

AI e progettazione: valido ausilio o rischio?

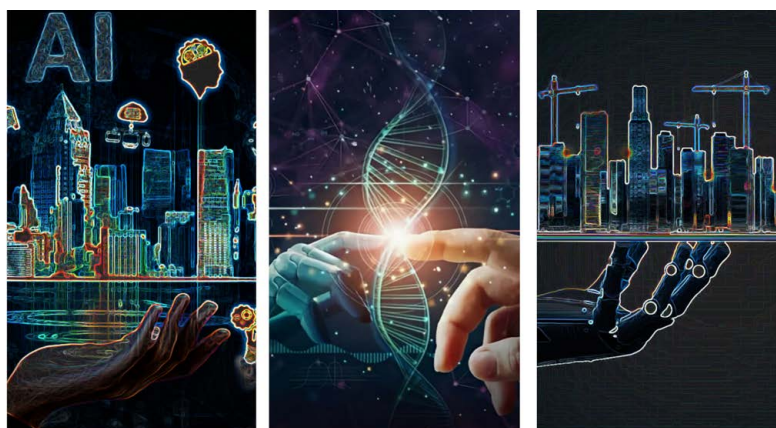
Sara Gonizzi Barsanti
Silvia Bertacchi
Adriana Rossi

Abstract

L'intelligenza artificiale (AI) influenza sempre più le scelte e il comportamento suggerendo musica, film, amici sui social media, in breve indirizzando le nostre decisioni. Le aziende hanno un grande interesse a contribuire agli studi sul patrimonio attraverso i loro sistemi di intelligenza artificiale. Il settore dell'edilizia è in lenta e costante evoluzione abbracciando nuove tecnologie come *Digital Twin (DT)*, *Building Information Modelling (BIM)*, Intelligenza Artificiale (AI), *Internet of Things (IoT)* e *Smart Vision (SV)* per migliorare ulteriormente l'efficienza, la produttività, l'accuratezza e sicurezza degli ambienti costruiti. La creazione architettonica è sempre interessata dallo sviluppo tecnologico e di risorse disponibili e la presenza della computazione e l'avvento dell'intelligenza artificiale apre nuove prospettive nella progettazione architettonica, che non si incarna solo nell'applicazione del nuovo mezzo, ma è anche presente nella nuova logica progettuale. Le recenti piattaforme artistiche AI possono creare immagini impressionanti da semplici descrizioni di testo. Ciò le rende strumenti potenti per la progettazione in qualsiasi disciplina che richieda creatività. Ciò vale anche per le prime fasi della progettazione architettonica con molteplici fasi di ideazione, schizzo e modellazione. Questo articolo presenta una revisione critica di quanto si è fatto nel campo dell'applicazione dell'AI nel progetto architettonico.

Parole chiave

progettazione architettonica, artificial intelligence, pattern recognition, pianificazione di spazi, convolutional neural network



Dalla progettazione
architettonica umana
alla progettazione con
intelligenza artificiale

Introduzione

L'IA ha il potenziale per inserire, elaborare e trasmettere informazioni in modo ricorrente, permette al computer di creare parametri intermedi, a partire da informazioni raccolte o trasmesse dall'utente. Sulla base dei dati appresi, la macchina può generare soluzioni che emulano la distribuzione statistica delle informazioni mostrategli durante la fase di apprendimento. Ogni branca dell'IA riflette una diversa interpretazione dell'archetipo. In generale, però, tutti lo intendono come un'essenza mentale intangibile e indipendente da restrizioni formali. Nonostante la crescente importanza dell'IA, esistono pochi studi che hanno analizzato le prospettive e i vincoli della sua adozione nel settore delle costruzioni [Baker et al. 2020; Yaseen et al. 2020; Choiet et al. 2021]. Sebbene il settore si stia trasformando lentamente, le imprese hanno un interesse crescente quando si rendono conto dei vantaggi economici [Abdirad, Mathur 2021; Regona et al. 2022; Zhou et al. 2016; Yigitcanlar et al. 2020], mentre rimane un vuoto di conoscenza su come il pubblico ne percepisca l'implementazione [Yigitcanlar, Cugurullo 2020; Yigitcanlar et al. 2021; Eber 2020]. La maggior parte degli algoritmi richiede dati accurati per l'addestramento, la raccolta dei dati è costosa e richiede tempo soprattutto all'inizio del processo [Yigitcanlar et al. 2020; Blanco et al. 2018; Yigitcanlar 2021]. Questo ha portato a un crescente dibattito sul futuro della forza lavoro nel settore delle costruzioni e su come l'IA influirà sui posti di lavoro [Howard 2019]. La progettazione architettonica è il processo di concettualizzazione, pianificazione e immaginazione di una struttura e della sua trasformazione in una pienamente funzionale. In un modo o nell'altro, fa parte dell'evoluzione che noi esseri umani abbiamo sviluppato nel tempo e riflette le diverse epoche in cui abbiamo vissuto. L'architettura si distingue come uno dei campi in cui si sta sfruttando il potenziale trasformativo dell'IA, che va dalla concettualizzazione all'esecuzione dei progetti. L'integrazione di tecniche avanzate di IA come *Generative Adversarial Networks (GANs)*, *Latent Diffusion Models (LDMs)*, and *Segment Anything Models (SAMs)* nel software architettonico sottolinea la portata dell'applicazione poichè consentono all'intelligenza artificiale di generare una vasta gamma di alternative progettuali, di ottimizzare i componenti strutturali e persino di emulare le sottigliezze stilistiche di stimati architetti [Pan et al. 2019]. Oltre a questo, l'IA è progressivamente riconosciuta come uno strumento educativo trasformativo in architettura. Al di là dei metodi tradizionali, l'IA offre un'esperienza di apprendimento arricchita, grazie alla sua capacità di visualizzare progetti non costruiti e di comprendere i principi del design [Zhang et al. 2023]. L'avvento di nuovi metodi scalabili di IA/*Machine Learning (ML)* e la disponibilità di dati di progettazione architettonica stanno iniziando a spianare la strada ai ricercatori verso il raggiungimento dell'automazione della progettazione. Uno dei primi architetti a utilizzare il ML per il suo lavoro nel 1992 è stato Bojan Baletic [Baletic 1992] che utilizzava una rete neurale per determinare modelli come ausilio per la pianificazione. Gli ultimi dieci anni di sviluppo rappresentano un incredibile passo avanti verso sistemi che possono aiutare i progettisti ad affrontare forme complesse, a inventarne di nuove sostenibili. Non esiste però un modo per prevedere l'evoluzione degli strumenti di intelligenza artificiale in architettura [Vukorep, Kotov 2021]. La chiave per spiegare la connessione tra intelligenza artificiale e architettura affonda le sue radici nella scuola dei Logici. La percezione del linguaggio naturale come sistema di segni è stabilita nella semiotica: gli esseri umani giudicano le cose in base al loro ambiente e a categorie già conosciute. Ciò che fa l'IA è eseguire la spiegazione statistica delle idee tramite l'avvento di piattaforme di modelli di diffusione pubblicamente disponibili come *DALL-E*, *Midjourney* o *Stable Diffusion* [Ploennigs, Berger 2023].

Esempi di applicazione dell'AI nel progetto architettonico

L'architettura può trarre vantaggio dall'applicazione dell'intelligenza artificiale in quasi tutte le fasi del lavoro creativo. Per questo motivo Wibranek e Tessmann propongono di integrarla nelle diverse fasi della progettazione architettonica, affermando che l'attenzione del progettista deve essere spostata verso la definizione delle azioni della macchina per consentire un apprendimento adeguato [Wibranek, Tessmann 2021]. Per gli autori, una delle

maggiori sfide in un'architettura potenziata dall'intelligenza artificiale è il modo in cui l'uomo si interfaccia con l'apprendimento automatico (ML). Considerando il fatto che le macchine superano le capacità umane, un elevato grado di autonomia dei sistemi digitali nel processo di progettazione mette alla prova il modo in cui gli esseri umani sono coinvolti. Le applicazioni dell'IA alla progettazione architettonica in senso lato variano da macro a micro-scala. Kristombu e co-autori [Kristombu et al. 2022] presentano un elenco non esaustivo dei tentativi di applicare l'intelligenza artificiale nella progettazione architettonica (fig. 1). Per gli autori, sebbene l'applicazione dell'IA nella progettazione architettonica sia molto promettente, ci sono alcuni fattori e sfide importanti che devono essere considerati per sfruttarne appieno il potenziale. Uno dei problemi si riferisce al reperimento di set di dati di alta qualità da utilizzare per istruire l'algoritmo con un'accuratezza elevata e il tempo e le risorse necessarie per rielaborare i dati. Questo aspetto deve essere considerato quando si pianifica la raccolta dei dati per generare algoritmi più robusti e per automatizzare la componente di preelaborazione dei dati.

