

## DIALETTICA ANALOGICO-DIGITALE NEL PROGETTO DI ARCHITETTURA

Per rinnovate ipotesi di metodo

## ANALOGUE-DIGITAL DIALECTICS IN ARCHITECTURAL DESIGN

Towards renewed hypotheses of method

Giuseppe Canestrino

### ABSTRACT

La dicotomia tra analogico e digitale influenza i metodi di progetto, di produzione, di costruzione, nonché gli orizzonti formali dell'architettura. Questa dicotomia è apparentemente legata solo alla situazione contemporanea in cui l'architettura è pensata, costruita, gestita in modi sempre più informatizzati e di conseguenza è allontanata dai suoi aspetti più concreti. Tuttavia, una profonda comprensione dei significati di analogico e digitale rileva un rapporto dialettico a cui si può guardare per rinnovare aspetti di metodo del progetto di architettura.

The dichotomy between analogue and digital influences the methods of design, production, construction, as well as the formal horizons of architecture. This dichotomy is apparently only related to the contemporary situation in which architecture is thought, built, and managed in increasingly computerised ways, and is consequently distanced from its more concrete aspects. However, a deep understanding of the meanings of analogue and digital reveals a dialectical relationship that can be looked to in order to renew aspects of the method of architectural design.

### KEYWORDS

analogico, digitale, continuo, discreto, progetto di architettura

analogue, digital, continuous, discrete, architecture project

**Giuseppe Canestrino**, Building Engineer-Architect, is a PhD Candidate in Architectural and Urban Design at the University of Calabria (Italy) with which he has already collaborated in funded and published research projects on sustainable architecture. He carries out research and teaching activities in the borderland between architectural design and 'digital culture' with both a practical and a critical-theoretical approach. Mob. +39 349/30.49.829 | E-mail: giuseppe.canestrino@unical.it

I significati di digitale ed analogico, quando associati al progetto di architettura, suggeriscono degli orizzonti metodologici ed estetici spesso antitetici. Ciò conduce a una generale incomunicabilità in cui l'architettura spesso assume solo uno dei due paradigmi come interlocutore privilegiato. Una prima, superficiale, riflessione associa il digitale, a causa della sua recente relazione con le tecnologie informatiche, ai valori dell'immateriale, dell'astratto, dell'intangibile. In una visione antitetica, l'analogico è associato alla dimensione materiale, concreta e tangibile. Ma al digitale afferiscono anche i significati di discreto, discontinuo, divisibile, i quali, seppur affini alle tecnologie informatiche, sono fondanti nei modi con cui il progetto ha da sempre conformato lo spazio architettonico. È possibile infatti affermare, con una certa semplificazione, che il progetto di architettura discretizza lo spazio operando una distinzione tra quello che è forma costruita e quello che non lo è. Analogico, invece, abbraccia anche il significato di 'continuità nella variazione', esemplificato dalle suggestioni di Darcy Thompson (1945), più volte riprese per comunicare come in un'unica idea-progetto sono contenute diverse e alternative forme architettoniche.

Affrontare la dualità tra analogico e digitale, tra continuo e discreto, in termini oppositivi può condurre a un ritardo nell'aggiornamento di alcuni storici strumenti del progetto, nonché al mancato riconoscimento del potenziale trasversale dei più recenti modi di pensare l'architettura. Si propone, invece, che nel progetto il digitale e l'analogico coesistono in una tensione dialettica, la quale ridisegna continuamente i confini dei due paradigmi. A questo scopo sono presentati i principali approcci della ricerca sulla dualità analogico-digitale in architettura dimostrando come per diversi autori il confine tra i due paradigmi è variabile e relativo sia negli approcci al progetto che nei suoi strumenti tecnici. Successivamente, in continuità con la già citata ipotesi di tensione dialettica tra digitale e analogico, è presentata una prima ipotesi di espansione dei campi di applicazione di alcuni strumenti di progetto concepiti per gestire la sola dimensione digitale o la sola dimensione analogica.

Un primo obiettivo del contributo è affrontare la dualità tra analogico e digitale su un piano più culturale che tecnico allo scopo di rinnovare le potenzialità di alcuni approcci al progetto di architettura. Nonostante si riconosca l'imprescindibilità degli strumenti tecnici, come testimoniano il recente Firm Survey Report dell'American Institute of Architects (AIA, 2020) e le recenti Letters To Autodesk (2020)<sup>1</sup>, si ritiene che essi siano eccessivamente instabili nel breve periodo per esser posti alla base di un rinnovamento duraturo. I tempi sono invece maturi per ricercare una trasversalità tra gli approcci mentali propri del digitale e dell'analogico. Un secondo obiettivo è quello di fornire un solido inquadramento culturale affinché l'esercizio proposto sia replicabile per diverse criticità della contemporaneità, nella convinzione che a partire da un particolare paradigma progettuale si possono distillare aspetti utili anche ad altri paradigmi.

**Approcci alla ricerca della dualità analogico-digitale in architettura** | Un approccio di tipo

storico-ricostruttivo è un primo, propedeutico, modo di indagare il rapporto tra digitale e analogico nel progetto di architettura. Le fonti di questa linea di ricerca riguardano particolari media progettuali, come gli strumenti di disegno 'premeccanici' o i primi software CAD, i quali sono studiati nei loro funzionamenti, nella loro diffusione, e soprattutto nella loro capacità di plasmare l'orizzonte estetico del progetto di architettura. Gli strumenti del progetto possono anche essere studiati nella loro capacità di 'reificare', cioè di rendere concreto un qualcosa di astratto, la forma architettonica, come suggerito da Antonino Saggio (2007). Questa ricerca è inoltre in continuità all'interesse di Bruno Zevi (1973) a relazionare gli strumenti del progetto, sia digitali che analogici, al patrimonio estetico che essi spontaneamente restituiscono.

Lo studio di quei media premeccanici (Fig. 1), meno recenti rispetto al software digitale, si dimostra ancora un terreno di ricerca fertile: ne è riprova la trattazione offerta da Mario Carpo (2011), interessata ai temi della variazione, dell'identico e del differente in architettura, la quale dimostra che il digitale e l'analogico hanno diverse affinità e continuità. Lo studio storico-ricostruttivo dei media digitali appare sicuramente più vivace in quanto territorio di ricerca relativamente giovane, ma da tale giovinezza deriva un rapporto immaturo tra il progetto architettonico e l'archivistica digitale, che rischia di rendere inaccessibili alcune fonti nonostante siano relativamente recenti. Ciò ha condotto il ricercatore-architetto a dotarsi di strumenti inediti, come quelli afferenti all'"archeologia del software", per comprendere più profondamente gli intenti dei pionieri del digitale in architettura. Dalle recenti mostre *Archaeology of the Digital* (Lynn, 2013) e *The Architecture Machine* (Fankhänel and Lepik, 2020), entrambe interessate alla storia delle tecnologie informatiche in architettura, emerge un costante rapporto tra il digitale e l'analogico, espresso dalla ricerca di un dialogo tra il progettista e lo strumento digitale. Rispetto a questi temi assumono un inedito interesse di ricerca quegli strumenti di connessione tra l'analogico e il digitale, dalla Light Pen di Ivan Sutherland (Figg. 2, 3) fino all'*Universal Constructor* di John Frazer (Figg. 4, 5).

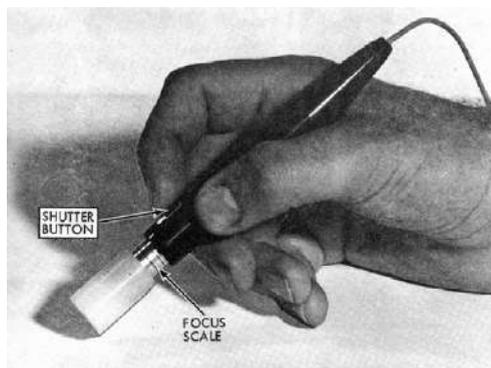
Oltre allo studio di quelle che sono definibili come fonti dirette, cioè i reperti analogici, i software e l'archivio digitale collegati a un progetto, sono fondamentali anche quelle fonti che periodicamente hanno definito le possibilità e gli orizzonti di ricerca dei media digitali nel progetto di architettura. Le pubblicazioni di gruppi di ricerca come il *Computer-Aided Design Project* del MIT negli anni '60 oppure i più recenti testi della collana *La Rivoluzione Informatica* diretta da Antonino Saggio sono tra le ricerche che meglio raccontano le possibilità degli strumenti digitali e il loro inserimento nel processo progettuale, ricerche che si interrogano sulla presenza, o sull'assenza, della dimensione analogica del progetto digitale.

Dall'approccio storico-critico deriva un filone di ricerca interessato alle similitudini e differenze tra la contemporaneità, maggiormente legata al digitale, e i periodi storici dominati dalla strumentazione analogica. Carpo (2017) propone un confronto tra l'architetto contemporaneo

e la codifica della professione di Leon Battista Alberti, mentre David Gerber (2014) propone di accostare la figura del Master Builder medievale, incarnato dal Brunelleschi, al ruolo dell'architetto nel processo progettuale digitale. I risultati di queste ricerche, oltre a continuare a mostrare la continuità tra analogico e digitale nel progetto, permettono una maggiore comprensione del perché esperienze basate sulla realizzazione e ottimizzazione di modelli analogici sono considerate come anticipatrici del paradigma digitale in architettura (Canestrino, 2021) e forniscono una più profonda comprensione del ruolo dell'architetto rispetto a temi caldi come la 'authorship' e la gestione della filiera del progetto.

