locali del Palazzo della Regione Piemonte, caso studio di questo contributo, dimostra come algoritmi e automatismi possano agevolare la gestione di grandi quantità di dati per migliorare la visualizzazione e l'interpretazione delle informazioni. Il contributo esamina il valore di interfacce grafiche nel rivelare logiche nascoste della complessità per trasformarle in risorse disponibili per gli utenti in un nuovo sistema di supporto decisionale.

Complexity theory provides an essential framework for analysing buildings as complex systems, influenced by the interaction of architectural, structural and building services elements. To manage this complexity, BIM methods and tools for Facility Management leverage the language of drawing to represent the complexity of data and optimise its management. The analysis of more than three thousand rooms of the Piedmont Region Palace as a case study for this contribution demonstrates how algorithms and automatisms can facilitate the management of large amounts of data to improve the visualisation and interpretation of information. This paper examines the value of graphical interfaces in revealing hidden logics of complexity and transforming them into resources available to users for a new decision support system.

KEYWORDS

sistemi complessi, BIM, algoritmi, visualizzazione dei dati, interfacce grafiche per gli utenti

complex systems, BIM, algorithms, data visualisation, graphical user interfaces

Anna Osello is a Full Professor of Drawing at the Politecnico di Torino (Italy). Her research focuses on BIM and DIM for smart city development. Since 2015, she has coordinated the drawingTOthefuture Laboratory and the VR@polito Laboratory, and she has carried out theoretical and applied research on the topics of BIM and the interoperability of data management software for the digital built environment. E-mail: anna.osello@polito.it

Michele Zucco is a Building Engineer and PhD Candidate in Urban and Regional Development at the Politecnico di Torino (Italy). He carries out research activities at the drawingTOthefuture Laboratory, mainly in the field of Drawing and BIM and methodology applied to Facility Management strategies for Public Administration. E-mail: michele.zucco@polito.it

Emmanuele Iacono is an Architect and PhD Candidate in Civil and Environmental Engineering at the Politecnico di Torino (Italy). He carries out research activities at the drawingTOthefuture Laboratory, focusing mainly on disaster risk assessment and the development of Digital Twin methodologies, integrating GIS, BIM and IoT domains as Advanced Spatial Decision Support Systems. E-mail: emmanuele.iacono@polito.it

Matteo Del Giudice is a Researcher at the Department of Structural, Geotechnical and Construction Engineering at the Politecnico di Torino (Italy). He has been studying and applying BIM methodology since 2009, investigating interoperability issues in real case studies in national and international contexts. E-mail: matteo.delgiudice@polito.it



I sistemi complessi sono un oggetto di studio fondamentale nelle scienze moderne, rappresentando un paradigma che cerca di comprendere come molteplici elementi interagenti possano generare comportamenti globali non prevedibili dalle proprietà dei singoli componenti. Prima di avviare la trattazione è fondamentale discernere tra 'complesso' e 'complicato': il primo, dal latino 'cum + plectere' (intrecciato insieme), indica una struttura la cui proprietà non derivano dalle singole parti, mentre il secondo, dal latino 'cum + plicare' (piegato insieme), si riferisce a sistemi che possono essere compresi analizzando le parti separatamente. Mentre un sistema complicato può essere 'spiegato' scomponendolo, un sistema complesso richiede un approccio olistico per la comprensione totale (Gentili, 2021). La teoria generale dei sistemi considera un sistema come un'entità che può avere natura fisica o astratta, delimitata da un confine che regola le interazioni tra elementi interni ed esterni, contrastando la visione di un insieme caotico di elementi isolati e proponendo un modello di interconnessione tra le parti (von Bertalanffy von, 1969; Fig. 1).

In sintesi un sistema complicato, seppur composto da molteplici componenti, può essere decomposto in sottoparti analizzabili separatamente; mentre un sistema complesso caratterizzato dall'emergenza – intesa come proprietà di 'e-mergere' a livello macroscopico – non può essere compreso semplicemente studiando le singole parti che lo compongono (De Santis, 2016; Morin, 2001). La comprensione di un sistema complesso esige l'analisi delle interazioni tra i suoi elementi e dei pattern emergenti, piuttosto che una mera scomposizione; in tal senso la teoria di Birkhoff (1933) rivela l'importanza di un equilibrio tra ordine e complessità, affermando che la gradevolezza percepita è massima quando l'ordine – definito da semplicità, simmetria ed equilibrio – prevale sulla complessità, generando un 'oggetto' di elevata bellezza estetica.

Il presente contributo persegue una duplice finalità: da un lato intende definire e riconoscere il sistema edificio come complesso, evidenziando l'importanza di un approccio olistico, dall'altro mostra come tale approccio, applicato a un caso studio reale attraverso algoritmi e interfacce grafiche, sveli le logiche intrinseche e nascoste del manufatto, permettendo una gestione e visualizzazione più efficace della sua complessità. Il caso studio in esame è il Palazzo Unico della Regione Piemonte (PURP), parte del progetto di ricerca finanziato da CSI Piemonte dal titolo 'Identificazione di strumenti e metodi innovativi per la manutenzione del patrimonio edilizio'. Per raggiungere gli obiettivi prefissati, il contributo adotta una struttura progressiva che accompagna dal quadro teorico alle applicazioni pratiche, illustrando come i concetti di complessità si traducano in strumenti concreti per la gestione edilizia.

A partire dall'introduzione teorica si dimostra come l'edificio sia un sistema complesso, sottolineando l'esigenza di un linguaggio grafico capace di decifrare le relazioni indirette per renderlo comprensibile e misurabile. Si delinea un flusso metodologico in tre fasi – analisi, decodifica e sintesi – che illustra l'uso di strumenti come il Visual Programming Language (VPL) per gestire tale complessità attraverso modelli informativi che esplorano le potenzialità del disegno come linguaggio tecnico-percettivo. Inoltre si sviluppano algoritmi e cruscotti interattivi per facilitare la comprensione visiva

delle dinamiche, concludendo con una riflessione sui limiti e le sfide dell'approccio proposto.

L'edificio come sistema complesso: stato dell'arte e linguaggi grafici

Nell'ambito della progettazione e della gestione degli edifici, il riconoscimento dell'edificio come sistema complesso solleva importanti interrogativi riguardo ai metodi di analisi e gestione; nella teoria dei sistemi complessi si evidenziano due approcci distintivi: il riduzionismo e l'olismo. Mentre il primo considera il mondo come una macchina composta da parti governate dal nesso causa-effetto, il secondo concepisce la realtà come sistema dinamico e integrato che supera la semplice somma delle parti valorizzando le proprietà emergenti dalle interazioni (Capra and Luisi, 2015). La visione olistica sostenuta dal pensiero sistemico enfatizza l'importanza di comprendere le relazioni globali e interne per affrontare adeguatamente la complessità dei sistemi; questi paradigmi riflettono visioni divergenti della realtà e influenzano profondamente le modalità con cui i sistemi vengono studiati e interpretati.

I sistemi complessi presentano caratteristiche e comportamenti che non possono essere adeguatamente compresi tramite un'unica prospettiva essendo caratterizzati da fenomeni come l'emergenza, la totalità, la non-linearità, l'interdipendenza, l'equifinalità e la retroazione (Capra and Luisi, 2015; Pantazis and Gerber, 2019). L'emergenza si riflette ad esempio nelle caratteristiche nuove e imprevedibili che emergono dall'interazione tra le parti, mentre la totalità implica che il sistema deve essere compreso come un tutto integrato e non solo come la somma delle sue parti: tali proprietà denotano che le dinamiche interne e le interazioni tra le parti possono generare comportamenti e caratteristiche del sistema che non sono evidenti analizzando isolatamente i singoli elementi.

La comprensione della complessità emerge come un tema centrale sia nell'architettura e nell'ingegneria, dove le dinamiche spaziali e funzionali richiedono un'attenta analisi metodica, sia nell'esplorazione artistica di Mondrian e del movimento De Stijl, che affrontano la sfida di rappresentare e interpretare la complessità della realtà attraverso un processo di progressiva astrazione e semplificazione formale (Russell, 2018). Dal momento che la capacità umana di generare informazioni eccede l'abilità di comprenderle pienamente, la metafora dell'albero – storicamente adottata per rappresentare la complessità della conoscenza e la ramificazione dei saperi (Fig. 2) – diviene disegno dello sforzo di decodificazione e organizzazione delle informazioni.

Attraverso la sua serie di opere sugli alberi Mondrian intraprende un percorso di progressiva astrazione volto a decodificare la complessità: partendo da una rappresentazione tradizionale della realtà, egli destruttura l'albero, allontanandosi progressivamente dalla dimensione fenomenica per esplorarne le forme essenziali (Holtzman and James, 1987). In 'Avond; De rode boom' (Fig. 3) permane un legame con la natura con forme e colori riconoscibili; mentre in 'Study for Blue Apple Tree' (Fig. 4) comprime la forma dissolvendo lo sfondo e con 'Horizontal Tree' (Fig. 5) adotta un reticolo cubista che riduce il legame con la realtà fenomenica pur conservando una traccia di oggettività; l'intera complessità della forma naturale giunge all'astrazione nel 'Bloeiende appelboom' (Fig. 6) dove la forma

naturale viene dissolta in piani e geometrie che dissolvono il riferimento spaziale originario (van Haaf ten, 2003).