Application	Algorithm Used/Proposed	Reference
Generate floor plans using a video	FloorNet (A combination of three neural networks)	[16]
Generate 3D room layouts using a single RGB panorama	DuLa-Net	[17]
Generate conceptual architectural designs	GCN and GAN	[18]
Indoor scene synthesis	CNN	[19]
Automated recognition of spaces in an architectural floor plan	DeepLabV3+ [20]	[21]
Generation of urban building forms	ANN	[22]
Generation of early-stage architectural design sketches	self-sparse GAN	[23]
Generation of 3D decorative architectural parts	CurveInfoGAN, VAE and Evolutionary Algorithm	[24]
House style recognition	CNN	[25]

Fig. 1. Elenco non esaustivo delle applicazioni di intelligenza artificiale e degli algoritmi proposti nella progettazione architettonica, con riferimento alla bibliografia citata (da: Kristombu et al. 2022).

L'analogia tra pixel e pixel è stata utilizzata da Chaillou [Chaillou 2019] nel progetto basato su esempi di planimetrie e su alcune caratteristiche di stili architettonici correlati per cui l'approccio statistico può essere utilizzato come tecnica di ottimizzazione standard. Il lavoro evidenzia l'elemento fondamentale dell'utilizzo dell'IA nella progettazione e cioè non semplice opportunità ma possibile rimodellazione della disciplina architettonica. Per dimostrare questo, ottimizza la generazione di una quantità ampia ed estremamente diversificata di progetti di planimetrie e offre una metodologia di classificazione adeguata (fig. 2).

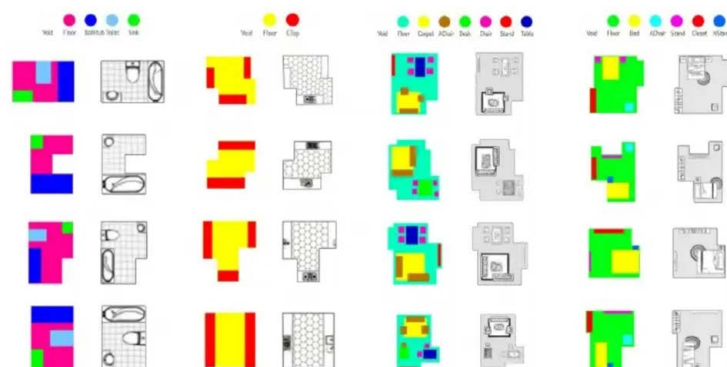
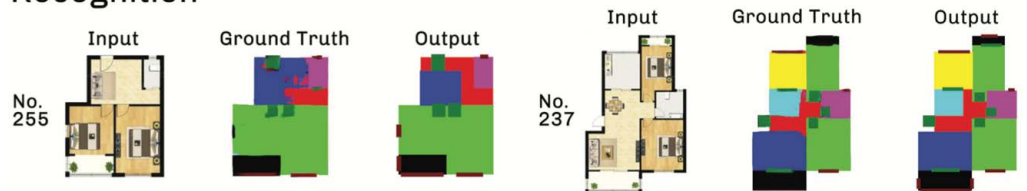


Fig. 2. Esempi di progettazione e risultati relativi all'arredamento delle stanze bagno, cucina, soggiorno e camera da letto (da: Chaillou 2019).

Huang e Zheng [Huang, Zheng 2018] propongono all'incirca lo stesso processo utilizzando *pix2pixHD* per il riconoscimento e la generazione di disegni architettonici, contrassegnando le stanze con colori diversi e generando poi le piante degli appartamenti attraverso due reti neurali convoluzionali analizzando il quadro di riferimento e fornendo una spiegazione dei tre principi di funzionamento: convoluzione, rete residua e deconvoluzione. È emerso che le caratteristiche dei disegni architettonici sono state gradualmente apprese e memorizzate come parametri nelle reti (fig. 3).

Recognition



Generation

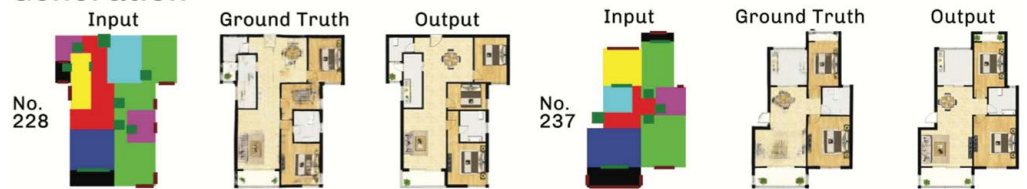


Fig. 3. Esempi delle diverse progettazioni di una planimetria (da: Huang, Zheng 2018).

1

Wu e co-autori [Wu et al. 2019] propongono una nuova tecnica *data-driven* per la generazione automatica ed efficiente di planimetrie di edifici residenziali. Al centro di questo metodo c'è un approccio in due fasi che imita il processo di progettazione umana, localizzando prima le stanze e poi le pareti e adattandosi ai limiti dell'edificio.

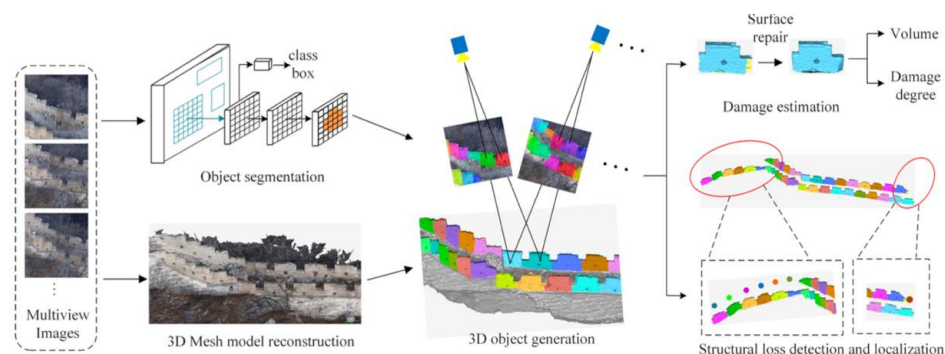
Basandosi sull'osservazione della presenza del soggiorno in quasi tutte le planimetrie, la rete di apprendimento inizia con il posizionamento di un soggiorno e prosegue con la generazione iterativa di altre stanze (fig. 4).



Fig. 4. Generazione delle diverse planimetrie di un appartamento (da: Wu et al. 2019).

Nel Progetto Grande Muraglia [Gong et al. 2021], gli algoritmi di intelligenza artificiale sono stati utilizzati per calcolare la quantità di materiale da costruzione richiesto nel processo di restauro rilevando i difetti strutturali nel Muro di Jiankou. Gli autori hanno proposto un metodo per la valutazione quantitativa dei danni di grandi edifici basato su immagini di droni e *Convolutional Neural Network* (fig. 5). Il metodo proposto è risultato efficace per la valutazione degli oggetti danneggiati e la localizzazione degli oggetti mancanti e rappresenta una buona soluzione per gli edifici in cui è impossibile effettuare il rilevamento dei danni in loco.

Fig. 5. Pipeline per la valutazione quantitativa del danno sulle murature della grande muraglia con una struttura lineare simmetrica (da: Gong et al. 2021).