Nonostante digitale e analogico siano due dimensioni apparentemente incompatibili, è possibile quindi tracciare delle continuità tematiche nei loro approcci al progetto. Ma è, tuttavia, necessario sottolineare gli aspetti di una particolare stagione, forse non ancora pienamente terminata, in cui alcuni collegamenti tra il virtuale e la costruzione si sono indeboliti. In quello che Carpo (2013) definisce 'digital turn', si assiste a un allontanamento del digitale dall'analogico, fino a, in alcune estremizzazioni, ridurre quest'ultimo a dimensione secondaria del progetto di architettura. Quella iniziata negli anni '90 è una stagione dell'architettura in cui alcuni autori, per dare forma a quello che possiamo considerare come un importante patrimonio estetico, si liberano dalle inibizioni imposte dalla costruzione. In questo complesso quadro, autori che riconoscono la crescente inconsistenza tra progetto digitale e costruzione analogica suggeriscono comunque posizioni possibilistiche, come Franco Purini (2003, p. 95) il quale afferma che la «[...] rivoluzione digitale più che un evento inaspettato sia in realtà il naturale e inevitabile sviluppo della prospettiva». Altri autori assumono posizioni più conservative assegnando gran parte dell'apporto del digitale all'architettura alla «[...] componente rappresentativa che va dall'iconico al semantico, dal virtuale al possibile» (De Fusco, 2001, p. 12).

**Continuo e Discreto** | Allo scopo di legittimare l'operazione metodologica proposta successivamente in questo contributo, è necessario inquadrare il tema del digitale e dell'analogico come una dualità più profonda del semplice scontro tra astratto e concreto. Come già anticipato, è possibile associare ad analogico e digitale i concetti di continuo e discreto per renderli rappresentativi di tematiche del progetto di architettura che superano i cambi di paradigma delle tecnologie informatiche. Gilles Retsin (2019) ha recentemente proposto in un numero monografico di *Architectural Design* intitolato *Discrete – Reappraising the Digital in Architecture* che non vi è mai stata una chiara distinzione tra un approccio analogico ed un approccio digitale nei modi di affrontare il progetto di architettura. Più precisamente, Retsin (2016) ha già sostenuto in precedenza la tesi 'we have never been digital' per sottolineare una generale tendenza a non pensare la forma architettonica come una organizzazione di parti discrete; ne consegue come gran parte degli approcci al progetto di architettura, seppur si servono di strumenti digitali, perpetuano una concezione analogica e continua della forma.



L'atto della costruzione è capace di fornire ulteriori elementi di discussione: per Retsin una architettura è digitale se costruita con un materiale digitale, inteso come un assemblaggio di elementi discreti con limitate possibilità di connessione (Figg. 6, 7) e quindi più vicine alle logiche fondanti del digitale (Gershenfeld et alii, 2015). Un materiale, invece, è analogico se permette di ottenere una forma tramite l'aggiunta o la rimozione di materia con una variazione senza soluzione di continuità. Secondo queste definizioni, un chiaro esempio di materiale analogico è il prodotto di una stampa 3D o un setto in calcestruzzo, mentre un sistema di prefabbricazione caratterizzato da un numero finito di possibili connessioni e orientamenti spaziali è un esempio di materiale digitale. Associare il digitale a una tettonica discreta permette anche di riconsiderare le esperienze anticipatrici dell'approccio computazionale in architettura. Retsin (2016) sostiene la possibilità di tracciare una storia alternativa delle origini del digitale in architettura basata su esperienze intrinsecamente discrete, come l'ospedale di Venezia di Le Corbusier, l'orfano-trofo di Aldo van Eyck (Fig. 8), la produzione seriale di Jean Prouvé, il minimalismo di Sol Lewitt (Figg. 9, 10). Questa visione è duale alle più diffuse ricerche che individuano nell'uso di 'modelli fisici', da Frei Paul Otto and Antoni Gaudí (Fig. 11), il seme del digitale in architettura.

Le ricerche di Retsin sono in uno stretto dialogo con quelle di Neil Leach (2018), il quale propone anche egli la tesi «we have never been digital»: entrambi suggeriscono che il paradigma analogico comprende ciò che nel senso comune è spesso percepito come digitale. Per Leach, però, la differenza tra digitale e analogico non riguarda i modi della produzione e costruzione, i quali secondo egli, dalla fabbricazione digitale fino alla muratura (Figg. 12-15), sono tutti sostanzialmente processi continui in quanto il loro prodotto è concreto e fisico; ne deriva

che la distinzione tra i materiali analogici e digitali è superflua in quanto i materiali sono tutti analogici, mentre è il processo di progettazione a poter essere analogico o digitale. Il non essere digitali è per Leach legato alla scarsa propensione ad afferrare i processi discreti sottesi al mondo materiale, mentre siamo più abili nel pensiero analogico; ne deriva, sempre secondo Leach, l'importanza di chiederci se i nostri processi progettuali sono computerizzati o computazionali.

Per Retsin (2016) una vera architettura digitale richiede modifiche nei suoi materiali e nei suoi modi di progetto mentre Leach (2019) afferma con più chiarezza come l'architettura costruita è sempre analogica. È possibile però individuare delle posizioni culturali secondo le quali il discreto-digitale è strumento di comprensione della realtà: si tratta dell'assunzione implicita alla base della prima Cybernetica, i cui orizzonti e implicazioni per l'architettura sono stati anticipati da Gordon Pask (1969). Nel tracciare l'analogia tra il funzionamento del pensiero umano e il funzionamento del computer alcuni pionieri della filosofia digitale, come Gregory Chaitin e Stephen Wolfram, affermano che è possibile ridurre il primo alle logiche del secondo; ne consegue un approccio riduzionista alla complessità del progetto di architettura, il quale è considerabile come il risultato delle interazioni di un sistema di elementi semplici, discreti e prevedibili. Le conseguenze epistemologiche di questo pensiero sono riassumibili usando il paradigma 'pancomputazionale' di Giuseppe Longo (2016): «Tutto computa; Tutto è frutto di computazione; Tutto può essere trasformato in un dispositivo computante»; ciò, traslato nel progetto di architettura, si traduce in una fascinazione per quei modi di generare la forma, dagli approcci computazionali a quelli parametrici, in cui all'idea architettonica si associa un codice digitale in grado non solo di generarla, ma anche di spiegarla.

In realtà, l'influenza del discreto negli strumenti del progetto di architettura è concreta e tangibile. La potenza computazionale delle analisi agli elementi finiti deriva dalla traduzione di una forma architettonica in oggetti discreti relazionati tra loro; analogamente, molti progettisti affrontano la modellazione di un edificio, in ambienti BIM o CAD, come un assemblaggio di elementi discreti, ma molti software permettono di variare alcune caratteristiche di questi elementi in modo continuo e altre in modo discreto.

Quello che emerge dalle posizioni esposte è come l'analogico e il digitale, il continuo e il discreto, sono tenuti insieme nel progetto di architettura da una tensione dialettica che continuamente ridisegna i confini tra i due paradigmi e che richiama un concetto di Georg Simmel (2020, p. 324), sociologo e filosofo tedesco, esposto in un saggio sulla tendenza umana a connettere e separare, basato sulla tesi che queste due azioni «[...] sono solo due aspetti di uno stesso gesto». Più precisamente, nulla si può connettere se prima non è separato e nulla si può separare se prima non è connesso. Quindi digitale e analogico assumono significato nella loro continua contrapposizione e connessione nella realtà come nell'architettura. Assumere questa posizione dialettica permette di riconoscere come anche negli strumenti del progetto di architettura può esistere un rapporto dialettico tra digitale e analogico. Un chiaro esempio è fornito dalle curve di Bézier, le quali, se espresse matematicamente, sono sicuramente analogiche e continue, ma sono discretizzate in pixel per essere rappresentate sullo schermo. Le curve di Bézier sono inoltre calcolabili in modo algoritmico, quindi tramite un set discreto di azioni, a partire da una collezione finita di punti, i quali una volta digitalizzati sono discreti. La lista di contraddizioni proprie delle utilissime curve di Bézier potrebbe continuare.

La trattazione esposta finora ha voluto mostrare l'inopportunità di pensare che uno strumento di progetto, sia esso di natura tecnica o mentale, possa essere applicato solo nell'ambito analogico o solo nell'ambito digitale. A seguire è mostrato come l'ipotesi della connessione e contrapposizione tra digitale e analogico permetta con una certa facilità di rinnovare alcuni approcci al progetto di architettura.

