

# Supporto o automazione nelle decisioni: il ruolo dell'intelligenza artificiale per il progetto

Just Accepted: October 22, 2022 Published: May 30, 2023

SAGGI E PUNTI  
DI VISTA/  
ESSAYS AND  
VIEWPOINT

Tiziana Ferrante<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-0625-4453>

Federica Romagnoli<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-5520-3356>

<sup>1</sup> Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura Sapienza Università di Roma, Italia

<sup>2</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale, Sapienza Università di Roma, Italia

tiziana.ferrante@uniroma1.it

federica.romagnoli@uniroma1.it

**Abstract.** L'introduzione (oggi più accelerata e pervasiva) dell'intelligenza artificiale per operare all'interno della complessità del mondo che ci circonda, continua ad alimentare il dibattito scientifico, filosofico e politico. Anche nel settore delle costruzioni (seppur ancora in fase embrionale) è possibile osservare i primi esiti concreti, frutto dell'applicazione di nuovi processi digitali sempre più autonomi, a supporto della concezione, definizione e validazione del progetto.

Le nuove frontiere di espansione dei sistemi di intelligenza artificiale, incoraggiate dalla transizione digitale, impongono un'attenta riflessione sull'impatto che le nuove tecnologie determinano nel ridefinire il ruolo del progettista all'interno del processo decisionale.

**Parole chiave:** Intelligenza artificiale; Processo decisionale; Progetto; Innovazione tecnologica.

## La corsa all'intelligenza artificiale

Secondo Ray Kurzweil, nel 2030 l'intelligenza artificiale raggiungerà quella umana (Kurzweil, 2006). La volontà di sopperire alle mancanze 'naturali' con strumenti 'artificiali' ha accompagnato l'evoluzione della civiltà sin dalle sue origini. Come ampiamente trattato da Herbert Simon, "artificiale" ("fatto dall'uomo"), è tutto ciò che è "adatto agli obiettivi e agli scopi dell'uomo" e «come cambiano gli obiettivi dell'uomo, così cambiano gli artefatti» (Simon, 1996). Poiché, parafrasando Aristotele, «tutti gli uomini aspirano per natura al sapere»<sup>1</sup>, a muovere il progresso tecnologico è dunque la tensione continua generata dal desiderio di comprensione di ciò che 'è' e, ancor di più, dall'ambizione di previsione di 'ciò che sarà'.

Una vocazione innata verso l'anticipazione che ci spinge a progettare, a 'proiettare in avanti' una serie di azioni con l'auspicio di indirizzare il futuro verso prospettive di vita migliori, e a

Support or automation in decision-making: the role of artificial intelligence for the project

**Abstract.** The increasingly pervasive use of artificial intelligence within the complexity of the world around us continues to fuel the scientific, philosophical, and political debate. Even within the construction sector (although still in an embryonic phase), it is possible to observe the first concrete results of the application of new digital processes, which are increasingly autonomous and support the design, definition, and validation of the project. The new frontiers of expansion of artificial intelligence systems, encouraged by the digital transition, require a careful reflection on the impact of new technologies in redefining the designer's role in the decision-making process.

**Keywords:** Artificial intelligence; Decision-making; Architectural design; Technological innovation.

dotarci di mezzi sempre più potenti (tecnologie abilitanti) per aumentare la conoscenza del mondo che ci circonda e di operare all'interno della sua complessità.

Lo sviluppo esponenziale delle tecnologie informatiche e delle telecomunicazioni ha innescato il fenomeno globale della transizione digitale le cui conseguenze economiche, sociali e culturali condizionano la nostra società dell'informazione in modo sempre più evidente. Uno scenario che impone di ragionare sugli effetti generati non dalle azioni dei singoli, bensì dallo scambio di informazioni (dati) attraverso le relazioni immateriali (connessioni) che strutturano una "network society" (Castells, 1996).

Le recenti innovazioni relative ai meccanismi di apprendimento automatico in grado di elaborare l'enorme quantità di dati oggi disponibili hanno portato nuovamente al centro del dibattito scientifico, filosofico e politico l'intelligenza artificiale (IA)<sup>2</sup>, definita in ambito europeo come una "tecnologia abilitante fondamentale", che mira ad automatizzare uno o più processi cognitivi (umani), che fornisce previsioni, raccomandazioni o decisioni per raggiungere obiettivi specifici, imparando continuamente dall'ambiente in cui si trova, o dai risultati delle sue stesse azioni (European Commission, 2020).

Sebbene sia stato argomentato come il comportamento dei sistemi di IA, pur ispirandosi alle reti neurali biologiche, poco abbia a che vedere con il concetto di "intelligenza" stessa (Crawford, 2021), le abilità 'altre' esibite dalle macchine (velocità di calcolo e capacità di memoria ineguagliabili dalla mente umana) stanno rendendo ormai irrinunciabile il loro impiego a supporto del

## The race for artificial intelligence

According to Ray Kurzweil, artificial intelligence will reach human intelligence in 2030 (Kurzweil, 2006).

The desire to compensate for natural shortcomings with artificial tools has accompanied the evolution of civilization since its origins. As extensively treated by Herbert Simon, "artificial" ("man-made") is all that is "adapted to human goals and purposes" and «as our aims change, so too do our artefacts and vice versa» (Simon, 1996). Since, paraphrasing Aristotle, «all men by nature desire knowledge»<sup>1</sup>, the continuous tension generated by the desire to understand what is and, even more, by the ambition to predict what *will be* is what moves technological progress. An innate calling for anticipation pushes us to design and to project forward a series of actions with the hope of directing the future towards better

life prospects. This drives us to provide ourselves with powerful means (enabling technologies) to increase our knowledge of the world around us and to operate within its complexity.

The exponential development of information technologies and telecommunications has triggered the global phenomenon of digital transition, whose economic, social, and cultural consequences increasingly affect our information society. This is a scenario that requires a study of the effects generated not by the actions of individuals but by the exchange of information (data) through immaterial relationships (connections) that structure a "network society" (Castells, 1996).

The recent innovations in machine learning mechanisms, capable of processing the vast amount of data available today, have again put artificial intelligence (AI)<sup>2</sup> at the centre of the

processo decisionale nella risoluzione di problemi sempre più complessi, dimostrando potenzialità di applicazione in tutti i settori, compreso quello delle costruzioni.

Un settore, quello delle costruzioni, energivoro e vulnerabile dal punto di vista produttivo, affetto da criticità radicate (ritardi, performance disattese, perdita di informazioni tra le diverse fasi di processo, ecc.) che ne limitano lo sviluppo e che trovano nella transizione digitale attraverso il *Building Information Modeling* (prima)<sup>3</sup> e nell'adozione di sistemi di IA (come applicazione conseguente) una possibile soluzione. Una transizione che riconosce la centralità del progetto come momento decisivo per l'efficacia dell'intero processo edilizio, chiamato a generare un *unicum* la cui qualità è frutto della correlazione tra i diversi saperi che, poiché di paritaria importanza, devono convergere secondo una logica integrata e non sequenziale.

