

## DESIGN GENERATIVO E PRODOTTO INDUSTRIALE

Connettere la dimensione fisica/digitale del progetto

## GENERATIVE DESIGN AND INDUSTRIAL PRODUCT

Connecting physical/digital dimensions of the project

Davide Paciotti, Alessandro Di Stefano

### ABSTRACT

L'evoluzione delle tecniche di modellazione ha permesso di connettere in maniera sempre più efficiente ciò che è fisico con ciò che è progettato virtualmente, grazie all'utilizzo di processi di simulazione che hanno consentito l'evoluzione delle condizioni d'uso e produzione fisica del modello. Il presente contributo intende discutere, attraverso la proposizione di casi studio emblematici, come l'implementazione delle nuove tecnologie virtuali di modellazione parametrica generativa abbia consentito di evolvere e migliorare, in termini di efficienza e innovazione, lo sviluppo dei prodotti industriali. Il progettista assume quindi un ruolo centrale nella sperimentazione di nuove metodologie progettuali finalizzate all'uso del modello virtuale non più come mezzo di mera espressione formale ma come processo di ottimizzazione sotto molteplici punti di vista.

The evolution of modelling techniques has made possible to connect in a more efficient way what is physical and what is virtually designed, using simulation processes that have allowed the evolution of conditions of use and material production of the model. This contribution aims to discuss, by presenting emblematic case studies, how the implementation of new virtual technologies of generative parametric modelling has allowed to evolve and improve, in terms of efficiency and innovation, the development of industrial products. Thus, the designer assumes a central role in the experimentation of new design methodologies aimed at the use of virtual models not as a simple formal expression, but as an optimisation process from multiple points of view.

### KEYWORDS

design computazionale, morfogenesi, fabbricazione additiva, ricerca della forma, parametricismo

computational design, morphogenesis, additive manufacturing, form research, parametricism

**Davide Paciotti**, Designer and PhD in Innovative Technologies and Industrial Design, is a Research Fellow at the SAAD of the University of Camerino (Italy). His research activity focuses on the evolution of the industrial product through new additive production processes combined with parametric generative modelling. Mob. + 39 333/93.05.441 | E-mail: [davide.paciotti@unicam.it](mailto:davide.paciotti@unicam.it)

**Alessandro Di Stefano**, Designer, is a Research Fellow at the SAAD of the University of Camerino (Italy). His research activity is aimed at tracing the new potential expressed by software and technologies of digital production, using them to solve critical issues of a productive, technical and aesthetic nature that characterise the industrial design project. Mob. + 39 340/81.84.761 | E-mail: [alessandro.distefano@unicam.it](mailto:alessandro.distefano@unicam.it)

L'approccio parametrico alla progettazione industriale, caratterizzata in particolare dalla messa a sistema di vincoli, parametri e algoritmi generativi, ha permesso di ampliare le capacità adattive del modello virtuale alle esigenze tecnico-formali ricercate dal designer, difficilmente gestibili in maniera puramente analogica. Questo processo di 'parametricismo' (Schumacher, 2009) ha permesso di evolvere il concetto di formalizzazione e di progettualità grazie alla continua evoluzione dei software parametrici e generativi. Approfondendo l'aspetto della digitalizzazione del progetto nella cultura contemporanea del design, è palese la compresenza di differenti approcci alle sperimentazioni di modellazione e generazione delle geometrie e delle forme dei prodotti. La tassellazione delle superfici diviene un tema centrale nella progettazione contemporanea che pone l'accento su quanto la tecnologia influenzi il risultato della produzione. L'approccio computazionale trova in questo contesto un ruolo guida, dirigendo – a volte fortemente – il processo di ideazione formale quanto quello di realizzazione materiale (Romero, 2014). Il rischio tangibile è quello di non riuscire a controllare tutti gli aspetti del processo (De Giovanni and Sposito, 2019) e che il progettista rimanga passivo nei confronti di un'evoluzione tecnologica la quale sembra relegare alle macchine il controllo sia degli aspetti tecnico-operativi che ideativi e creativi, come afferma anche Sennett: «[...] quando la testa e la mano vengono separate, l'effetto che ne deriva è una mutilazione dell'intelligenza; un esito particolarmente evidente nel caso di una tecnologia come il CAD, quando la sua utilizzazione inibisce il tempo di apprendimento» (Sennett, 2008, p. 58).

Il contributo si incentra quindi sulla discussione del rapporto tra dimensione fisica e digitale del progetto nell'ambito dell'industrial design, evidenziando come il design generativo consenta una evoluzione attraverso un costante approfondimento e una più ampia comprensione delle potenzialità degli strumenti parametrici a supporto del progettista volte all'ottimizzazione topologica dei modelli virtuali, all'incremento delle prestazioni tecnico-funzionali e all'evoluzione estetica dei prodotti. L'analisi critica dei casi studio presentati nel paper mira a esplicitare alcuni peculiari esiti progettuali ottenuti attraverso l'uso di algoritmi generativi con differenti gradi di capacità computazionale, utilizzati per differenti finalità: sperimentazione formale, ottimizzazione strutturale e riduzione di materiale e nuove modalità di funzionalizzazione di parti, componenti e superfici. L'obiettivo è definire le strategie progettuali che, sempre più integrate all'interno delle metodologie e delle prassi tipiche del design, permetteranno nel prossimo futuro di integrare specifiche caratteristiche tecnico-prestazionali nello sviluppo di nuovi prodotti industriali.

**Il futuro del design generativo nella cultura del progetto contemporaneo** | L'evoluzione delle tecniche di modellazione oggi si muove verso una piena integrazione tra il modello fisico e quello virtuale: il perfezionamento dei modelli virtuali costituisce un passo fondamentale nell'evoluzione del panorama industriale, il quale, grazie all'uso della simulazione, ha potuto imparare a prevedere la risposta fisica del modello in de-

terminate condizioni di produzione o di utilizzo già nel processo ideativo (Marsault, 2017) e di diminuire i possibili errori che molto spesso si manifestano nelle prime fasi produttive. L'approccio alla modellazione parametrica generativa finalizzata ad aumentare le prestazioni tecnico-funzionali del prodotto ha contribuito a far evolvere gli strumenti e metodi progettuali dell'industrial design, permettendo di superare una prospettiva d'impiego finalizzata al puro formalismo. Il designer che utilizza consapevolmente la modellazione parametrica può controllare e gestire tutte quelle variabili, parametri e funzionalità complesse (ottimizzazione topologica, superfici minime, linee di stress, densità e concentrazione di materiale legate alle prestazioni fisiche e meccaniche di un prodotto, etc.) che rendono oggi la progettualità in piena connessione tra ciò che è fisico e ciò che è virtuale (Schumacher, 2016).

La possibilità di gestire il progetto seguendo un processo generativo guidato da analisi e dati a disposizione del progettista permette di diversificare i risultati elaborati dal software generativo, restituendo prodotti con caratteristiche fisiche e strutturali totalmente differenti l'uno dall'altro. Da questi presupposti, nel panorama contemporaneo del prodotto industriale, emergono principalmente due differenti approcci metodologico-progettuali: il primo prevede la gestione dell'elaborazione formale del prodotto esclusivamente a carico dell'algoritmo, il quale restituisce un'unica soluzione morfologica rispettando i vincoli definiti e imposti dal progettista; il secondo, invece, lascia al progettista il controllo e la gerarchizzazione del processo di elaborazione dei dati, sfruttando algoritmi già elaborati per specifiche finalità, ma modificabili, oppure sviluppando algoritmi ad hoc in relazione a un determinato artefatto, al fine di restituire differenti soluzioni progettuali.