Un altro campo in cui l'intelligenza artificiale è stata utilizzata come supporto alla progettazione è il BIM. Croce e co-autori [Croce et al. 2023] propongono un approccio di ricostruzione semi-automatica Scan-to-BIM, sfruttando al massimo le tecniche di IA, per la classificazione dei dati digitali del patrimonio architettonico, puntando all'automazione dei flussi di lavoro mediante la combinazione di metodi di segmentazione semantica che sfruttano l'intelligenza artificiale e gli editor di algoritmi grafici per la modellazione 3D (fig. 6). I risultati suggeriscono la replicabilità dell'approccio ad altri casi studio, realizzati in periodi diversi, con tecniche costruttive diverse o in stati di conservazione diversi.

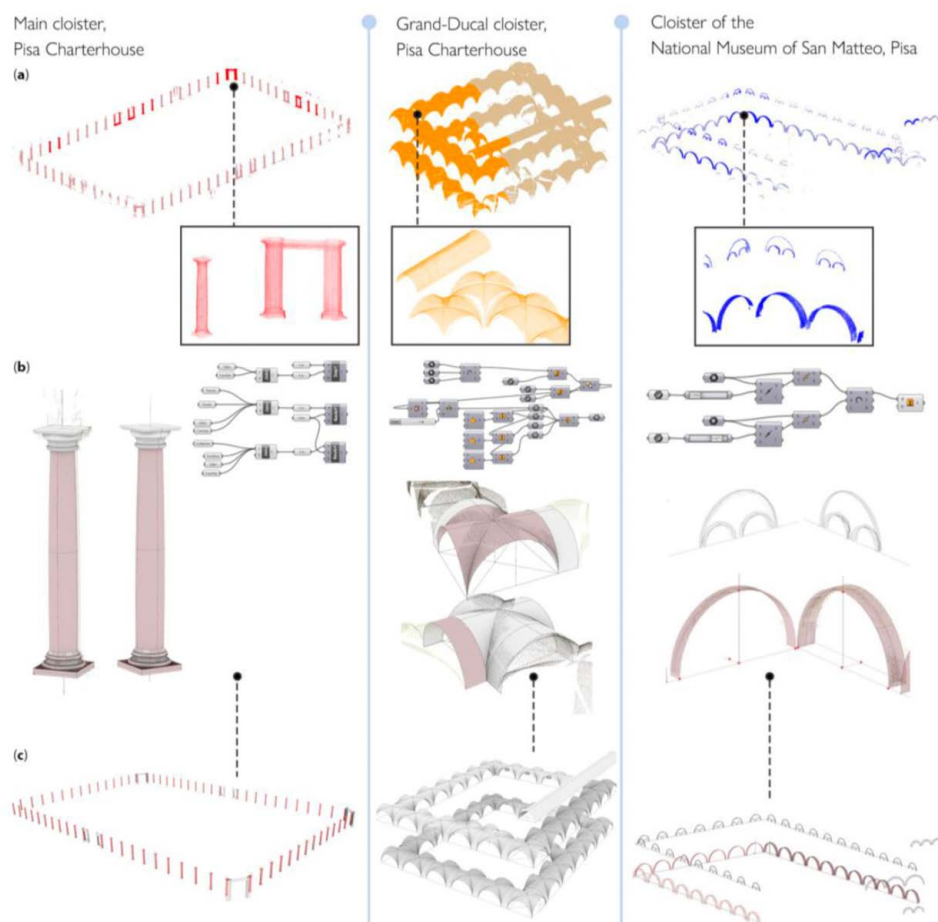


Fig. 6. Esempi di ricostruzione di componenti parametrici: (a) classi originali; (b) geometria concettuale di riferimento; (c) propagazione delle informazioni alla classe (da: Croce et al. 2023).

Muthumanickam e co-autori [Muthumanickam et al. 2021] hanno sviluppato un nuovo ecosistema software connesso che utilizza sviluppi all'avanguardia nella modellazione parametrica e nella gestione di *database* e API per supportare la progettazione di una struttura di costruzione in calcestruzzo. Una piattaforma BIM così unificata ha consentito l'integrazione di strumenti multidisciplinari di modellazione, analisi, ottimizzazione e simulazione. Özel [Özel 2020] presenta un procedimento che è in grado di classificare e iterare approcci stilistici che non rientrano nei confini disciplinari dell'architettura, consentendo all'IA di progettare, coordinare, randomizzare e iterare qualità formali ed estetiche esterne in relazione a pattern, colore, proporzioni, gerarchia e linguaggio formale. L'autore intende sviluppare un nuovo approccio alla collaborazione uomo-macchina che rifiuta le nozioni tradizionali di autonomia disciplinare e razionalizza l'influenza delle discipline estetiche esterne alla produzione architettonica. Leach [Leach 2021] esamina come le diverse manifestazioni dell'IA influenzeranno la disciplina e la professione dell'architettura, evidenziando casi studio attuali e applicazioni del prossimo futuro, in cui l'IA sia utilizzata come potente strumento di progettazione e come i sistemi informativi guidati dall'IA trasformeranno la progettazione di edifici e città.

L'ultimo progetto analizzato si riferisce al confronto tra i progetti di Gaudí e quelli prodotti da un sistema di intelligenza artificiale complessiva [Zhang et al. 2023], valutati utilizzando cinque parametri principali: Autenticità, Attrazione, Creatività, Armonia e Preferenza (fig. 7). I risultati sottolineano la superiorità dei progetti di Gaudí in termini di autenticità e armonia, mentre i progetti IA danno risultati competitivi nelle categorie dell'attrattiva e della creatività, in alcuni casi superando i progetti di Gaudí in termini di preferenza complessiva. Questi risultati mostrano come l'IA potrebbe essere strumento significativo di progettazione architettonica che però incontra difficoltà nel catturare le sfaccettature uniche degli stili di progettazione umani e la soggettività intrinseca nelle valutazioni del design. Questo porta gli autori a sottolineare la necessità di un approccio più personalizzato nello sviluppo e nell'utilizzo di strumenti di progettazione IA per soddisfare i diversi gusti estetici.

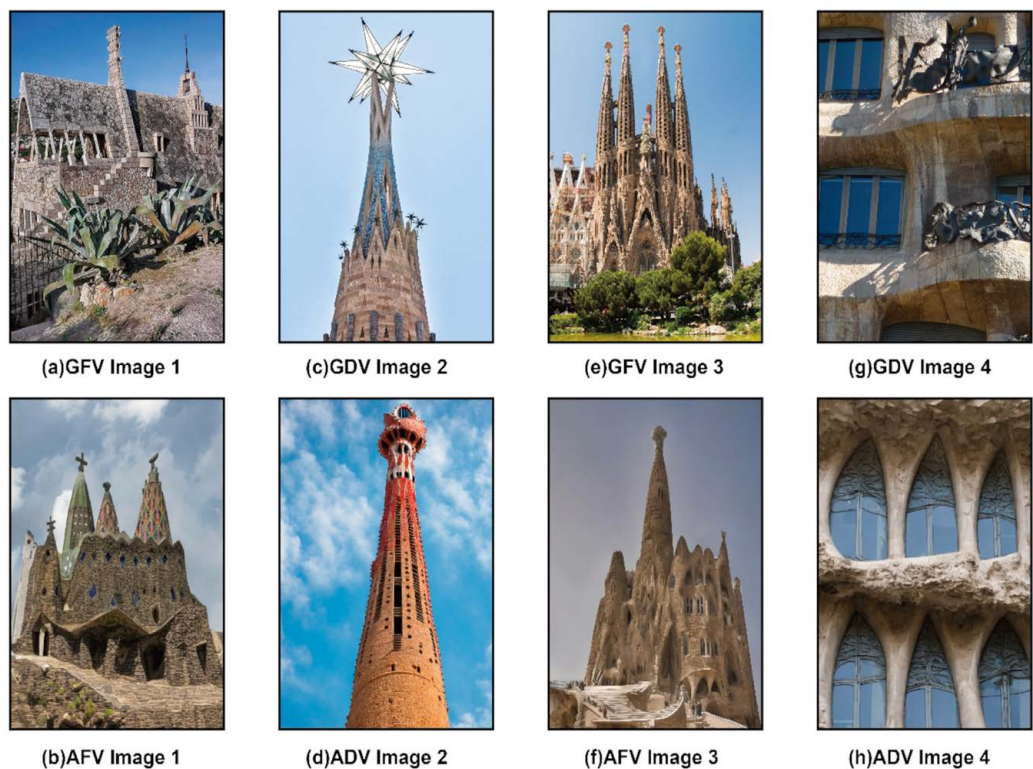


Fig. 7. (a) facciata dell'opera di Gaudí, (b) immagine da IA, (c) dettaglio opera di Gaudí, (d) dettaglio da IA, (e) vista facciata edificio progettato da Gaudí, (f) facciata progettata da IA, (g) dettaglio opera Gaudí, (h) dettaglio da IA (da: Zhang et al. 2023).