Mondrian indaga la complessità intrinseca delle forme naturali scomponendole in linee, piani e colori essenziali (Fig. 7), sfidando le convenzioni tradizionali e riducendola a un ordine geometrico puro, senza perderne l'essenza. Negli ultimi anni adotta un linguaggio visivo caratterizzato da un reticolo rigoroso di linee e colori per decifrare la complessità urbana di New York (Fig. 8), creando una sintesi schematica che riflette il dinamismo della città (Bois, 1988). Similmente Theo van Doesburg, seguendo i principi del De Stijl, impiega proiezioni ortogonali e assonometrie (Fig. 9) per disarticolare l'architettura in elementi geometrici, mantenendo coerenza visiva e traducendo la complessità in forme geometriche rigorose che ne facilitano la comprensione (Jaffe, 1989).

Parallelamente nel settore edilizio affrontare e gestire la complessità dei sistemi con relazioni multiple e non lineari richiede strumenti, metodi e linguaggi capaci di tradurre l'analisi logica e critica delle funzioni d'uso degli edifici in diagrammi geometrici univoci di facile lettura (Cavallari-Murat, 1982); i grafi di Eulero, composti da nodi e archi, offrono un metodo efficace per visualizzare la complessità degli ambienti antropizzati (Delucchi, Gaiffi and Perna, 2012). Tale configurazione consente di mappare le interrelazioni all'interno di un sistema complesso, facilitando la rappresentazione delle reti di connessioni in modo visivamente accessibile e logicamente coerente.

Per costruire un tale schema è essenziale condurre un'indagine scientifica delle correlazioni tra gli elementi del sistema al fine di sviluppare soluzioni matematicamente coerenti e minimamente soggette a errori (Novello, 2012); la complessità del sistema edilizio può essere rappresentata mediante schemi funzionali distributivi, come quelli sviluppati per la Villa Sarego (Fig. 10), che forniscono un quadro comparativo dettagliato e permettono, al contempo, di identificare e analizzare gli elementi strutturali dell'architettura, quali varianti, invariati, relazioni e ricorrenze. Tali rappresentazioni migliorano la valutazione della qualità e della funzionalità degli edifici, ottimizzando i processi progettuali.

Nell'ambito della gestione degli edifici l'integrazione tra strumenti come i modelli informativi, VPL e Facility Management (FM) rappresenta una svolta cruciale poiché ottimizza la gestione multiscalare e multidimensionale degli asset immobiliari, migliorando visualizzazione e controllo (Fatta, 2020). Tuttavia la gestione di sistemi complessi richiede un approccio metodologico sistemico e una sinergia tra innovazioni di processo e tecnologie abilitanti (Lauria, and Azzalin, 2020), per evitare criticità che potrebbero compromettere la qualità complessiva (Giallocosta, 2019). Tra le tecnologie più innovative vi è il concetto di Digital Twin (Grieves, 2014) che collega mondo fisico e virtuale tramite sensori, migliorando il flusso di dati e la gestione predittiva degli edifici (Dejaco et alii, 2022). Sebbene l'uso del Building Information Modeling (BIM) presenti criticità nella frammentazione dei dati, standard OpenBIM e l'integrazione in tempo reale possono superare tali ostacoli; sfruttare un approccio modulare dovrebbe anche semplificare la gestione della complessità architettonica (Manni and Valzano, 2023).

Sia nel contesto scientifico che artistico emerge il tentativo di rendere intellegibile la complessità

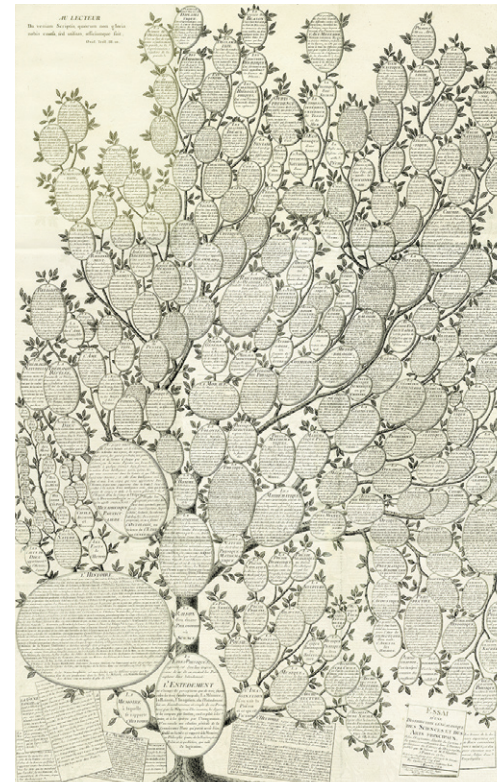
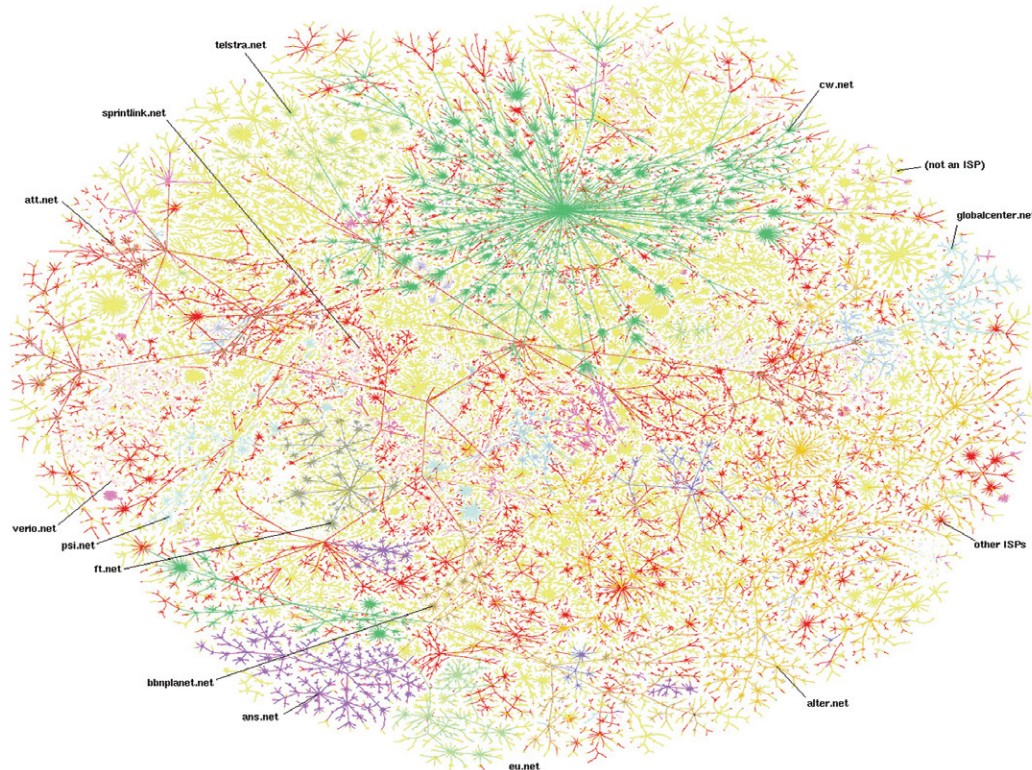


Fig. 1 | Complex system: 1999 Internet map (credit: B. Cheswick, 1999).

Fig. 2 | 'Essai d'une distribution généalogique des sciences et des arts principaux' (credit: Diderot and d'Alembert, 1751).

Tab. 1 | Properties of complex systems: definitions and examples for the building system (credit: The Authors, 2024).

Properties of Complex Systems	Description	Examples in the Building
Emergence	Property for which new and unpredictable features emerge from the interaction of constituent parts	Energy efficiency and occupant comfort result from synergistic interactions among various elements (thermal insulation, heating systems, passive design)
Totality	A system cannot be understood through the analysis of its individual components alone	A building is a unique and integrated environment in which each component (walls, systems, spaces) contributes to the overall functioning, going beyond the simple sum of its parts
Non-linearity	The relationships between components do not follow direct proportionality; small changes can have significant effects	Improving thermal insulation can reduce energy costs and improve comfort, but it could also negatively affect other factors (such as natural ventilation)
Interdependence	Each component interacts with the others, contributing to the overall behaviour of the system	The configuration of interior spaces affects energy distribution; the choice of materials affects acoustic and thermal properties
Equifinality	Different paths can lead to the same end result; the same state can be achieved in different ways	A comfortable indoor environment can be achieved with either materials with high thermal inertia or an advanced air conditioning system, demonstrating that various approaches can achieve the same goal
Feedback	Feature in which the behaviour of the system affects its components, which in turn change the overall behaviour	Heating and cooling systems regulate indoor temperature based on outdoor conditions, creating a feedback loop; material wear and tear depends on occupants' use of spaces

attraverso la scomposizione e reinterpretazione, utilizzando linguaggi diversi; essa deve essere affrontata simultaneamente sviluppando un linguaggio che permetta di scomporre e analizzare il sistema in componenti elementari (approccio riduzionistico) e interpretando il comportamento del sistema nella sua totalità (approccio olistico): questa strategia combina analisi dettagliate e comprensione globale valorizzando una valutazione completa delle dinamiche del sistema edilizio.