Si apre, dunque, nel mondo del design un nuovo scenario operativo incentrato sulla simbiotica collaborazione tra designer e nuovi strumenti digitali di progettazione, resi molto accessibili grazie a interfacce software più user-friendly (Ajla, 2016) e sempre più performanti da computer ad alto potere di calcolo con l'Intelligenza Artificiale. Ora che il processo computazionale è potenzialmente autonomo nell'assumere determinate scelte all'interno del processo di progettazione, ai progettisti spetteranno nuovi e diversi ruoli nello sviluppo del progetto. I progettisti dovranno elaborare e implementare un differente approccio metodologico (Oxman, 2017) necessario per supervisionare, guidare e impostare i parametri del progetto computazionale. Sorge spontaneo allora chiedersi: come questo nuovo panorama modificherà la percezione del valore che viene dato alla 'professione' del designer? Come, una volta data alle macchine maggiore autonomia di progettazione, verrà a trasformarsi la forma e il design degli oggetti che compogono il mondo reale? Queste domande aperte all'interno della cultura del design contemporaneo richiedono riflessioni critiche sulle potenzialità delle tecnologie digitali e sul loro impatto sulla dimensione materiale delle cose.

**Il design generativo come strumento di sperimentazione formale ed estetica** | Il design generativo, o computazionale, inteso come insieme

di nuovi strumenti progettuali a disposizione del designer, è stato utilizzato, fino ad oggi, soprattutto con finalità estetiche e linguistiche nello sviluppo di nuovi prodotti, consentendo un'esplorazione di forme e geometrie complesse, non euclidee, e una sperimentazione topologica a volte sconfinante in formalismi fini a se stessi. Spesso è stato sottovalutato il reale e immenso potenziale della modellazione parametrica e delle nuove tecnologie digitali (come ad esempio la stampa 3D additiva) ai fini dell'innovazione di prodotto; infatti il design generativo, se da un lato ha enormi potenzialità nel generare nuove forme e linguaggi estetici dei prodotti industriali, quale risultato dell'utilizzo consapevole di software che elaborano dati, informazioni e parametri in forma di algoritmi per trovare le soluzioni progettuali più adeguate a problemi complessi, dall'altro sta producendo una 'omologazione estetica' che rischia di snaturare il concetto stesso di progetto trasformandosi in puro sperimentalismo morfologico (Langella and Santulli, 2017).

Il rischio è quello di elaborare oggetti con funzionalità specifiche ma che utilizzano le potenzialità della modellazione generativa esclusivamente come giustificazione formale (Fig. 1). Strutture complesse ispirate dalla natura e riprodotte attraverso 'tassellazioni di voronoi' che si riducono a una destrutturazione dello spazio superficiale senza comprenderne le reali logiche aggregative messe in atto dalla natura con finalità ben più interessanti e significative per il design (Langella and Santulli, 2017; Fig. 2). Le competenze multidisciplinari e l'elevato profilo scientifico e tecnologico dei designer consentono oggi di utilizzare i processi parametrici e generativi in modo sempre più evoluto, in cui le articolazioni morfologiche assumono un carattere performativo e non più estetico.

L'influenza dei nuovi strumenti progettuali digitali sulla progettazione del prodotto industriale ha avuto l'effetto di migliorarlo con nuove peculiari performance che, osservate in natura, sono oggi trasferibili nel progetto grazie al design computazionale e ai più avanzati processi di stampa additiva (Migliore, Caruso and Giambattista, 2015). Funzione, materia, struttura e comportamento sono assimilabili ora in un flusso unico progettuale, molto simile a ciò che la natura ha sviluppato in miliardi di anni. Infatti, è nello sviluppo di processi computazionali che è possibile ravvisare il maggior contributo che la biomimesi ha messo a disposizione nella cultura del progetto (Gallagher et alii, 2014). La capacità di una distribuzione efficiente della materia, le variazioni di spessori e la differenziazione funzionale di alcune parti (trasposte da sistemi biologici a nuove strutture artificiali) possono dare vita a prestazioni eccezionali che integrano quelle già tecnicamente disponibili.

**Il design generativo come strumento di ottimizzazione strutturale e riduzione del materiale** | Il processo che caratterizza il design generativo è un processo di progettazione iterativa in cui è il progettista a definire le variabili e i diversi vincoli che saranno rielaborati dall'algoritmo; quest'ultimo ne restituirà una specifica formalizzazione e successivamente genererà una determinata gamma di risultati. Le potenzialità espresse dalla digitalizzazione virtuale nella progetta-



Fig. 1 | 3D-printed perfume bottles by Ross Lovegrove Studio, 2019 (credit: Ross Lovegrove Studio).

Fig. 2 | LOBO Shoes For United Nude by Ross Lovegrove Studio, 2015 (credit: Ross Lovegrove Studio).

zione contemporanea influenzano fortemente il risultato reale e fisico della produzione di un prodotto industriale: ad esempio, su ogni oggetto agiscono determinate forze che a seconda del modo in cui operano si distribuiscono dando origine a possibili modalità diversificate di morfogenesi; la distribuzione crea una gerarchia che può essere tradotta a livello progettuale con parametri di densità e spessori variabili. Attraverso un processo di ottimizzazione topologica è possibile mantenere le performance strutturali e di resistenza di un prodotto a vantaggio di un minore quantitativo di materiale impiegato, producendo quindi anche significativi risultati in termini di sostenibilità ambientale. Diversi designer, come Joris Laarman con la serie Bone Forniture del 2006 (Fig. 3) e Philippe Starck con la seduta A.I. Chair per Kartell del 2019 (Fig. 4), comprendendo le potenzialità espresse da questi pro-

cessi di ottimizzazione e distribuzione del materiale, sono riusciti ad apportare un grado maggiore di innovazione nel prodotto.

Il processo di ottimizzazione si articola attraverso una serie di fasi progettuali: lo studio ergonomico delle superfici funzionali del prodotto; l'impostazione delle caratteristiche tecnico-prestazionali del materiale scelto; la definizione della struttura del modello virtuale e le zone di applicazione degli stress in punti specifici del prodotto, consentendo al sistema di algoritmi generativi di elaborare dati. Il processo automatizzato restituisce, per opera di una serie di continue elaborazioni morfologiche, un'unica struttura efficiente che, pur con una riduzione di materiale, avrà la massima resistenza. La volontà di materializzare un'idea presuppone l'individuazione dei parametri di un processo metodologico mentre la forma è il risultato che scaturisce dalle relazioni e dalle

interazioni tra le parti, attraverso diagrammi di forze. Alla luce di queste premesse, il contributo intende esplorare il potenziale di una progettazione al design di tipo performativo, attraverso l'interconnessione tangibile e intangibile tra spazio, materia, forze, strumenti digitali, sistemi produttivi e la loro efficienza rispetto a determinate condizioni tecnico-prestazionale, al fine di generare un prodotto evoluto. La A.I. Chair che Philippe Starck ha realizzato attraverso l'uso dell'intelligenza artificiale può essere considerata la sedia di un noto designer senonché lo stesso Starck durante la presentazione al Salone del Mobile 2019, in maniera provocatoria, ha affermato che l'ha progettata il computer, non lui. In vero, quando si parla di design generativo è il progettista che chiede al software di svolgere le operazioni in base a determinati parametri progettuali richiesti, instaurando così un vero e proprio 'dialogo' con la macchina che processerà il modello al fine di garantire forma e prestazioni attese.

