

Come cambia il disegno

Livio Sacchi

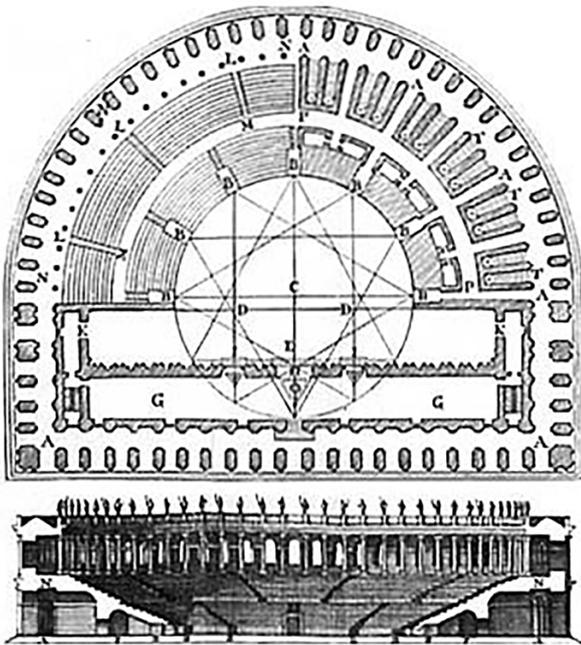
Il disegno degli architetti appare oggi sostanzialmente cambiato rispetto anche a soli pochi anni fa, soprattutto per quanto riguarda alcune grandi questioni generali, peraltro collegate tra loro, alcune note, altre forse meno: progettazione parametrica, BIM, *Big Data* e intelligenza artificiale. Sullo sfondo, si profila una ulteriore rivoluzione riguardante l'autorialità, sia del disegno sia, naturalmente, del progetto. Ma procediamo con ordine.

Osserviamo, per cominciare, che il disegno architettonico ha goduto nel tempo di straordinaria stabilità storica. A ben guardare, esso è rimasto sostanzialmente invariato, fatte salve piccole innovazioni sul piano strumentale quali,

per esempio, l'adozione del tecnigrafo o della carta trasparente, che velocizzò le operazioni di correzione e ripasso per *layer* successivi. Sul piano metodologico, le proiezioni parallele e centrali, di cui scrive Vitruvio, sono rimaste le stesse per circa 1.500 anni; il Rinascimento aggiunse la sezione e, soprattutto, riscoprì la cultura prospettica, dettando il canone per i cinque secoli successivi. I cambiamenti ai quali il disegno appare esposto in questi ultimi anni sembrano invece di ben diversa natura e portata rispetto alla tranquillizzante continuità precedente. Ciò implica che dobbiamo prestare grande attenzione: per evitare il rischio di ritrovarci prematuramente fuori gioco dal punto di vista

Articolo a invito per inquadramento del tema del focus, non sottoposto a revisione anonima, pubblicato con responsabilità della direzione.

Fig. 1. Marco Vitruvio Pollione, *Illustrazione del Teatro Romano*, 1790.



professionale e per evitare, dal punto di vista didattico, di formare giovani architetti che sono invece già vecchi prima ancora di cominciare a lavorare. Naturalmente e fortunatamente non tutto è cambiato: è rassicurante richiamare che, come sempre, il disegno serve a noi architetti per progettare: è un *medium* per rappresentare e specularre, il principale, ineludibile *medium* a nostra disposizione. Progettare è un'operazione di ideazione e comunicazione indispensabile alla costruzione dell'architettura; il progetto è dunque uno strumento in primo luogo predittivo, qualcosa che precede la realtà, che anticipa ciò che sarà, ma anche uno strumento in grado di spostare e superare i limiti di ciò che è possibile realizzare. Non è poco, almeno nella misura in cui raggiunge il suo obiettivo: la costruzione di un buon edificio.