Conclusioni

L'intelligenza artificiale facilita la vita in molti settori e fornisce risultati rapidi e pratici. Dato l'impatto che i computer e l'automazione hanno avuto in altri settori, ci si potrebbe chiedere perché queste tecniche non ne abbiano avuto uno maggiore sulla pratica del design e della pianificazione dello spazio. Uno dei motivi è che, a differenza di molti settori che hanno beneficiato dell'automazione, la pianificazione dello spazio è ancora in gran parte un processo creativo. Sebbene molte parti del processo siano ripetitive, l'approccio adottato è spesso specifico per il problema da risolvere e per lo stile e gli interessi particolari del progettista. Un altro motivo è che la programmazione informatica è tradizionalmente un processo complesso e difficile, che richiede un elevato livello di formazione e competenza [Nagy 2021]. Gli studi presenti in letteratura dimostrano che l'intelligenza artificiale interviene come fattore che contribuisce al processo di progettazione, viene vista come un elemento che consente di valutare con una prospettiva più ampia, e supporta il lavoro con le informazioni dettagliate che fornisce piuttosto che essere un elemento di supporto nel processo di progettazione. Negli ultimi anni, c'è stato un rinnovato interesse nell'applicazione dell'IA alla pianificazione dello spazio e ad altri problemi di progettazione. Parte di questo ha a che fare con l'emergere di nuovi algoritmi e approcci che consentono ai computer di risolvere problemi complessi senza dover essere programmati da un essere umano. Una ragione molto più importante è la democratizzazione della programmazione informatica attraverso strumenti di progettazione computazionale di facile utilizzo come Rhino Grasshopper (grasshopper3d.com) e linguaggi di programmazione come Python (python.org). Tuttavia, con l'integrazione di queste tecnologie in costante sviluppo, non bisogna dimenticare l'impatto cognitivo, sociale, culturale e psicologico del fattore umano. Invece di vedere la tecnologia dell'intelligenza artificiale come un fattore che minaccia il progettista, vederla come un elemento che supporta la progettazione e imparare a gestire insieme il processo di progettazione sarà un passo importante per soddisfare le esigenze di oggi [Edirne, Öztürk 2023]. Ciò fa sorgere la domanda: ci sarà una profonda comprensione della teoria architettonica, del disegno, dell'analisi formale, della geometria, della costruzione e dei valori sociali e culturali integrati in questa "intelligenza architettonica artificiale"? Oppure esistono metodi computazionali semplici che alla fine verranno scoperti e avranno una potenza di elaborazione sufficiente per generalizzare qualsiasi compito? Kvochick pensa di no [Kvochick 2021]. La maggior parte degli algoritmi di IA si sviluppano su reti neurali artificiali che hanno consentito di elaborare facilmente gli schemi del piano architettonico. L'architettura non è una pratica indipendente, socialmente isolata e pienamente autonoma, ma è influenzata da sviluppo economico, innovazioni tecnologiche, ideologia, politica; non è una questione di costruzione, tecnologia e disegno, ma di scambio di idee, concetti, significato e comunicazione. Progettare implica consapevolezza, organizzazione, ordine: si tratta di un'attività creativa basata su consuetudini/tradizioni o sull'intuizione per risolvere problemi di progettazione che sono peculiari in quanto non esistono risposte giuste predeterminate. Quindi la domanda è: possiamo prevedere quali algoritmi avranno il potenziale più elevato per la generazione autonoma di piani, ma quale sarà il nuovo obiettivo nel rapporto tra architettura e intelligenza artificiale?

Riferimenti bibliografici

- Abdirad H., Mathur P. (2021). *Artificial intelligence for BIM content management and delivery: Case study of association rule mining for construction detailing*. *Advanced Engineering Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101414>
- Baker H., Hallowell M.R., Tixier A.J. (2020). *AI-based prediction of independent construction safety outcomes from universal attributes*. *Automation in Construction*. [10.1016/j.autcon.2020.103146](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103146)
- Baletić B. (1992). *Information Codes of Mutant Forms*. *Proceedings of the 10th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe)*. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.1992.173>
- Blanco J., Fuchs S., Parsons M., Ribeirinho M.J. (2018). *Artificial intelligence: Construction technology's next frontier*. Copyright © 2018 McKinsey & Company.

- Brow T., Mann B., Ryder N., Subbiah M., Kaplan J. D., Dhariwa P., Neela- kanta A., Shyam P., Sastry G., Askell A., Agarwal S. (2020). *Language models are few-shot learners*. Advances in Neural Information Processing Systems. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165>
- Chaillou S. (2019). *AI and architecture: an experimental perspective*. In I.As, P.Basu (a cura di). *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*, pp. 420-441. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Cho S.J., Choi S.W., Ki J.H., Lee E.B. (2021). *AI and text-mining applications for analyzing contractor's risk in invitation to bid (ITB) and contracts for engineering procurement and construction (EPC) projects*. Energies. <https://doi.org/10.3390/en14154632>
- Croce V., Caroti G., Piemonte A., De Luca L., Véron P. (2023). *H-BIM and Artificial Intelligence: Classification of Architectural Heritage for Semi-Automatic Scan-to-BIM Reconstruction*. Sensors, n 23. <https://doi.org/10.3390/s23052497>
- Eber W. (2020). *Potentials of artificial intelligence in construction management*. In Organization Technology and Management in Construction: an International Journal. <https://doi.org/10.2478/otmj-2020-0002>
- Edirne Z., Öztürk M. (2023). *Artificial Intelligence Interaction in Architectural Design Education: Artificial Intelligence Workshop, in Edirne*. In E. Selçuk (a cura di). *International Research in Architecture Sciences II*, pp. 29-52.
- Gong Y., Zhang F., Jia X., Huang X., Li D., Mao Z. (2021). *Deep Neural Networks for Quantitative Damage Evaluation of Building Losses Using Aerial Oblique Images: Case Study on the Great Wall (China)*. Remote Sens. <https://doi.org/10.3390/rs13071321>
- Howard J. (2019). *Artificial intelligence: Implications for the future of work*. In American Journal of Industrial Medicine. <https://doi.org/10.1002/ajim.23037>
- Huang W., Zheng H. (2018). *Architectural Drawings Recognition and Generation Through Machine Learning*. Proceedings of the 38th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture Mexico City: (ACADIA), pp. 156-165. <https://doi.org/10.52842/conf.acadia.2018.156>
- Kristombu Baduge S., Thilakarathna S., Shalitha Perera J., Arashpour M., Sharafi P., Teodosio B., Shringi A., Mendis P. (2022). *Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications*. In Automation in Construction, Vol. 141. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104440>
- Kvochick T. (2021). *Fundamental aspects of pattern recognition in architectural drawing*. In I.As, P.Basu (a cura di). *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Leach N. (2021). *Architecture in the Age of Artificial Intelligence*. London: Bloomsbury Publishing.
- Muthumanickam N.K., Duarte J.P., Nazarian S., Memari A.H., Bilen S.G. (2021). *Combining AI and BIM in the design and construction*. In I. As, P. Basu (a cura di). *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*. pp. 251-279. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Nagy D. (2021). *AI in space planning*. In I.As, P.Basu (a cura di). *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Özel G. (2020). *Interdisciplinary AI: A Machine Learning System for Streamlining External Aesthetic and Cultural Influences in Architecture*. In P.F.Yuan, M. Xie, N. Leach, J.Yao, X.Wang (a cura di). *Architectural Intelligence*. Singapore: Springer.
- Pan Z., Yu W., Yi X., Khan A., Yuan F., Zheng Y. (2019). *Recent Progress on Generative Adversarial Networks (GANs): A Survey*. IEEE Access, vol. 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2905015>
- Ploennigs J., Berger M. (2023). *AI art in architecture*. In *AI in Civil Engineering*, vol. 2. <http://dx.doi.org/10.1007/s43503-023-00018-y>
- Regona M., Yigitcanlar T., Xia B., Li R.Y.M. (2022). *Artificial Intelligent Technologies for the Construction Industry: How Are They Perceived and Utilized in Australia?* In *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 8, Issue 16. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010016>
- Vukorep I., Kotov A. (2021). *Machine learning in architecture. An overview of existing tools*. In I.As, P.Basu (a cura di). *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*. pp. 93-109. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Wibranek B., Tessmann O. (2021). *Interfacing architecture and artificial intelligence: machine learning for architectural design and fabrication*. In I. As, P. Basu (a cura di). *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*. pp. 380-393. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Wu W., Fu X-M., Tang R., Wang Y., Qi Y-H., Liu L. (2019). *Data-driven interior plan generation for residential buildings*. In *ACM Transactions on Graphics*, vol. 38, Issue 6, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1145/3355089.3356556>
- Yigitcanlar T. (2021). *Greening the artificial intelligence for a sustainable planet: An editorial commentary*. In *Reviews and Perspectives on Smart and Sustainable Metropolitan and Regional Cities*, Sustainability, vol. 13, pp. 1-9.
- Yigitcanlar T., Butler L., Windle E., Desouz K., Mehmood R., Corchado J. (2020). *Can building "artificially intelligent cities" safeguard humanity from natural disasters, pandemics, and other catastrophes? An urban scholar's perspective*. Sensors. <https://doi.org/10.3390/s20102988>
- Yaseen Z.M., Ali Z.H., Sali S.Q., Al-Ansari, N. (2020). *Prediction of risk delay in construction projects using a hybrid artificial intelligence model*. Sustainability, vol. 12. <https://doi.org/10.3390/su12041514>