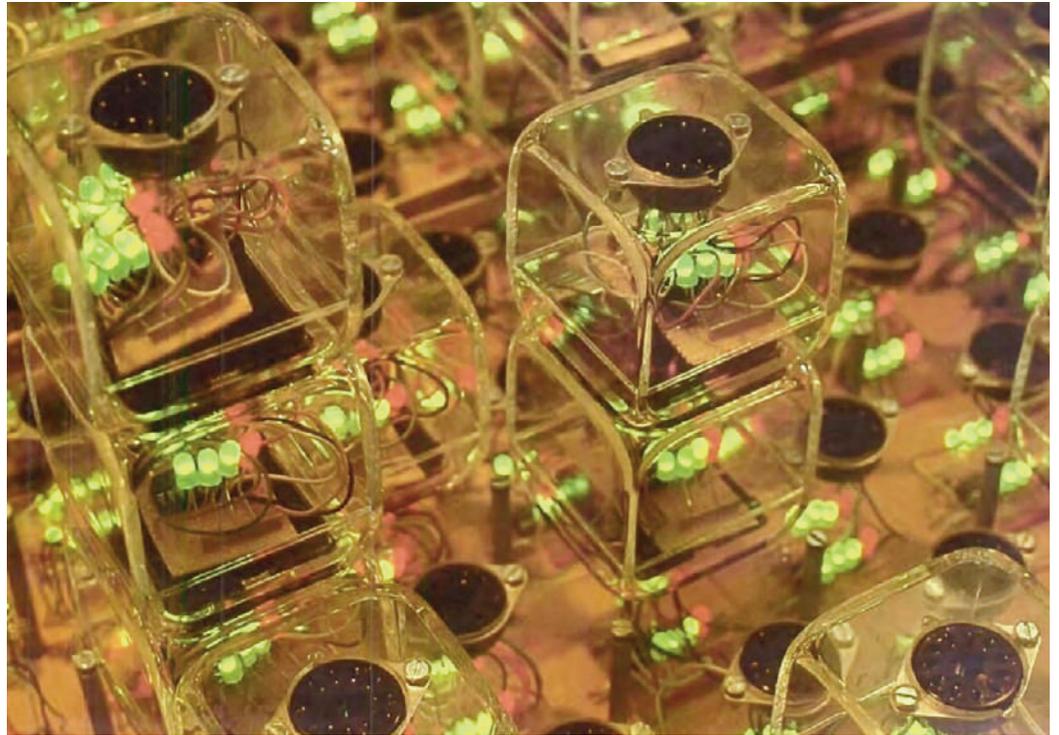
**Connessioni dal digitale verso l'analogico** | È opportuno ora mostrare come alcuni concetti sviluppati per gestire la parte digitale del progetto possano avere un profilo di utilità anche nella gestione dei suoi aspetti più tradizionali. Le modalità con cui gli strumenti digitali del progetto contribuiscono al suo processo ideativo sono molteplici, e vanno, a titolo esemplificativo, dalla semplice logica additiva di 'elementi preconfezionati in librerie' (Prestinenza Puglisi, 1998), fino alle più complesse logiche della progettazione evolutiva che ibrida per conto del progettista diverse manifestazioni di un 'objectile' (Deleuze, 1993; Cache, 1995). Come già ampiamente discusso, questi contributi al progetto sono caratterizzati da una tensione dialettica tra l'essere continui e l'essere discreti nei modi con cui conducono alla forma architettonica.

Sono diversi gli approcci per gestire un progetto che è 'liquido', in quanto è possibile modi-

Previous page

**Fig. 1** | Albrecht Dürer, 'Draughtsman Making a Perspective Drawing of a Reclining Woman', ca. 1600 (source: Met's Museum, Public Domain).

**Figs. 2, 3** | Sketchpad drawing system and the Light Pen input device by Ivan Sutherland, 1963 (credits: I. Sutherland).



**Figs. 4, 5** | Universal Constructor by John Frazer, developed with Architectural Association Diploma Unit 11 (source: Frazer, 1995).

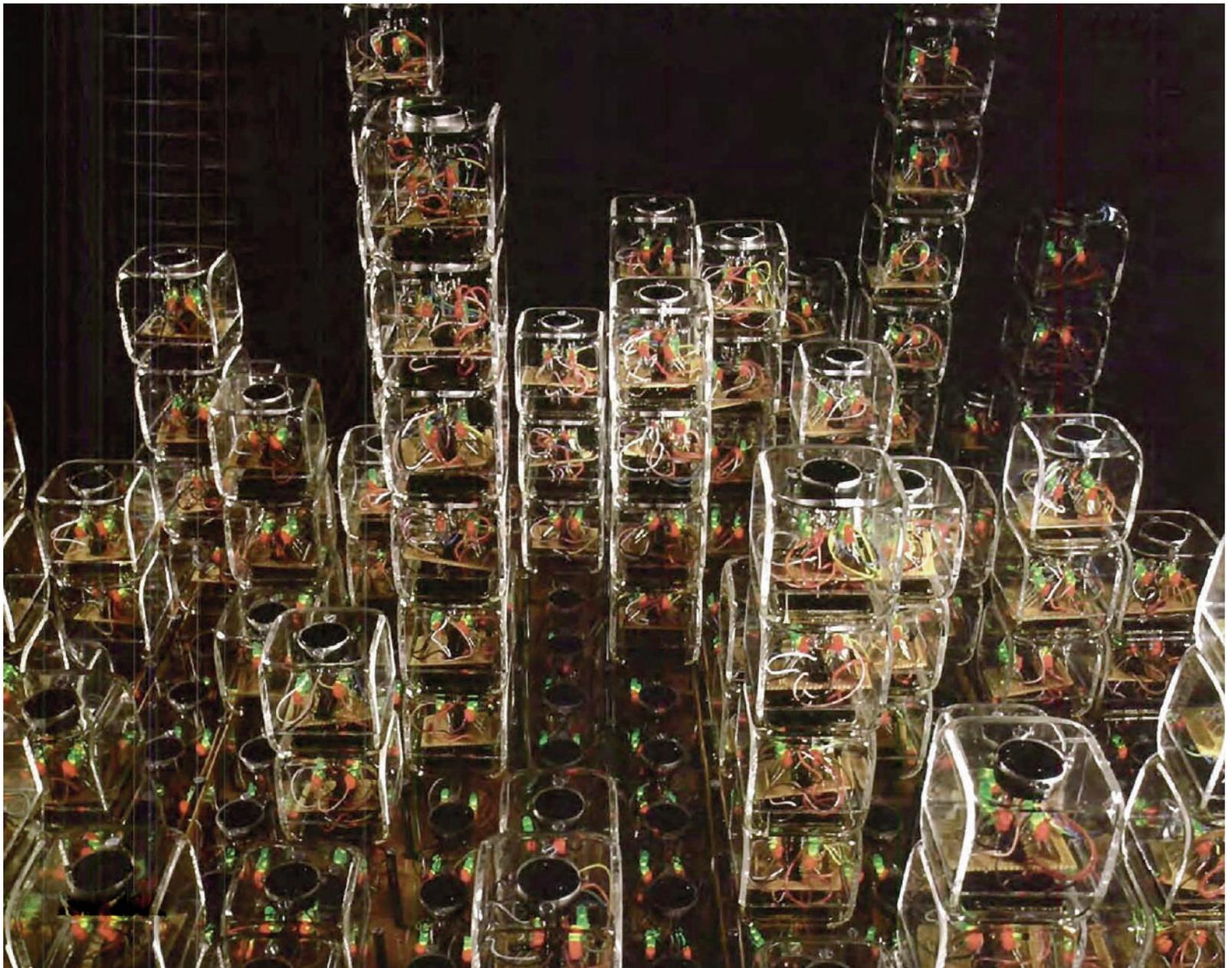
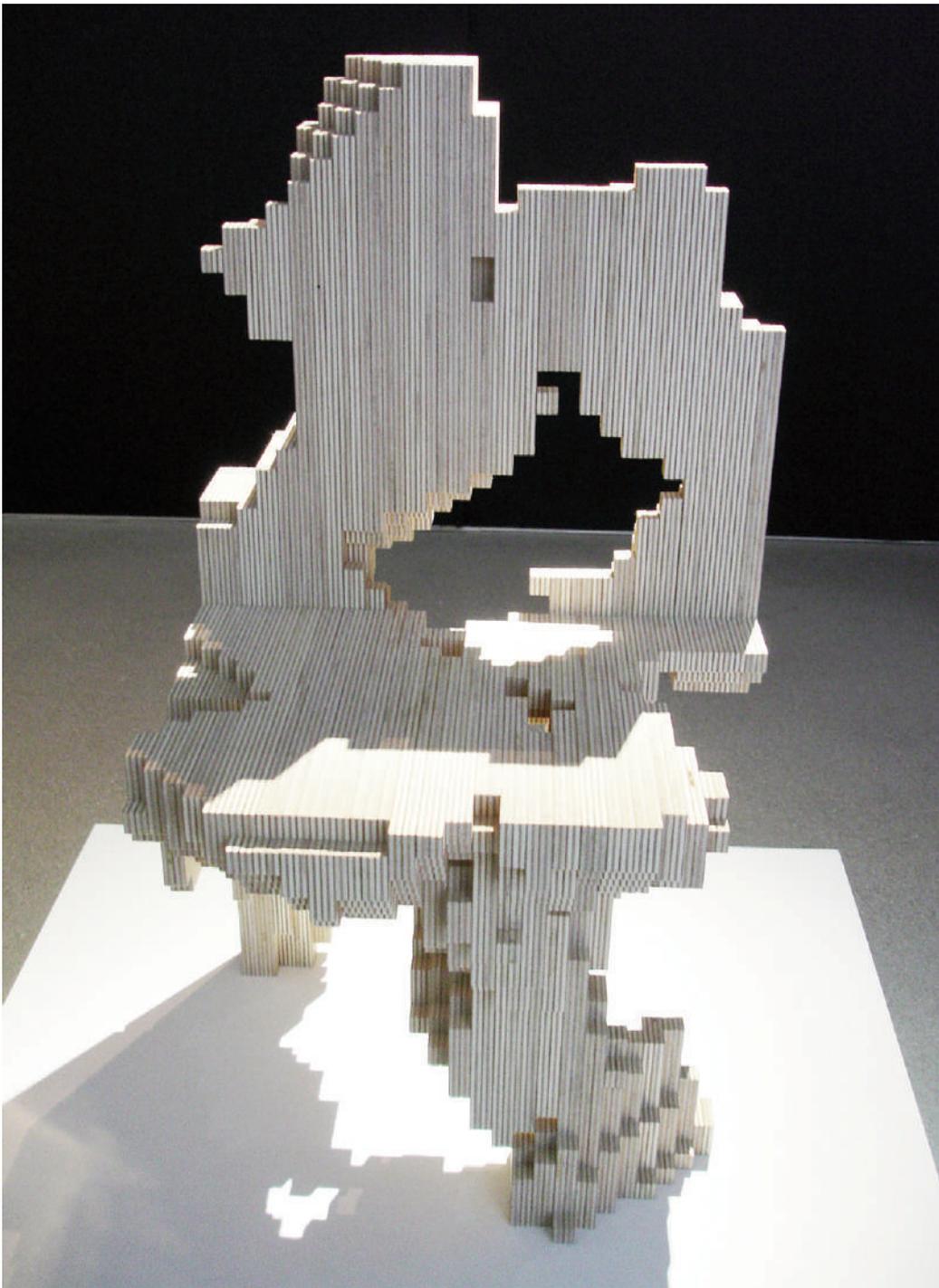