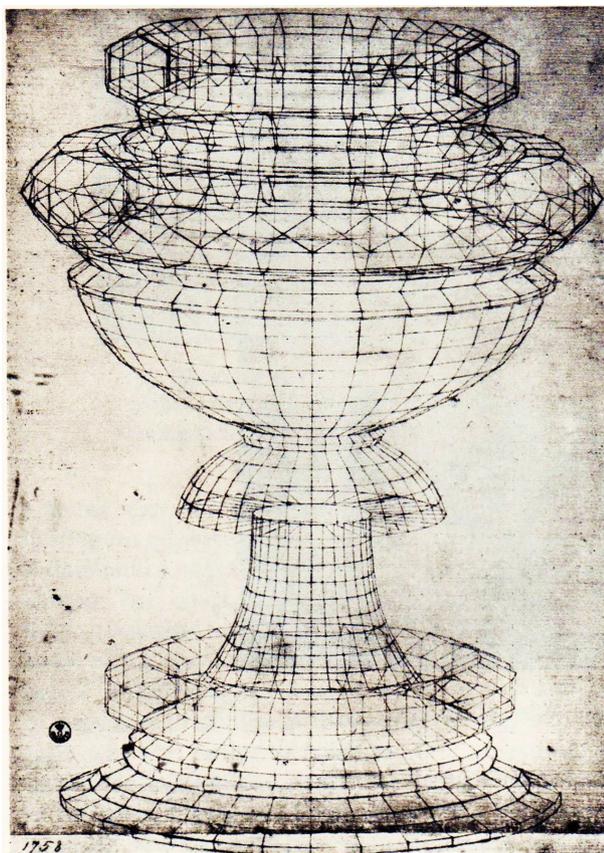
Semplificando un po', del progetto è possibile identificare almeno quattro declinazioni diverse: il progetto dell'architetto, del committente, dell'ingegnere e dell'impresa costruttrice, a testimonianza della sua natura inclusiva e versatile. Tali non particolarmente originali declinazioni, richiamate fra gli altri da Patrick Schumacher [Schumacher 2011], meritano tuttavia qualche considerazione supplementare. La prima è evidentemente costituita dal progetto architettonico, che comprende quella parte, iniziale, di lavoro in cui il progettista dialoga con se stesso alla ricerca della soluzione migliore e quella rivolta ad altri architetti (la comunicazione mirata a riviste e siti web, alle giurie dei concorsi, a mostre, premi ecc.). La seconda è costituita dalla parte specificamente rivolta al committente (una comunicazione quindi divulgativa, indirizzata cioè a non addetti ai lavori), che include *concept*, *rendering* e *mood-board* (o *sample-board*), le tavole che presentano materiali, finiture e i relativi accostamenti impiegate nell'*interior design*; ma è anche costituita dal diretto contributo che il committente dà al progetto, a seconda della sua maturità e capacità d'interazione. La terza declinazione è costituita dal progetto strutturale e impiantistico. La sua importanza è cresciuta per almeno due prevedibili ragioni: da una parte, il progressivo abbandono dei codici classici vecchi e nuovi, razionalismo incluso, ha reso la progettualità contemporanea molto più esposta all'autorità degli strutturisti di quanto non fosse in passato; dall'altra, la nuova centralità assunta dalla digitalizzazione degli edifici e dalla loro sostenibilità, efficienza energetica ecc., ha caricato il progetto impiantistico di un peso storicamente inedito. La quarta è infine costituita dai cosiddetti *shop drawings*, gli esecutivi di cantiere, ma anche computi metrici e specifiche nonché piani di cantierizzazione dell'opera, di sicurezza ecc.: grafici spesso redatti in collaborazione con i produttori di materiali costruttivi e di finitura, con artigiani ed esecutori diversi. Anticipiamo che, nel rinnovato clima di condivisione innescato dal BIM, il modello 3D assume assoluta centralità: le quattro declinazioni sopra esposte, in realtà un po' più numerose e articolate, determinano un processo circolare di progressivo avvicinamento alla soluzione da portare in cantiere. Oggi si progetta in 3D, concretizzando ciò che in fondo è il sogno di ogni progettista, che ha sempre, più o meno chiaramente, saputo che l'essenza dell'architettura è lo spazio interno che si determina, il vuoto risultante all'interno dell'involucro da noi disegnato, ma anche la riverberazione che i volumi hanno sullo spazio urbano o, comunque, aperto che circonda l'edificio. Il modello 3D

genera, solo successivamente, i 2D: piante, alzati e sezioni. La pianta è ancora, per molti aspetti, generatrice nel processo ideativo di un edificio, ma il modello tridimensionale è il nuovo protagonista. Dal modello si misurano le quantità; si specificano i contenuti tecnici e prestazionali; si verifica la rispondenza agli standard; si rende possibile la visualizzazione degli spazi con *rendering* anche foto-realistici, spesso così efficaci da essere difficilmente distinguibili da una fotografia; si ricava infine la navigazione più o meno interattiva degli spazi progettati, anticipando alla fase progettuale quella quarta dimensione temporale così essenziale alla concreta esperienza dell'architettura.

A ragione, ormai quasi trent'anni fa, William Mitchell attribuiva al modello il compito di definire ontologicamente la sfera progettuale in contrapposizione con l'edificio [Mitchell 1990]. A ragione Mario Carpo ha di recente parlato di «Digital Renaissance della terza dimensione» [Carpo 2017].

Ma veniamo adesso alla disamina delle quattro questioni generali citate in apertura, che più di altre ci sembrano sintetizzare i cambiamenti in atto.

Fig. 2. Piero della Francesca, Studio per un calice, XV secolo, penna su carta bianca, 34 x 24 cm.



La progettazione parametrica

Si tratta di uno sperimentale processo di ricerca delle forme che consente all'architetto di progettare strutture di notevole complessità geometrica utilizzando software parametrici, che ricorrono cioè ad algoritmi. Le prime ricerche condotte all'interno di scuole quali l'Institute for Computational Design della University of Stuttgart o la Bartlett School of Architecture dell'University College di Londra diedero subito risultati interessanti, sulla scia delle

Fig. 3. Vincenzo Scamozzi, Copia del disegno preparatorio per il Teatro di Sabbioneta, 1589.

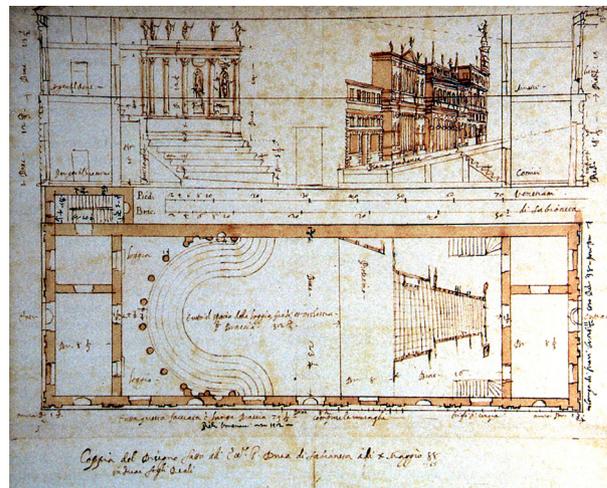


Fig. 4. Le Corbusier (1887-1965).