In coerenza con questa visione (fondata sulla definizione e sullo scambio delle 'informazioni' geometriche, prestazionali, processuali, ecc.), l'impiego di nuove logiche decisionali *data-driven*, supportate dall'IA, consentirebbe di prevenire e ridurre gli errori e ottimizzare l'uso di risorse, attuando scelte maggiormente informate, in tempi ridotti e basate su una maggiore accuratezza delle previsioni<sup>4</sup>. Tuttavia, ancora oggi, il settore delle costruzioni rimane uno dei meno digitalizzati (ECSO, 2021). Una 'lentezza' che, se da un lato ostacola l'impiego dei sistemi di IA (basati sulla disponibilità, numerosità e strutturazione dei dati), dall'altro ci consente di mettere a fuoco (e più criticamente) i profondi cambiamenti che l'introduzione di processi digitali in grado di prendere decisioni in modo sempre più autonomo rappresenteranno per l'attività progettuale del prossimo futuro. Cambiamenti che impongono (già oggi) nel campo

scientific, philosophical and political debate. In the European institutional framework, AI has been defined as a "key enabling technology", which aims to automate one or more cognitive (human) processes, providing predictions, recommendations, or decisions to achieve specific objectives, continuously learning from the environment in which it is located, or from the results of its actions (European Commission, 2020).

It has already been argued that AI systems, while inspired by the functioning of biological neural networks, are not comparable to "intelligence" itself (Crawford, 2021). However, the machines' abilities (calculation speed and memory capacity unmatched by the human mind) are now becoming indispensable to support the decision-making process in resolving increasingly complex problems, demonstrat-

ing their potential for application in all sectors, including construction.

The construction sector is energy-consuming, vulnerable in productivity, and affected by 'deeply rooted' weaknesses (delays, missed performance, loss of information in the process phases, etc.) that limit its growth. These challenges find a possible solution in the digital transition initially through Building Information Modelling<sup>3</sup>, and then with the adoption of AI systems as a consequent application. It is a transition that recognises the centrality of the project as a decisive moment for the effectiveness of the entire building process, which is called to generate a *unicum* where the quality is the result of the combination of different types of knowledge, which must converge in an integrated way as they are equally important.

In line with this vision (based on the definition and exchange of geometric,

della progettazione una riflessione su 'cosa' sia effettivamente opportuno delegare ai mezzi, avendo contezza oltre che dei benefici ottenibili, anche (e soprattutto) dei potenziali rischi che, come avviene in altri ambiti di applicazione dell'IA più maturi, rendono urgente stabilire strategie condivise tra gli operatori per uno sviluppo etico e responsabile<sup>5</sup> dei nuovi strumenti di cui si dispone (Tegmark, 2018). In relazione a questo contesto, l'obiettivo del contributo è quello di individuare, attraverso l'esemplificazione di alcune opere realizzate avvalendosi delle più recenti applicazioni dell'IA, quelle possibili modalità virtuose di interazione che consentono di mantenere un controllo 'cosciente' ed esperto da parte dell'uomo nel processo decisionale del progetto di Architettura.

### **Intelligenza artificiale e progetto di Architettura**

innovativi tesi a supportare le decisioni in un contesto di complessità crescente, per la concezione, definizione e validazione del progetto (Ferrante, 2020).

La progettazione architettonica, per la sua peculiare multidimensionalità e multiscalarità, pone un insieme di problemi 'wicked' (Rittel and Webber, 1973), indeterminati e complessi a tal punto da non ammettere soluzioni univoche. Per tale motivo, i processi che sottendono un pensiero matematico (algoritmico), incontrano serie difficoltà di applicazione, tanto che in questo ambito l'IA si trova ancora in una fase embrionale (ECSO, 2021). A partire dagli anni '60, le ricerche condotte nel tentativo di stabilire una scienza della progettazione (un "*design method*"<sup>6</sup>) hanno portato a individuare due 'processi mentali': il *design*

Anche in Architettura, le nuove esigenze della società incoraggiano l'adozione di strumenti

performance, procedural, etc. information), the use of a new data-driven decision-making rationale, supported by AI, offers the possibility of preventing and reducing errors, and of optimising the use of resources, implementing more informed choices in a shorter time thanks to the greater accuracy of forecasts<sup>4</sup>. However, the construction sector still remains to date one of the least digitised (ECSO, 2021). This slowness hinders using AI systems (based on availability, number, and quality of data). However, it allows us to focus (and more critically) on the profound changes that the introduction of digital processes, capable of making decisions independently, will represent for the design activity in the near future. In the design field, these changes require (already today) some reflection on what is appropriate to delegate to the machine, considering not only the benefits but

also (and above all) the potential risks. This concern makes it urgent to establish shared strategies for the ethical and responsible<sup>5</sup> development of new AI systems (Tegmark, 2018), as occurred in other areas where AI application is more mature.

In relation to this context, the contribution aims to identify, through the exemplification of some works implemented with the most recent applications of AI, the possible virtuous modes of interaction that allow for the maintenance of a 'conscious' and expert control by humans in the decision-making process of Architectural design.

### **Artificial intelligence and Architectural design**

Even in Architecture, the new needs of society encourage the adoption of innovative tools to support the decision-

thinking (Cross, 1999) il *computational thinking* (Wing, 2006), per risolvere problemi progettuali e studiarne la trasferibilità all'IA. Oggi, gli studi in tale ambito paragonano l'attività progettuale ad un modello duale, che prevede continui passaggi sempre più fluidi tra i due processi distinti, ma complementari (Kelly and Gero, 2021).

Se si considera il progetto come *data-process*, è chiaro come la sua qualità dipenda da una gestione ampia, sistemica e integrata delle relazioni tra tutte le informazioni che lo caratterizzano. Secondo chi ripone maggiori aspettative nelle nuove tecnologie, questa attività gestionale potrebbe essere in parte svolta da sistemi di IA in grado di 'apprendere' autonomamente dalla mole di dati e di suggerire output sulla base della propria 'conoscenza' (associazioni elaborate secondo metodi statistici).