Yigitcanlar T., Cugurullo F. (2020). *The sustainability of artificial intelligence: An urbanistic viewpoint from the lens of smart and sustainable cities*. Sustainability, vol. 12. <https://doi.org/10.3390/su12208548>

Yigitcanlar T., Mehmood R., Corchado J.M. (2021). *Green artificial intelligence: Towards an efficient, sustainable and equitable technology for smart cities and futures*. Sustainability, vol. 13. <https://doi.org/10.3390/su13168952>

Zhang Z., Fort J.M., Giménez Mateu L. (2023). *Exploring the Potential of Artificial Intelligence as a Tool for Architectural Design: A Perception Study Using Gaudí's Works*. Buildings, vol. 13. <https://doi.org/10.3390/buildings13071863>

Zhou Z., Goh Y., Shen L. (2016). *Overview and analysis of ontology studies supporting development of the construction industry*. Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 30, Issue 6. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000594](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000594)

Autrici

Sara Gonizzi Barsanti, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, sara.gonizzibarsanti@unicampania.it

Silvia Bertacchi, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, silvia.bertacchi@unicampania.it

Adriana Rossi, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, adriana.rossi@unicampania.it

Per citare questo capitolo: Sara Gonizzi Barsanti, Silvia Bertacchi, Adriana Rossi (2024). *AI e progettazione: valido ausilio o rischio?* // AI and design: valuable aid or risk?. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione / Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3027-3044.

AI and design: valuable aid or risk?

Sara Gonizzi Barsanti

Silvia Bertacchi

Adriana Rossi

Abstract

Artificial intelligence (AI) increasingly influences choices and behaviour by suggesting music, films, friends on social media, in short by directing our decisions. Companies have a great interest in contributing to heritage studies through their artificial intelligence systems. The construction industry is slowly and steadily evolving by embracing new technologies such as Digital Twin (DT), Building Information Modelling (BIM), Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT) and Smart Vision (SV) to further improve the efficiency, productivity, accuracy and safety of built environments. Architectural creation is always affected by the development of technology and available resources, and the presence of computation and the advent of artificial intelligence opens up new perspectives in architectural design, which is not only embodied in the application of the new medium but is also present in the new design logic. Recent AI art platforms can create impressive images from simple text descriptions. This makes them powerful tools for design in any discipline that requires creativity. This also applies to the early stages of architectural design with multiple stages of conception, sketching and modelling. This article presents a critical review of what has been done in the field of applying AI in architectural design.

Keywords

architectural design, artificial intelligence, pattern recognition, space planning, convolutional neural network



From human architectural design to artificial intelligence design

Introduction

AI has the potential to input, process and transmit information on a recurring basis, allowing the computer to create intermediate parameters, starting from information collected or transmitted by the user. Based on the learned data, the machine can generate solutions that emulate the statistical distribution of the information shown to it during the learning phase. Each branch of AI reflects a different interpretation of the archetype.

In general, however, everyone understands it as an intangible mental essence independent of formal restrictions. Despite the growing importance of AI, there are few studies that have analysed the prospects and constraints of its adoption in the construction sector [Baker et al. 2020; Yaseen et al. 2020; Choiet al. 2021]. Although the sector is slowly transforming, businesses have growing interest as they realize the economic benefits [Abdirad, Mathur 2021; Regona et al. 2022; Zhou et al. 2016; Yigitcanlar et al. 2020], while there remains a knowledge gap on how the public perceives its implementation [Yigitcanlar, Cugurullo 2020; Yigitcanlar et al. 2021; Eber 2020]. Most algorithms require accurate data for training, data collection is expensive and time-consuming especially at the beginning of the process [Yigitcanlar et al. 2020; Blanco et al. 2018; Yigitcanlar 2021].

This has led to a growing debate about the future of the construction workforce and how AI will impact jobs [Howard 2019]. Architectural design is the process of conceptualizing, planning and imagining a structure and transforming it into a fully functional one.

In one way or another, it is part of the evolution that we humans have developed over time and reflects the different eras in which we have lived.

Architecture stands out as one of the fields where the transformative potential of AI is being harnessed, spanning from conceptualization to project execution. The integration of advanced AI techniques such as Generative Adversarial Networks (GANs), Latent Diffusion Models (LDMs), and Segment Anything Models (SAMs) into architectural software underlines the scope of the application as they allow the AI to generate a wide range of design alternatives, to optimize structural components and even to emulate the stylistic subtleties of esteemed architects [Pan et al. 2019].

Beyond this, AI is progressively recognized as a transformative educational tool in architecture. Beyond traditional methods, AI offers an enriched learning experience due to its ability to visualize unbuilt designs and understand design principles [Zhang et al. 2023].

The advent of new scalable AI/Machine Learning (ML) methods and the availability of architectural design data are starting to pave the way for researchers to achieve design automation. One of the first architects to use ML for his work in 1992 was Bojan Baletic [Baletic 1992] who used a neural network to determine models as an aid to planning. The last ten years of development represent an incredible step forward towards systems that can help designers tackle complex shapes, to invent new sustainable ones. However, there is no way to predict the evolution of artificial intelligence tools in architecture [Vukorep, Kotov 2021]. The key to explaining the connection between artificial intelligence and architecture has its roots in the school of Logicians.

The perception of natural language as a system of signs is established in semiotics: humans judge things based on their environment and already known categories. What AI does is perform statistical explanation of ideas via the advent of publicly available diffusion modelling platforms such as DALL-E, Midjourney, or Stable Diffusion [Ploennigs, Berger 2023].

Examples of application of AI in architectural design

Architecture can benefit from the application of artificial intelligence in almost all phases of creative work. For this reason Wibranek and Tessmann propose to integrate it into the different phases of architectural design, stating that the designer's attention must be shifted towards the definition of the machine's actions to allow adequate learning [Wibranek, Tessmann 2021]. For the authors, one of the biggest challenges in an AI-enhanced architecture

is how humans interface with machine learning (ML). Since machines surpass human capabilities, a high degree of autonomy of digital systems in the design process challenges how humans are involved.