Fig. 5. Frank Lloyd Wright (1867-1959) a Taliesin.



sperimentazioni avviate, già negli anni Novanta, sulle curve, o *splines*, generatrici di superfici più o meno complesse. Un lavoro pionieristico, svolto da alcuni architetti operanti a cavallo fra la fine del secolo scorso e i primi anni del nuovo secolo, tutti più o meno influenzati da quella che fu chiamata la “*Deleuze connection*”, diffusasi in seguito all'uscita del libro *The Fold: Leibniz and the Baroque* [Deleuze 1993]. Fu probabilmente il citato Patrick Schumacher, alla *Smart Geometry Conference* che si tenne a Monaco nel 2007, il primo a dare un nome al nuovo “ismo”: *Parametricism* [Schumacher 2016]. Da allora gli architetti hanno cominciato a lavorare con primitive quali appunto *splines* e NURBS, utilizzando procedure progettuali diverse da quelle tradizionali (anche se poi i grafici standard destinati a committenti e imprese hanno continuato ad avere forma tradizionale). A un disegno essenzialmente fondato sull'uso di linee (rette o curve) che separano porzioni di superfici o ne segnano le intersezioni, si sostituisce un disegno fondato sulla modellazione tridimensionale parametrica. Revit, che com'è noto è un software di Autodesk, o Digital Projects, che Gehry Technologies ha sviluppato a partire dall'ormai storico Catia di Dassault Systèmes, consentono da tempo tutto ciò, sia pur con modalità diverse (tutto viene riferito a un unico *master model* nel primo caso, a una rete aperta di modelli collegati fra loro nel secondo).

Con il disegno parametrico – che ha indubitabilmente determinato la fortuna di alcuni grandi studi, primo fra tutti ZHA, Zaha Hadid Architects – l'architettura, pur rischiando di veder prevalere l'immagine, se non trasformandosi essa stessa in celebrativa autorappresentazione, ha raggiunto orizzonti formali impensabili prima. La spettacolarità delle forme è legata alla loro arbitrarietà, quest'ultima resa possibile dall'adozione di algoritmi che, con l'ausilio di *Visual Programming Language* (VPL) quali, per esempio Grasshopper, ne regolano complessità geometrica, graficizzazione e produzione. Forme fondate sulla reiterazione seriale di elementi formali che, condividendo una struttura matematica comune, reintroducono il discorso organico (si pensi a un testo come *On Growth and Form*, pubblicato un secolo fa, per la precisione nel 1917) [Thompson 1917].

II BIM

Acronimo di *Building Information Modeling*, il BIM designa – com'è noto – un processo progettuale che consente la simulazione digitale della costruzione di un edificio in ma-

niera computabile, interoperabile e in grado di assicurare coerenza fra gli elementi che lo compongono, rispondendo inoltre ai fenomeni che potrebbero verificarsi in ogni fase del suo ciclo di vita. Una rappresentazione digitale del processo costruttivo che facilita lo scambio e l'interoperabilità delle informazioni in formato digitale, ovvero un metodo basato sulla condivisione della conoscenza come suggerisce Chuck Eastman, direttore del *Building Lab* di Georgia Tech [Eastman et al. 2016]. Si tratta, in altre parole, di un processo che – avvalendosi di tecnologie digitali basate su logiche parametriche in grado di coniugare dati geometrici e alfanumerici, sovrapponendo cioè immagini e informazioni, e assicurare coerenza progettuale grazie alla verifica delle dimensioni finanziaria (costi) e cronologica (tempi) – ha assunto negli ultimi anni importanza crescente all'interno dei processi di ideazione, progettazione, realizzazione, gestione e manutenzione degli edifici. Interoperabilità e coerenza dei modelli 3D sono le parole chiave che, meglio di altre, sintetizzano le principali caratteristiche di questo processo. Con il BIM tutti i soggetti coinvolti nella progettazione di un'opera portano avanti, insieme, una vera e propria costruzione digitale del manufatto, in cui le propedeuticità logiche e temporali non sono dissimili da quelle realizzative ed eventuali errori e omissioni diventano palesi prima della cantierizzazione e possono, di conseguenza, essere corretti o colmati.

Fig. 6. Ludwig Mies van der Rohe (1886-1969) con Philip Johnson e Phyllis Lambert, New York 1955.