Fig. 6 | Tallinn Architecture Biennale Pavilion in Tallinn by Gilles Retsin Architecture, 2017 (credit: T. Tunnel).

Fig. 7 | Studies on Optimization by EZCT Architecture & Design Research: computational chair design using genetic algorithms, 2004 (credit: dodecahedron, 2016).



ficare in modo retroattivo la forma architettonica agendo sui singoli elementi che la compongono, ed è 'indeterminato', in quanto un 'objectile' può variare teoricamente fino ad un attimo prima della costruzione. Manuel De Landa (2002) suggerisce di sviluppare tre tipi di pensiero per gestire una condizione di progetto in cui la forma architettonica è ricercata tramite la simulazione in un ambiente digitale: 'populational, intensive, and topological thinking'. Questi principi sono, con diversi livelli di rigosità, tenuti in considerazione in paradigmi di progetto digitali, quali il parametrico, il generativo o il computazionale, in quanto utili ad erodere l'indecifrabilità delle 'black-box' che molti progettisti costruiscono per trarre vantaggio da questi strumenti.

Il pensiero 'popolazione' spinge a considerare la forma architettonica come una delle possibili e infinite manifestazioni di un complesso si-

stema di materiali progettuali; ne deriva che la forma architettonica assume nuove possibilità di progetto se viene considerata contemporaneamente sia una precisa organizzazione spaziale sia una particolarizzazione di una famiglia di alternative progettuali. Il pensiero 'topologico' suggerito da De Landa ha ricadute sul metodo progettuale in quanto spinge a due attitudini: la prima è quella di pensare delle idee progettuali sufficientemente astratte e flessibili in modo che da esse sia possibile generare delle alternative progettuali diverse tra di loro ma comunque riconoscibili come manifestazioni di un'unica idea; la seconda attitudine è quella di pensare un'idea progettuale non solo nella sua variabilità, ma anche nelle sue parti invariante, come le relazioni, le caratteristiche dimensionali e le connessioni tra gli spazi che compongono la forma architettonica.

Trasferire i suggerimenti di De Landa, i quali sono legati a strumenti spiccatamente digitali come gli algoritmi genetici, verso approcci più tradizionali al progetto aiuterebbe a comprendere e far emergere le possibilità latenti che ha una idea-progetto, intesa come organizzazione ancora aperta dei materiali del progetto. È possibile così avvicinarsi al progetto di architettura senza snaturare i principi di una disciplina oggi sempre più esposta a tecnicismi e funzionalismi (Purini, 2018), con una rinnovata consapevolezza di come la forma architettonica evolve e si raffina durante la progettazione.

#### Connessioni dall'analogico verso il digitale |

Precedentemente sono stati discussi dei principi di metodo capaci di rinnovare e potenziare un approccio al progetto basato su metodi analogici. Se si parla di metodi digitali appare invece più importante arginare e controllare due possibili derive progettuali: l'eccesso di scientificità e la pura ricerca formale. Questo controllo non deve però avvenire inibendo le innovazioni proprie degli strumenti digitali. È quindi necessario ricercare negli strumenti analogici dei principi di metodo capaci di evitare la frustrazione quando la «[...] realtà virtuale sembra irraggiungibile [e la delusione quando] le figure del digitale si fanno architetture reali, come nel caso della Korean Church di Greg Lynn» (Purini, 2003, p. 92; Fig. 16).

Gli strumenti analogici sono intrinsecamente limitati nella quantità delle alternative progettuali che possono valutare, a differenza degli strumenti digitali, i quali permettono una meno onerosa esplorazione dell'idea-progetto. Il limite di cosa è 'umanamente computabile' negli strumenti analogici spinge però ad attuare un processo progettuale in equilibrio tra aspetti emergenti, manifestazioni di possibilità latenti, senso dell'abitare e del costruire. Gli strumenti digitali hanno posto in secondo piano questo equilibrio grazie alla fiducia nella loro potenza di calcolo che, tuttavia, non si può utilizzare pienamente senza rendere più tecnico e scientifico il processo del progetto; per fare ciò, si è costretti a esporsi a una visione funzionalista del progetto di architettura che conduce a riconoscere una particolare importanza alle sue performance misurabili. Appare interessante notare come l'Architettura come Tema di Oswald Mathias Ungers (1982) nasce da un contesto culturale in cui il rapporto tra digitale e analogico, così come

esposto in questo contributo, presenta posizioni di continuità: parafrasando alcuni pensieri del maestro tedesco, gli strumenti digitali quando utilizzati con spirito eccessivamente scientifico possono condurre al 'vicolo cieco del puro funzionalismo', mentre quando utilizzati senza una coscienza costruttiva possono condurre 'all'abberrazione stilistica'.

Analogamente, la somiglianza del processo progettuale di alcuni strumenti digitali con il modo di operare di un selezionatore o 'allevatore di cavalli da corsa' (De Landa, 2002) rivela una continuità con esperienze e metodi di progetto pensati per gli strumenti analogici. Un algoritmo evolutivo che mescola le caratteristiche delle migliori soluzioni progettuali per ricercarne di nuove e più efficienti può essere considerato una estremizzazione del progetto per 'cernita-selezione-classificazione' (Quaroni, 2001). Il paragone può sembrare azzardato e forzato, ma per gli scopi di questo testo è necessario riconoscere che i più moderni strumenti digitali possono trarre vantaggio da una rivalutazione e aggiornamento di principi consolidati della composizione architettonica, dalla visione del progetto come momento di sintesi di una conoscenza complessa fino all'uso di tutte le scale del progetto in modo dialettico.

**Conclusioni** | Questo contributo ha proposto che nel progetto di architettura le connessioni che si possono creare tra la visione analogica e la visione digitale possono essere molteplici e bidirezionali; più precisamente, è stato proposto che i metodi più tradizionali del progetto, tipicamente analogici, possono trarre una utilità dall'applicazione di approcci ideati per gestire i metodi di progetto digitale. Per gestire al meglio quest'ultimi non basta una profonda conoscenza tecnica dei loro strumenti, come suggerito da Lynn (cit. in Rocker, 2006), ma sono necessarie rinnovate basi di metodo che si potrebbero riprendere da diversi principi della composizione architettonica, operazione sui metodi del progetto supportata dall'idea che il digitale e l'analogico assumono un valore più profondo se sono considerati dialetticamente sia compresenti che contrapposti in architettura.

Il contributo è stato sviluppato nella convinzione che gli strumenti digitali stanno diventando imprescindibili nel processo progettuale, al pari di quegli strumenti analogici, come il disegno e la scrittura, che l'architettura ha da tempo assorbito. L'evidente implicazione culturale per la comunità del progetto di architettura riguarda, usando le parole di Marshall McLuhan (2015, p. 78), il necessario passaggio «[...] dalla torre d'avorio a quella di controllo» per sfruttare pienamente le opportunità dell'odierna condizione digitale. È auspicabile, quindi, replicare e continuare l'operazione proposta, basata sullo studio dei metodi, delle criticità e delle opportunità di un particolare paradigma progettuale per distillarne aspetti utili a un più ampio campo di approcci al progetto. È necessario, tuttavia, ricercare in questa ibridazione un equilibrio tra la capacità di sintesi del progetto di architettura e gli orizzonti più tecnici della strumentazione digitale, che non vanno né inibiti né eccessivamente esaltati. Risulta evidente che gli sviluppi futuri appena prospettati devono compiersi in

armonia tra i principi fondanti della composizione e i valori più profondi della cultura digitale.