The applications of AI to architectural design in a broad sense vary from macro to micro-scale. Kristombu and co-authors [Kristombu et al. 2022] present a non-exhaustive list of attempts to apply artificial intelligence in architectural design (fig. 1).

For the authors, although the application of AI in architectural design is very promising, there are some important factors and challenges that need to be considered to fully exploit its potential. One of the issues relates to sourcing high-quality datasets to use to train the algorithm with high accuracy and the time and resources needed to reprocess the data.

This aspect must be considered when planning data collection to generate more robust algorithms and to automate the data pre-processing component.

Fig. 1. Non-exhaustive list of artificial intelligence applications and algorithms proposed in architectural design, with reference to the cited bibliography (from: Kristombu et al. 2022).

Application	Algorithm Used/Proposed	Reference
Generate floor plans using a video	FloorNet (A combination of three neural networks)	[16]
Generate 3D room layouts using a single RGB panorama	DuLa-Net	[17]
Generate conceptual architectural designs	GCN and GAN	[18]
Indoor scene synthesis	CNN	[19]
Automated recognition of spaces in an architectural floor plan	DeepLabV3+ [20]	[21]
Generation of urban building forms	ANN	[22]
Generation of early-stage architectural design sketches	self-sparse GAN	[23]
Generation of 3D decorative architectural parts	CurveInfoGAN, VAE and Evolutionary Algorithm	[24]
House style recognition	CNN	[25]

The pixel-to-pixel analogy was used by Chaillou [Chaillou 2019] in the project based on examples of floor plans and some characteristics of related architectural styles for which the statistical approach can be used as a standard optimization technique. The work highlights the fundamental element of the use of AI in design and that is not a simple opportunity but a possible remodelling of the architectural discipline. To demonstrate this, it optimizes the generation of a large and extremely diverse amount of floor plan designs and offers a suitable classification methodology (fig. 2).

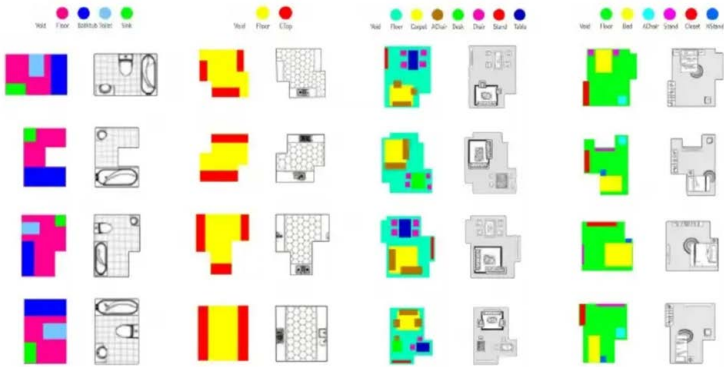
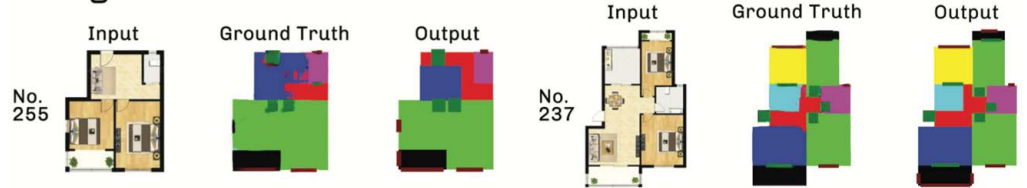


Fig. 2. Design examples and results relating to the furnishing of the bathroom, kitchen, living room and bedroom (from: Chaillou 2019).

Huang and Zheng [Huang, Zheng 2018] propose approximately the same process using pix2pixHD for the recognition and generation of architectural drawings, marking the rooms with different colours and then generating the apartment plans through two convolutional neural networks by analysing the reference frame and providing an explanation of the three operating principles: convolution, residual network and deconvolution. It turned out that the characteristics of the architectural drawings were gradually learned and stored as parameters in the networks (fig. 3).

Recognition



Generation

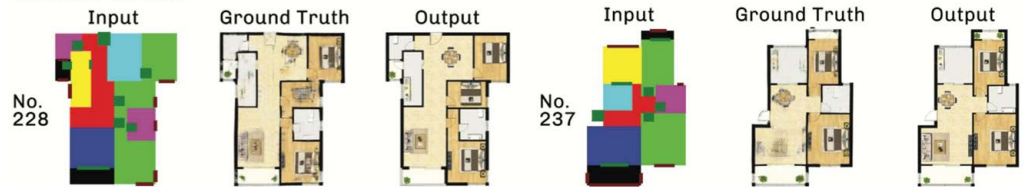


Fig. 3. Examples of different floor plan designs (from: Huang, Zheng 2018).

1

Wu and co-authors [Wu et al. 2019] propose a new data-driven technique for the automatic and efficient generation of floor plans of residential buildings.

At the heart of this method is a two-step approach that mimics the human design process, first locating rooms and then walls and adapting to the building's limitations.

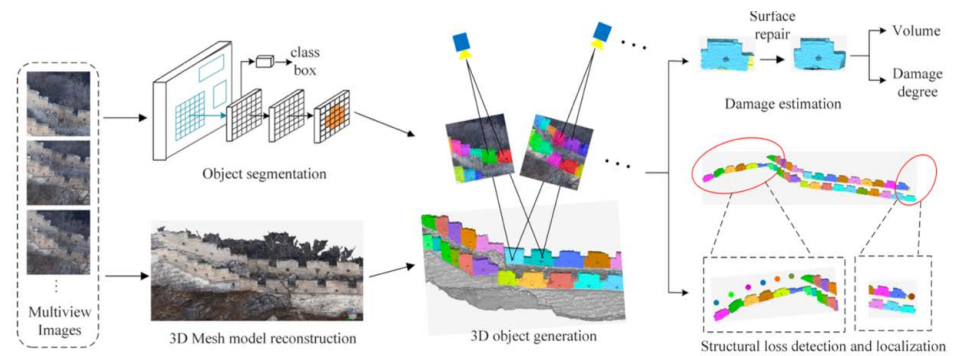
Based on the observation of the presence of the living room in almost all floor plans, the learning network begins with the placement of a living room and continues with the iterative generation of other rooms (fig. 4).



Fig. 4. Generation of different floor plans of an apartment (from: Wu et al. 2019).

In the Great Wall Project [Gong et al. 2021], artificial intelligence algorithms were used to calculate the amount of building material required in the restoration process by detecting structural defects in the Jiankou Wall. The authors proposed a method for quantitative damage assessment of large buildings based on drone images and Convolutional Neural Network (fig. 5). The proposed method was found to be effective for assessing damaged objects and locating missing objects and is a good solution for buildings where on-site damage detection is impossible.

Fig. 5. Pipeline for quantitative damage assessment on masonry of the Great Wall with a symmetric linear structure (from: Gong et al. 2022).



Another field in which artificial intelligence has been used to support design is BIM. Croce and co-authors [Croce et al. 2023] propose a semi-automatic Scan-to-BIM reconstruction approach, making the most of AI techniques, for the classification of digital data of architectural heritage, aiming at the automation of workflows through the combination of semantic segmentation methods that exploit artificial intelligence and graphics algorithm editors for 3D modelling (fig. 6).

The results suggest the replicability of the approach to other case studies, built in different periods, with different construction techniques or in different states of conservation.