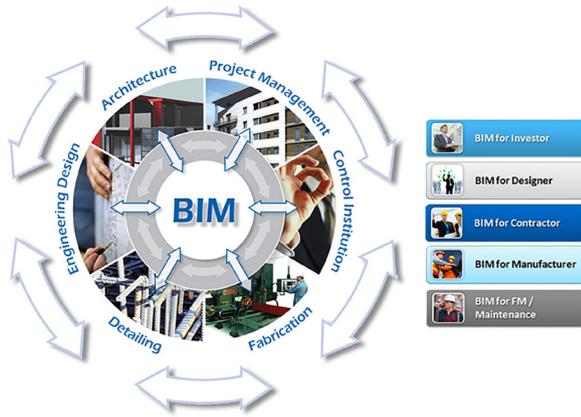


Un aspetto interessante del disegno digitale è che, diversamente da quello tradizionale, esso è in qualsiasi momento modificabile da parte di chiunque. Con il BIM tale aspetto diventa ancor più rilevante se si pensa che tutti i molti diversi attori (architetti, ingegneri strutturisti e impiantisti, *interior designer*, paesaggisti, costruttori, fornitori, esperti ecc.) intervengono, in momenti diversi, modificando e perfezionando il modello; quest'ultimo è *open-ended*, non è cioè mai davvero concluso fino al momento in cui si va in cantiere. Ma anche durante la costruzione dell'edificio continua a rendere possibile la correzione di eventuali errori, mentre il rilevamento tramite laser scanner delle fasi costruttive, che in opere importanti può avvenire anche quotidianamente, consente il suo progressivo adeguamento a ciò che viene costruito, portandolo gradualmente a coincidere con i cosiddetti "*as built*", i disegni che documentano l'edificio realizzato. Tale modello finale sarà successivamente utilizzato per il *facility management*, ovvero per la gestione e manutenzione dell'edificio nel tempo. Si osservi che tale processo è alquanto lontano da quell'autorialità con cui era – o ci s'immaginava che fosse – gestito il progetto in passato: il risultato viene piuttosto raggiunto per progressivi avvicinamenti e approssimazioni, una serie lunghissima di revisioni partecipate: un processo da una parte circolare, che ricorda da vicino il circolo ermeneutico, dall'altra ridondante, secondo un principio – quello appunto di ridondanza – diffuso nei software grafici (basta pensare a quanti modi diversi ci sono per ottenere il medesimo risultato). Per limitarci a una prima provvisoria conclusione, osserviamo che il principale obiettivo del BIM, oltre a consentire risparmi di tempo e di denaro, ci sembra la riduzione del *gap* fra progettazione e costruzione, avvicinando l'architettura alla sua natura di arte del fare. Non è poco.

Big Data e intelligenza artificiale

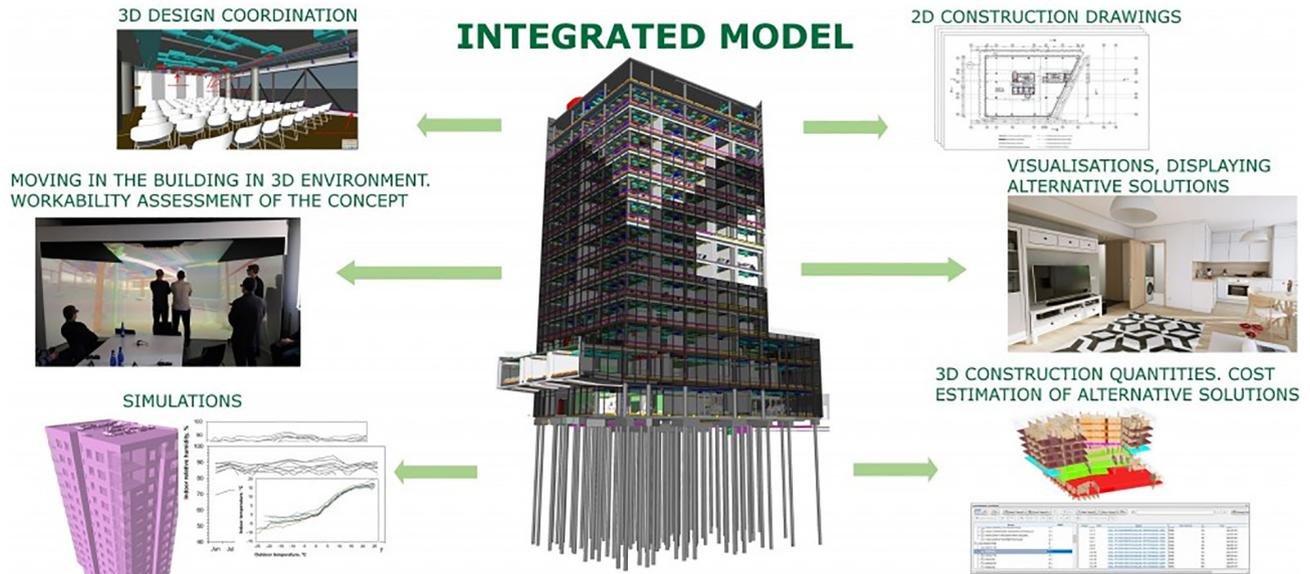
Big Data è una fortunata locuzione – utilizzata per la prima volta nel 1999 da Steve Bryson, David Kenwright, Michael Cox, David Ellsworth e Robert Haimes in un articolo pubblicato dal mensile americano *Communications of the ACM* [Bryson et al. 1999] che sintetizza un processo complesso: da una parte indica l'impressionante quantità di dati cui siamo esposti, dall'altra il sempre più impegnativo lavoro di analisi che siamo chiamati a fare. Alla base della questione sono il *crowdsourcing*, ciò che in sostanza ha determinato

Fig. 7. Le figure del BIM.