Un'eventualità che determinerebbe confini di competenza tra l'uomo e il computer sempre più sfumati e che rende opportuno distinguere tra un meccanismo "automatico" ("che si muove da sé"), un esecutore di operazioni che genera risultati sulla base di precisi input, e un sistema "autonomo" (letteralmente "che ha in sé le proprie leggi") che, come nel caso dell'IA, elabora dati e genera risultati senza l'intervento diretto del progettista (Bernstein, 2022). Tuttavia, questi sistemi ad oggi possono operare autonomamente solamente all'interno di domini rigidi e circoscritti, per raggiungere obiettivi specifici. Un'IA 'debole' ("Weak AI") che possiede un'autonomia ben lontana da quella che Kant nella "*Critica della ragion pratica*", definisce come "determinarsi della volontà", frutto di un'intelligenza 'forte' ("General AI") che per essere tale deve possedere coscienza (Damasio, 2022) e comprendere la causalità tra gli eventi (Pearl and Mackenzie, 2018).

making process in a context of increasing complexity for design conception, definition, and validation (Ferrante, 2020).

The field of architectural design, due to its peculiar multi-dimensional and multi-scale properties, poses a set of 'wicked' problems (Rittel and Webber, 1973), indeterminate and complex to the point of not admitting unique solutions. For this reason, the processes based on mathematical (algorithmic) thinking are challenging to apply. In fact, AI in Architectural design is still in an embryonic stage (ECSSO, 2021). Since the 1960s, research conducted to establish a science of design (a "design method") has led to the identification of two mental processes to address design problems and their transferability to AI: design thinking (Cross, 1999) and computational thinking (Wing, 2006). Today, studies in this field por-

tray design activity as a 'dual' model, involving continuous and increasingly fluid transitions between the two distinct but complementary processes (Kelly and Gero, 2021).

Considering the project as a 'data-process', it is clear that its quality depends on comprehensive, systemic and integrated management of the relationships between all of its information.

According to those who place higher expectations on new technologies, this managerial activity could be partly carried out by AI systems capable of autonomously learning from the mass of data and of suggesting outputs based on their own form of knowledge (associations established according to statistical methods).

This scenario would determine blurred boundaries of competence between man and computer, and would make it appropriate to distinguish between an

## Alcuni esiti tangibili

Nella ricerca accademica, la sperimentazione di nuove tecniche di IA e delle potenziali applicazioni nel settore delle costruzioni è in forte fermento e, per quanto attiene alla specifica fase di progettazione, è possibile fare riferimento a due strategie principali (Leach, 2021).

Una prima strategia prevede l'applicazione della classe di metodi del General Adversarial Network (Goodfellow *et al.*, 2014) per la generazione autonoma, da parte del computer, di immagini inedite a partire da relazioni 'auto-apprese' processando in fase di training l'insieme di dati (immagini, grafi, numeri, ecc.) con cui è stato alimentato. Questi metodi sono stati sperimentati per produrre immagini (*machine hallucinations*) relative a porzioni di edifici più o meno fotorealistiche (Fig. 1) e planimetrie bidimensionali (Fig. 2).

Tuttavia, più che porre l'accento su un aspetto 'visivo', formale, della rappresentazione architettonica, in coerenza con l'approccio tecnologico al progetto, fondato sulla cultura della realizzazione, è opportuno interrogarsi sui vantaggi che l'IA può offrire per un maggiore controllo sulla fattibilità dell'opera, elevando la qualità del progetto (e, di conseguenza, la qualità dell'intervento) operando nel rispetto di un contesto non solo ambientale (fisico), ma anche storico, culturale, sociale e potenziando la risposta prestazionale (funzionale, energetica, strutturale, ecc.). Più in linea con tale indirizzo, le strategie appartenenti al secondo ambito di indagine focalizzano l'attenzione sugli aspetti prestazionali impiegando tecniche di IA più consolidate, tra cui il *Generative Design* (GD) e la *Topology Optimization* (TO), che negli ultimi anni hanno visto la proliferazione di sistemi di supporto alle decisioni spaziali (SDSS) sia da parte di case

## Some tangible results

In academic research, the experimentation of new AI techniques and their potential for the construction sector is in turmoil. Regarding the design phase, it is possible to refer to two main strategies (Leach, 2021).

The first strategy involves the application of methods known as Generative Adversarial Networks (Goodfellow *et al.*, 2014), with which a computer is able to autonomously generate new images starting from 'self-learned' processing of the data given to it as input (images, graphs, numbers, etc.). These methods have been tested in the production of images (*machine hallucinations*) related to semi-photorealistic portions of buildings (Fig. 1) and two-dimensional floor plans (Fig. 2).

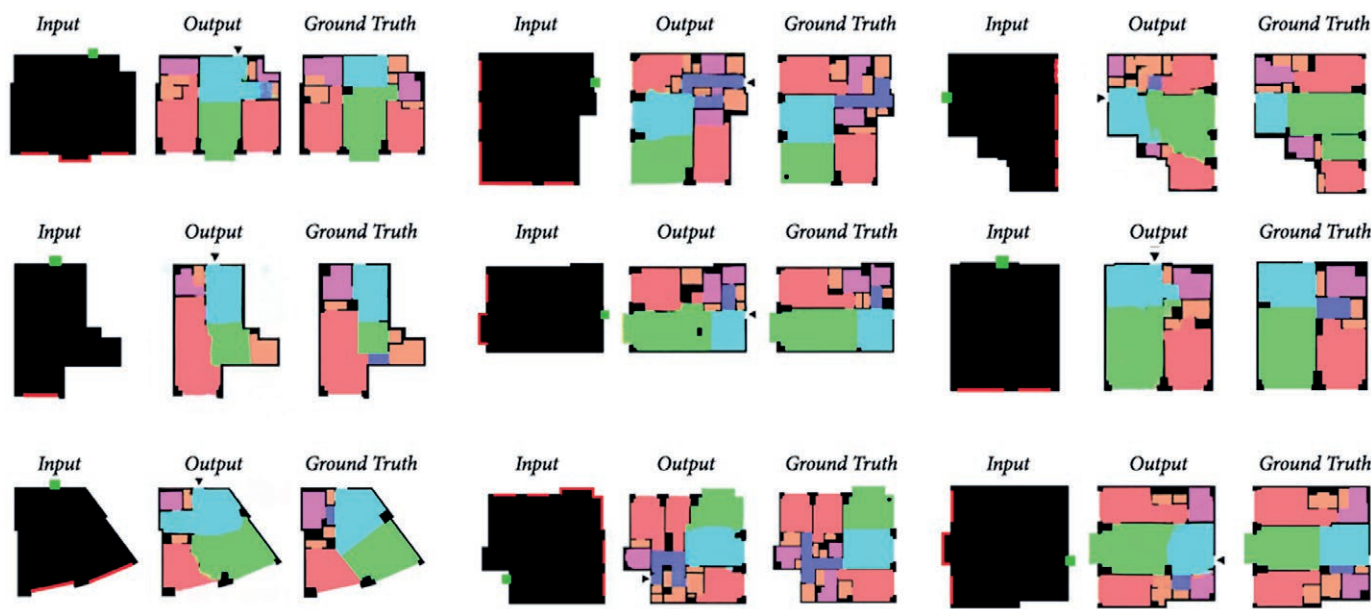
However, rather than emphasising a visual or formal aspect of the architectural representation, consistently