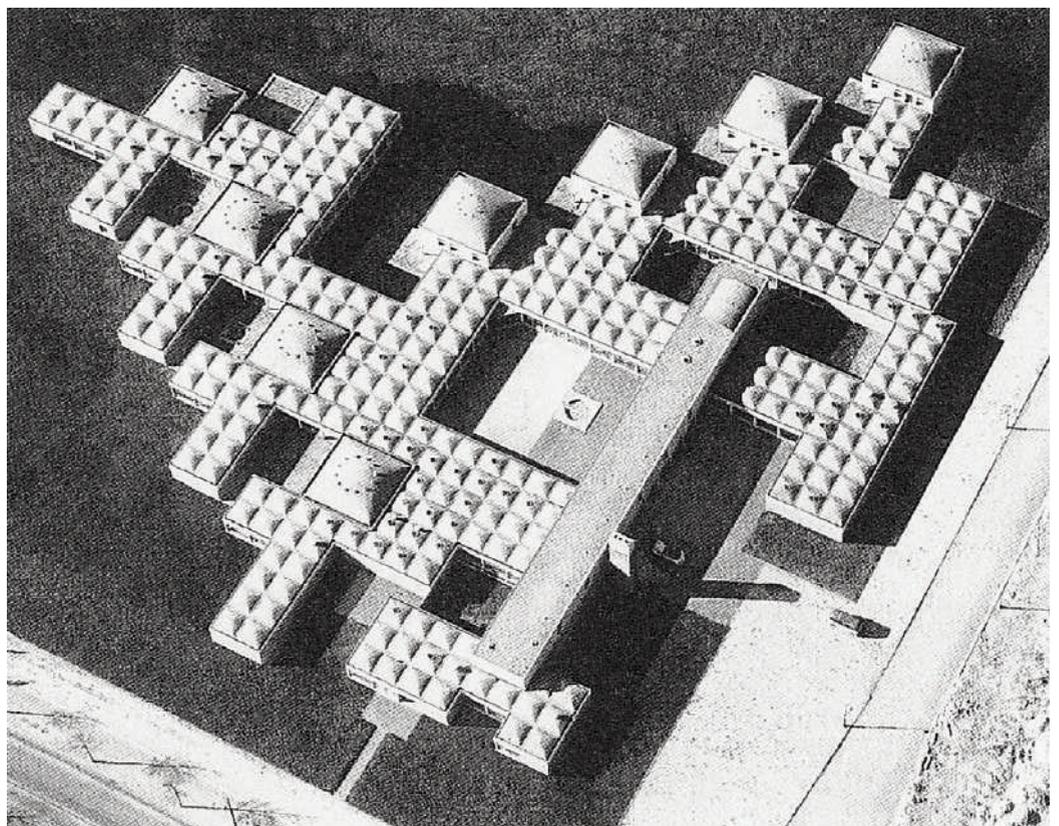
Questo testo si inserisce in un generale quadro di incertezza sui futuri equilibri tra il digitale e l'analogico. Visioni in cui il digitale assumerà progressivamente più fisicità, o in cui il digitale opererà in modi sempre più integrati e celati, sembrano avere la stessa probabilità di avveramento di visioni in cui gli architetti saranno sempre più impegnati a progettare spazi puramente virtuali. Tuttavia, in ogni scenario futuro sarà fondamentale associare momenti di riflessione e sintesi sugli aspetti culturali del progetto all'inevitabile sviluppo dei suoi strumenti tecnici.

The meanings of digital and analogue, when associated with architectural design, suggest methodological and aesthetic horizons that are often antithetical. This leads to a general incommunicability in which architecture often assumes only one of the two paradigms as a privileged interlocutor. An initial, superficial reflection associates the digital, because of its recent relationship with information technology, with the values of the immaterial, the abstract, the intangible. In an antithetical vision, the analogue is associated with the material, concrete and tangible dimension. But the digital also includes the meanings of discrete, discontinuous, divisible, which, although related to information technology, are fundamental to the way in which design has always shaped architectural space. It is possible to state, with a certain simplification, that architectural design discretises space by making a distinction between what is built form and what is not. Analogical, on the other hand,

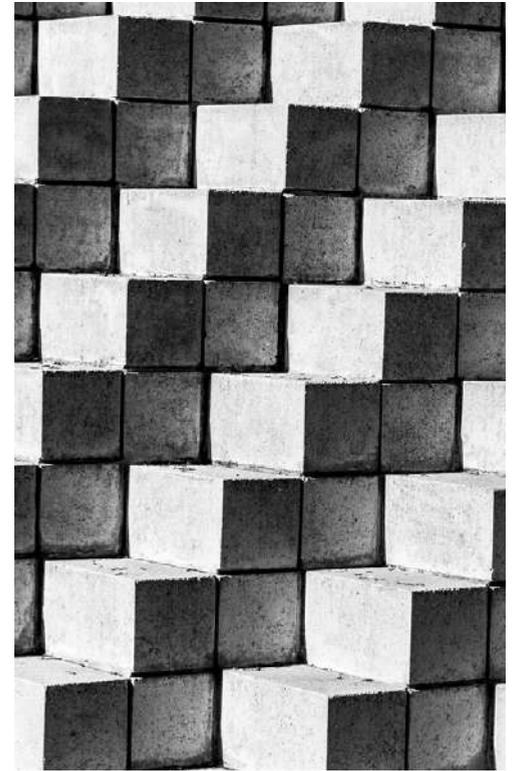
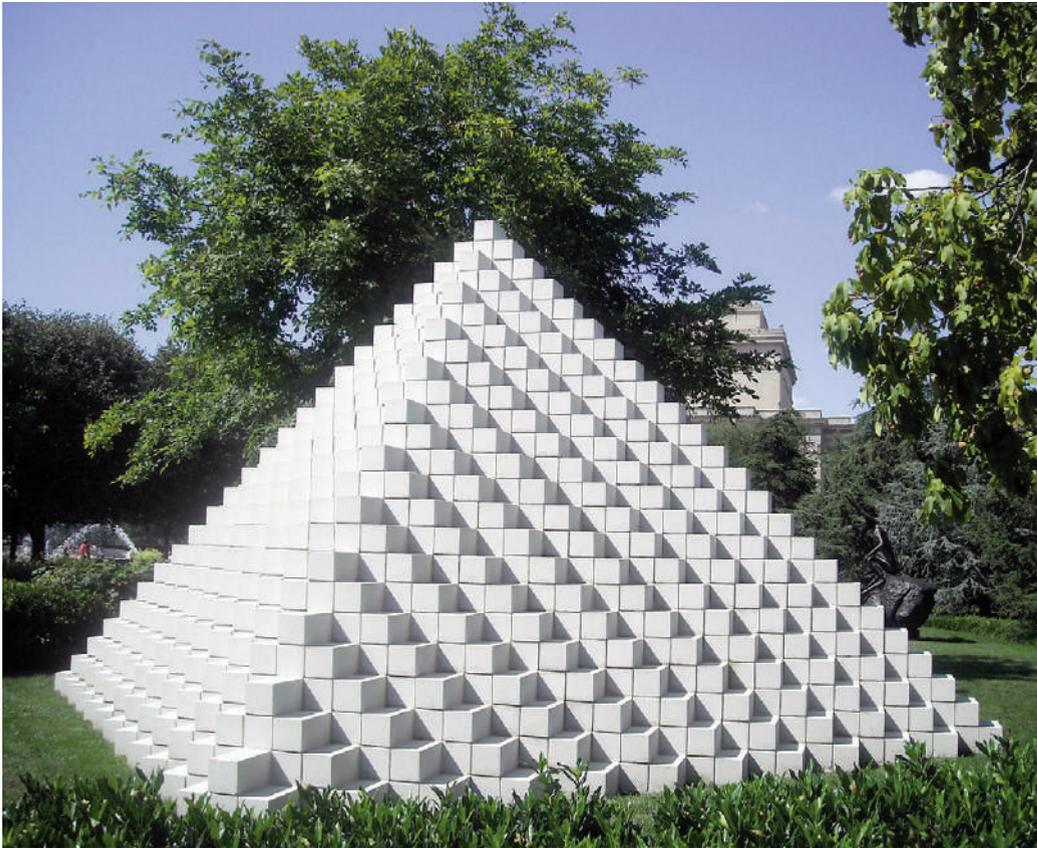
also embraces the meaning of 'continuity in variation', exemplified by Darcy Thompson's (1945) suggestions. The latter have been repeatedly used to communicate how a single idea-project contains different and alternative architectural forms.

Dealing with the duality between analogue and digital, between continuous and discrete, in oppositional terms may lead to a delay in updating some historical design tools, as well as a failure to recognise the transversal potential of the most recent ways of thinking about architecture. Instead, it is proposed that in design the digital and the analogue coexist in a dialectical tension, which continually redraws the boundaries of the two paradigms. To this end, the main approaches to research on the analogue-digital duality in architecture are presented, demonstrating how, for various authors, the boundary between the two paradigms is variable and relative both in the approaches to the project and in its technical tools. Subsequently, in continuity with the already mentioned hypothesis of dialectical tension between digital and analogue, a first hypothesis of expansion of the fields of application of some project tools conceived to manage only the digital dimension or only the analogue dimension is presented.

A first objective of the contribution is to address the duality between analogue and digital on a more cultural than technical level, in order to renew the potential of some approaches to architectural design. Although the indispensability of technical tools is acknowledged, as witnessed by the recent Firm Survey Report of the American Institute of Architects (AIA, 2020) and the recent Letters To Autodesk (2020)<sup>1</sup>, it is believed that they are too unstable in the short term to be the basis of a lasting renewal. Instead, the time is



**Fig. 8** | Municipal Orphanage in Amsterdam by Aldo van Eyck, 1960 (source: Schiphol-East Aviodrome Lelystad archive).



**Figg. 9, 10** | Four-Sided Pyramid in Washington D.C. by Sol LeWitt, 1999 (credits: NCinDC; R. Ricciardi, 2016).

ripe to seek transversality between digital and analogue mental approaches. A second objective is to provide a solid cultural framework so that the proposed exercise can be replicated for different contemporary criticalities, in the conviction that starting from a particular design paradigm, aspects useful to other paradigms can be distilled.