la sostituzione delle enciclopedie con *Wikipedia* (si pensi, per esempio, alla fine della pubblicazione dell'autorevole *Encyclopaedia Britannica*), e il cosiddetto *Internet of Things*, che con i suoi "oggetti connessi", contribuisce significativamente all'accumulo di tali flussi di dati. Anche l'architetto, che si accinge a disegnare un edificio, è esposto a dati numerosi, forse molto più numerosi di quelli controllabili se non di quelli effettivamente necessari. La loro gestione rende certamente più complesso il nostro compito. Di qui la delega ai *software*, in grado di raccogliere e analizzare al nostro posto. Si tratta di forme più o meno evolute di intelligenza artificiale, in un processo, ancora una volta, circolare di ottimizzazione progettuale. Imparare a utilizzare l'Intelligenza artificiale dal nostro punto di vista progettuale richiederà un certo tempo. Ma è indubitabile che essa stia entrando, in maniera massiccia quanto inavvertita, nella vita di tutti noi. *Facebook*, per esempio, è in grado di analizzare le foto e i testi che postiamo, orientando di conseguenza i messaggi pubblicitari a noi rivolti (e rendendo la raccolta di tali messaggi pubblicitari più remunerativa).

Fig. 8. La composizione del modello integrato nel BIM.



Oltre a essere il titolo – *AI, Artificial Intelligence* – di un film di Steven Spielberg realizzato nel 2001 a partire da un'idea di Stanley Kubrick, l'intelligenza artificiale è un insieme di tecnologie avanzate che consente ai computer – più in generale, alle macchine (si pensi a MBUX, il sistema appena commercializzato da Mercedes Benz basato sulla *user experience*) – di comprendere, apprendere e agire di conseguenza. Assieme alla robotica, è destinata a cambiare radicalmente gli scenari progettuali e costruttivi dell'architettura. Per fermarci ai primi, cioè a quelli progettuali, non possiamo non porci due domande simmetriche. Qual è il grado di creatività dell'intelligenza artificiale? Ovvero: che impatto può avere sul processo progettuale? Alcune risposte sono facilmente immaginabili: numerosi *software* ci aiutano già oggi a compiere operazioni di carattere progettuale. Non è difficile prevedere che l'architetto si occuperà sempre più della parte intuitiva e creativa del lavoro, quella legata alle scelte strategiche, mentre lo sviluppo del progetto, la parte attualmente spesso delegata ai collaboratori, sarà portata avanti da un *software*. Ma è anche facile pensare che, a mano a mano, si arriverà alla definizione di modalità sempre più efficaci: Google, IBM, Salesforce e altre aziende stanno lavorando a *software* in grado di ottimizzare l'interazione e l'utilizzo del prodotto con l'utente finale. *AutoDraw* di Google, per esempio, consente di trasformare facilmente schizzi approssimativi in disegni ben definiti. Non a caso, lo slogan che lo pubblicizza è: «il *tool* che trasforma gli scarabocchi in disegni». L'Intelligenza artificiale aiuta il processo, ma, almeno per adesso, non ruba il lavoro ai progettisti.

La crisi dell'autorialità

Abbiamo anticipato in apertura che, sullo sfondo dei ragionamenti su come cambia il disegno degli architetti, si sta profilando una ulteriore rivoluzione riguardante l'autorialità dello stesso disegno nonché del progetto. Arriveremo a progetti di architettura fatti a più/molte mani? Certamente sì, è già così da tempo. Per non allontanarci dal nostro campo, ricordiamo che non è difficile guardare, per esempio, a una città come a un'opera fatta a più mani; similmente, forme diverse di intelligenza creativa collettiva sono state espresse da scuole e movimenti artistici. Sarà così – o forse è già così – anche per una architettura, o almeno per una architettura di una certa complessità? L'intelligenza creativa e costruttiva di più menti, integrate dal supporto dell'intel-

Fig. 9. Il modello tridimensionale come generatore di informazioni del progetto.

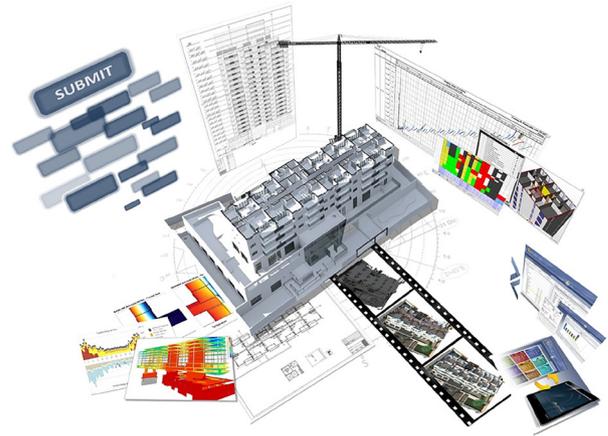


Fig. 10. L'esportazione delle informazioni negli specifici formati dei diversi software.