Con l'ottimizzazione topologica, utilizzando software che sfruttano processi di 'simulation driven', è possibile verificare come varia la forma della struttura col variare delle forze applicate. Utilizzando come parametri di studio densità, vincoli, carichi e caratteristiche del materiale impiegato è possibile ottenere configurazioni morfologiche diversificate, che mutano al variare di questi parametri; se le forze possono essere il collante che lega schema e struttura, l'ottimizzazione topologica può essere il principio della loro materializzazione. In questo contesto la fabbricazione digitale attraverso l'uso delle tecnologie sempre più performanti e flessibili della fabbricazione additiva abilita alla produzione di morfologie complesse, che altrimenti sarebbero rimaste solo in versione digitale, e le rende realizzabili e funzionali.

A.I. Binding, dell'azienda Now Bindings in collaborazione con Nidecker Group e Addit-ion 3D, è un esempio di prodotto realizzato nel 2020 tramite processi di stampa 3D utilizzando un polimero altamente performante (Fig. 5). La forma definitiva delle scarpe è stata ottimizzata (anche in termini di materiale) attraverso l'impiego di un algoritmo generativo che ha tenuto conto di tutti gli stress subiti durante il loro utilizzo. Un altro prodotto che lavora con il binomio stampa 3D additiva e modellazione generativa nel campo puramente funzionale-prestazionale è il set di truck da skateboard Tost del 2018 di Philippe Manger (Fig. 6). Il truck realizzato in stampa 3D a polveri metalliche è stato progettato mediante un algoritmo che ha definito una soluzione morfologia differenziata, fluida e omogenea per la totalità del corpo e reticolare con una maggiore densità per le zone soggette a un elevato stress meccanico. La maggior parte dei truck tradizionali per skateboard sono in alluminio; Manger ha usato il titanio che ha un peso specifico maggiore. L'ottimizzazione topologica, definita attraverso i dati inseriti dal designer, ha permesso di generare una struttura reticolare e mono-materica, che integra diverse componenti funzionali e favorisce, a parità di prestazioni, un utilizzo minore di materiale rendendo il truck molto più leggero ed ecosostenibile.

**Il design generativo come strumento di funzionalizzazione di parti e componenti** | Per l'approccio in cui il progettista elabora il codice

che compone l'algoritmo, le formalizzazioni frattali e alveolari, le variazioni di spessori, le stratificazioni differenziate e gli svuotamenti localizzati sono alcuni esempi morfologici che appaiono come risultati di un processo di ottimizzazione governato dal progettista in funzione dei dati che caratterizzano il prodotto. Il codice può essere applicato per risolvere problemi funzionali e puntuali agendo su variazioni di densità materica, strutture reticolari ricorsive e svuotamenti localizzati in ragione della funzione fisico-meccanica assegnata alle diverse zone del prodotto; la materia si concentra così nelle aree con funzione specifica, generando parti ad alta densità e parti a bassa densità definendo quindi una gerarchia.

All'interno di questo scenario Joris Laarman, con la Aluminum Gradient Chair del 2014, sperimenta l'utilizzo di una mappa gradiente disposta su tutta la struttura della seduta allo scopo di distribuire, in base alle zone che subiscono differenti intensità di sollecitazioni, una maggiore o minore densità di materiale, discretizzando il modello virtuale in una serie di celle (Fig. 7): esse saranno 'vuote', per ridurre il materiale e conferire leggerezza, 'piene' per una maggiore rigidità e resistenza strutturale. Il risultato ottenuto dal designer, in base alle sue scelte progettuali, all'impiego dell'alluminio e l'utilizzo della stampa 3D come processo produttivo, restituisce una struttura leggera, capace di soddisfare tutte le esigenze funzionali del prodotto.

In casi come quelli descritti, i designer utilizzano gli strumenti digitali e i relativi parametri per

potenziare il progetto in termini di prestazioni, generando oggetti con caratteri di originalità e di identità, sia nel linguaggio che nella concezione. In ambiti in cui il corpo e i suoi movimenti assumono un ruolo fondamentale nella fase d'uso degli artefatti (come nel design di prodotti e accessori sportivi che si interfacciano con parti anatomiche) l'approccio parametrico si rivela particolarmente significativo perché consente di inserire nel progetto i dati antropometrici e funzionali, configurando così una piena personalizzazione del prodotto. Esempio di questa possibilità è la sella per bici S-Works Power With Mirror, dell'azienda Specialized, commercializzata nel 2020 e prodotta grazie alla collaborazione con la Carbon. Specialized ha sperimentato un nuovo modo di produrre chiamato Carbon Digital Light Synthesis™ (Carbon DLS™) che per la produzione della sella abbandona l'imbottitura in schiuma convenzionale a favore di una struttura reticolare polimerica stampata in 3D. La morfologia del prodotto è il risultato di un approfondito studio sulla pressione che l'atleta esercita sulla sella durante l'attività sportiva. L'algoritmo generativo, guidato e articolato dal progettista attraverso i dati ricavati dalla mappa di distribuzione della pressione, genera aree di diversa geometria che migliorano la corretta distribuzione della pressione che subisce l'osso sacro dell'atleta, aumentando il comfort e riducendo il carico nei tessuti molli (Fig. 8).

La fabbricazione additiva associata al design generativo è fra le tecnologie produttive più

simili al processo di accrescimento di alcuni organismi biologici, associandosi al modello proposto da Jakob von Uexküll (2015) nel suo *Biologia Teoretica* in cui afferma che le forme viventi possiedono proprietà 'dominanti' e proprietà 'accidentali'. Nella produzione digitale basata sul design generativo, la 'dominante' è la scrittura algoritmica, mentre le 'accidentali' sono le possibilità di generare, attraverso il codice, una pluralità di forme simili, ma non uguali. La produzione per sintesi additiva e la geometria computazionale inducono, nella metodologia progettuale-produttiva, la realizzazione di oggetti monomaterici, caratterizzati da estrema complessità formale di strutture reticolari ricorsive, unita alla bassa densità materica. Significativo in questo contesto è Radiolaria #1 Chair del 2018, nel quale Lilian Van Daals continua la sua ricerca per innovare la produzione di sedute utilizzando le leggi della natura (Fig. 9): in questo prodotto si connettono la modellazione generativa, le tecnologie di stampa 3D e le forme bioispirate per utilizzare la materia e l'energia nel modo più efficiente. La progettista attraverso un processo generativo elabora le strutture dei Radiolari (protozoi che vivono in mare) e dei Bryozoa (piccoli animali invertebrati acquatici) in codici che informano e formano il prodotto, migliorandone gli aspetti funzionali e di conseguenza le performance di flessibilità, adattabilità e stabilità.