01 | Immagini generate mediante il sistema di intelligenza artificiale "DALL·E mini" a partire dagli input testuali "facade; new museum; new building", il sistema è disponibile su [www.craiyon.com](http://www.craiyon.com)  
*Images generated by the artificial intelligence system "DALL·E mini" starting from the textual inputs "facade; new museum; new building", the system is available on [www.craiyon.com](http://www.craiyon.com)*

02 | Planimetrie in cui l'organizzazione spaziale è stata generata dal modello GAN Pix2Pix, a partire da alcuni vincoli contestuali quali il perimetro dell'alloggio e la posizione dell'ingresso e delle aperture, metodo e immagine di © Stanislas Chaillou  
*Floor plans in which the spatial organization is generated by the GAN Pix2Pix model, starting from some contextual constraints such as the perimeter of the accommodation and the position of the entrance and openings, method and image by © Stanislas Chaillou*



| 01



| 02

— Opening    ■ Footprint    ■ Entrance

■ Livingroom    ■ Bedroom    ■ Closet  
 ■ Kitchen    ■ Bathroom    ■ Circulation

produttrici di *software* (Fig. 3), sia degli studi di Architettura che sviluppano i propri strumenti *in-house*.

A questa seconda categoria fanno capo gli algoritmi che generano automaticamente (entro alcuni vincoli fissati dal progettista) una serie di alternative progettuali e le classificano in base alla rispondenza agli obiettivi esplicitati a monte del processo. Questo metodo può diventare ancora più performante se associato a tecniche di apprendimento automatico, poiché in grado di auto-migliorarsi ‘allenandosi’ attraverso la generazione di innumerevoli alternative progettuali (Fig. 4).

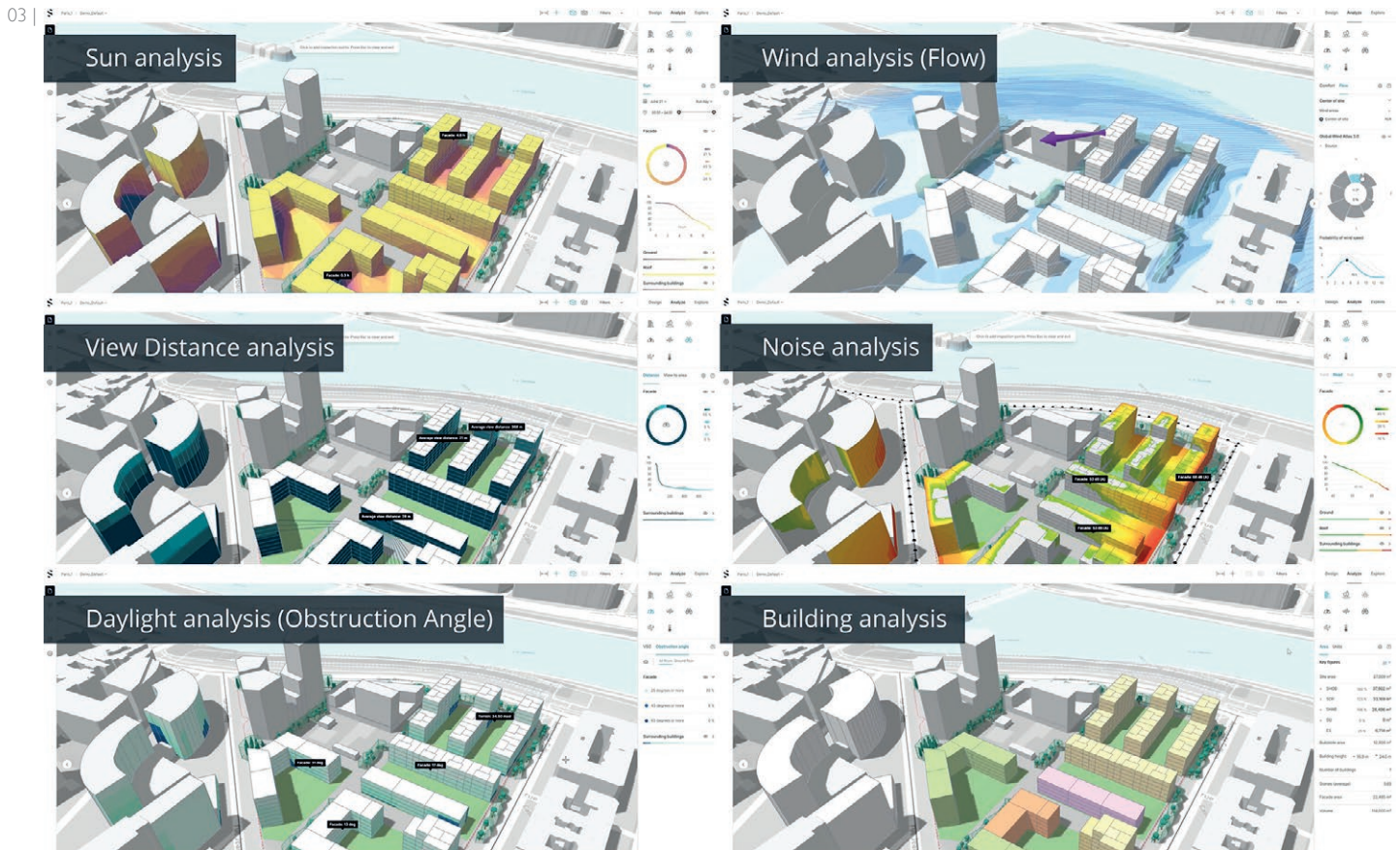
Se la ricerca teorica ha prodotto oggi numerosi risultati, gli esempi ‘tangibili’ restringono di molto il campo di indagine e coinvolgono soprattutto le discipline ingegneristiche dove metodi e tecniche di ottimizzazione sono più consolidati anche nella prassi.

Una recente realizzazione che è possibile considerare, è il complesso polifunzionale “Valley” ad Amsterdam, progettato dallo studio MVRDV insieme ad ARUP<sup>7</sup>. In questo caso, in fase di definizione del progetto, è stato implementato uno strumento computazionale di valutazione multiparametrica per verificare il soddisfacimento simultaneo di diversi obiettivi di progetto,

quali la privacy, la qualità delle visuali verso l’esterno e la massimizzazione della luce diurna, consentendo di ridurre i tempi di verifica di conformità degli appartamenti alla normativa nazionale (Fig. 5). In questo caso il GD è stato utilizzato per confrontare la soluzione finale (esito delle correzioni ‘manuali’ apportate sulla base della valutazione multiparametrica) con altre variazioni simili generate autonomamente dal computer (Christodoulou *et al.*, 2018).