**Exploring analogue-digital duality in architecture** | A historical-reconstructive approach is a first, propaedeutic way of investigating the relationship between digital and analogue in architectural design. The sources of this line of research concern particular design media, such as the 'premechanical' drawing tools or the first CAD software, which are studied in their functioning, in their diffusion, and especially in their ability to shape the aesthetic horizon of the architectural project. The tools of the project can also be studied in their capacity to reify, that is, to make concrete something abstract, the architectural form, as suggested by Antonino Saggio (2007). This research is also in continuity with Bruno Zevi's (1973) interest in relating the tools of the project, both digital and analogue, to the aesthetic heritage that they spontaneously return.

The study of those premechanical media (Fig. 1), which are less recent than digital software, still proves to be a fertile research ground. Proof of this is the treatment offered by Mario Carpo (2011), interested in the themes of variation, the identical and the different in architecture, which demonstrates that the digital and the analogue have different affinities and continuities. The reconstructive-historical study of digital media certainly appears more lively as a relatively young research territory. But from this youthfulness derives an immature relationship between

architectural design and digital archives, which risks making some sources inaccessible despite being relatively recent. This has led the researcher-architect to equip himself with new tools, such as those pertaining to 'software archaeology', in order to more deeply understand the intentions of the pioneers of digital architecture. The recent exhibitions *Archaeology of the Digital* (Lynn, 2013) and *The Architecture Machine* (Fankhänel and Lepik, 2020), both concerned with the history of information technology in architecture, reveal a constant relationship between the digital and the analogue, expressed by the search for a dialogue between the designer and the digital tool. With respect to these themes, those tools that connect analogue and digital take on a new research interest, from Ivan Sutherland's *Light Pen* (Figg. 2, 3) to John Frazer's *Universal Constructor* (Figg. 4, 5).

In addition to the study of what can be defined as direct sources, i.e. the analogue artefacts, the software and the digital archive linked to a project, those sources, that have periodically defined the possibilities and research horizons of digital media in architectural design, are also fundamental. The publications of research groups such as *Computer-Aided Design Project* at MIT in the 1960s or the more recent texts in *The IT Revolution in Architecture* series directed by Antonino Saggio are among the research that best describe the possibilities of digital tools and their inclusion in the design process. These studies also question the presence, or absence, of the analogue dimension of the digital project.

From the historical-critical approach derives a strand of research interested in the similarities and differences between contemporary times, more closely linked to the digital, and historical

periods dominated by analogue instruments. Carpo (2017) proposes a comparison between the contemporary architect and Leon Battista Alberti's codification of the profession, while David Gerber (2014) proposes to juxtapose the figure of the medieval Master Builder, embodied by Brunelleschi, with the role of the architect in the digital design process. The results of these researches, as well as continuing to show the continuity between analogue and digital in design, allow a greater understanding of why experiences based on the realisation and optimisation of analogue models are considered as anticipating the digital paradigm in architecture (Canestrino, 2021). Furthermore, this research allows a deeper understanding of the role of the architect with respect to hot topics such as 'authorship' and project supply chain management.

Although digital and analogue are two apparently incompatible dimensions, it is, therefore, possible to trace thematic continuities in their approaches to design. It is, however, necessary to highlight aspects of a particular season, perhaps not yet fully over, in which certain links between the virtual and the constructed have weakened. In what Carpo (2013) calls the 'digital turn', we are witnessing a distancing of the digital from the analogue, to the point, in some extremes, of reducing the latter to a secondary dimension of architectural design. The period that began in the 1990s was a season in architecture in which some authors, in order to give form to what we can consider an important aesthetic heritage, freed themselves from the inhibitions imposed by construction. In this complex picture, authors who recognise the growing inconsistency between digital design and analogue construction nevertheless suggest possibilistic positions, such as Franco Purini (2003, p.

95) who states that the digital revolution, rather than an unexpected event, is actually the natural and inevitable development of perspective. Other authors take a more conservative stance, assigning most of the digital contribution to architecture to the representative component that goes from the iconic to the semantic, from the virtual to the possible (De Fusco, 2001, p. 12).

**Continuous and Discrete** | In order to legitimise the methodological operation proposed later in this contribution, it is necessary to frame the theme of digital and analogue as a deeper duality than the simple clash between abstract and concrete. As already anticipated, it is possible to associate analogue and digital with the concepts of continuous and discrete in order to make them representative of themes of architectural design that go beyond the paradigm shifts of information technologies. Gilles Retsin (2019) has recently proposed in a monographic issue of *Architectural Design* titled *Discrete – Reappraising the Digital in Architecture* that there has never been a clear distinction between an analogue and a digital approach in ways of approaching architectural design. More specifically, Retsin (2016) has previously argued ‘we have never been digital’ to highlight a general tendency not to think of architectural form as an organisation of discrete parts. It follows that most approaches to architectural design while making use of digital tools, perpetuate an analogue and continuous conception of form.

The act of construction is capable of providing further elements of discussion: for Retsin, an architecture is digital if built with a digital material, understood as an assemblage of discrete elements with limited possibilities of connection (Fig. 6, 7) and therefore closer to the founding logic of the digital (Gershenfeld et alii, 2015). A material, on the other hand, is analogue if it allows a form to be obtained through the addition or removal of matter with seamless variation. According to these definitions, a clear example of an analogue material is the product of a 3D print or a concrete wall, while a prefabrication system characterised by a finite number of possible connections and spatial orientations is an example of a digital material. Associating the digital with discrete tectonics also allows us to reconsider the anticipatory experiences of the computational approach in architecture. Retsin (2016) argues for the possibility of tracing an alternative history of the origins of the digital in architecture based on inherently discrete experiences, such as the Venice hospital of Le Corbusier, the orphanage of Aldo van Eyck (Fig. 8), the serial production of Jean Prouvé, the minimalism of Sol Lewitt (Fig. 9, 10). This vision is dual to the more widespread research that identifies the use of ‘physical models’, from Frei Paul Otto and Antoni Gaudí (Fig. 11), as the seed of the digital in architecture.

The Retsin research is in close dialogue with that of Neil Leach (2018), who also proposes the thesis «we have never been digital». Both suggest that the analogue paradigm encom-

passes what in common sense is often perceived as digital. For Leach, however, the difference between digital and analogue does not concern modes of production and construction, which he argues, from digital fabrication to masonry (Fig. 12-15), are all essentially continuous processes in that their product is concrete and physical. It follows that the distinction between analogue and digital materials is superfluous as the materials are all analogue, while it is the design process that can be analogue or digital. The fact that we are not digital is, for Leach,

linked to our unwillingness to grasp the discrete processes underlying the material world, whereas we are more adept at analogue thinking. Hence, again according to Leach, the importance of asking ourselves whether our design processes are computerised or computational.

For Retsin (2016) a true digital architecture requires changes in its materials and design modes while Leach (2019) states more clearly how built architecture is always analogue. However, it is possible to identify cultural positions according to which the discrete-digital is a tool