**Il design generativo come strumento di funzionalizzazione di superfici** | La modellazione

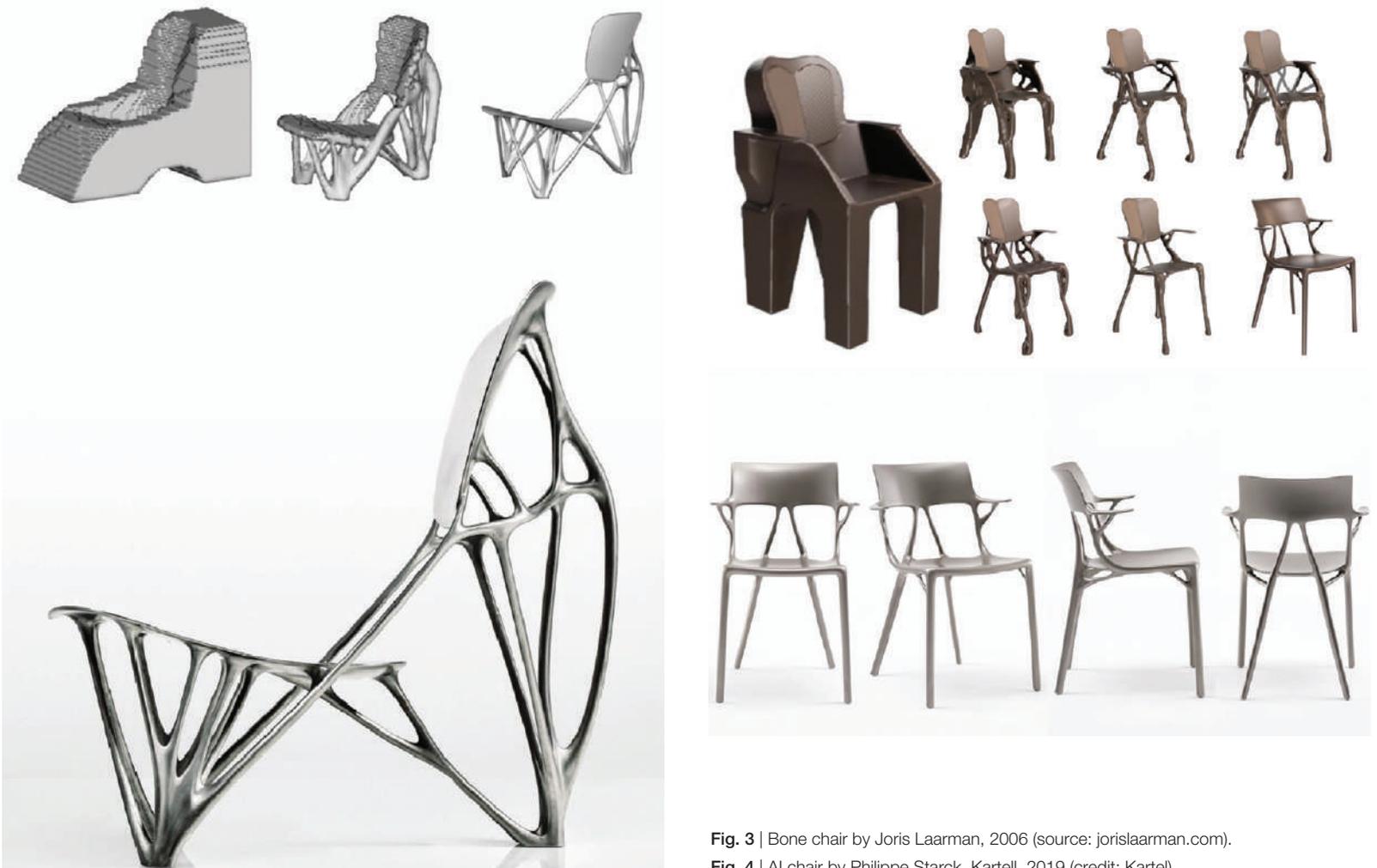


Fig. 3 | Bone chair by Joris Laarman, 2006 (source: jorislaarman.com).

Fig. 4 | AI chair by Philippe Starck, Kartell, 2019 (credit: Kartell).



**Fig. 5** | A.I. Binding by Now Bindings in collaboration with Nidecker Group and Addit-ion 3d, 2020 (credit: Now Bindings).

**Fig. 6** | Tost by Philippe Manger, 2018 (credit: P. Manger).

generativa, con sue potenzialità di elaborazione e modifica di modelli virtuali, può essere utilizzata non solamente per la riduzione e ottimizzazione di un volume ma anche come strumento di funzionalizzazione di parti superficiali di un prodotto. In passato la modellazione superficiale è stata realizzata con un'applicazione o modifica di pattern per rispondere a una funzionalità specifica. Oggi, attraverso l'uso di algoritmi generativi i designer possono realizzare delle superfici con pattern tridimensionali che assumono funzionalità specifiche. Tra i primi a focalizzare la propria ricerca sulla funzione delle superfici è Neri Oxman. Nel Gemini del 2014 Oxman cerca di esplorare il modo in cui i materiali interagiscono con il corpo umano; la chaise lounge presenta un contenitore che protegge il corpo e riproduce la tranquillità del ventre materno attraverso un guscio stampato in 3D a colori e con più materiali (Fig. 10). La superficie tridimensionale della seduta, elaborata tramite un processo generativo, utilizza la tecnologia di stampa 3D Objet multi-materiale, andando a formare una gamma di colori caldi, trasparenti e opachi, con diverse rigidità. I materiali, le forme e le superfici di questa 'pelle' hanno creato un incredibile effetto acustico vibrazionale che dà vita a un ambiente calmo e rilassante. La struttura superficiale disperde il suono e lo assorbe e, in assenza di grandi superfici planari, riduce la quantità di suono che altrimenti rimbalzerebbe alla sorgente. La 'pelle' interna è progettata come celle bidimensionali doppiamente curve che diffondono e assorbono il suono efficacemente grazie alla loro geometria; questa funzionalizzazione della superficie, attraverso una piena gestione delle variabili e dei dati da applicare, apre scenari di applicazione diversificati in cui il progettista può decidere di rendere il prodotto più performante sotto l'aspetto delle sue funzionalità.

Il designer Alessandro Zampanelli, con il progetto Mhox Grater per l'azienda Sisma del 2016, esplora invece il funzionalismo superficiale: attraverso un processo generativo si elabora un

pattern tridimensionale amorfo che amplifica il funzionamento della grattugia, imitando una superficie naturale altamente abrasiva (Fig. 11). Nella carrozzina Go, sviluppata da Benjamin Hubert con la sua Azienda Layer Design per Materialise nel 2016, la progettazione funzionale delle superfici è caratterizzata dall'interfaccia dei materiali di due distinte componenti: una texture tridimensionale in positivo distribuita sulla superficie del guanto e una in negativo sui cerchi di spinta aumentano l'aderenza a terra del prodotto offrendo un maggior rapporto tra potenza e spinta. Questo sistema di interfaccia migliora le capacità prestazionali caratterizzate da una forte diminuzione del rischio di lesioni legate all'uso (Fig. 12).

**Conclusioni** | L'approccio progettuale al design generativo porta a definire due distinte figure, come ha recentemente sottolineato John Maeda: designer 'classici', i creatori di oggetti finiti per un gruppo selezionato di persone (si pensi a graphic designer, industrial designer, designer di mobili) e 'computational' designer, che si occupano principalmente di codice e costruiscono in continua evoluzione prodotti che hanno un impatto sulla vita di milioni di persone (cit. in Stinson, 2017). Alla luce di quanto discusso, è possibile affermare che gli strumenti di progettazione parametrica generativa e i processi di produzione additiva siano giunti a un grado di maturità tale da far dipendere prevalentemente la qualità progettuale di un determinato prodotto dalla capacità di accesso, interpretazione e manipolazione dei dati da parte del progettista. Allo stesso tempo è importante rimarcare la sempre maggiore complessità dei dati disponibili che si muovono tra i consolidati e ormai largamente gestibili aspetti fisici o formali del prodotto fino alle possibili interpretazioni delle interazioni con l'utente, siano esse comportamentali o emotive. Si pone dunque alla cultura del design un'importante riflessione sul ruolo del progettista, che da responsabile del progetto viene posto dalle tec-

nologie e dai nuovi strumenti in una posizione inedita di mediatore di forme, processi e funzioni complesse, generati da elenchi di codice altrimenti non di semplice governo.