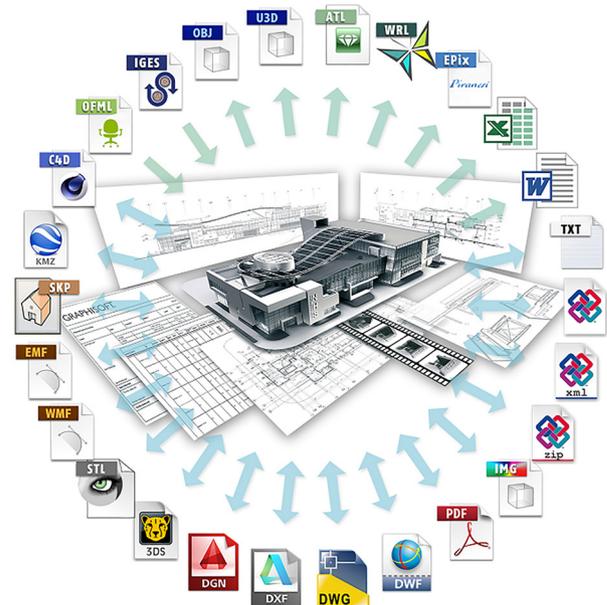
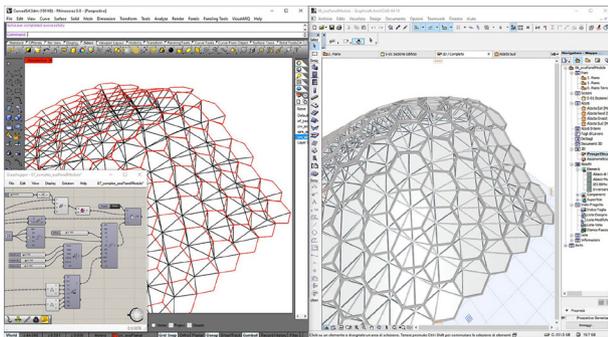


Fig. 11. Zaha Hadid Architects, cantiere del King Abdullah Petroleum Studies and Research Centre (2009-2017).

Fig. 12. Interfaccia grafica di Grasshopper.



ligenza artificiale, è davvero migliore di quella di un unico progettista?

Un interessante contributo di riflessione ci è offerto dal confronto fra due grandi progetti, relativamente recenti. Il primo, moderno, prodotto della creatività di Frank Lloyd Wright, mente senza dubbio autoriale *par excellence*: ci riferiamo a *The Illinois*, il celebre *Mile High Skyscraper*, il grattacielo alto un miglio disegnato dal maestro americano poco più di sessant'anni fa, precisamente nel 1957. Un progetto di straordinaria forza propositiva, rimasto irrealizzato anche perché troppo avanti per le tecniche costruttive del tempo. Il secondo, contemporaneo, anzi in corso di realizzazione: ci riferiamo alla Kingdom Tower a Jeddah, in Arabia Saudita. La somiglianza formale con il progetto di Wright è evidente. Ma chi può dirsi autore di un'opera così ambiziosa, destinata a superare i 1.000 m di altezza con l'obiettivo di conquistare il titolo di 'torre più alta del mondo'? Non è facile capirlo. In realtà si tratta di un folto gruppo di studi diversi, tutti molto noti, nei loro diversi settori, a livello internazionale: per citare solo i principali, Thornton Tomasetti per le strutture (un gigante con base a New York e una cinquantina di filiali sparse per il mondo); Environmental Systems Design per le tecnologie costruttive e l'acustica; Langan International per la geotecnica, il traffico e i parcheggi; Lee Herzog Consulting per gli accessi; SWA Group per il *landscape*; Rowan Williams Davies & Irwin per la resistenza ai venti; Rolf Jensen & Associates per la prevenzione degli incendi; AEGIS per la sicurezza; Fortune Consultants per i trasporti verticali; Lerch Bates per la gestione di materiali e rifiuti; Forcade Associates per la segnaletica; Fisher Marantz per l'illuminotecnica. Ci sono, naturalmente, anche gli architetti: si tratta di Adrian Smith + Gordon Gill Architecture, studio fondato nel 2006 a Chicago da un gruppo di ex partner di SOM (autori, fra l'altro, di alcune fra le torri più alte del mondo: dal Burj Khalifa a Dubai al Jin Mao a Shanghai). Siamo consapevoli di come non sia corretto paragonare un'idea di progetto, quello che oggi definiremmo un *concept*, sia pur emersa dalla straordinaria intelligenza di Wright, con un esecutivo attualmente in cantiere; siamo anche consapevoli di come l'idea architettonica che presiede alla realizzazione della Kingdom Tower sia probabilmente ascrivibile, almeno in larga misura, ad Adrian Smith. Ma riteniamo il confronto comunque molto istruttivo.

Mario Carpo, che nel suo *The Second Digital Turn* si occupa diffusamente della questione dell'intelligenza artificiale, cita due aneddoti in contraddizione fra loro: da

Fig. 13. Kohn Pedersen Fox Associates, Aeroporto Internazionale di Abu Dhabi, elaborazione del modello strutturale BIM.

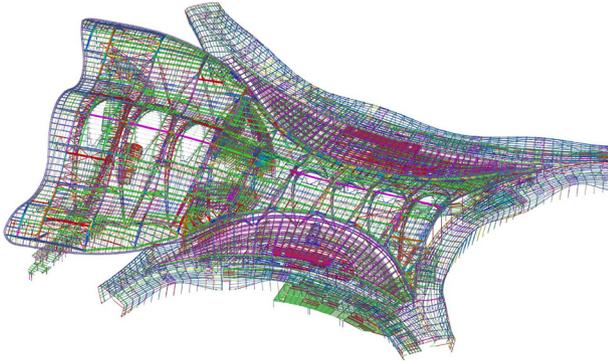


Fig. 14. Zaha Hadid Architects, Dongdaemun Design Plaza, Seoul 2007-2015, modello integrato BIM.