**Fig. 11** | Catenary model exposed at Casa Milà in Barcellona by Antoni Gaudí (credit: K. Taylor, 2009).

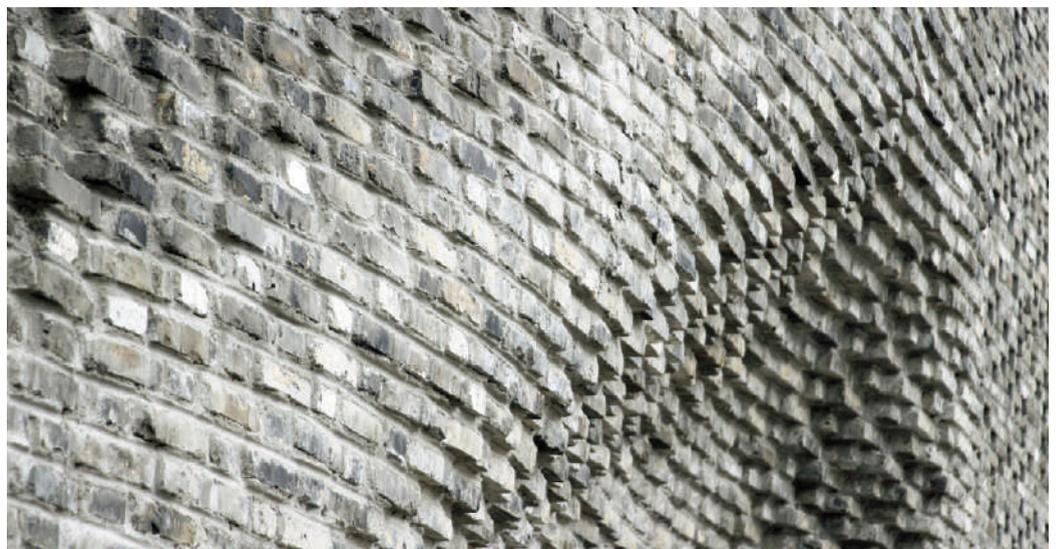
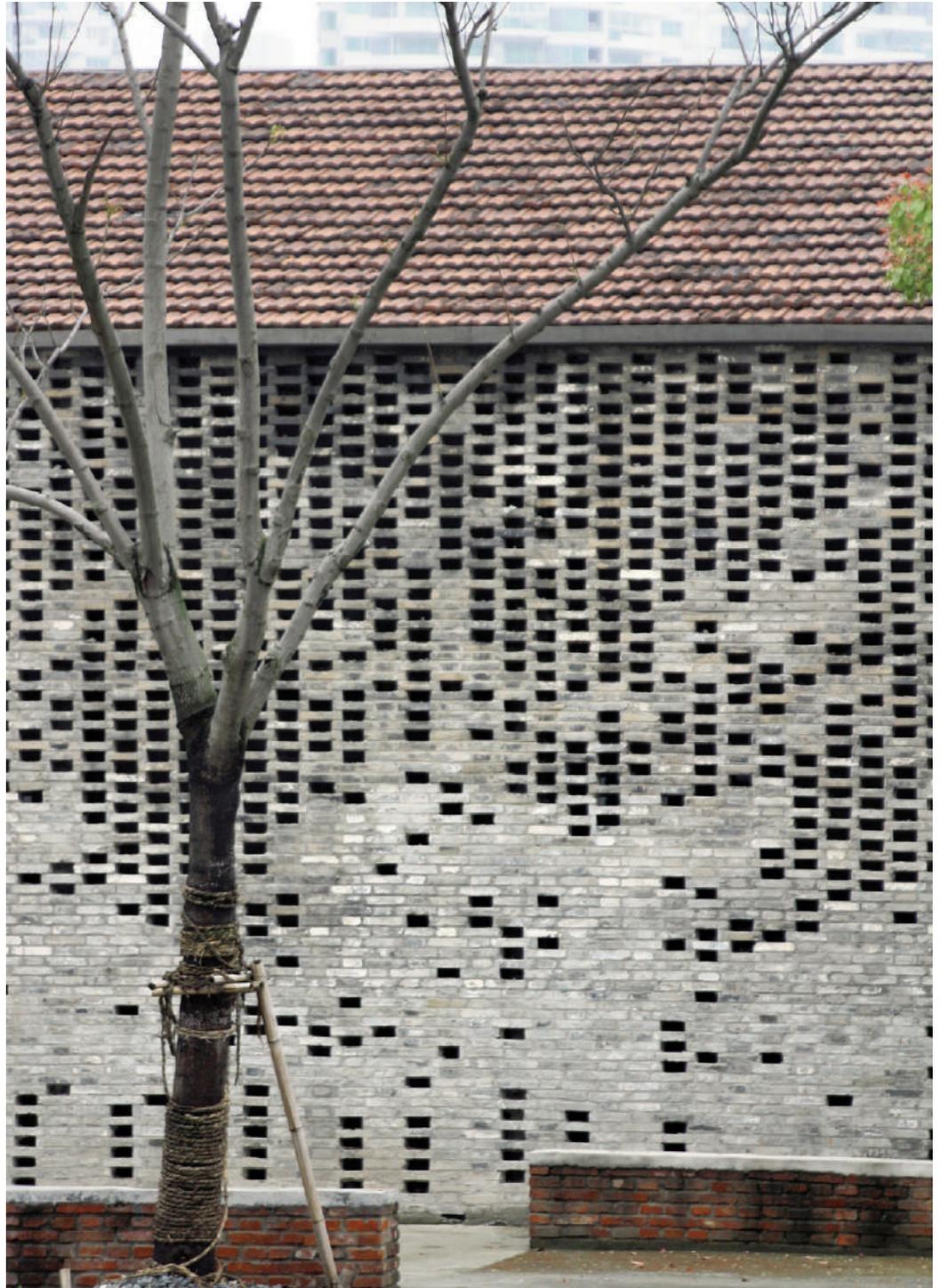


for understanding reality. This is the implicit assumption behind early Cybernetics, whose horizons and implications for architecture were anticipated by Gordon Pask (1969). In drawing an analogy between the functioning of human thought and the functioning of the computer, some pioneers of digital philosophy, such as Gregory Chaitin and Stephen Wolfram, claim that it is possible to reduce the former to the logic of the latter. The result is a reductionist approach to the complexity of architectural design, which can be considered as the result of the interactions of a system of simple, discrete and predictable elements. The epistemological consequences of this thinking can be summarised using the 'pan-computational' paradigm of Giuseppe Longo (2016): «Tutto computa; Tutto è frutto di computazione; Tutto può essere trasformato in un dispositivo computante». This, translated into architectural design, translates into a fascination with those ways of generating form, from computational to parametric approaches, in which the architectural idea is associated with a digital code capable not only of generating it but also of explaining it.

In fact, the influence of the discrete in architectural design tools is concrete and tangible. The computational power of finite element analysis derives from the translation of an architectural form into discrete objects that are related to each other. Similarly, many designers approach the modelling of a building, in BIM or CAD environments, as an assembly of discrete elements. But many software programs allow to vary some characteristics of these elements continuously and others discretely.

What emerges from the above positions is how the analogue and the digital, the continuous and the discrete, are held together in architectural design by a dialectical tension that continually redraws the boundaries between the two paradigms. This dialectical tension is reminiscent of a concept by German sociologist and philosopher Georg Simmel (2020, p. 324) in an essay on the human tendency to connect and separate, based on the thesis that these two actions 'are only two aspects of the same gesture'. More precisely, nothing can be connected unless it is first separated and nothing can be separated unless it is first connected. Thus, digital and analogue take on meaning in their continuous opposition and connection, in reality as in architecture. Assuming this dialectical position allows us to recognise how even in the tools of architectural design there can be a dialectical relationship between digital and analogue. A clear example is provided by the Bézier curves, which, if expressed mathematically, are certainly analogue and continuous, but are discretized in pixels to be represented on the screen. Bézier curves can also be calculated algorithmically, i.e. by a discrete set of actions, from a finite collection of points, which once digitised are discrete. The list of contradictions inherent in the useful Bézier curves could go on.

**Figg. 12-15** | Chi She exhibition space in Shanghai by Archi-Union Architects, 2016: the formal exploration of masonry built with digital manufacturing brings out the dialectic between digital and analogue, continuous and discrete (credits: trevor.patt, 2017).





**Fig. 16** | Korean Presbyterian Church in New York by Greg Lynn, Douglas Garofalo and Michael McInturf, 1999 (credit: M. Mucciola, 2007).

The discussion so far has aimed at showing the inappropriateness of thinking that a design tool, be it of a technical or mental nature, can only be applied in the analogue domain or only in the digital domain. Subsequently, it is shown how the hypothesis of the connection and opposition between digital and analogue allows with a certain ease to renew some approaches to the architectural project.

**Connections from digital to analogue** | It is now appropriate to show how some of the concepts developed to manage the digital part of the project can also have a useful profile in the management of its more traditional aspects. The ways in which the digital tools of the project contribute to its ideational process are manifold, and range, by way of example, from the simple additive logic of 'elements pre-packaged in libraries' (Prestinenza Puglisi, 1998), to the more complex logic of evolutionary design which hybridises on behalf of the designer different manifestations of an 'objectile' (Deleuze, 1993; Cache, 1995). As already widely discussed, these contributions to design are characterised by a dialectical tension between being continuous and being discrete in the ways they lead to architectural form.

There are different approaches to managing a project that is 'liquid', in that it is possible to retroactively modify the architectural form by acting on the individual elements that compose it, and it is 'indeterminate', in that an 'objectile' can theoretically vary up to a moment before construction. Manuel De Landa (2002) suggests developing three types of thinking to manage a design condition in which the architectural form is sought through simulation in a digital environment: 'populational, intensive, and topological

thinking'. These principles are, with different levels of rigour, taken into account in digital design paradigms, such as parametric, generative or computational, as they are useful to erode the indecipherability of the 'black-box' that many designers construct to take advantage of these tools.

'Populational' thinking leads us to consider architectural form as one of the possible and infinite manifestations of a complex system of design materials. It follows that the architectural form assumes new design possibilities if it is considered simultaneously both a precise spatial organisation and a particularisation of a family of design alternatives. The 'topological' thought suggested by De Landa has repercussions on the design method in that it leads to two attitudes: the first is that of thinking of design ideas that are sufficiently abstract and flexible so that it is possible to generate design alternatives that are different from each other but in any case recognisable as manifestations of a single idea; the second attitude is that of thinking of a design idea not only in its variability but also in its invariant parts, such as the relationships, the dimensional characteristics and the connections between the spaces that make up the architectural form.

Transferring the advice of De Landa, which are linked to distinctly digital tools such as genetic algorithms, to more traditional approaches to design would help to understand and bring out the latent possibilities that an idea-project has, understood as a still open organisation of the materials of the project. It is thus possible to approach architectural design without distorting the principles of a discipline that is today increasingly exposed to technicalities and functionalisms (Purini, 2018), with a renewed aware-

ness of how architectural form evolves and is refined during design.

**Connections from analogue to digital** | Previously we have discussed principles of method capable of renewing and enhancing a design approach based on analogue methods. If we are talking about digital methods, however, it seems more important to curb and control two possible design drifts: excessive scientificity and pure formal research. However, this control must not take place by inhibiting the innovations of digital tools. It is, therefore, necessary to look for principles of method in the analogue tools, capable of avoiding frustration when the virtual reality seems unattainable and disappointment when the digital figures become real architecture, as in the case of the Korean Church of Greg Lynn (Purini, 2003, p. 92; Fig. 16).