Non appare esaustiva a tal proposito, per quanto fin qui esposto, neppure l'affermazione che l'incrementarsi delle capacità di elaborazione e interpretazione dell'Intelligenza Artificiale possano nel breve termine sostituirsi al pensiero critico e creativo del progettista, cioè alla sua 'anima'. L'I.A. pone piuttosto il progettista in una nuova condizione di selezione, gerarchizzazione e messa in relazione dei dati da rendere disponibili al 'processo di elaborazione progettuale'. Il progettista amplia la sua visione del processo progettuale assumendo un duplice ruolo, di selezione iniziale dei dati da gestire e di scelta critica dei possibili e differenti risultati elaborati dall'algoritmo che soddisfino il risultato finale del progetto. I designer di conseguenza, avranno la necessità di acquisire una maggiore conoscenza nell'utilizzo di codici per la progettazione di prodotti in continua evoluzione e una capacità a lavorare su strutture, processi, regole e interazioni che gli consentiranno di applicare parti di un linguaggio di altre discipline, come l'informatica, l'ingegneria e la biologia, linguaggio che ad oggi risulta ancora distante da quello del design.

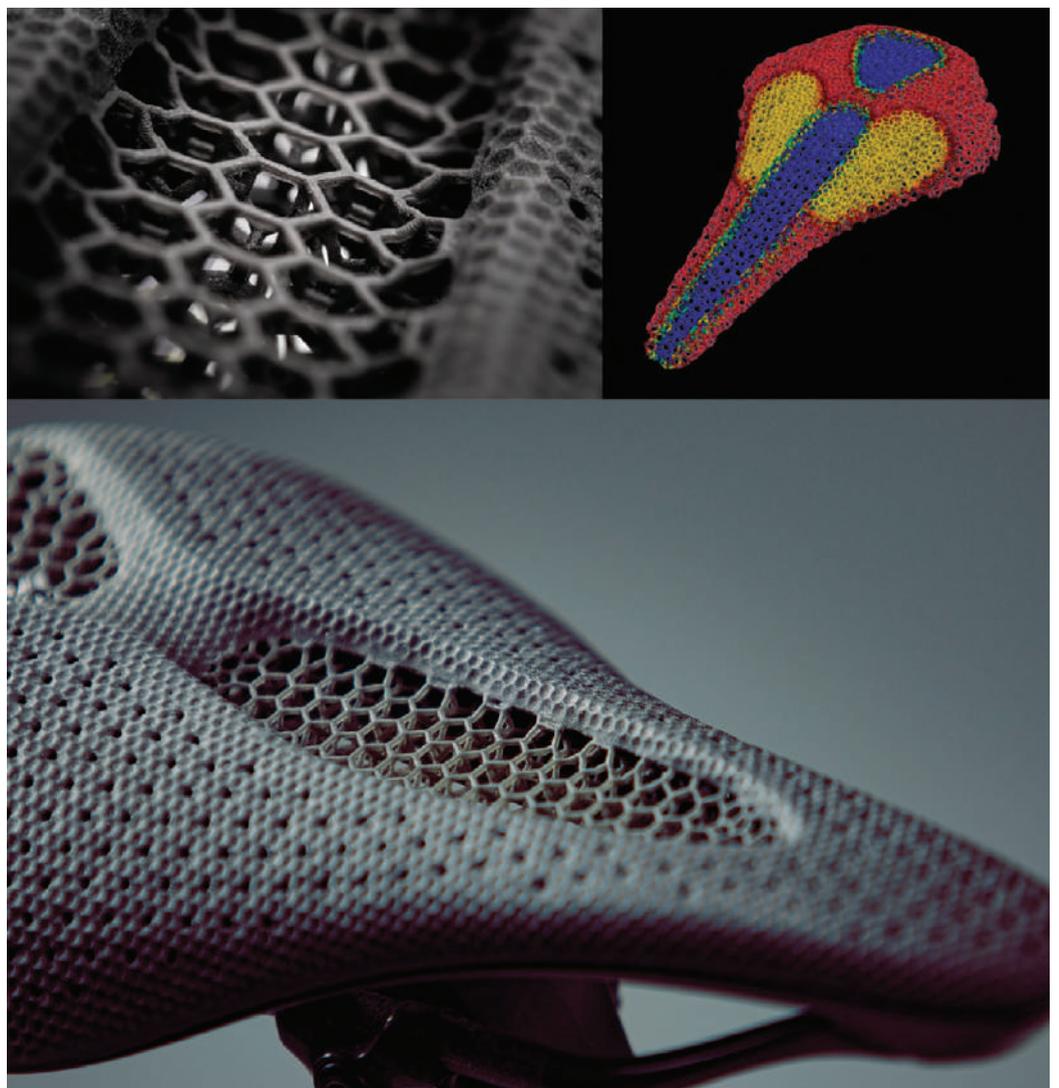
---

The parametric approach to industrial design, characterised in particular by a system of constraints, parameters and generative algorithms, has allowed to expand adaptive capabilities of the virtual model to technical-formal needs researched by designers, difficult to manage in a purely analogic way. This process of 'parametricism' (Schumacher, 2009) has allowed to develop the concept of formalisation and design thanks to the continuous evolution of parametric and generative softwares. Deepening the digital aspect of the project in the contemporary design culture, it is clear that there are different approaches to

modelling experiments and to create geometries and forms of products. The surface tessellation becomes a central topic in contemporary design and emphasises how much technology influences the outcome of the production. The computational approach has a leading role in this context, strongly directing both the formal conception and the material realisation of the process (Romero, 2014). Nevertheless, there is a concrete risk of not being able to control all the aspects of the process (De Giovanni and Spisito, 2019) and the designer could remain passive towards a technological evolution that seems to relegate to machines the control of both technical-operative and creative aspects, as Sennett also stated that when brain and hand are separated, the resulting effect is a mutilation of intelligence; a particularly evident outcome in the case of a technology such as CAD, when its use inhibits learning time (Sennett, 2008, p. 58).

Therefore, the paper focuses on the relationship between physical and digital dimension of the project in industrial design, highlighting how generative design allows an evolution through a constant in-depth analysis and a wider understanding of the potentiality of parametric tools that support the designer during the topological optimisation of virtual models, the increase of technical-functional performances and the aesthetic evolution of the products. The critical analysis of the case studies presented in this paper aims to explain some peculiar design outcomes through the use of generative algorithms with different degrees of computational capacity, employed for different purposes: formal experimentation, structural optimisation and reduction of material and new functionality of parts, components and surfaces. The aim is to define design strategies that, as being increasingly part of typical design methodologies and practices, will allow in the near future to integrate specific technical-performance features in the development of new industrial products.