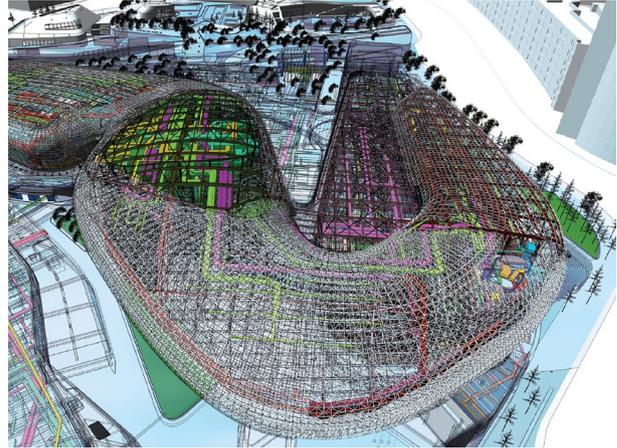


Fig. 15. Utilizzo del BIM per progetti impiantistici a scala urbana.



una parte la storiella del cammello che è «un cavallo disegnato da una commissione» [Carpo 2017], dando per scontato che un cammello sia più brutto di un cavallo e che la creatività di gruppo sia frutto di compromessi difficilmente in grado di produrre qualcosa di bello. Dall'altra il cosiddetto esperimento di Galton. Questi era un eclettico matematico e scienziato del periodo vittoriano imparentato con Charles Darwin che studiò un caso curioso: a una fiera di bestiame, la media delle stime a vista del peso di un bue era più vicina al peso reale della bestia di quanto lo fosse ciascuna stima individuale. Cosa emerge da tale esperimento? In primo luogo l'affermazione di una sorta di superiorità *ante litteram* del *crowdsourcing* (non dobbiamo tuttavia dimenticare che

si trattava sì di un gruppo numeroso, ma non generico, in quanto formato da esperti allevatori). L'esperimento, poi, ci lascia riflettere sulla dicotomia che tanto preoccupa i politologi contemporanei: da una parte la fiducia nella capacità media di individuazione dei problemi e delle loro possibili soluzioni da parte delle masse, per esempio quelle degli elettori nei sistemi democratici; dall'altra i positivi risultati raggiunti dalle tecnocratie, più o meno mascherate da democrazie, che sembrano funzionare così bene in alcuni Paesi del mondo).

Torniamo, per concludere, al tema dell'autorialità. Siamo di fronte a tre linee di pensiero: la prima considera semplicemente la digitalizzazione come qualcosa in grado di velocizzare il processo progettuale e di gestire più facilmente grandi quantità di dati, senza che questo vada a intaccare il ruolo creativo dell'architetto; la seconda prevede invece la graduale scomparsa del ruolo autoriale dell'architetto, che arretra di fronte a macchine sempre più intelligenti, con il conseguente, sostanziale anche se non facilmente prevedibile, ridimensionamento della sua creatività; la terza, ipotizzata da Lluís Ortega [Ortega 2017], delinea infi-

Fig. 16. Schema delle interazioni dell'intelligenza artificiale.

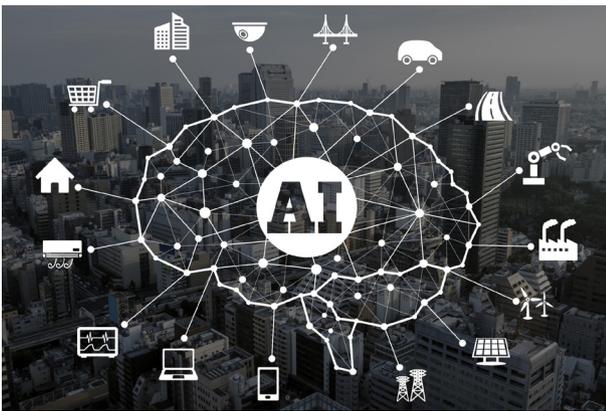


Fig. 17. Schema dei campi di interesse dell'intelligenza artificiale.

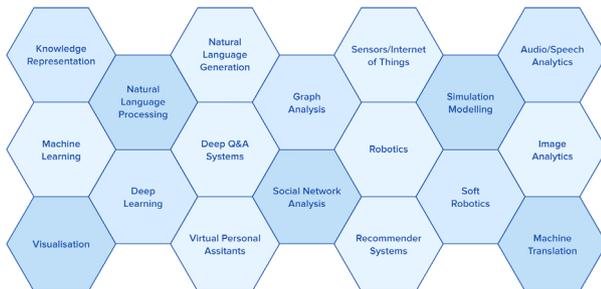
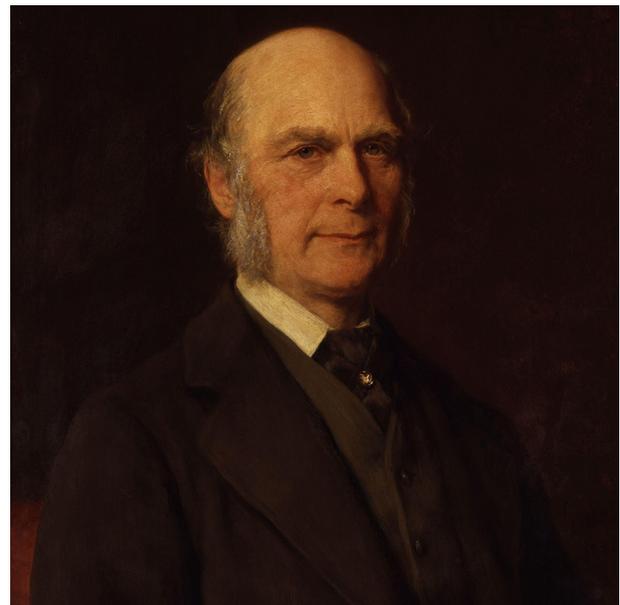