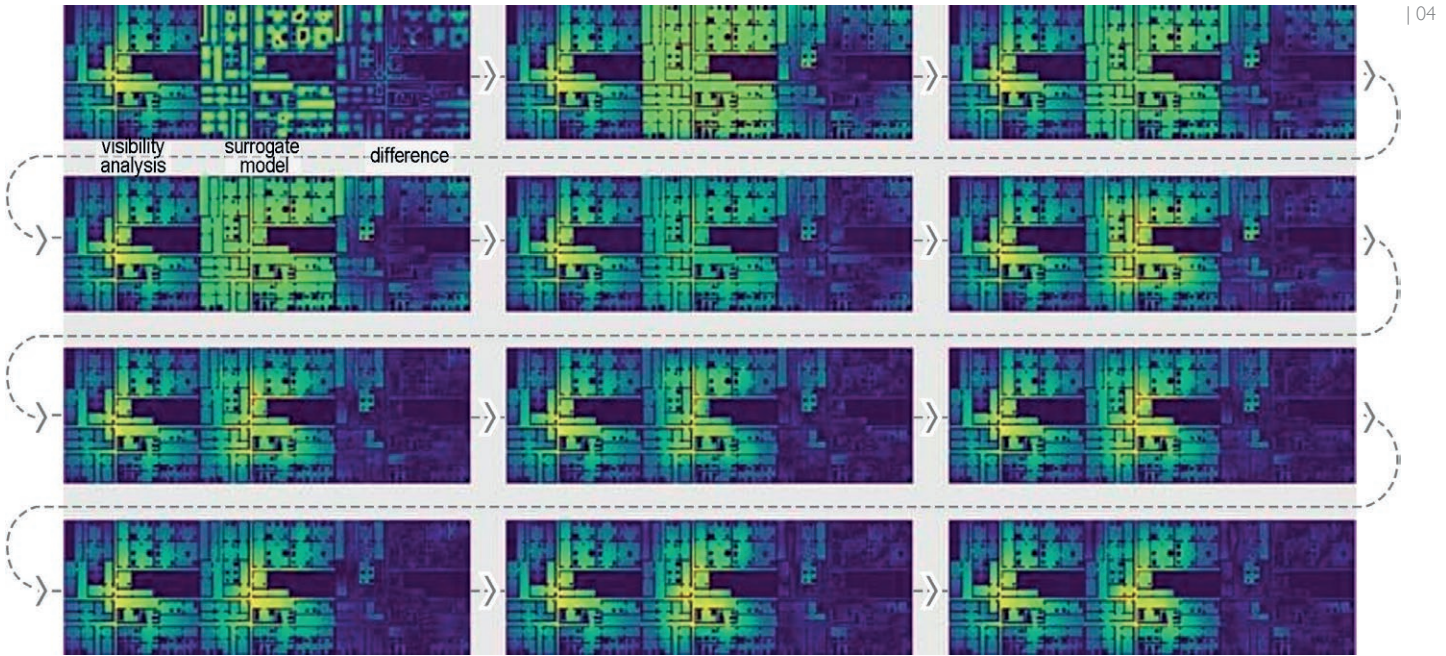
Nel caso del complesso “Elements”, in costruzione, al computer è stata affidata la definizione della sagoma della torre residenziale, attraverso la selezione, mediante un’ottimizzazione multiparametrica, dell’alternativa più performante (dal punto di vista dell’illuminazione e degli apporti termici) tra quelle generate automaticamente (Debney *et al.*, 2021).

Un terzo caso esemplificativo è quello del Feyenoord Stadium di Rotterdam progettato da OMA<sup>8</sup>, dove i progettisti si sono avvalsi del GD per esplorare e ottimizzare le scelte relative ai moduli della facciata e alla disposizione delle sedute all’interno dello stadio al fine di aumentarne il numero garantendo una visuale ottimale a tutti gli spettatori (Fig. 6).



04| Processo di apprendimento (immagini centrali) per imitare l'analisi di visibilità di una planimetria (immagini a sinistra). A destra, in colori chiari, la differenza tra i due diminuisce all'aumentare dell'accuratezza delle previsioni del modello, fonte: [www.fosterandpartners.com/plus/towards-artificial-intelligence-in-architecture/](http://www.fosterandpartners.com/plus/towards-artificial-intelligence-in-architecture/), © Foster+Partner  
*Learning process (central images) to imitate the visibility analysis of a floor plan (left images). On the right, with light colours, the difference between the two, which decreases as the accuracy of the model predictions increases, source: [www.fosterandpartners.com/plus/towards-artificial-intelligence-in-architecture/](http://www.fosterandpartners.com/plus/towards-artificial-intelligence-in-architecture/), © Foster+Partner*

05| A sinistra, complesso Valley ad Amsterdam, foto di Marcel Steinbach ©; a destra, visualizzazioni dello strumento di analisi multiparametrica, © ARUP  
*Left image, Valley complex in Amsterdam, photo by © Marcel Steinbach; right image, visualizations of the parametric design assessment tool, © ARUP*

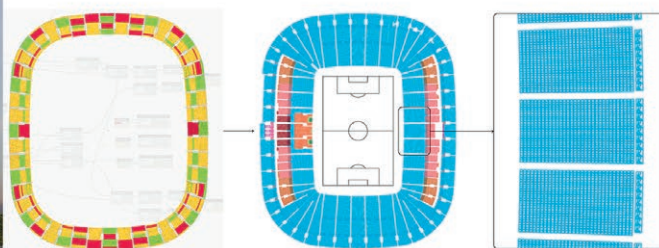
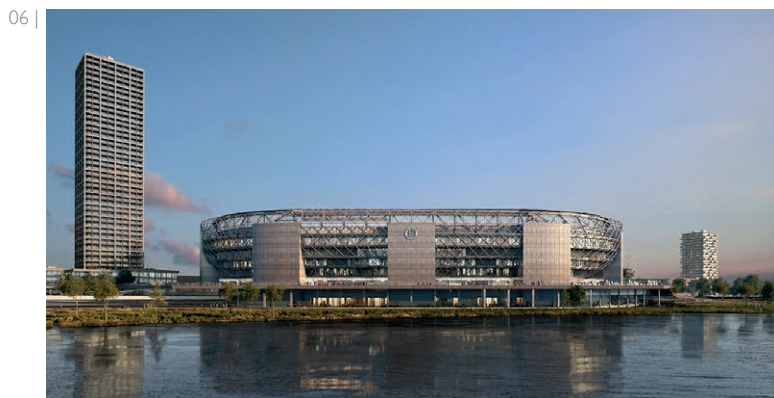


with the technological approach to the project, based on the culture of implementation, it is appropriate to question AI's benefits for greater control over the feasibility of the project in order to increase its quality (and, consequently,

the intervention quality), to work not only in a physical context but also in a historical, cultural and social one, and to enhance building performance (functional, energetic, structural, etc.). In line with this direction, the strate-

gies of the second area of investigation focus on performance aspects through more consolidated AI techniques, including Generative Design (GD) and Topology Optimisation (TO). In recent years, these methods have led to

a proliferation of spatial decision support systems (SDSS) by software manufacturers (Fig. 3) and architecture firms that develop their tools in-house. This second category includes algorithms that automatically generate