**The future of generative design in contemporary design culture** | Nowadays, the evolution of modelling techniques moves towards a full integration between the physical and virtual model: the improvement of virtual models is essential in the evolution of the industrial landscape, which, through the use of simulation, has been able to predict the physical response of the model under certain conditions of production or use since the conception process (Marsault, 2017), and to reduce possible errors that often occur in the early stages of production. The generative parametric modelling approach, aimed at increasing the technical-functional performances of the product, has helped to develop tools and design methods of industrial design, allowing to overcome a pure formal usage. The designer who consciously uses parametric modelling can control and manage every complex variable, parameter and functionality (topological optimisation, minimal surfaces, stress lines, density and material con-



**Fig. 7** | Aluminium Gradient Chair by Joris Laarman, 2014 (source: jorisljaarman.com).

**Fig. 8** | S-Works Power With Mirror, Specialized, 2020 (source: specialized.com).

centration related to physical and mechanical performances of a product, etc.) that make design fully connected with both physical and virtual aspects (Schumacher, 2016).

The possibility to manage the project following a generative process guided by analysis and data available to the designer allows to diversify the results processed by the generative software, showing products with totally different physical and structural features. From these premises, in the contemporary panorama of industrial products, two different methodological-design approaches are emerging: in the first one, the management of formal elaboration of the product depends exclusively on the algorithm, which shows a single morphological solution respecting the constraints defined and imposed by the designer; in the second one, instead, the designer has the control and is at the top of the data processing procedure, using processed but adjustable algorithms for specific purposes, or developing specific algorithms for a particular artefact, in order to show different design solutions.

Thus, a new operating scenario opens up to the design world, focused on the symbiotic collaboration between designers and new digital design tools, made very accessible thanks to more user-friendly software interfaces (Ajla, 2016) and increasingly high-computing-power computers with Artificial Intelligence. As the computational process now has the potential to make certain choices within the design process independently, designers will have new and different roles in the project development: in fact, they will have to elaborate and implement a different methodological approach (Oxman, 2017) necessary to supervise, guide and set the parameters of the computational project. But how this new panorama will change the perception of the value given to the designer 'profession'? How will the form and design of the objects that make up the real world be transformed, once the machines are given greater design autonomy? These open questions within the contemporary design culture require critical reflections on the potential of digital technologies and their impact on the material dimension of things.

**Generative design as formal and aesthetic experimentation tool** | Until now, generative or computational design, as a set of new design tools available to the designer, has been used in the development of new products especially for aesthetic and linguistic aims, allowing an exploration of complex forms and not-Euclidean geometries, and a topological experimentation that sometimes can degenerate into idle formalisms, often underestimating the real and immense potential of parametric modelling and new digital technologies (such as 3D additive printing) for product innovation. In fact, it is true that generative design has an enormous potential in creating new forms and aesthetic languages of industrial products, as a result of the conscious use of software that processes data, information and parameters in the form of algorithms to find the most appropriate design solutions to complex problems, but it is also producing an 'aesthetic homologation' that could misrepresent the idea of project itself, turning into pure morphological experimentation (Langella and Santulli, 2017).

There is the risk to elaborate objects with specific functionalities using the potential of generative modelling exclusively as formal justification (Fig. 1). Complex structures inspired by nature and reproduced through 'Voronoi tessellation' reduced to a deconstruction of the surface space without understanding the real aggregative logic put in place by nature with much more interesting and significant purposes for design (Langella and Santulli, 2017; Fig. 2). Nowadays, multidisciplinary skills and highly scientific and technological profiles of designers allow to use parametric and generative processes in an increasingly evolved way, where morphological articulations take on a performative and no longer aesthetic nature.

The influence of the new digital design tools has improved the industrial product design with new peculiar performances that, observed in nature, are now transferable on the project thanks to computational design and more advanced additive printing processes (Migliore, Caruso and Giambattista, 2015). Function, matter, structure and behaviour can now be assimilated in a single design flow, like nature did in billions of years. In fact, in the development of computational processes we can recognise the greatest contribution that biomimicry has made for the project culture (Gallagher et alii, 2014). An efficient distribution of matter, variations of thicknesses and functional differentiation of some parts (transposed from biological systems to new artificial structures) may give rise to exceptional benefits together with the ones already technically available.

**Generative design as structural optimization tool and material reduction** | The procedure that characterises generative design is an iterative design process where the designer defines variables and different constraints that will be re-elaborated by the algorithm. This will show a specific formalisation and generate a specific range of outcomes. The potential expressed by virtual digitalisation in contemporary design strongly influences the actual and material outcome of the production of an industrial product. For example, certain forces act on each object and depending on the way they act, they spread out giving rise to possible diversified modalities of morphogenesis. This distribution creates a hierarchy that can be translated at design level into parameters with variable density and thickness. Through a topological optimisation process it is possible to maintain structural and resistance performances of a product to the advantage of a smaller amount of material used, also producing significant outcomes for environmental sustainability. Several designers, such as Joris Laarman with his 2006 Bone Furniture series (Fig. 3) and Philippe Starck with his 2019 seat A.I. Chair for Kartell (Fig. 4), understanding the potential of these processes of optimisation and distribution of the material, have been able to bring a greater level of innovation to the product.

The optimisation process is structured in a series of design stages: the ergonomic study of the functional surfaces of the product; the setting of the technical-performance features of the selected material; the definition of the virtual model structure and the application areas of stress in specific points of the product, allowing the gen-

erative algorithm system to process data. The automated process shows, through a series of continuous morphological elaborations, a single efficient product structure – as material reduction – that will have the best resistance. Giving shape to an idea means to identify the parameters of a methodological process, while the form is the result that comes out from the relationships and interactions between parts, through diagrams of forces. On these premises, the contribution aims to explore the potential of a performance design by tangible and intangible interconnection between space, matter, forces, digital tools, production systems and their efficiency compared to certain technical-performance conditions, in order to generate an advanced product. The A.I. Chair that Philippe Starck has created using Artificial Intelligence can be considered as a well-known designer's chair and Starck himself, during the presentation at the 2019 Milan Salone del Mobile, provocatively said that the computer designed it, not him. Indeed, when it comes to generative design it is the designer who asks the software to perform the tasks according to specific required design parameters, establishing in this way a real 'dialogue' with the machine that will process the model in order to ensure expected form and performance.

With the topological optimisation, using softwares that exploit 'simulation driven' processes, it is possible to verify how the form of the structure changes when the applied forces vary. Using density, constraints, loads and features of the material employed as parameters, it is possible to obtain diverse morphological configurations that change on varying of these parameters. If forces can be the glue that ties scheme and structure, topological optimisation can be the principle of their materialisation. In this context, digital production through the use of increasingly high-performance and flexible additive production technologies enables the creation of complex morphologies, which otherwise would have remained in digital version, and makes them feasible and functional.

A.I. Binding, of Now Bindings Company in collaboration with Nidecker Group and Addition 3D, is an example of a product realised in 2020 by 3D printing processes using a high-performance polymer (Fig. 5). The final shape of the shoes has been optimised (also in terms of material) through the use of a generative algorithm that took into account all the stresses suffered during their use. Another product that works with combination of 3D additive printing and generative modelling in the pure functional-performance field is the 2018 Tost skateboard truck set by Philippe Manger (Fig. 6). The truck made in 3D metal powder printing was designed using an algorithm that defined a differentiated, fluid and homogeneous morphology solution for the whole body, and reticular form with a higher density for areas subject to high mechanical stress. Most traditional skateboard trucks are made of aluminium; Manger used titanium which has a higher specific weight. Topological optimisation, defined through the data entered by the designer, has allowed to generate a reticular and mono-material structure, which integrates different functional components and encourages to use less material, under the same performance,

making the truck much lighter and more environmentally friendly.