È evidente che in questo scenario un edificio può essere considerato un sistema complesso, poiché non rappresenta una semplice sommatoria di spazi, elementi tecnici, materiali e impianti, ma al contrario un insieme integrato in cui ogni componente interagisce con le altre determinando il comportamento globale del 'sistema edificio'. La complessità di tale sistema si manifesta attraverso le stesse proprietà tipiche dei sistemi complessi (Pantazis and Gerber, 2019; Manni and Valzano, 2023);

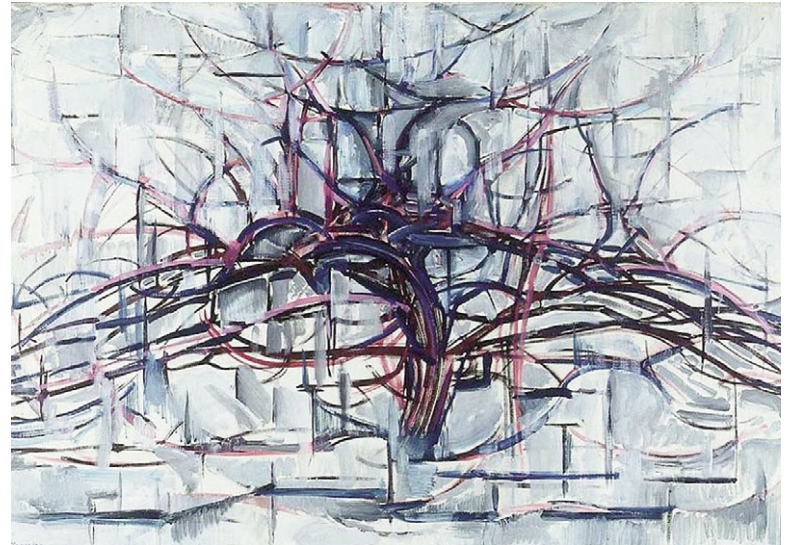
a tal proposito, la Tabella 1 rimanda a una panoramica dettagliata delle proprietà con le relative descrizioni ed esempi.

Metodologia e fasi della ricerca | L'approccio metodologico adottato ricostruisce il flusso procedurale per la gestione del Patrimonio costruito, mediante un diagramma ad albero che illustra il processo decisionale informativo (Fig. 11); tale schema inizia dalla definizione del quadro esigenziale, comprendente le esigenze dell'utente, le condizioni del manufatto e le variabili coinvolte articolandosi in tre fasi: analisi, decodifica e sintesi.

La fase di analisi si concentra sulla comprensione globale del manufatto attraverso diverse attività di raccolta dati, quali l'osservazione percettiva, il rilievo geometrico e lo studio analitico della documentazione tecnica disponibile; a tale scopo risulta necessario un modello informativo basato sul BIM per integrare una vasta gamma di dati sia statici che dinamici (Grieves, 2014). Questa prima organizzazione consente di ottenere una rappresentazione digitale coerente ed efficace, fungendo da piattaforma di riferimento per l'aggregazione e l'analisi di dati provenienti da diverse fonti (ad esempio sensori IoT, scansioni laser e fotogrammetria) e dati spaziali e non spaziali. Tale approccio me-



Figg. 3, 4 | 'Avond; De rode boom' (1908-1910) and 'Study for Blue Apple Tree Series' (1909) by Piet Mondrian (credits: Kunstmuseum Den Haag, The Hague).



Figg. 5, 6 | 'Horizontal Tree' (1911) and 'Bloeende appelboom' (1912) by Piet Mondrian (credits: Munson-Williams-Proctor Arts Institute, Utica; Kunstmuseum Den Haag, The Hague).

toadologico non solo gestisce la complessità delle informazioni stabilendo le correlazioni necessarie per comprendere le relazioni tra i singoli componenti e l'intero manufatto (Buratti, Conte and Rossi, 2022), ma riflette il paradigma della complessità descritto da Morin (1993), in quanto l'interconnessione tra le parti e l'insieme è cruciale per una comprensione olistica del sistema.

La fase di decodifica si basa sulla manipolazione e ottimizzazione dei dati precedentemente raccolti utilizzando le potenzialità parametriche del modello BIM. L'informazione storicizzata nel modello deve essere ulteriormente elaborata per supportare le attività collaborative tipiche della fase di gestione: grazie alla teoria del Computational Thinking logiche operative basate sul pensiero computazionale ottimizzano l'uso del modello BIM nella gestione e la manutenzione (Mariani, 2020). Strumenti basati sul VPL eseguono processi automatici per la rappresentazione dell'informazione attraverso interfacce grafiche interattive. Algoritmi per identificare le logiche più efficaci nell'impiego dei modelli informativi riflettono i principi della teoria generale dei sistemi e li applicano al Patrimonio costruito, enfatizzando l'importanza dell'interrelazione e della gerarchizzazione tra sottosistemi per una gestione efficace.

La fase di sintesi usa i risultati generati dagli algoritmi precedenti e sulle logiche identificate per esplorare ulteriormente le potenzialità del modello BIM. Sviluppando interfacce grafiche personalizzate tramite strumenti di Business Intelligence (BI) è possibile visualizzare i dati complessi in modo sistematico ottimizzando così la velocità e l'efficienza delle decisioni dei vari attori coinvolti (Deutsch, 2015; Osello et alii, 2024). Questa fase può essere supportata dall'impiego di tecnologie di realtà estesa (XR) che migliorano l'interazione dell'utente consentendo una gestione più efficace delle attività manutentive e aumentando la consapevolezza degli operatori coinvolti (Zucco, Del Giudice and Osello, 2024).

Il processo descritto culmina con l'azione da parte dell'utente che sfrutta il modello BIM computazionale per definire la strategia manutentiva ottimale, tuttavia la crescente complessità dei dati richiede un approccio metodologico utile a estrarre informazioni utili alla gestione a lungo termine dell'edificio, il che implica la capacità intrinseca dell'utente di identificare correlazioni tra variabili eterogenee e di creare nuove conoscenze tramite modelli predittivi avanzati.

L'approccio descritto è applicato al caso di studio del PURP (Fig. 12) che integra metodologie BIM

e tecniche di visualizzazione per le attività di FM, costituendo una prima risposta alle sfide contemporanee della gestione del Patrimonio costruito e promuovendo una maggiore efficienza, trasparenza e sostenibilità nel processo decisionale informativo.

Gli algoritmi | Le possibilità date dall'utilizzo di strumenti VPL, i quali consentono di strutturare automatismi non già predisposti tra le funzionalità base del software, fanno sì che la complessità intrinseca di un edificio possa essere facilmente decodificata. La costruzione di algoritmi strutturati sotto forma di grafi fatti di nodi e connessioni che divengono essi stessi sorte di alberi, diramazioni di logiche elementari assemblate a costituire nuove personalizzate funzionalità, diviene così la modalità attraverso la quale la comprensione e la conoscenza degli articolati aspetti di un edificio modellato divengono possibili.

In modo particolare si è voluto esplorare tali possibilità attraverso lo sviluppo di due differenti algoritmi, realizzati all'interno dell'applicativo Dynamo for Autodesk Revit, con l'obiettivo di studiare alcuni aspetti del presente caso studio tramite due diverse modalità di astrazione del sistema architettonico.

In primo luogo si è messa alla prova la possibilità di estrapolare l'organizzazione spaziale-fun-

zionale dell'edificio esplorando le potenzialità dei summenzionati schemi funzionali-distributivi (Cavallari-Murat, 1982; Novello, 2012) come strumento di rappresentazione grafica della stessa. Ciascun nodo del grafo rappresenta una funzione specifica, raffigurata come un cerchio la cui area è proporzionale alla superficie ad essa assegnata e le connessioni tra i diversi nodi indicano le possibili relazioni spaziali e modalità di comunicazione tra le varie funzioni. La lettura di una tale schematizzazione degli spazi dell'edificio consente dunque di cogliere, in modo immediato e sintetico, la struttura spaziale-funzionale dell'edificio, facilitandone la comprensione sia per il professionista che per l'utente finale.

L'algoritmo sviluppato a tale scopo permette all'utente di effettuare una scelta iniziale, tramite la quale sarà generato il diagramma per il livello dell'edificio desiderato; da esso, attraverso un'operazione di filtraggio degli elementi presenti all'interno dell'intero modello, selezionati prima per livello e poi per categoria, sono estratti gli elementi necessari per l'analisi spaziale, ovvero locali e porte. Dei primi viene letta la destinazione d'uso assegnata, la quale determinerà una specifica codifica cromatica nel diagramma, la superficie, utilizzata per proporzionare il relativo cerchio, nonché la sua posizione nello spazio, sotto forma di centroide del poligono costituente il perimetro dello stesso.

Allo stesso modo sono letti gli elementi identificati come porte, i quali sono utilizzati per ricostruire le relazioni tra gli spazi che esse mettono in comunicazione; tali relazioni sono computate attraverso una serie di operazioni, parzialmente elaborate anche tramite lo sviluppo di script ad hoc in linguaggio Python, che in primis stabiliscono una comunicazione con la Revit API (interfaccia di programmazione del software) così da poter estrarre, da ciascun oggetto, il parametro relativo ai punti di accesso (da locale / a locale); in seguito utilizzano tale informazione per determinare l'esistenza di un collegamento tra due locali separati da una di tali porte, quindi grazie agli identificativi presenti per ciascun locale, è possibile materializzare un albero di relazioni tra i locali dell'edificio, piano per piano, e visualizzare tali relazioni all'interno del suddetto diagramma (Fig. 13).

La seconda esplorazione delle possibilità della programmazione visuale finalizzata alla comprensione della complessità dell'edificio è stata orientata alla costruzione di un automatismo che per-

mettesse, a seguito di una ricostruzione volumetrica di tutti gli spazi dell'edificio, di effettuare una verifica speditiva del modello, definendo una codifica grafica con la quale mappare determinate proprietà dei locali, utile successivamente a effettuare una lettura visiva dei valori e individuare potenziali anomalie.