Negli esempi menzionati, è stato adottato un approccio analitico ‘avanzato’, che ha guidato le scelte del *team* di progettazione nella risoluzione di specifici problemi progettuali. Fondamentale è stata la fase di impostazione del problema (*problem setting/problem framing*), in cui sono stati ‘manualmente’ implementati gli *input*, definiti i vincoli e gli specifici obiettivi, rendendo la rispondenza degli *output* misurabile attraverso l’esplicitazione dei requisiti in indicatori computabili. Una modalità che ha permesso di conseguire risultati difficilmente ottenibili attraverso un processo tradizionale, privo dell’uso della computazione, ma chiaramente verificabili (e affidabili).

Nei processi progettuali esaminati è possibile notare ampi ‘vuoti’ di interregno tra *output* e *input* che separano i molteplici passaggi (che non avvengono secondo un processo sequenziale, lineare) in cui è richiesto l’intervento dell’attività creativa, inductiva e critica dell’intelligenza umana.

Una serie di azioni di interpretazione semantica che non possono essere rese conoscenza esplicita (*explicit knowledge*), tra-

sferibile alla macchina. Di conseguenza, l’effettivo governo del processo progettuale deve spettare (e spetterà) sempre e solo a colui che saprà ‘porsi’ il problema e saprà impostare e gestire i relativi sotto-problemi secondo logiche di gerarchizzazione, comprendendo gli effetti di causalità tra le parti, esprimendo giudizi di qualità sugli *output* suggeriti dall’IA che eccedono ciò per cui è stata programmata.

Se nel prossimo futuro «le macchine impareranno da sole le relazioni dei set di informazioni eterogenee che compongono i progetti creando una costellazione interoperabile di dati» (Bernstein, 2022) e le applicazioni, oggi disconnesse, convergeranno in un unico sistema integrato per la gestione dell’intero ciclo di vita dell’edificio (ECPT, 2018) occorrerà ragionare sul fatto che tale processo si baserà, comunque, su una ‘modellazione’ del problema reale e su una sua (necessaria) semplificazione.

La decisione ottimale sarà quindi raramente ‘ottimale’ dovendo, di fatto, la formalizzazione trascurare aspetti essenziali

(within certain constraints set by the designer) a series of design alternatives, and classifies them according to compliance with the objectives stated at the beginning of the process. Combined with machine learning techniques, this method can become even more performant due to the machine’s self-improving and self-training abilities through the generation of innumerable design alternatives (Fig. 4).

Theoretical research has now produced numerous results on the potential of such approaches. However, tangible examples dramatically shrink the field of investigation and mainly involve engineering disciplines where optimisation methods and techniques are more established in practice.

A possible example is the multi-functional complex “Valley” in Amsterdam, recently implemented and designed by the firm MVRDV in col-

laboration with ARUP<sup>7</sup>. In this case, during the design definition phase, a multi-parametric evaluation tool was implemented to verify the simultaneous fulfilment of several design objectives, such as the privacy of residential spaces, the quality of the views, and the maximisation of daylight, allowing to reduce the time to verify the apartments’ compliance with national legislation (Fig. 5). In this case, the GD approach was used to compare the final solution (the result of the corrections ‘manually’ implemented by the designers based on the multi-parametric evaluation) with other similar variations generated by the computer (Christodoulou *et al.*, 2018).

For the complex under construction called “Elements”, the computer was required to define the residential tower’s shape, through the selection, based on a multi-parameter optimisation al-

gorithm, of the most performing alternative (from a lighting and heat inputs perspective) among those generated automatically (Debney *et al.*, 2021).

A third example is the Feyenoord Stadium in Rotterdam, designed by OMA<sup>8</sup>. In this case, the designers used GD techniques to explore and optimise the design choices related to the façade modules and to increase the number of seats, allowing for an optimal view for all spectators (Fig. 6).

The mentioned examples adopted an advanced analytical approach, which guided the design team’s choices in solving specific design problems. The problem formulation (or problem framing/setting) phase was crucial in defining inputs, constraints, and goals. This activity was manually implemented by designers, making the compliance of the outputs measurable through the explicitness of the require-

ments in computable indicators. Such a method has made it possible to achieve results that are prohibitive for a traditional process, without the use of the computer, but which are clearly verifiable (and reliable).

In the design processes examined, significant ‘interregnum’ gaps between outputs and inputs separate the multiple steps, which do not follow a sequential and linear process. Such gaps require creative, inductive, and critical human intelligence intervention. It demands a semantic interpretation that cannot be made into explicit and transferable knowledge to the machine.

Consequently, the effective government of the design process must (and will) always be up to the one who can pose the problem and manage its sub-problems according to a hierarchical rationale, understanding the effects of

delle situazioni concrete e, ancor peggio, postulare variabili e parametri che non possono essere misurati (Simon, 1996).

**Futuri scenari auspicati** Se progettare significa operare scelte consapevoli all'interno di un sistema dinamico adattivo, attuando un processo iterativo di informazione-decisione (Ciribini, 1984), è di fondamentale importanza la capacità di selezionare (in più momenti del progetto) le informazioni rilevanti, sulla base delle quali strutturare la logica operativa ad esso sottesa. Questa continua attività di *problem-setting* (attuata dall'uomo) e *problem-solving* (supportata dall'IA) deve confrontarsi con l'indeterminatezza del progetto di Architettura, strettamente connesso a fattori contestuali specifici e mutevoli, che richiedono l'interpretazione di una complessità non standardizzabile. In tale ambito, le variabili in gioco non sono sempre definibili, pertanto, l'esito non può essere solo frutto di un calcolo di ottimizzazione, o di un processo deduttivo. Progettare, invece, richiede sensibilità, capacità di ragionamento critico e abilità cognitive non emulabili dall'IA. Intuizione, invenzione, adattabilità e gestione degli imprevisti, sono capacità che concorrono all'effettiva efficacia delle scelte di progetto. Il distacco che ancora intercorre tra la teoria e l'effettiva applicazione pratica dei sistemi di IA nel progetto di Architettura rende opportuno distinguere quelle che potrebbero essere le ripercussioni a lungo termine da quelle che sono, invece, le sfide attuali (o imminenti) verso le quali indirizzare gli sforzi, per beneficiare di un'intelligenza "aumentata" o "estesa" (Leach, 2021), in grado di potenziare l'intelligenza dell'essere umano, permettendo di conseguire risultati che senza il computer non si potrebbero ottenere.

causality between the events and expressing quality judgments on the outputs suggested by AI that exceed what it was programmed for.