Analogue tools are inherently limited in the amount of design alternatives they can evaluate, unlike digital tools, which allow for a less onerous exploration of the idea-project. The limit of what is 'humanly computable' in analogue tools, however, pushes us to implement a design process that balances emerging aspects, manifestations of latent possibilities, and a sense of dwelling and building. Digital tools have overshadowed this balance through their reliance on computing power. Moreover, one cannot fully utilise this computing power without making the design process more technical and scientific. To do so, one is forced to expose oneself to a functionalist view of architectural design that leads one to recognise a particular importance to its measurable performance. It is interesting to note that Architecture as Theme by Oswald Mathias Ungers (1982) stems from a cultural context with which the relationship between digital and analogue, as set out in this paper, presents positions of continuity: paraphrasing some thoughts of the German master, digital tools when used with an excessively scientific spirit can lead to the 'blind alley of pure functionalism', while when used without a constructive conscience they can lead to 'stylistic aberration'.

Likewise, the similarity of the design process of some digital tools with the way of operating of a breeder or 'racehorse breeder' (De Landa, 2002) reveals a continuity with experiences and design methods conceived for analogue tools. An evolutionary algorithm that mixes the characteristics of the best design solutions in order to search for new and more efficient ones can be considered an extreme of the 'sorting-selection-classification' design (Quaroni, 2001). The comparison may seem risky and forced, but for the purposes of this text, it is necessary to recognise that the most modern digital tools can benefit from a re-evaluation, and updating, of consolidated principles of architectural composition, from the vision of the project as a moment of synthesis of complex knowledge to the continued use of all the scales of the project in a dialectic way.

**Conclusions** | This paper has proposed that in architectural design the connections that can be made between analogue and digital vision can be multiple and bi-directional. More specifically, it has been proposed that the more traditional

methods of design, typically analogue, can benefit from the application of approaches designed to manage digital design methods. At the same time, in order to better manage the latter, it is not enough to have a deep technical knowledge of their tools, as suggested by Lynn (cit. in Rocker, 2006), but renewed methodological foundations are needed, which could be taken from different principles of architectural composition. This operation on the methods of the project has been supported by the idea that the digital and the analogue assume a deeper value if they are considered dialectically both co-present and opposed in architecture.

The paper was developed in the conviction that digital tools are becoming indispensable in the design process, on a par with those analogue tools, such as drawing and writing, that architecture has long since absorbed. The obvious cultural implication for the architectural design community concerns, in the words of Marshall McLuhan (2015, p. 78), the necessary shift

‘from the ivory tower to the control tower’ to fully exploit the opportunities of the present digital condition. It is therefore desirable to replicate and continue the proposed operation, based on the study of the methods, criticalities and opportunities of a particular design paradigm in order to distil aspects of it that are useful to a wider field of design approaches. It is necessary, however, to seek in this hybridisation a balance between the synthesis capacity of architectural design and the more technical horizons of digital instrumentation, which should neither be inhibited nor excessively exalted. It is evident that the future developments outlined above must be carried out in harmony between the founding principles of composition and the deeper values of digital culture.

This text is part of a general framework of uncertainty about the future balance between digital and analogue. Visions in which the digital will become progressively more physical, or in which the digital will operate in increasingly inte-

grated and concealed ways, seem as likely to come true as visions in which architects will be increasingly engaged in designing purely virtual spaces. However, in any future scenario, it will be essential to combine moments of reflection and synthesis on the cultural aspects of design with the inevitable development of its technical tools.

## Note

1) For more information see the webpage: letters-to-autodesk.com/ [Accessed 22 September 2021].

## References

- AIA – American Institute of Architects (2020), *The Business of Architecture – Firm Survey Report*. [Online] Available at: [aia.org/resources/6151-firm-survey-report](http://aia.org/resources/6151-firm-survey-report) [Accessed 17 September 2021].
- Cache, B. (1995), *Earth moves – The furnishing of territories*, The MIT Press, Cambridge (MA).
- Canestrino, G. (2021), “Considerations on Optimization as an Architectural Design Tool”, in *Nexus Network Journal*, vol. 23, pp. 919-931. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/s00004-021-00563-y](https://doi.org/10.1007/s00004-021-00563-y) [Accessed 14 October 2021].
- Carpò, M. (2017), *The Second Digital Turn – Design Beyond Intelligence*, The MIT Press, Cambridge (MA).
- Carpò, M. (ed.) (2013), *The Digital Turn in Architecture 1992-2012*, Wiley, Hoboken.
- Carpò, M. (2011), *The Alphabet and the Algorithm*, The MIT Press, Cambridge (MA).
- De Fusco, R. (2001), “Internet non s’addice all’architettura”, in *Op.Cit.*, n. 112, pp. 5-13. [Online] Available at: [opcit.it/cms/?p=1753](http://opcit.it/cms/?p=1753) [Accessed 19 October 2021].
- De Landa, M. (2002), “Deleuze and the use of the genetic algorithm in architecture”, in *Architectural Design*, vol. 72, issue 1, pp. 9-13.
- Deleuze, G. (1993), *The Fold – Leibniz and the Baroque*, The Athlone, London.
- Fankhänel, T. and Lepik, A. (eds) (2020), *The Architecture Machine – The Role of Computers in Architecture*, Birkhäuser, Basel.
- Frazer, J. (1995), *An Evolutionary Architecture*, Architectural Association, London.
- Gerber, R. (2014), *BIM Design – Realising the Creative Potential of Building Information Modelling*, Wiley, Hoboken.
- Gershenfeld, N., Carney, M., Jenett, B., Calisch, S. and Wilson, S. (2015), “Macrofabrication with Digital Materials – Robotic Assembly”, in *Architectural Design*, vol. 85, issue 5, pp. 122-127. [Online] Available at: [doi.org/10.1002/ad.1964](https://doi.org/10.1002/ad.1964) [Accessed 16 October 2021].
- Leach, N. (2019), “There Is No Such Thing as a Digital Building – A Critique of the Discrete”, in *Architectural Design*, vol. 89, issue 2, pp. 136-141. [Online] Available at: [doi.org/10.1002/ad.2423](https://doi.org/10.1002/ad.2423) [Accessed 16 October 2021].
- Leach, N. (2018), “We Have Never Been Digital”, in Anzalone, P., del Signore, M. and Wit, A. J. (eds), *Recalibration – On Imprecision and Infidelity – Proceedings of the 38th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, IngramSpark, pp. 20-29.
- Longo, G. O. (2016), “La nascita della filosofia digitale”, in *Doppiozero*, 27/12/2016. [Online] Available at: [doppiozero.com/materiali/la-nascita-della-filosofia-digitale](http://doppiozero.com/materiali/la-nascita-della-filosofia-digitale) [Accessed 17 October 2021].
- Lynn, G. (ed.) (2013), *Archaeology of the Digital*, Sternberg Press, Berlin.
- McLuhan, M. (2015), *Gli strumenti del comunicare*, Il Saggiatore, Milano.
- Pask, G. (1969), “The Architectural Relevance of Cybernetics”, in *Architectural Design*, issue 7/6, pp. 494-496.
- Prestinzenza Puglisi, L. (1998), *HyperArchitettura – Spazi nell’età dell’elettronica*, Testo & Immagine, Torino.
- Purini, F. (2018), “Il BIM – Un parere in evoluzione”, in *Op. Cit.*, n. 162, pp. 5-16. [Online] Available at: [opcit.it/cms/?p=1409](http://opcit.it/cms/?p=1409) [Accessed 24 October 2021].
- Purini, F. (2003), “Digital Divide”, in Sacchi, L. and Unali, M. (eds), *Architettura e Cultura Digitale*, Skira, Milano, pp. 87-96.
- Quaroni, L. (2001), *Progettare un edificio – Otto lezioni di architettura*, Edizioni Kappa, Roma.
- Retsin, G. (2019), “Discrete Architecture in the Age of Automation”, in *Architectural Design*, vol. 89, issue 2, pp. 6-13. [Online] Available at: [doi.org/10.1002/ad.2406](https://doi.org/10.1002/ad.2406) [Accessed 16 October 2021].
- Retsin, G. (2016), “Discrete and Digital – A Discrete Paradigm for Design and Production”, in Bieg, K. (ed.), *2016 TxA Emerging Design + Technology Conference Proceedings*, Texas Society of Architects, pp. 82-96. [Online] Available at: [texasarchitects.org/emergingdesign/](http://texasarchitects.org/emergingdesign/) [Accessed 24 October 2021].
- Rocker, I. M. (2006), “Calculus-based form – An interview with Greg Lynn”, in *Architectural Design*, vol. 76, issue 4, pp. 88-95. [Online] Available at: [doi.org/10.1002/ad.298](https://doi.org/10.1002/ad.298) [Accessed 17 September 2021].
- Saggio, A. (2007), *Introduzione alla rivoluzione in-*

*formatica in architettura*, Carocci, Roma.

Simmel, G. (2020), “Ponte e porta”, in Carnevali, B. and Pinotti, A. (eds), *George Simmel – Stile Moderno – Saggi di estetica sociale*, Einaudi, Torino, pp. 321-328.

Thompson, D. W. (1945), *On growth and form*, University Press, Cambridge.

Ungers, O. M. (1982), *Architettura come tema | Architecture as theme*, Electa, Milano.

Zevi, B. (1973), *Il linguaggio moderno dell’architettura – Guida al codice anticlassico*, Einaudi, Torino.