Fig. 18. Sir Francis Galton (1822-1911).



ne un ampliamento degli orizzonti progettuali, una sorta di "realtà aumentata" resa possibile dalla digitalizzazione, che non porterà all'esautoramento dell'architetto, quanto piuttosto a una crescita della sua consapevolezza, fino a elevarne il ruolo a quello di mediatore o negoziatore fra la sua personale creatività e quella collettiva derivante da forme diverse di *crowdsourcing* e intelligenza artificiale. Un *Total Designer* dunque, piuttosto che un *Automated Architect*: citando Artaud, «un manager della magia, un maestro di cerimonie sacre» [Artaud 1938].

Fig. 19. Fotoelaborazione di Frank Lloyd Wright (1867-1959) con il progetto per *The Illinois, The Mile High Skyscraper*.

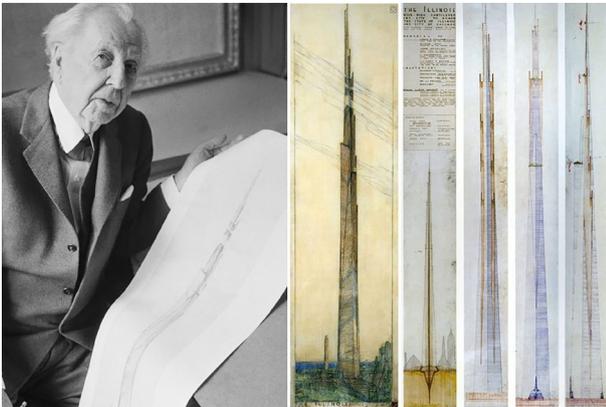
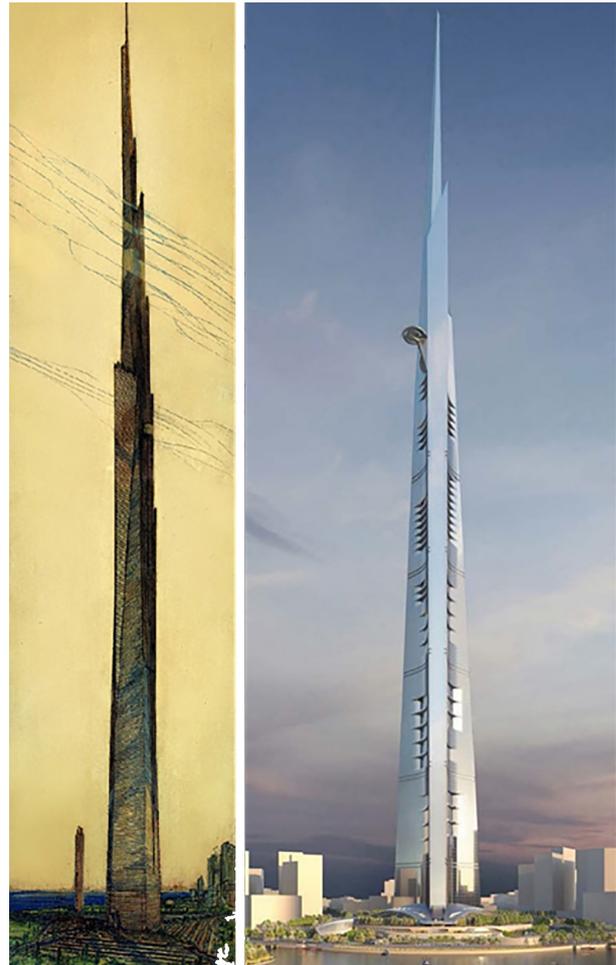


Fig. 20. Il cantiere della *Kingdon Tower* a Jeddah all'inizio del 2018.



Fig. 21. Il *Mile High Skyscraper* (a sinistra) e la *Kingdon Tower* a Jeddah (a destra).



Autore

Livio Sacchi, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi "G. D'Annunzio" Chieti-Pescara, livio.sacchi@unich.it

Riferimenti bibliografici

Artaud, A. (1938). *Le Théâtre et son double*. Paris: Gallimard.

Bryson, S. et al. (1999). Visually Exploring Gigabyte Data Sets in Real Time. In *Communications of the ACM*, 42, 8, pp. 82-90.

Carpo, M. (2017). *The Second Digital Turn. Design beyond Intelligence*. Cambridge (Mass.) and London: MIT Press.

Deleuze, G. (1993). *The Fold: Leibniz and the Baroque*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Eastman, C. et al. (2016). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Hoboken (N.J.): John Wiley & Sons [Ed. it. Milano: Hoepli 2016].

Mitchell, W.J. (1990). *The Logic of Architecture. Design, Computation and Cognition*. Cambridge (Mass.): MIT Press.

Ortega, L. (2017). *The Total Designer. Authorship in Architecture in the Postdigital Age*. Barcelona: Actar.

Schumacher, P. (2011). *The Autopoiesis of Architecture. A New Framework for Architecture*. Chichester: John Wiley & Sons.

Schumacher, P. (ed.). (2016). *Parametricism 2.0 - Rethinking Architecture's Agenda for the 21st Century*. Chichester: John Wiley & Sons.

Thompson, D'A. (1917). *On Growth and Form*. Cambridge: Cambridge University Press.