If, in the near future, «machines will learn by themselves the relationships of the heterogeneous information sets that make up the projects by creating an interoperable constellation of data» (Bernstein, 2022) and the applications, now disconnected, will converge in a single integrated system for the management of the entire life cycle of the building (ECPT, 2018), it will be necessary to consider that such a process will, however, be based on a 'modeling' of the real problem and its (necessary) simplification.

Therefore, the "optimal decision" will rarely be "optimal" because - in fact - formalisation must neglect essential aspects of concrete situations and, even worse, postulate variables and

parameters that cannot be measured (Simon, 1996).

#### **Desired future scenarios**

Agreeing that design means making conscious choices within an adaptive dynamic system by implementing an iterative information-decision process (Ciribini, 1984), it is essential to be capable of selecting the relevant information at different phases based on which to structure the operating rationale underlying it.

This continuous problem-setting (implemented by humans) and problem-solving (supported by AI) activity faces the indeterminacy of the Architectural project, which is closely related to specific and changing contextual factors that require the interpretation of non-standardisable complexity. In this context, the variables involved are not always definable. Therefore, the out-

Questo si traduce con l'esigenza di identificare dei principi su cui impostare i processi di sviluppo della pratica della progettazione, individuando allo stesso tempo le modalità con cui strutturare le conoscenze per poterle trasferire in ambito digitale (Russo Ermolli, 2020).

In conclusione, si ritiene che per guidare, indirizzare, accompagnare una transizione 'indolore' verso l'uso sempre più diffuso dell'IA bisognerà assumere un atteggiamento attivo e propositivo affinché i nuovi strumenti di prefigurazione, simulazione e rilevazione dell'errore vengano sviluppati in modo coerente, trasparente, controllabile e flessibile ad accogliere l'intervento intuitivo, ideativo e induttivo dell'uomo.

I casi esemplificativi sopra esposti (sebbene non esaustivi di questa complessa realtà in evoluzione) ci inducono a riflettere su come l'IA possa essere utilizzata in modo anche 'creativo' e ricondotta all'interno di un processo in cui chi progetta governa le logiche sottese alla risoluzione dei problemi.

Conseguentemente, andranno allora potenziate tutte quelle *soft skills*, proprie del pensiero critico, che permetteranno di essere resilienti verso i sempre più frequenti cambiamenti che interesseranno la pratica progettuale, aggiornando anche l'attività formativa «per consentire un pieno sviluppo delle potenzialità offerte dal nuovo *milieu* tecnologico, per evitare al contempo l'affermarsi di forme di assoggettamento acritico alla tecnica» (Campioli, 2020). Quello che si auspica vada a delinearci è dunque uno scenario che vede rafforzata la posizione del progettista come protagonista/regista dell'attività decisionale, in un contesto caratterizzato da un crescente impiego di un'IA *human-centric*, 'aperta' e al servizio dell'intervento abducente dell'uomo e del suo benessere, coerente con il modello di Industria 5.0.

come cannot be only the result of an optimisation calculation or a deductive process.

On the other hand, designing requires sensitivity, critical reasoning skills and cognitive abilities that cannot be emulated by AI. Intuition, invention, adaptability, and management of unforeseen events contribute to the effectiveness of design choices.

The existing gap between theory and actual practical application of AI systems in architectural design makes it appropriate to distinguish what may be the long-term repercussions from the current (or imminent) challenges towards which to address efforts. The goal is to benefit from an "increased" or "extended" intelligence (Leach, 2021), capable of enhancing the natural intelligence of the human being, allowing us to achieve results that we could not obtain without the computer.

This purpose means identifying principles on which to base the development processes of design practice, while structuring the knowledge to transfer them into the digital environment (Russo Ermolli, 2020).

In conclusion, it is believed that to guide, direct and accompany a 'painless' transition towards an increasingly widespread use of AI, it will be necessary to adopt an active and proactive attitude so that the new tools for prefiguration, simulation and error detection are developed in a coherent, transparent, controllable and flexible manner to accommodate the intuitive, conceptual and inductive intervention of humans.

The illustrative cases described above (although not exhaustive of this complex and evolving reality) lead us to reflect on how AI can also be used in a 'creative' way and brought back to a



Un rinnovato *modus operandi* teso, quindi, non tanto a contrarre il tempo dedicato alla fase progettuale, o ad ottenere un risultato puramente estetico o formale, quanto invece teso a beneficiare della possibilità di governo, verifica e valutazione simultanea di molteplici parametri di progetto, per un maggiore livello di qualità processuale, progettuale e realizzativa degli interventi.

#### ATTRIBUZIONE, RICONOSCIMENTI, DIRITTI D'AUTORE

Si ringraziano Alex Mortiboys e Giuseppe Dotto per le informazioni relative al processo progettuale attuato per il Feyenoord Stadium di Rotterdam dallo studio OMA.

Si ringrazia inoltre Alex Christodoulou dello studio ARUP per le informazioni relative alla progettazione generativa adottata per i progetti "Valley" ed "Elements" ad Amsterdam.

#### NOTE

<sup>1</sup> Cfr. Aristotele, *Metafisica*, Libro I.

<sup>2</sup> La locuzione "intelligenza artificiale" è stata ufficializzata nel 1956 e attribuita a John McCarthy. Tuttavia, il dibattito circa la possibilità di affidare ad una macchina abilità dell'essere umano ha origini ben precedenti (Buchanan, 2006).

<sup>3</sup> Formalmente, la transizione digitale del settore delle costruzioni in Europa è iniziata con l'adozione della Direttiva 2014/24/UE che promuove l'uso del BIM per la realizzazione di opere pubbliche.

<sup>4</sup> In tale direzione, l'iniziativa del New European Bauhaus intende promuovere, in coerenza con il Green Deal, la riqualificazione degli ambienti di vita, avvalendosi anche dei benefici della digitalizzazione del settore delle costruzioni, tra cui l'applicazione dei sistemi di IA.

<sup>5</sup> In Europa, la "Risoluzione del Parlamento europeo recante raccomanda-

process in which it is the designer who governs the rationale underlying the resolution of problems.

Consequently, all soft skills typical of critical thinking, which will enable us to be resilient towards increasingly frequent changes that will affect design practice, will need to be strengthened. Even education will have to be updated «to allow the full development of the potentialities offered by the new *technological milieu*, avoiding at the same time the affirmation of forms of uncritical subjection to the technique» (Campioli, 2020).