**Generative design as a tool for functionalising parts and components** | For the approach where the designer processes the code that composes the algorithm, fractal and alveolar formalisations, variations in thickness, differentiated stratifications and localised emptying are some morphological examples that appear as outcomes of an optimisation process led by the designer according to the data that characterise the product. The code can be applied to solve functional and punctual problems acting on material density variations, recursive reticular structures and localised emptying due to the physical-mechanical function assigned to different areas of the product. The matter is concentrated in areas with a specific function, generating parts with high and low density, defining a hierarchy. In this scenario Joris Laarmann, with the Aluminum Gradient Chair of 2014, experiments the use of a gradient map put all over the structure of the seat in order to distribute, based on the areas that have different levels of stress, higher or lower density of material, discretising the virtual model in a series of cells (Fig. 7). They will be 'empty' to reduce the material and confer lightness, and 'full' for more rigidity and structural strength. The outcome obtained by the designer, based on their design choices, on the use of aluminium and the use of 3D printing as a production process, originates a lightweight structure, able to fulfil all the functional needs of the product.

In those cases, designers use digital tools and their parameters to improve the design in terms of performance, generating objects with original and identity characteristics for language and conception. In areas where the body and its movements play a fundamental role in the use of artefacts (such as sports design products and accessories that interface with anatomical parts), the parametric approach is particularly significant because it allows to insert anthropometric and functional data in the project, configuring a full customisation of the product. An example of this possibility is the S-Works Power With Mirror bicycle saddle, by Specialized, marketed in 2020 and produced in co-operation with Carbon. Specialized has experimented a new production method called Carbon Digital Light Synthesis™ (Carbon DLS™) that has stopped producing the padding with traditional foam in favour of a 3D printed polymer reticular structure. The product morphology is the result of a thorough study on the pressure that the athlete applies on the saddle during sport activities. The generative algorithm, led and structured by the designer through the data obtained from pressure distribution map, generates different geometry areas that improve the correct distribution of the pressure on the tail bone of the athlete, increasing comfort and reducing the load on soft tissues (Fig. 8).

Additive production associated with the generative design is one of the productive technologies that closely resembles the growth process of some biological organisms, joining the model proposed by Jakob von Uexküll (2015) in *Theoretical Biology*, where he stated that living forms possess 'dominant' properties and 'accidental' properties. In the digital production based on the

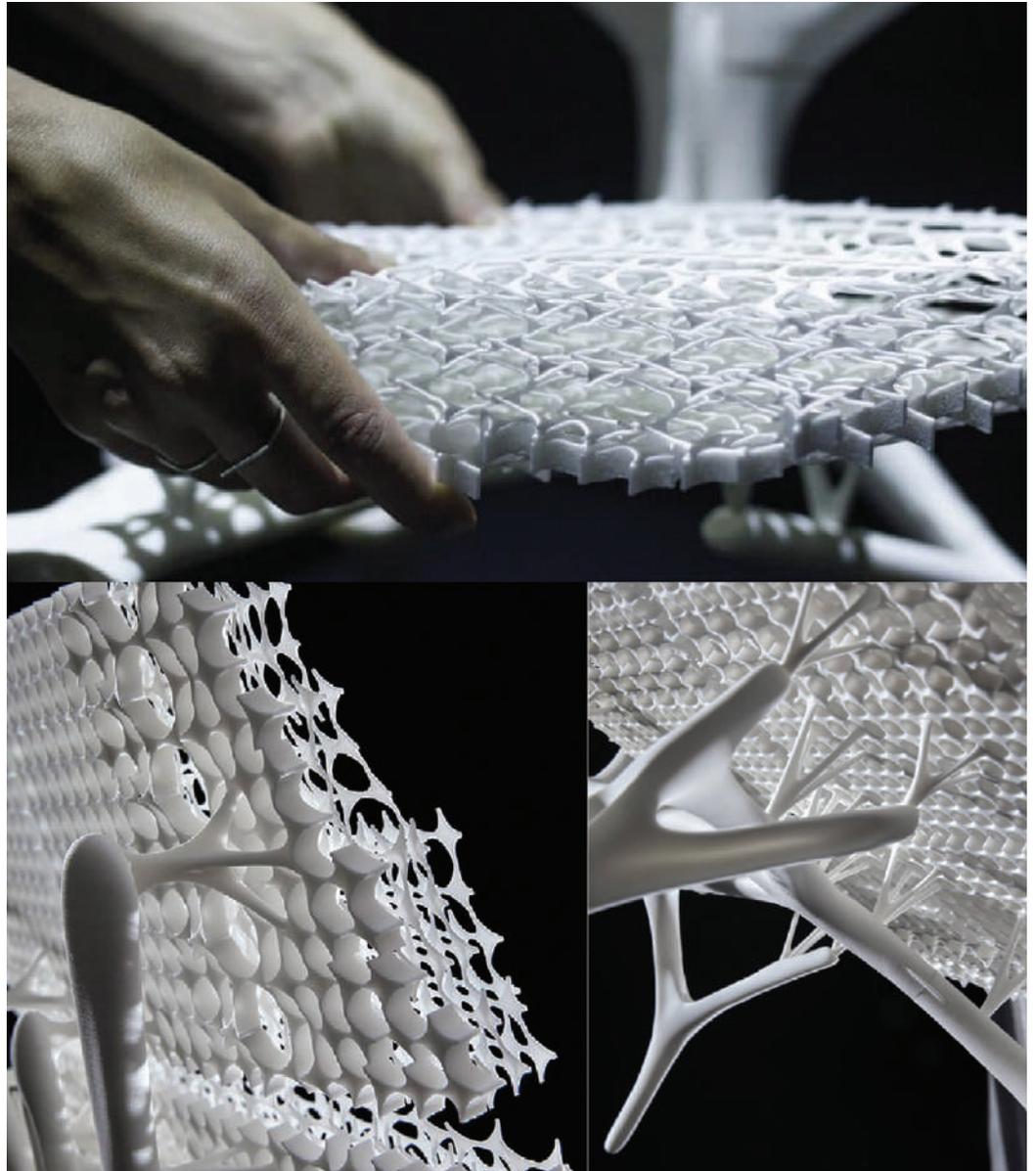


Fig. 9 | Radiolaria #1 by Lilian van Daals, 2018 (credit: L. van der Palen).

generative design, the 'dominant' ones are the algorithmic writing, while the 'accidental' ones are the possibilities to generate, through the code, a plurality of similar, but not equal, forms. The production by additive synthesis and computational geometry induces, in the design-productive methodology, the realisation of mono-matter objects, characterised by recursive reticular structures with an extreme formal complexity, combined with low material density. In this context it is important to remember the 2018 Radiolaria #1 Chair product, used by Lilian Van Daals to continue her research to innovate the production of chairs using laws of nature (Fig. 9). This product connects generative modelling, 3D printing technologies and bioinspired forms to use matter and energy in the most efficient way. The designer, through a generative process, elaborates Radiolarians structures (protozoa that live in the sea) and Bryozoa (small aquatic invertebrate animals) in codes that inform and create the product, improving functional aspects as well as flexibility, adaptability and stability.