L'algoritmo strutturato a tale scopo raccoglie i dati relativi ai locali presenti all'interno di ciascun livello del modello e ne estrapola perimetro e altezza, per ricostruirne tridimensionalmente la geometria (poiché i locali, all'interno del software, risultano essere entità astratte, descritte spazialmente soltanto dai componenti edilizi che le delimitano), nonché parametri utili alla verifica grafica di cui sopra, tra cui tipo e categoria funzionale. Dopo una preliminare operazione di ricostruzione volumetrica – basata sull'elaborazione dei perimetri appartenenti a ciascun locale, l'estrusione indipendente di ognuno di essi e la successiva sottrazione booleana dei solidi interni da quello esterno (così da poter gestire casi limite di presenza di vuoti o di locali nidificati) – una mappatura cromatica dei locali viene applicata a ciascuno di essi in base alla selezione, da parte dell'utente, del parametro del quale visualizzare l'output grafico.

Il risultato è un modello volumetrico che può divenire allo stesso tempo punto di arrivo dell'analisi o principio di verifiche più dettagliate (Fig. 14). In particolare, grazie alla quantità di dati raccolti sull'edificio, all'interno del medesimo algoritmo è possibile predisporre grafici, i quali elaborano dati direttamente estratti dalle proprietà associate a ogni locale, per una visione d'insieme di quanto modellato e compilato; essi possono essere un primo passo verso la definizione di interfacce grafiche orientate alla comprensione della complessità dell'edificio.

Visualizzazione del sistema edificio | La visualizzazione delle informazioni riveste un ruolo fondamentale, in particolare quando si tratta di gestire un sistema complesso come un edificio. La capacità di rappresentare visivamente dati rilevanti non solo facilita la comprensione delle dinamiche e delle interazioni tra gli elementi strutturali e funzionali dell'edificio, ma contribuisce anche a migliorare il processo decisionale attraverso un'esperienza interattiva e intuitiva. È essenziale, dunque, che la progettazione dell'interfaccia grafica segua un approccio

sistematico e ragionato, adottando soluzioni visive che garantiscano chiarezza, accessibilità e gestione efficace delle informazioni (Conato and Frighi, 2020).

Esempio di tale approccio è il cruscotto interattivo sviluppato tramite applicazioni di BI (Fig. 15): questa interfaccia grafica permette una visualizzazione chiara e ordinata delle informazioni attraverso diversi diagrammi e selettori che consentono di filtrare i dati secondo criteri specifici, come le categorie dei locali e i livelli dell'edificio. L'uso di grafici a barre, diagrammi a torta, chord diagram e indici di performance (KPI) consente di rendere la complessità del sistema edilizio una risorsa visibile, gestibile e comprensibile. In particolare, elementi chiave come i KPI e i chord diagram evidenziano le relazioni tra le categorie di spazi e le funzioni, facilitando l'analisi delle interconnessioni critiche all'interno dell'asset.

Gli strumenti descritti, offrendo un'elevata interattività, consentono la manipolazione e l'interrogazione semi-automatica dei dati, ottimizzando l'efficienza del processo decisionale per le operazioni di FM (Halmetoja and Forns-Samso, 2020).

Riflessioni conclusive: trasferibilità, limiti e sviluppi futuri

La visione proposta dal contributo, che combina approcci riduzionistici e olistici per affrontare la complessità del Patrimonio costruito, permette di svelare e gestire le logiche nascoste nel sistema edilizio, attraverso strumenti di visualizzazione avanzati e una progettazione sistemica. L'adozione di algoritmi e modelli BIM, combinati con i principi del Computational Thinking, consente di decodificare e visualizzare la complessità delle relazioni tra gli elementi dell'edificio: il risultato è una rappresentazione ottimizzata per il FM che riduce la complessità operativa proponendosi come uno strumento scalabile e affidabile per il supporto alle decisioni. Il processo presentato, inteso come flusso metodologico, è trasferibile in altri settori affini che similmente richiedono lo sviluppo di modelli digitali complessi finalizzati alla gestione di asset. Ciò che potrebbe differire è tuttavia la concreta implementazione dell'algoritmo proposto, rispetto alle caratteristiche del contenitore informativo, alle specifiche esigenze dell'utilizzatore e ai requisiti informativi propri del settore d'intesse.

Malgrado l'evidente rilevanza degli approcci sistemici per affrontare la complessità intrinseca dei

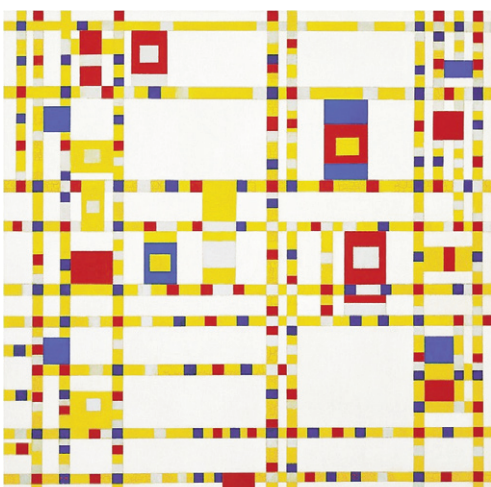


Fig. 7 | 'Tableau I' (1921) by Piet Mondrian (credit: Kunstmuseum Den Haag, The Hague).

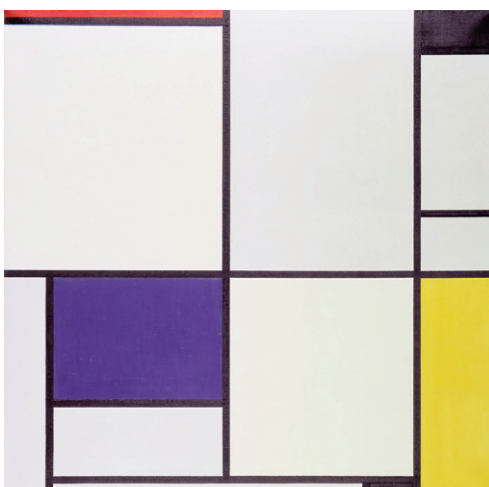


Fig. 8 | 'Broadway Boogie Woogie' (1943) by Piet Mondrian (credit: MoMA, New York).

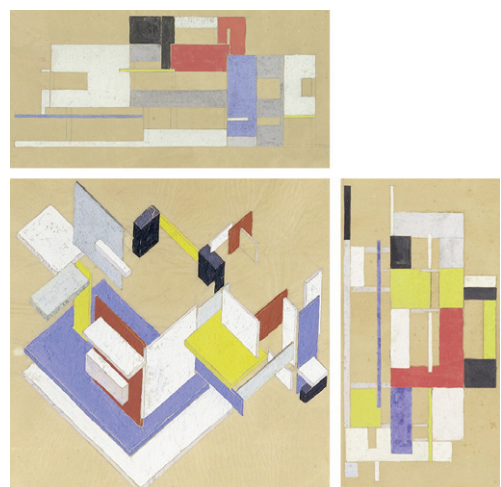


Fig. 9 | 'Composition with Maison Particulière' by Theo van Doesburg' (credit: The Authors, 2024).

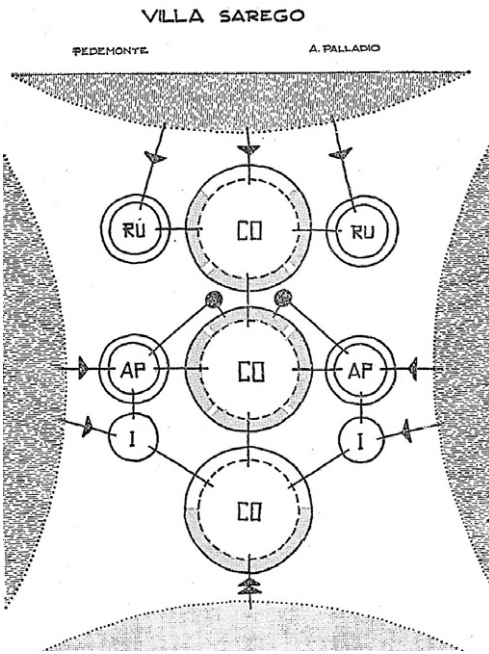


Fig. 10 | Functional urban plan of the complex Villa Sarego in Pedemonte by Andrea Palladio, designed by Augusto Cavallari-Murat (source: Cavallari-Murat, 1982).