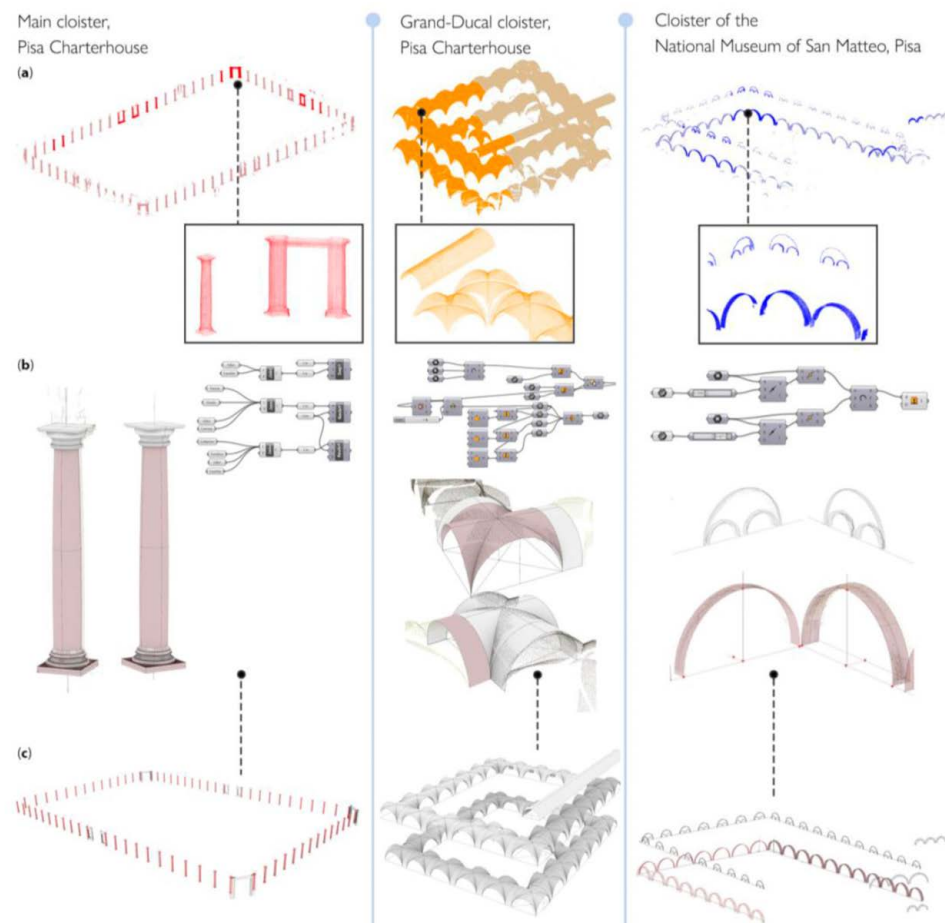


Fig. 6. Examples of reconstruction of parametric components: (a) original classes; (b) conceptual reference geometry; (c) propagation of information to the class (from: Croce et al. 2023).

Muthumanickam and co-authors [Muthumanickam et al. 2021] have developed a connected software ecosystem that uses cutting-edge developments in parametric modelling and database and API management to support the design of a concrete building structure. Such a unified BIM platform allowed the integration of multidisciplinary modelling, analysis, optimization, and simulation tools. Özel [Özel 2020] presents a procedure that can classify and iterate stylistic approaches that do not fall within the disciplinary boundaries of architecture, allowing AI to design, coordinate, randomize and iterate external formal and aesthetic qualities in relation to patterns, colour, proportions, hierarchy and formal language. The author intends to develop a new approach to human-machine collaboration that rejects traditional notions of disciplinary autonomy and rationalizes the influence of aesthetic disciplines external to architectural production. Leach [Leach 2021] examines how the different manifestations of AI will influence the discipline and profession of architecture, highlighting current case studies and near-future applications, in which AI is used as a powerful design tool and as information systems driven by AI, they will transform the design of buildings and cities.

The last project analysed refers to the comparison between Gaudí's projects and those produced by an overall artificial intelligence system [Zhang et al. 2023], evaluated using five main parameters: Authenticity, Attraction, Creativity, Harmony and Preference (fig. 7). The results highlight the superiority of Gaudí designs in terms of authenticity and harmony, while the AI designs perform competitively in the categories of attractiveness and creativity, in some cases surpassing Gaudí designs in terms of overall preference. These results show how AI could be a significant architectural design tool but faces difficulties in capturing the unique facets of human design styles and the inherent subjectivity in design evaluations. This leads the authors to highlight the need for a more personalized approach in developing and using AI design tools to accommodate different aesthetic tastes.

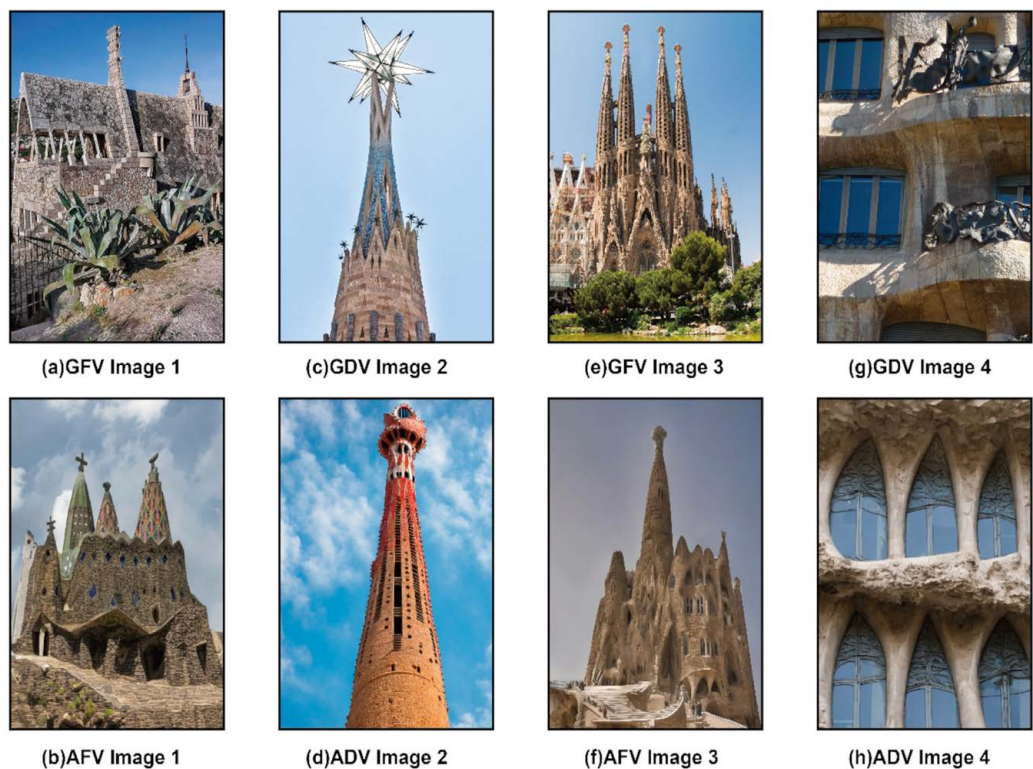


Fig. 7. (a) facade of Gaudí's work, (b) image from IA, (c) detail of Gaudí's work, (d) detail from IA, (e) view of building facade designed by Gaudí, (f) facade designed by IA, (g) detail of Gaudí work, (h) detail from IA (from: Zhang et al. 2023).

Conclusion

Artificial intelligence makes life easier in many industries and provides quick and practical results. Given the impact that computers and automation have had on other industries, you might wonder why these techniques haven't had a greater impact on the practice of design and space planning. One reason is that, unlike many industries that have benefited from automation, space planning is still largely a creative process. While many parts of the process are repetitive, the approach taken is often specific to the problem being solved and the designer's particular style and interests. Another reason is that computer programming is traditionally a complex and difficult process, requiring a high level of training and expertise [Nagy 2021]. Studies in the literature demonstrate that artificial intelligence intervenes as a factor that contributes to the design process, is seen as an element that allows evaluation with a broader perspective and supports the work with the detailed information it provides rather than being a support element in the design process. In recent years, there has been renewed interest in applying AI to space planning and other design problems. Part of this has to do with the emergence of new algorithms and approaches that allow computers to solve complex problems without having to be programmed by a human. A much more important reason is the democratization of computer programming through easy-to-use computational design tools like Rhino Grasshopper (grasshopper3d.com) and programming languages like Python (python.org). However, with the integration of these constantly developing technologies, we must not forget the cognitive, social, cultural and psychological impact of the human factor. Instead of seeing AI technology as a factor that threatens the designer, seeing it as an element that supports design and learning to manage the design process together will be an important step in meeting today's needs [Edirne, Öztürk 2023].