#### Generative design as functionalising surfaces

**tool** | Generative modelling, with its potential for processing and modifying virtual models, can be used not only for the reduction and optimisation of a volume, but also as a tool for the functionalization of surface parts of a product. In the past, surface modelling had been carried out with an application or a pattern modification to respond to a specific functionality. Today, with generative algorithms, designers can create surfaces with three-dimensional patterns that assume specific functions. One of the first designers that research on surfaces function is Neri Oxman. In 2014 Gemini, Oxman tried to understand how materials interact with the human body; the chaise lounge has a container that protects the body and reproduces the tranquillity of the womb through a 3D colour printed shell and with many materials (Fig. 10). The three-dimensional surface of the seat, elaborated through a generative process, uses Objet's multi-material 3D printing technology, creating a range of warm, transparent, and opaque colours, with different stiffness. Materials, shapes and surfaces of this 'skin' have created an vibrational acoustic effect that gives life to a calm and relaxing environment.



Fig. 10 | Gemini By Neri Oxman in collaboration with Stratasys, Connex Technology, CNC milling Paris, France 2014 (credit: M. Figuet).



Fig. 11 | Mhox Grater by Alessandro Zampanelli in collaboration with Sisma, Lenovo, Autodesk and Davide Sher, 2016 (credit: A. Zampanelli).



Fig. 12 | GO By Benjamin Hubert in collaboration with Layer design, Materialise, 2016 (credit: B. Hubert).

The surface structure disperses and absorbs the sound and, without large planar surfaces, reduces the amount of sound that would otherwise bounce back to the source. The inner 'skin' is designed as two-dimensional double-curved cells that diffuse and absorb the sound efficiently thanks to their geometry. This surface functionalization, with a full management of variables and data to apply, opens different usage scenarios where the designer can decide to make the product more performing in terms of functionality.

The designer Alessandro Zanpanelli, instead, with his 2016 Mhox Grater Project for the Sisma Company, explored surface functionalism: a generative process elaborates a three-dimensional amorphous pattern that expands the functioning of a grater, imitating a highly abrasive natural surface (Fig. 11). In the Go wheelchair, developed by Benjamin Hubert in 2016 with his Layer Design Company for Materialise, the functional surface design is characterised by material interfaces with two distinct components: a three-dimensional positive texture distributed on the glove surface and a negative one on the wheels that increase the grip on the ground of the product, offering a better power-thrust ratio. This interface system improves performance capabilities strongly decreasing usage-related injuries risk (Fig. 12).

**Conclusions** | This approach to the generative design defines two distinct figures, as recently

#### Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. Nevertheless, the introductory paragraph, 'The future of the generative design in the culture of contemporary design' and 'The generative design as structural optimisation tool and material reduction' are written by D. Paciotti, while 'Generative design as a tool for functionalising parts and components', 'The generative design as structural optimisation and material reduction tool' and 'The generative design as functionalization of surface tool' are written by A. Di Stefano.

#### References

Ajla, A. (2016), *Integrating Innovation in Architecture – Design, Methods and Technology for Progressive Practice and Research*, John Wiley & Sons, Chichester. [Online] Available at: doi.org/10.1002/9781119164807 [Accessed 23 October 2021].

De Giovanni, G. and Sposito, C. (2019) "Dettagli d'Autore – Dal disegno manuale dei grandi Maestri a quello digitale delle Archistar | Master's details – From hand-made drawing of the great masters to the digital drawing of Starchitects", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 18, pp. 99-109. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techne-7516 [Accessed 15 October 2021].

Gallagher, C. L., Reaser, L., Crane, P., Ataide, R. A., Mauerman, D., Undesser, M., Nunez, D. and Ku-shner, A. (2014), *Can 3D printing unlock bioinspiration's full potential?*, Fermanian Business & Economic Institute, San Diego. [Online] Available at: docplayer.net/38411869-Can-3d-printing-unlock-bioinspiration-s-full-potential.html [Accessed 25 October 2021].

Langella, C. and Santulli, C. (2017), "Processi di crescita biologica e Design parametrico", in *MD Journal*,

pointed out by John Maeda: 'classic' designers, the makers of finite objects for a select group of people (think graphic designer, industrial designer, furniture designer) and 'computational' designers, who deal mostly in code and build constantly evolving products that impact millions of people's lives (cit. in Stinson, 2017). Considering what we have analysed to this point, we can say that parametric generative design tools and additive production processes have reached the maturity to make the design quality of a product mainly dependent on access capacity, interpretation and manipulation of data by the designer. At the same time, it is important to note the increasing complexity of the available data that go from consolidated – and now largely manageable – physical or formal aspects of the product up to possible interpretations of interactions with the user, whether they are behavioural or emotional. Therefore, the design culture makes an important reflection on the role of the designer, who, as project manager and thanks to technologies and new tools, is a mediator of forms, processes and complex functions, generated by code lists that could be difficult to solve.

In light of the above, it is not correct to say that the improvement of Artificial Intelligence's processing and interpreting skills can replace, in the near future, the critical and creative thinking of the designer, that is their 'soul'. Rather, A.I. puts the designer in a new condition of selection, hierarchization and connection of data available to the

'design process'. The designer broadens their vision of the design process assuming a dual role, starting with a selection of data to be managed and then choosing critically possible and different results elaborated by the algorithm that meet the final outcome of the project. As a result, designers need to acquire a better understanding of the use of codes for design products in constant evolution, and to work on structures, processes, rules and interactions that allow them to use parts of language from other disciplines, such as computer science, engineering and biology. A language that is still far from the design one.

vol. 3, n. 1, pp. 14-27. [Online] Available at: mdj.materialdesign.it/index.php/mdj/article/view/85 [Accessed 18 October 2021].

Marsault, X. (2017), *Eco-generative Design for Early Stages of Architecture*, vol. 1, Wiley-ISTE, London-Hoboken.

Migliore, E., Caruso, I. and Giambattista, A. (2015), "Digital materials – La nuova materialità biologicamente digitale", in *Digicult*, 02/09/2015. [Online] Available at: digicult.it/it/news/digital-materials-a-new-biologically-digital-materiality/ [Accessed 25 October 2021].

Oxman, R. (2017), "Thinking difference – Theories and models of parametric design thinking", in *Design Studies*, n. 52, pp. 4-39. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001 [Accessed 23 October 2021].

Romero, M. E. (2014), "Physical Computing – Strumento progettuale per i designer di oggi", in Rossi, M. and Casale, A. (eds), *Uno (nessuno) centomila – Prototipi in movimento – Trasformazioni dinamiche del disegno e nuove tecnologie per il design – Workshop marzo-maggio 2014*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 125-136. [Online] Available at: re.public.polimi.it/retrieve/handle/11311/848734/87462/unonessunofull.pdf [Accessed 25 October 2021].

Schumacher, P. (2016), "Parametricism 2.0 – Gearing Up to Impact the Global Built Environment", in *Architectural Design*, vol. 86, issue 2, pp. 8-17. [Online] Available at: onlinelibrary.wiley.com/toc/15542769/2016/86/2 [Accessed 25 October 2021].

Schumacher, P. (2009), "Parametricism – A new global style for architecture and urban design", in *AD Architectural Design*, vol. 79, issue 4, pp. 14-23. [Online] Available at: doi.org/10.1002/ad.912 [Accessed 26 October 2021].

Sennett, R. (2008), *L'uomo artigiano*, Feltrinelli, Milano.

Stinson, L. (2017), "John Maeda – If You Want to

Survive in Design, You Better Learn to Code", in *Wired*, 15/03/2017. [Online] Available at: wired.com/2017/03/john-maeda-want-survive-design-better-learn-code/ [Accessed 20 October 2021].

von Uexküll, J. (2015), *Biologia Teoretica*, Macerata, Quodlibet.