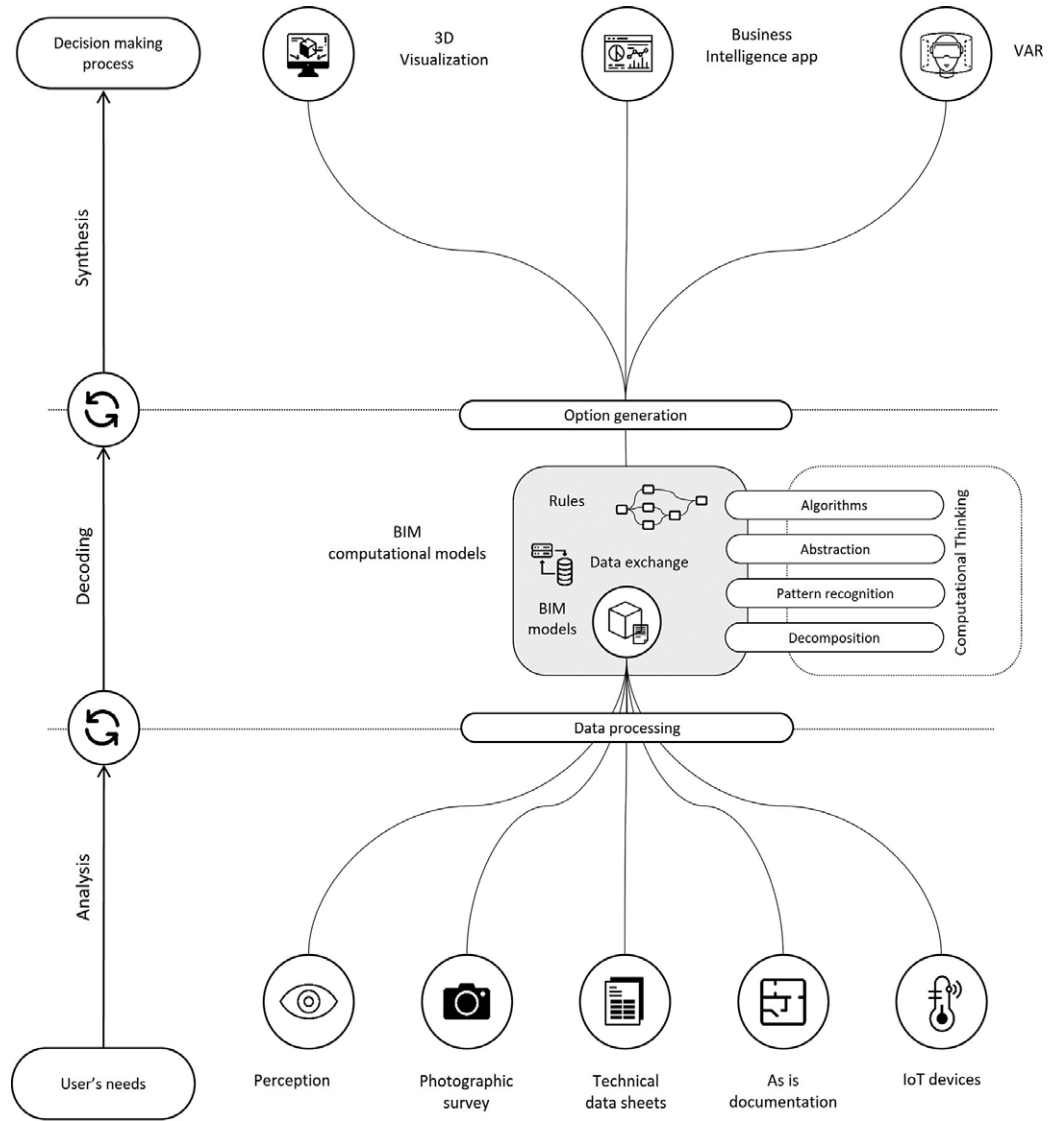


Fig. 11 | Methodological outline (credit: The Authors, 2024).

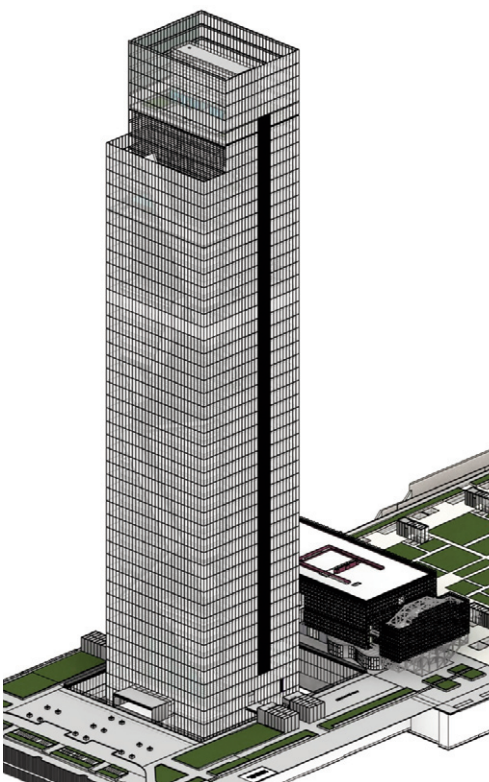


Fig. 12 | BIM model of the case study: Palazzo Unico della Regione Piemonte (credit: The Authors, 2024).

sistemi edilizi (Lauria and Azzalin, 2020; Giallocosta, 2019; Fatta, 2020), l'approccio proposto evidenzia limiti e criticità di natura epistemologica, applicativa e sociale. La concezione dell'edificio come sistema complesso richiede una comprensione olistica delle interazioni tra i suoi molteplici elementi, comportando l'adozione di un linguaggio grafico innovativo. Tuttavia, sebbene teoricamente promettente, nella pratica si dimostra di difficile attuazione, poiché la traduzione delle dinamiche complesse in schemi visivi può condurre a una semplificazione eccessiva, compromettendo la ricchezza delle informazioni necessarie per una gestione ottimale.

Parallelamente, l'impiego di modelli informativi e dei relativi dati offre vantaggi in termini di visualizzazione e analisi ma richiede l'adozione di strumenti e competenze tecniche avanzate, rappresentando un ostacolo significativo per molte organizzazioni pubbliche, caratterizzate da risorse limitate e formazione insufficiente. Infine la crescente dipendenza dagli automatismi tecnologici rischia di relegare in secondo piano la valutazione qualitativa, essenziale per cogliere le peculiarità di ciascun edificio, che sfugge a un'analisi meramente quantitativa ma vitale per una gestione efficace della complessità architettonica e funzionale.

Tra gli impatti auspicati nel presente studio l'approccio all'edificio inteso come sistema complesso e integrato permette, attraverso la visualizzazione interattiva e intuitiva dei dati complessi, anche a utenti

non esperti come i decisori pubblici e privati di accedere a dati e comprendere le informazioni sulla gestione degli edifici, migliorando il processo decisionale. Sviluppi futuri potrebbero orientarsi verso l'integrazione tra strumenti di FM e tecnologie emergenti (Intelligenza Artificiale e Machine Learning) per abilitare analisi predittive sempre più accurate, migliorando la gestione delle criticità operative. Analogamente l'integrazione con sistemi di monitoraggio in tempo reale tramite sensori e reti IoT permetterebbe la creazione di un Digital Twin, ottimizzando la gestione proattiva delle strutture e favorendo efficienza e sostenibilità (Dejaco et alii, 2022).

È auspicabile che l'innovazione tecnologica rinnovi il settore delle costruzioni accogliendo la transizione digitale come un'opportunità portare a sistema la gestione dei fabbricati adottando tali strumenti per 'dispiegare' e dipanare la complessa rete di interrelazioni del sistema edifico. L'esperienza del PURP testimonia la volontà di una Pubblica Amministrazione di raccogliere questa sfida proponendosi come esempio d'avanguardia sul territorio nazionale.

Complex systems are a fundamental object of study in modern science, representing a paradigm that seeks to understand how multiple interacting elements can generate global behaviour that cannot

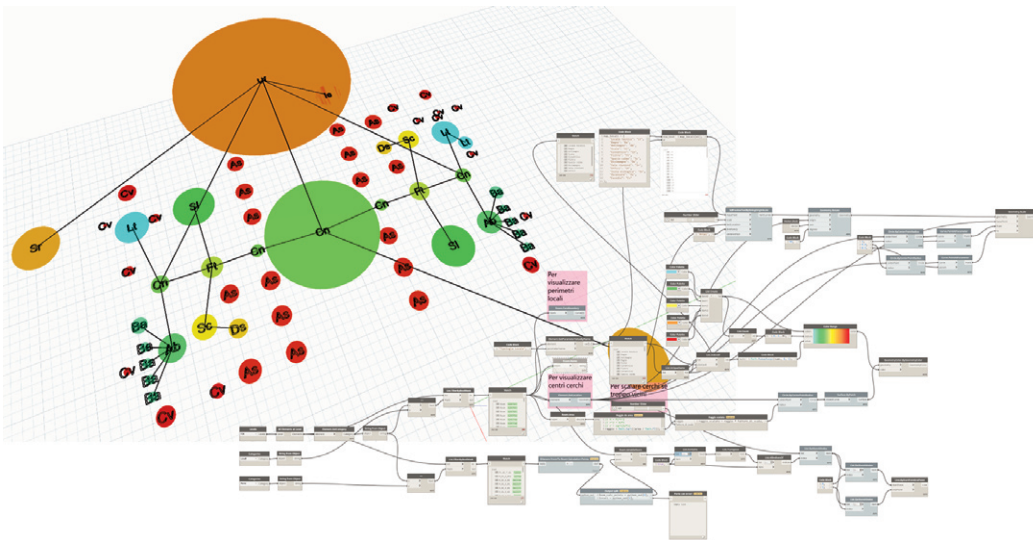
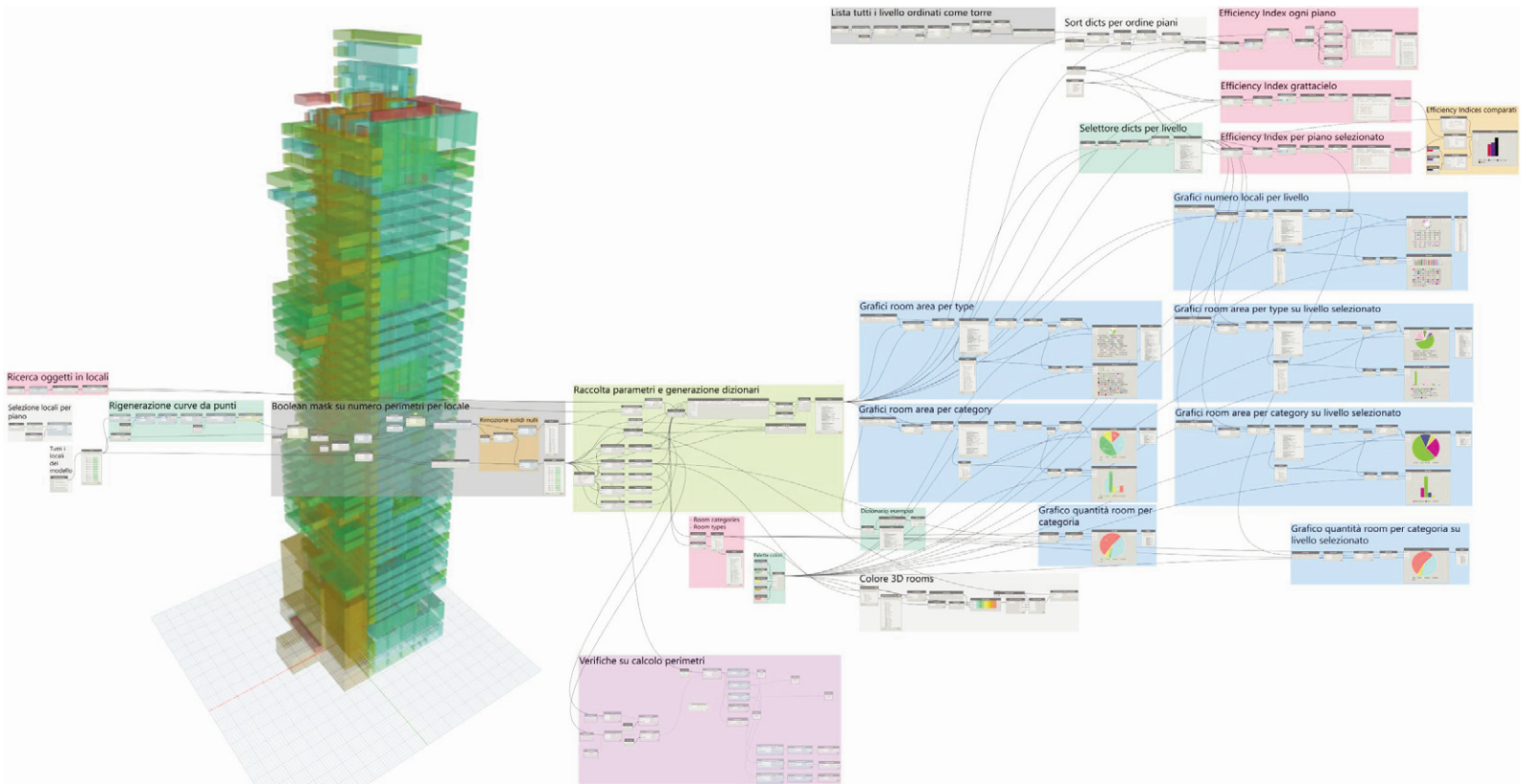