This begs the question: Will there be a deep understanding of architectural theory, design, formal analysis, geometry, construction, and social and cultural values integrated into this "artificial architectural intelligence"? Or are there simple computational methods that will eventually be discovered and have enough processing power to generalize to any task? Kvochick thinks not [Kvochick 2021]. Most of the AI algorithms are developed on artificial neural networks which have enabled the architectural plan patterns to be easily processed. Architecture is not an independent, socially isolated and fully autonomous practice, but is influenced by economic development, technological innovations, ideology, politics; it is not a question of construction, technology and design, but of exchange of ideas, concepts, meaning and communication. Designing implies awareness, organization, order: it is a creative activity based on customs/traditions or intuition to solve design problems which are peculiar in that there are no predetermined right answers.

So, the question is: we can predict which algorithms will have the highest potential for autonomous plan generation, but what will be the new focus in the relationship between architecture and artificial intelligence?

References

- Abdirad H., Mathur P. (2021). *Artificial intelligence for BIM content management and delivery: Case study of association rule mining for construction detailing*. Advanced Engineering Informatics. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101414>
- Baker H., Hallowell M.R., Tixier A.J. (2020). *AI-based prediction of independent construction safety outcomes from universal attributes*. Automation in Construction. 10.1016/j.autcon.2020.103146
- Baletić B. (1992). *Information Codes of Mutant Forms*. Proceedings of the 10th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe). <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.1992.173>
- Blanco J., Fuchs S., Parsons M., Ribeirinho M.J. (2018). *Artificial intelligence: Construction technology's next frontier*. Copyright © 2018 McKinsey & Company.

- Brow T., Mann B., Ryder N., Subbiah M., Kaplan J. D., Dhariwa P., Neela- kanta A., Shyam P., Sastry G., Askell A., Agarwal S. (2020). *Language models are few-shot learners*. Advances in Neural Information Processing Systems. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165>
- Chaillou S. (2019). *AI and architecture: an experimental perspective*. In I. As, P. Basu (Eds.), *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*, pp. 420-441. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Cho S.J., Choi S.W., Ki J.H., Lee E.B. (2021). *AI and text-mining applications for analyzing contractor's risk in invitation to bid (ITB) and contracts for engineering procurement and construction (EPC) projects*. Energies. <https://doi.org/10.3390/en14154632>
- Croce V., Caroti G., Piemonte A., De Luca L., Véron P. (2023). *H-BIM and Artificial Intelligence: Classification of Architectural Heritage for Semi-Automatic Scan-to-BIM Reconstruction*. Sensors, n 23. <https://doi.org/10.3390/s23052497>
- Eber W. (2020). *Potentials of artificial intelligence in construction management*. In Organization Technology and Management in Construction: an International Journal. <https://doi.org/10.2478/otmj-2020-0002>
- Edirne Z., Öztürk M. (2023). *Artificial Intelligence Interaction in Architectural Design Education: Artificial Intelligence Workshop, in Edirne*. In E. Selçuk (a cura di). *International Research in Architecture Sciences II*, pp. 29-52.
- Gong Y., Zhang F., Jia X., Huang X., Li D., Mao Z. (2021). *Deep Neural Networks for Quantitative Damage Evaluation of Building Losses Using Aerial Oblique Images: Case Study on the Great Wall (China)*. Remote Sens. <https://doi.org/10.3390/rs13071321>
- Howard J. (2019). *Artificial intelligence: Implications for the future of work*. In American Journal of Industrial Medicine. <https://doi.org/10.1002/ajim.23037>
- Huang W., Zheng H. (2018). *Architectural Drawings Recognition and Generation Through Machine Learning*. Proceedings of the 38th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture Mexico City: (ACADIA), pp. 156-165. <https://doi.org/10.52842/conf.acadia.2018.156>
- Kristombu Baduge S., Thilakarathna S., Shalitha Perera J., Arashpour M., Sharafi P., Teodosio B., Shringi A., Mendis P. (2022). *Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications*. In *Automation in Construction*, Vol. 141. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104440>
- Kvochick T. (2021). *Fundamental aspects of pattern recognition in architectural drawing*. In I. As, P. Basu (Eds.), *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Leach N. (2021). *Architecture in the Age of Artificial Intelligence*. London: Bloomsbury Publishing.
- Muthumanickam N.K., Duarte J.P., Nazarian S., Memari A.H., Bilen S.G. (2021). *Combining AI and BIM in the design and construction*. In I. As, P. Basu (Eds.), *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*. pp. 251-279. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Nagy D. (2021). *AI in space planning*. In I. As, P. Basu (Eds.), *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Özel G. (2020). *Interdisciplinary AI: A Machine Learning System for Streamlining External Aesthetic and Cultural Influences in Architecture*. In P.F. Yuan, M. Xie, N. Leach, J. Yao, X. Wang (Eds.). *Architectural Intelligence*. Singapore: Springer.
- Pan Z., Yu W., Yi X., Khan A., Yuan F., Zheng Y. (2019). *Recent Progress on Generative Adversarial Networks (GANs): A Survey*. IEEE Access, vol. 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2905015>
- Ploennigs J., Berger M. (2023). *AI art in architecture*. In *AI in Civil Engineering*, vol. 2. <http://dx.doi.org/10.1007/s43503-023-00018-y>
- Regona M., Yigitcanlar T., Xia B., Li R.Y.M. (2022). *Artificial Intelligent Technologies for the Construction Industry: How Are They Perceived and Utilized in Australia?* In *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 8, Issue 16. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010016>
- Vukorep I., Kotov A. (2021). *Machine learning in architecture. An overview of existing tools*. In I. As, P. Basu (a cura di). *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*. pp. 93-109. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Wibranek B., Tessmann O. (2021). *Interfacing architecture and artificial intelligence: machine learning for architectural design and fabrication*. In I. As, P. Basu (Eds.), *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*. pp. 380-393. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367824259>
- Wu W., Fu X-M., Tang R., Wang Y., Qi Y-H., Liu L. (2019). *Data-driven interior plan generation for residential buildings*. In *ACM Transactions on Graphics*, vol. 38, Issue 6, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1145/3355089.3356556>
- Yigitcanlar T. (2021). *Greening the artificial intelligence for a sustainable planet: An editorial commentary*. In *Reviews and Perspectives on Smart and Sustainable Metropolitan and Regional Cities*, Sustainability, vol. 13, pp. 1-9.
- Yigitcanlar T., Butler L., Windle E., Desouz K., Mehmood R., Corchado J. (2020). *Can building "artificially intelligent cities" safeguard humanity from natural disasters, pandemics, and other catastrophes? An urban scholar's perspective*. Sensors. <https://doi.org/10.3390/s20102988>
- Yaseen Z.M., Ali Z.H., Sali S.Q., Al-Ansari, N. (2020). *Prediction of risk delay in construction projects using a hybrid artificial intelligence model*. Sustainability, vol. 12. <https://doi.org/10.3390/su12041514>

Yigitcanlar T., Cugurullo F. (2020). *The sustainability of artificial intelligence: An urbanistic viewpoint from the lens of smart and sustainable cities*. Sustainability, vol. 12. <https://doi.org/10.3390/su12208548>

Yigitcanlar T., Mehmood R., Corchado J.M. (2021). *Green artificial intelligence: Towards an efficient, sustainable and equitable technology for smart cities and futures*. Sustainability, vol. 13. <https://doi.org/10.3390/su13168952>

Zhang Z., Fort J.M., Giménez Mateu L. (2023). *Exploring the Potential of Artificial Intelligence as a Tool for Architectural Design: A Perception Study Using Gaudí's Works*. Buildings, vol. 13. <https://doi.org/10.3390/buildings13071863>

Zhou Z., Goh Y., Shen L. (2016). *Overview and analysis of ontology studies supporting development of the construction industry*. Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 30, Issue 6. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000594](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000594)

Authors

Sara Gonizzi Barsanti, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, sara.gonizzibarsanti@unicampania.it

Silvia Bertacchi, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, silvia.bertacchi@unicampania.it

Adriana Rossi, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, adriana.rossi@unicampania.it

To cite this chapter: Sara Gonizzi Barsanti, Silvia Bertacchi, Adriana Rossi (2024). *AI e progettazione: valido ausilio o rischio?/AI and design: valuable aid or risk?*. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3027-3044.