The hope is a scenario that strengthens the designer's position as a protagonist/director of decision-making in a context characterised by increasing use of human-centric AI, open and at the service of the abductive reasoning and well-being of humans, consistently with the model of Industry 5.0.

A renewed *modus operandi* aimed, therefore, not at reducing the time dedicated to the design phase or at obtaining a purely aesthetic or formal result but rather at benefiting from the possibility of simultaneous governance, verification and evaluation of multiple design parameters for a higher level of procedural, design and implementation quality of interventions.

#### ATTRIBUTION, ACKNOWLEDGMENTS, COPYRIGHT

We wish to thank Alex Mortiboys and Giuseppe Dotto for the information on the design process implemented for the Feyenoord Stadium in Rotterdam by OMA.

We also thank Alex Christodoulou of the ARUP study for the information regarding the generative design adopted for the "Valley" and "Elements" projects in Amsterdam.

zioni alla Commissione su un regime di responsabilità civile per l'intelligenza artificiale, 2020/2014(INL)" non conferisce personalità giuridica ai sistemi di IA, ma, a seconda del rischio ad essi associato, considera responsabili le persone coinvolte nella catena del valore.

<sup>6</sup> La prima *Conference on Design Methods* si è tenuta a Londra nel 1962 e ha sancito l'avvio della ricerca che mira ad esplicitare e sistematizzare i metodi di progettazione nell'architettura, nell'ingegneria, nel design industriale, e nelle comunicazioni.

<sup>7</sup> <https://www.arup.com/projects/valley> (accessed 24 August 2022).

<sup>8</sup> <https://www.autodesk.com/customer-stories/oma> (accessed 24 August 2022).

#### REFERENCES

- Bernstein, P. (2022), *Machine Learning: Architecture in the age of Artificial Intelligence*, RIBA Publishing, London.
- Buchanan, B.G. (2006), "A (Very) Brief History of Artificial Intelligence", *AI Magazine*, Vol. 26, n.4.
- Campioli, A. (2020), "Tecnologie e cultura del progetto nella società delle mangrovie", in Perriccioli, M., Rigillo, M., Russo Ermolli, S. and Tucci, F. (Eds.), *Il Progetto nell'Era Digitale. Tecnologia Natura Cultura*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, pp. 68-70.
- Castells, M. (1996), *The Rise of the Network Society, The Information Age: Economy, Society and Culture*, Vol. I., Blackwell Publishers, Cambridge.
- Christodoulou, A., Vola, M. and Rikken, G. (2018), "Case Study for the Application of Multidisciplinary Computational Design Assessment and Constructability Optimisation Tools", *SimAUD '18, Delft, June 4-7, 2018*, Society for Computer Simulation International, San Diego, CA, pp. 1-8.
- Ciribini, G. (1984), *Tecnologia e progetto: Argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, CELID, Torino.
- Crawford, K. (2021), *Atlas of Ai: Power, Politics, and the Planetary Costs of Artificial Intelligence*, Yale University Press, New Haven.

#### NOTES

<sup>1</sup> See Aristotle, *Metaphysics*, Book I.

<sup>2</sup> The term "artificial intelligence" was officially formalised in 1956 and attributed to John McCarthy. However, the debate about the possibility of assigning human tasks to a machine has much earlier origins (Buchanan, 2006).

<sup>3</sup> Formally, the digital transition of the European construction sector began with the Directive 2014/24/EU, which promotes the use of BIM for the creation of public works.

<sup>4</sup> In this regard, in line with the Green Deal, the New European Bauhaus initiative aims to promote the renovation of living environments, also making use of the benefits of the digitisation process of the construction sector, including the application of AI systems.

<sup>5</sup> In Europe, the "European Parliament resolution with recommenda-

tions to the Commission on a civil liability regime for artificial intelligence, 2020/2014(INL)" does not confer legal personality to AI systems but, depending on the risk associated with them, holds the people involved in the value chain accountable.

<sup>6</sup> The first Conference on Design Methods was held in London in 1962 and marked the start of research aimed at systematising design methods in architecture, engineering, industrial design, and communications.

<sup>7</sup> <https://www.arup.com/projects/valley> (accessed 24 August 2022).

<sup>8</sup> <https://www.autodesk.com/customer-stories/oma> (accessed 24 August 2022).

- Cross, N. (1999), "Natural Intelligence in Design", *Design Studies*, Vol. 20, n.1, pp. 25-39.
- Damasio, A. (2022), *Sentire e conoscere. Storia delle menti coscienti*, 2nd ed., Adelphi, Milano.
- Debney, P. et al. (2022), "Advanced Applications in Computational Design", in: Bolpagni, M., Gavina, R. and Ribeiro, D. (Eds.), *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, Vol. 20, Springer, Cham, pp. 77-102.
- European Construction Sector Observatory (ECSO) (2021), Digitalisation in the construction sector.
- European Commission (2020), *European enterprise survey on the use of technologies based on artificial intelligence: final report*, Publications Office, available at: <https://data.europa.eu/doi/10.2759/759368> (accessed 24 August 2022).
- European Construction Technology Platform (ECPT) (2018), Artificial Intelligence – Research and Innovation Needs Manufacturing, Energy Intensive Industries, Bio-Based Industries and Construction – Focus on the Construction and Built Environment Sector.
- Ferrante, T. (2020), "Technological design and social innovation", in Lauria, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (Eds.), *Producing Project*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, pp. 368-373.
- Goodfellow, I. et al. (2014), "Generative Adversarial Nets", *Proceedings of the International Conference on Neural Information Processing Systems, NIPS 2014*, pp. 2672-2680.
- Kelly, N., and Gero, J. (2021), "Design thinking and computational thinking: A dual process model for addressing design problems", *Design Science*, Cambridge University Press, Vol. 7, p. 8.
- Kurzweil, R. (2006), *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*, Penguin Books, London.
- Leach, N. (2021), *Architecture in the Age of Artificial Intelligence*, Bloomsbury Publishing, London.
- Pearl, J., and Mackenzie, D. (2018), *The Book of Why: The New Science of Cause and Effect*, Basic Books, New York.
- Rittel, H.W., and Webber, M.M. (1973), "Dilemmas in a general theory of planning", *Policy Sciences*, Vol. 4, n.2, pp. 155-169.
- Russo Ermolli, S. (2020), *The digital culture of architecture. Note sul cambiamento cognitivo e tecnico tra continuità e rottura-Notes on cognitive and technical change between continuity and disruption*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.
- Simon, H.A. (1996), *The Sciences of the Artificial*, 3rd ed., MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Tegmark, M. (2018), *Life 3.0: Being Human in the Age of Artificial Intelligence*, Penguin Books, London.
- Wing, J. (2006), "Computational thinking", *Communications of the ACM*, vol. 49, n. 3, pp.33-35.