Fig. 13 | Algorithm for generating functional distribution diagrams and their graphical restitution (credit: The Authors, 2024).

Fig. 14 | Algorithm for room generation and its graphical restitution (credit: The Authors, 2024).

Next page

Fig. 15 | Usage diagram of the proposed user-based application (credit: The Authors, 2024).

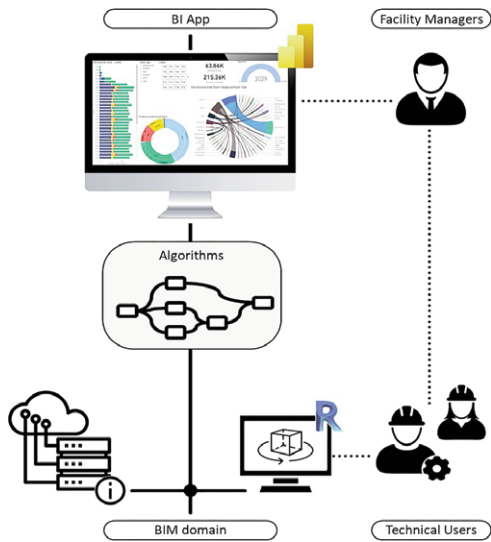


be predicted based on the properties of individual components. It is essential to discern between ‘complex’ and ‘complicated’ before commencing: the former, from the Latin ‘cum + plectere’ (woven together), indicates a structure whose properties are not derived from its individual parts, while the latter, from the Latin ‘cum + plicare’ (folded together), refers to systems that can be understood by analysing the parts separately. While a complicated system can be ‘unfolded’ and thus explained by breaking it down, a complex system requires a holistic approach for total understanding (Gentili, 2021). General systems theory views a system as an entity that can be physical or abstract, defined by a boundary that regulates the interactions between internal and external elements. This contrasts with the view of a chaotic collection of isolated elements and proposes a model of interconnectedness between the parts (von Bertalanffy von, 1969; Fig. 1).

In summary, a complicated system, even if comprising multiple components, can be decomposed into sub-parts that can be analysed separately. On the other hand, a complex system is characterised by emergence – understood as the property of ‘emerging’ at the macroscopic level – and cannot be understood simply by studying its individual parts (De Santis, 2016; Morin, 2001). The understanding of a complex system requires the analysis of the interactions between its elements and emerging patterns, rather than mere decomposition; in this sense, Birkhoff’s theory (1933) reveals the importance of a balance between order and complexity, stating that perceived pleasantness is at its maximum when order – defined by simplicity, symmetry and balance – prevails over complexity, generating an ‘object’ of high aesthetic beauty.

This contribution pursues a twofold purpose: on the one hand, it aims to define and recognise the

building system as complex, highlighting the importance of a holistic approach, and on the other hand, it shows how this approach, applied to a concrete case study through algorithms and graphical interfaces, reveals the intrinsic and hidden logic of the building, enabling more effective complexity management and visualisation. The case study under examination is the Palazzo Unico della Regione Piemonte (PURP), part of the CSI Piedmont-funded research project entitled ‘Identificazione di strumenti e metodi innovativi per la manutenzione del patrimonio edilizio’ (lit. ‘Identification of innovative tools and methods for the maintenance of the built heritage’). To achieve these objectives, the contribution adopts a progressive structure that leads from the theoretical framework to practical applications, illustrating how complexity concepts are translated into concrete tools for building management. The theoretical introduction shows how the building is a complex sys-



tem, emphasising the need for a graphic language capable of deciphering the indirect relationships to make it comprehensible and measurable. A three-stage methodological flow – analysis, decoding and synthesis – is outlined, illustrating the use of tools such as Visual Programming Language (VPL) to manage such complexity through information models that explore the potential of drawing as a technical-perceptual language. Furthermore, algorithms and interactive dashboards are developed to facilitate a visual understanding of the dynamics, culminating in a reflection on the limitations and challenges of the proposed approach.

The building as a complex system: state of the art and graphic languages | In the building design and management field, the recognition of the building as a complex system raises important questions regarding methods of analysis and management. Two distinctive approaches stand out in complex systems theory: reductionism and holism. While the former considers the world a machine composed of parts governed by the cause-effect nexus, the latter conceives of reality as a dynamic and integrated system that goes beyond the simple sum of the parts by enhancing the properties emerging from interactions (Capra and Luisi, 2015). The holistic view advocated by systems thinking emphasises the importance of understanding global and internal relationships to address the complexity of systems adequately. These paradigms reflect divergent views of reality and profoundly influence how systems are studied and interpreted.

Complex systems exhibit characteristics and behaviours that cannot be adequately understood through a single perspective as they are characterised by phenomena such as emergence, totality, non-linearity, interdependence, equifinality and feedback (Capra and Luisi, 2015; Pantazis and Gerber, 2019). Emergence is reflected, for example, in the new and unpredictable characteristics that stem from the interaction between the distinct parts, while wholeness implies that the system must be understood as an integrated whole and not merely as the sum of its parts. Such properties denote that internal dynamics and interactions among the parts can generate non-evident system behaviours and characteristics by analysing individual elements in isolation.

Understanding complexity emerges as a central theme in architecture and engineering, where

spatial and functional dynamics require careful methodical analysis. It is also evident in the artistic exploration of Mondrian and the De Stijl movement, challenged with representing and interpreting reality's complexity through progressive abstraction and formal simplification (Russell, 2018). Since the human capacity to generate information exceeds the ability to comprehend it fully, the metaphor of the tree – historically adopted to represent the complexity of knowledge and the branching of knowledge (Fig. 2) – becomes the graphic representation of the effort to decode and organise information. Through his series of works on trees, Mondrian embarks on a path of progressive abstraction aimed at decoding complexity: starting from a traditional representation of reality, he deconstructs the tree, progressively moving away from the phenomenal dimension to explore its essential forms (Holtzman and James, 1987). 'Avond; The Red Tree' (Fig. 3) shows a connection to nature through recognisable shapes and colours; whereas in 'Study for Blue Apple Tree' (Fig. 4), the shape is compressed by dissolving the background. With 'Horizontal Tree' (Fig. 5), the artist adopts a cubist grid that reduces the link with phenomenal reality while retaining a trace of objectivity. The entire complexity of the natural form reaches abstraction in 'Bloeiende appelboom' (Fig. 6), where the natural form is dissolved into planes and geometries that dissolve the original spatial reference (van Haafte, 2003).

Mondrian investigates the intrinsic complexity of natural forms by breaking them down into essential lines, planes and colours (Fig. 7), defying traditional conventions and reducing them to pure geometric order, without losing their essence. In recent years, Mondrian has adopted a visual language characterised by a strict grid of lines and colours to decipher the urban complexity of New York (Fig. 8), creating a schematic synthesis that reflects the city's dynamism (Bois, 1988). Similarly, Theo van Doesburg, following the principles of De Stijl, employs orthogonal projections and axonometries (Fig. 9) to disarticulate architecture into geometric elements, maintaining visual coherence and translating complexity into rigorous geometric forms that facilitate understanding (Jaffe, 1989).

At the same time, in the building sector, dealing with and managing the complexity of systems with multiple and non-linear relationships requires tools, methods and languages capable of translating the logical and critical analysis of building use functions into unambiguous geometric diagrams that are easy to read (Cavallari-Murat, 1982). Euler graphs, composed of nodes and arcs, offer an effective method for visualising the complexity of man-made environments (Delucchi, Gaiffi and Pemazza, 2012). Such a configuration makes it possible to map the interrelationships within a complex system, facilitating the representation of network connections in a visually accessible and logically coherent manner.

To construct such a scheme, it is essential to conduct a scientific investigation of the correlations between the elements of the system to develop mathematically consistent and minimally error-prone solutions (Novello, 2012). The complexity of the building system can be represented through functional distribution schemes, such as those developed for the Villa Sarego (Fig. 10), which provide a detailed comparative picture and, at the same time, make it possible to identify and analyse the structural elements of architecture, such as variants, invariants, relation-

ships and recurrences. Similar representations improve the assessment of the quality and functionality of buildings, optimising design processes.

In building management, the integration of tools such as information models, VPL and Facility Management (FM) represents a fundamental breakthrough as they optimise the multi-scalar and multi-dimensional management of real estate assets, improving visualisation and control (Fatta, 2020). However, managing complex systems requires a systemic methodological approach and a synergy between process innovations and enabling technologies (Lauria and Azzalin, 2020) to avoid critical issues that could compromise the overall quality (Giallocosta, 2019). Among the most innovative technologies is the Digital Twin concept (Grieves, 2014), which links the physical and virtual worlds via sensors, improving data flow and predictive management of buildings (Dejaco et alii, 2022). Although the use of Building Information Modeling (BIM) presents critical issues in data fragmentation, these can be overcome through OpenBIM standards and real-time integration. Using a modular approach should also simplify the management of architectural complexity (Manni and Valzano, 2023).

In both scientific and artistic contexts, there is an attempt to understand complexity through decomposition and reinterpretation using different languages. The complexity of the building system must be addressed simultaneously by developing a language that allows the system to be broken down and analysed into elementary components (reductionist approach) and by interpreting the behaviour of the system as a whole (holistic approach). This strategy combines detailed analysis and global understanding by enhancing a comprehensive assessment of building system dynamics.

It is evident that in this scenario, a building can be considered a complex system since it is not a simple sum of spaces, technical elements, materials and installations, but on the contrary an integrated whole in which each component interacts with the others, determining the overall behaviour of the 'building system'. The complexity of such a system manifests itself through the same properties that are typical of complex systems (Pantazis and Gerber, 2019; Manni and Valzano, 2023); in this regard, Table 1 refers to a detailed overview of the properties with descriptions and examples.

Methodology and research stages | The methodological approach adopted reconstructs the procedural flow for managing built heritage through a tree diagram illustrating the information decision-making process (Fig. 11). This approach begins with the definition of the requirements framework, including the user's needs, the conditions of the artefact, and the variables involved. It is divided into three phases: analysis, decoding, and synthesis.

The analysis phase focuses on the global understanding of the artefact through various data collection activities, such as perceptive observation, geometric survey and analytical study of the available technical documentation. This requires a BIM-based information model to integrate a wide range of both static and dynamic data (Grieves, 2014). This first organisation allows for a coherent and effective digital representation, serving as a reference platform for the aggregation and analysis of data from various sources (such as IoT sensors, laser scanning and photogrammetry) and other spatial and non-spatial data. This

methodological approach not only handles the complexity of information by establishing the correlations necessary to understand the relationships between individual components and the entire artefact (Buratti, Conte and Rossi, 2022) but also reflects the complexity paradigm described by Morin (1993), where the interconnection between the parts and the whole is crucial for a holistic understanding of the system.

The decoding phase is based on the manipulation and optimisation of previously collected data using the parametric potential of the BIM model. The information stored in the model must be further processed to support the collaborative activities typical of the management phase. Thanks to Computational Thinking theory, operational logics based on computational thinking optimise the use of the BIM model in management and maintenance (Mariani, 2020). VPL-based tools perform automatic processes for representing information through interactive graphical interfaces. Algorithms to identify the most effective logic in the use of information models reflect the principles of general systems theory and apply them to the built heritage, emphasising the importance of interrelation and hierarchy between subsystems for effective management.

The synthesis phase makes use of the results generated by the previous algorithms and the identified logic to further explore the BIM model's potential. By developing customised graphical interfaces using Business Intelligence (BI) tools, complex data can be visualised systematically, thereby optimising the speed and efficiency of decisions made by the various actors involved (Deutsch, 2015; Osello et alii, 2024). This phase can be supported by the use of extended reality (XR) technologies that improve user interaction by enabling more effective management of maintenance activities and increasing the awareness of the operators involved (Zucco, Del Giudice and Osello, 2024).

The described process culminates with the user taking action using the computational BIM model to define the optimal maintenance strategy; however, the increasing complexity of the data requires a methodological approach to extract useful information for the long-term management of the building, which implies the user's inherent ability to identify correlations between heterogeneous variables and to create new knowledge through advanced predictive models.

The approach described is applied to the PURP case study (Fig. 12) that integrates BIM methodologies and visualisation techniques for FM activities, constituting an initial response to the contemporary challenges of managing the built heritage and promoting greater efficiency, transparency and sustainability in information decision-making.

The algorithms | The possibilities provided by the use of VPL tools, which allow for the structuring of automatism not already included in the basic functionality of the software, mean that the inherent complexity of a building can be easily decoded. The construction of structured algorithms in the form of graphs of nodes and connections that themselves become tree-like, branches of elementary logic assembled to constitute new customised functionalities, thus becoming the mode through which understanding and knowledge of the articulated aspects of a modelled building become possible.

In particular, the aim was to explore these possibilities through the development of two different al-

gorithms, created within the Dynamo for Autodesk Revit software, to study certain aspects of the present case study using two different ways of abstracting the architectural system.

Firstly, the possibility of extrapolating the spatial-functional organisation of the building was tested by exploring the potential of the aforementioned functional-distributive schemes (Cavallari-Murat, 1982; Novello, 2012) as a tool for its graphic representation. Each node of the graph represents a specific function, depicted as a circle whose area is proportional to the area assigned to it. On the other hand, the connections between the different nodes indicate possible spatial relationships and modes of communication between the various functions. By interpreting this schematisation of building spaces, it is possible to immediately and concisely grasp the spatial-functional structure of the building, making it easier for both the professional and the end user to understand.

The algorithm developed for this purpose allows the user to make an initial choice, through which the diagram for the desired building level will be generated. By filtering the elements within the entire model, selected first by level and then by category, it is then possible to extract the elements necessary for spatial analysis, i.e. premises and doors. The assigned use for the former is read and determines a specific colour coding in the diagram, i.e. the surface area, used to proportion the relevant circle, as well as its position in space, in the form of the centroid of the polygon constituting its perimeter.

In the same way, the elements identified as doors are read and used to reconstruct the relationships between the spaces they connect. These relationships are computed through a series of operations, partially elaborated also through the development of ad hoc scripts in the Python language, which first establish communication with the Revit API (software programming interface) to extract, from each object, the parameter related to the access points (from room / to room). This information is then used to determine the existence of a connection between two rooms separated by one of these doors. Thus, thanks to the identifiers present for each room, it is possible to materialise a tree of relationships between the rooms of the building, floor by floor, and visualise these relationships within the aforementioned diagram (Fig. 13).

The second exploration of the possibilities of visual programming, aimed at understanding the building's complexity, focused on creating an automated system. This system would allow for quick verification of the model after a volumetric reconstruction of all the building's spaces, using graphic coding to map specific properties of the rooms and visually interpret values to identify potential anomalies.

The algorithm structured for this purpose collects data on the rooms within each model level. It then extrapolates perimeter and height, to reconstruct their geometry three-dimensionally (since the rooms, within the software, are abstract entities, spatially described only by the building components that delimit them), as well as parameters useful for the graphical verification mentioned above, including type and functional category. Following preliminary volumetric reconstruction – based on the elaboration of the perimeters belonging to each room, the independent extrusion of each of them and the subsequent Boolean subtraction of the internal solids from the external one (to handle borderline cases of the pres-

ence of voids or nested rooms) – a chromatic mapping of the rooms is applied to each of them according to the user's selection of the parameter whose graphic output is to be displayed.

The result is a volumetric model that can become either the endpoint of the analysis or the principle of more detailed verifications (Fig. 14). In particular, thanks to the amount of data collected on the building, the same algorithm can generate charts that process data directly extracted from the properties associated with each room, providing an overview of what has been modelled and compiled. These charts can be a first step toward creating graphical interfaces aimed at understanding the complexity of the building.

Visualisation of the building system | Visualisation of information plays a key role, particularly when dealing with a complex system such as a building. The ability to visually represent relevant data not only facilitates the understanding of the dynamics and interactions between structural and functional building elements but also contributes to improved decision-making through an interactive and intuitive experience. It is essential, therefore, for the design of the graphic interface to follow a systematic and reasoned approach, adopting visual solutions that ensure clarity, accessibility and effective management of information (Conato and Frighi, 2020).

An example of such an approach is the interactive dashboard developed using BI applications (Fig. 15). This graphic interface enables clear and orderly visualisation of information through various diagrams and selectors that make it possible to filter data according to specific criteria, such as room categories and building levels. The use of bar graphs, pie charts, chord diagrams and performance indices (KPIs) makes it possible to make the complexity of the building system a visible, manageable and understandable resource. In particular, key elements such as KPIs and chord diagrams highlight the relationships between space categories and functions, facilitating the analysis of critical interconnections within the asset.

The tools described, offering a high degree of interactivity, enable semi-automatic data manipulation and interrogation, optimising the efficiency of decision-making for FM operations (Halmetoja and Forns-Samsø, 2020).

Concluding remarks: transferability, limitations and future developments | The proposed vision, which combines reductionist and holistic approaches to deal with the complexity of the built heritage, allows the hidden logic in the building system to be unveiled and managed through advanced visualisation tools and systemic design. The adoption of BIM algorithms and models, combined with the principles of Computational Thinking, makes it possible to decode and visualise the complexity of the relationships between building elements. The result is an FM-optimised representation that reduces operational complexity by serving as a scalable and reliable decision-support tool.

The process, understood as a methodological flow, is transferable to other related fields that similarly require the development of complex digital models aimed at asset management. What might differ, however, is the concrete implementation of the proposed algorithm, with respect to the characteristics of the information container, the specific

needs of the user and the information requirements of the field of interest.

Despite the obvious relevance of systems approaches to address the inherent complexity of building systems (Lauria and Azzalin, 2020; Giallocosta, 2019; Fatta, 2020), the proposed approach highlights epistemological, applicative and social limitations and critical issues. The conception of the building as a complex system requires a holistic understanding of the interactions between its many elements, leading to the adoption of an innovative graphic language. However, although theoretically promising, it proves difficult to implement in practice, as the translation of complex dynamics into visual schemes can lead to oversimplification, compromising the wealth of information required for optimal management. In parallel, the use of information models and related data offers advantages in terms of visualisation and analysis but requires

the adoption of advanced tools and technical skills, representing a significant obstacle for many public organisations with limited resources and insufficient training. Finally, the risk is that the increasing reliance on technological automatism may relegate qualitative assessment to the background, and this is essential for capturing the peculiarities of each building, elusive to a merely quantitative analysis but vital for effective management of architectural and functional complexity.

One of the desired impacts is the approach to the building as a complex, integrated system, which allows even non-expert users, such as public and private decision-makers, to access data and understand building management information, thereby improving decision-making through interactive and intuitive visualisation of complex data. Future developments could move towards the integration of FM tools and emerging technologies (Artificial Intelli-

gence and Machine Learning) to enable increasingly accurate predictive analysis, improving the management of critical operational issues. Similarly, integration with real-time monitoring systems via sensors and IoT networks would enable the creation of a Digital Twin, optimising proactive facility management and promoting efficiency and sustainability (Dejaco et alii, 2022).

Hopefully, technological innovation will renew the construction industry by welcoming the digital transition as an opportunity to systematise building management by adopting such tools to ‘unfold’ and unravel the complex web of interrelationships in the building system. The PURP experience testifies to the willingness of a public administration to take up this challenge, setting itself up as a vanguard example in the country.

Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the authors. However, the introductory paragraphs, ‘The building as a complex system: state of the art and graphic languages’, and ‘Visualisation of the building system’ are to be attributed to M. Zucco, ‘Concluding remarks: transferability, limitations and future developments’ to M. Zucco, E. Iacono, and A. Osello, ‘Methodology and research stages’ to M. Del Giudice, and finally ‘The algorithms’ to E. Iacono.

References

- Birkhoff, G. D. (1933), *Aesthetic Measure*, Harvard University Press, Cambridge.
- Bois, Y.-A. (1988), “Piet Mondrian, New York City”, in *Critical Inquiry*, vol. 14, issue 2, pp. 244-277. [Online] Available at: [jstor.org/stable/1343446](https://www.jstor.org/stable/1343446) [Accessed 07 September 2024].
- Buratti, G., Conte, S. and Rossi, M. (2022), “Artificial Intelligence, Big Data and Cultural Heritage”, in Giordano, A., Russo, M., and Spallone, R. (eds), *Representation Challenges – Augmented Reality and Artificial Intelligence in Cultural Heritage and Innovative Design Domain*, FrancoAngeli, Milano, pp. 29-33, [Online] Available at: doi.org/10.3280/oa-686.4 [Accessed 06 September 2024].
- Capra, F. and Luisi, P. L. (2020), *Vita e Natura – Una visione sistemica – In un unico quadro teorico coerente, le idee e i modelli che costituiscono il fondamento della concezione sistemica della vita*, Aboca Edizioni, Sansepolcro.
- Cavallari-Murat, A. (1982), *Come carena viva – Scritti sparsi – Architettura tra lagune venete, Po e Tevere*, Bottega d’Erasmus, Torino.
- Conato, F. and Frighi, V. (2020), “Progetto e complessità – Un approccio multiscalar per attualizzare gli strumenti di controllo del progetto | Design and complexity – A multiscale approach for updating the project’s control tools”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 7, pp. 154-163. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/7162020 [Accessed 06 September 2024].
- De Santis, E. (2016), *I Sistemi Complessi come Sistemi di Sistemi*. [Online] Available at: academia.edu/20931342/I_Sistemi_Complessi_come_Sistemi_di_Sistemi [Accessed 06 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 20 September 2024].
- Delucchi, E., Gaiffi, G. and Pernazza, L. (2012), “In primo piano – La teoria dei grafi”, in *Giochi e percorsi matematici*, Springer, Milano, pp. 27-37. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-88-470-2616-2_5 [Accessed 06 September 2024].
- Deutsch, R. (2015), *Data-Driven Design and Construction – 25 Strategies for Capturing, Analyzing and Applying Building Data*, John Wiley & Sons, Hoboken.
- 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 06 September 2024].
- Gentili, P. L. (2021), “Why is Complexity Science valuable for reaching the goals of the UN 2030 Agenda?”, in *Rendiconti Lincei | Scienze Fisiche e Naturali*, vol. 32, pp. 117-134. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s12210-020-00972-0 [Accessed 06 September 2024].
- Giallocosta, G. (2019), “Caratteri e criticità di innovazione di processo | Features and critical issues of process innovations”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 5-10. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/512019 [Accessed 20 September 2024].
- Grievess, M. (2014), *Digital Twin – Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*, whitepaper. [Online] Available at: 3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/DELMIA/PDF/Whitepaper/DELMIA-APRISO-Digital-Twin-Whitepaper.pdf [Accessed 06 September 2024].
- Halmetoja, E. and Forns-Samsø, F. (2020), “Evaluating graphical user interfaces for buildings”, in *Journal of Corporate Real Estate*, vol. 22, issue 1, pp. 48-70. [Online] Available at: doi.org/10.1108/JCRE-08-2019-0037 [Accessed 06 September 2024].
- Holtzman, H. and James, M. S. (eds) (1986), *The New Art, the New Life – The Collected Writings of Piet Mondrian*, G. K. Hall & Co., Boston.
- Jaffe, H. L. C. (1989), *De Stijl 1917-1931 – Vision of Utopia*, Abbeville Press Inc, New York.
- Lauria, M. and Azzalin, M. (2020), “Open innovation per la gestione degli immobili in regime emergenziale e di post emergenza pandemica | Open innovation for property management in emergency and post-emergency pandemic regime”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 8, pp. 210-219. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8202020 [Accessed 20 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 20 September 2024].
- Mariani, M. (2020), “Visualizzare la complessità – L’approccio sistemico nella strategia progettuale”, in *AND | Rivista Di Architetture, Città E Architetti*, vol. 37, issue 1, pp. 102-109. [Online] Available at: and-architettura.it/index.php/and/article/view/300 [Accessed 07 September 2024].
- Morin, E. (2001), *Il metodo – Vol. 1 – La natura della natura*, Raffaello Cortina Editore, Milano.
- Morin, E. (1993), *Introduzione al pensiero complesso – Gli strumenti per affrontare la sfida della complessità*, Sperling & Kupfer, Milano.
- Novello, G. (2012), “Disegnare grafi per dipanare la complessità – Eulero e Augusto Cavallari-Murat indagano luoghi, relazioni, funzioni ideando metodi per l’Ingegneria”, in *Storia dell’Ingegneria – Atti del 4° Convegno Nazionale – Tomo Primo, Napoli, 12-18 Aprile, 2012*, Cuzzolin, Napoli, pp. 265-275. [Online] Available at: iris.polito.it/handle/11583/2499175 [Accessed 06 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 06 September 2024].
- Pantazis, E. and Gerber, D. J. (2019), “Beyond geometric complexity – A critical review of complexity theory and how it relates to architecture engineering and construction”, in *Architectural Science Review*, vol. 62, issue 5, pp. 371-388. [Online] Available at: doi.org/10.1080/00038628.2019.1659750 [Accessed 06 September 2024].
- Russell, P. (ed.) (2018), *Piet Mondrian*, Delphi Publishing, London.
- van Haaften, W. (2003), “Logic of artistic development – The case of Mondrian”, in *New Ideas in Psychology*, vol. 21, issue 3, pp. 221-246. [Online] Available at: doi.org/10.1063/newideapsych.2003.09.005 [Accessed 07 September 2024].
- von Bertalanffy, L. (1969), *General System Theory – Foundations, Development, Application*, George Braziller, New York.
- Zucco, M., Del Giudice, M. and Osello, A. (2024). “Digital Twin for BIM-FM Data Comparison – A Decision Support System Based on Graphical Interfaces”, in Giordano, A., Russo, M. and Spallone, R. (eds), *Advances in Representation – Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction*, Springer, Cham, pp. 587-605. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-62963-1_36 [Accessed 06 September 2024].