

Design generativo e additive manufacturing

La produzione in serie di prodotti unici

Dario Scodeller Unife, Dipartimento di Architettura
dario.scodeller@unife.it

Emilio Antinori Unirsm, Dipartimento di Tecnologia, Scienze e Diritto
emilio.antinori@unirsm.sm

I processi di *additive manufacturing* permettono di trasformare il codice matematico di un modello virtuale in un oggetto fisico, elaborando forme complesse finalizzate alla produzione di prodotti (o parti di essi) mediante modalità differenti dai tradizionali metodi di fabbricazione.

Dopo aver chiarito i concetti di modello e simulazione all'origine degli strumenti generativi e illustrata la trasformazione della logica progettuale conseguente all'utilizzo dei nuovi sistemi produttivi, il presente contributo intende approfondire, sulla base di casi studio, il modo in cui il *design process* parametrico, collegato a procedimenti tecnologici di *additive manufacturing*, potrà consentire la produzione e riproduzione di una nuova "specie" di prodotti unici.

AAD (Algorithms Aided Design), Generative design, Additive Manufacturing, Computational design, Meta-prodotti

The additive manufacturing processes allow to directly turn a code of a virtual model into a physical object managing the elaboration of complex forms for the production of products in a completely different way if compared to the traditional processes involved.

This contribution starts with an introduction on the concepts of model and simulation as intended in the context of generative processes, and a description of the transformation occurred in the project philosophy as a consequence of the use of new production systems. The core of the research is aimed at going into the parametric design process in more depth through a range of case studies, focusing on how it will make the production of a new kind of unique products possible considering it as linked to additive manufacturing technical methods.

AAD (Algorithms Aided Design), Generative design, Additive Manufacturing, Computational design, Meta-products

«Per cui avremo, negli esercizi di questi programmatori, una proporzione raggiunta per negazione, un rinascimento capovolto, una Diabolica Sproporzione (...) perché sospende nell'indeterminato la scelta dei possibili: fissato l'elemento di base e programmatene le permutazioni, l'opera non consiste nell'elemento meglio riuscito, scelto tra tutti gli altri, ma proprio nella compresenza di tutti gli elementi pensabili.»

Umberto Eco (1962, p. 176)

Modelli e simulazioni

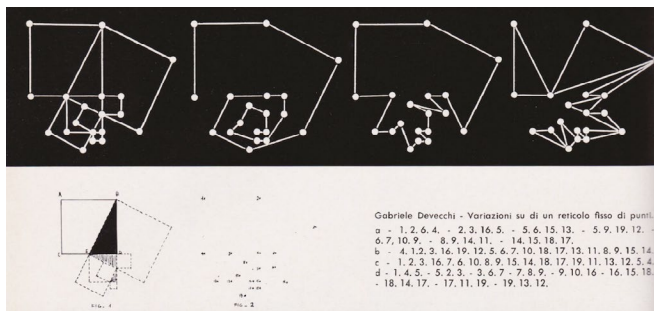
A partire dagli anni Sessanta del Novecento, studiosi come Herbert A. Simon, le cui ricerche sono all'origine delle *Computer Sciences*, hanno proposto l'inserimento delle discipline del progetto nell'ambito delle *Scienze dell'artificiale* [1] cercando anche di definire il ruolo della conoscenza scientifica nella soluzione creativa di problemi progettuali.

Si ritiene utile sottolineare, nell'incipit a questo contributo, il rapporto pluridecennale tra pensiero scientifico, informatica e progetto [2] perché, se oggi i cosiddetti sistemi generativi o parametrici, attraverso i metodi dell'analisi numerica e i suoi strumenti (algoritmi), permettono al design di utilizzare diffusamente la matematica e le sue applicazioni, il campo della ricerca progettuale dovrebbe essere consapevole che anche in un ambito come quello della geometria computazionale *gli strumenti* sono sempre espressione di *modelli*.

Come ha scritto Ugo Volli nel saggio "Modelli, icone simulazione", al pari del procedere artistico nella costruzione della forma, anche «il laboratorio dello scienziato sperimentale è (...) in senso materiale, un apparato generativo di modelli, e l'atto di apertura di qualunque procedura sperimentale non è altro che la costruzione di un opportuno modello (o piuttosto di ciò che si spera sia un modello opportuno)» Volli (1987, p. 165). Nel saggio, il semiologo, inoltre, richiamava l'attenzione sull'importanza del concetto di modello nella ricerca scientifica, come «ammortizzatore» tra teoria ed esperimento e sottolineava come, «anche in campi che a rigore hanno una natura assai diversa da quella delle scienze sperimentali, (...) come la matematica», si sia oramai affermata la consapevolezza del «sapere come rete di modelli» (Volli, 1987, p. 166).

In sostanza si afferma che lo strumento non è mai neutrale, ma sempre conseguenza ed espressione di una determinata «filosofia della scienza».

Sebbene esistano differenti definizioni che indentificano il procedimento progettuale oggetto del presente studio, tra le quali *algorithmic design*, *computational design*, *parametric modeling*, la doppia accezione comunemente utilizzata, parametrico e generativo, fa riferimento secondo diversi



01
Gabriele De Vecchi, Gruppo T. Una delle prime opere di Arte generativa, da *Almanacco letterario* Bompiani, 1962

01

autori (Gürsel Dino, 2012; Chiesa, 2015) a categorie di derivazione linguistica o biologica (*linguistic and biological*). Secondo la prima accezione ci troveremmo di fronte ad una specie di “grammatica operativa”, o “grammatica delle forme” (*Shape grammar*), con una base costituita da un alfabeto di elementi la cui sintassi corrisponde alle innumerevoli possibilità di variazioni dei parametri spaziali e materici. Si tratta, sul piano degli strumenti, di software o applicativi in cui il risultato, immediatamente deducibile, permette principalmente di velocizzare il lavoro di disegno, progettazione e, eventualmente, fabbricazione, di solidi o superfici con geometrie non euclidee o iperboliche.

L’accezione biologica si riferisce, invece, da un lato, ai biomorfismi e ai procedimenti che derivano dallo studio dei processi di crescita (o alle strutture) di organismi naturali assunti come modelli generativi di forme complesse e, dall’altro, al concetto di interazione non-lineare tra componenti e sistema (noti come comportamenti e strutture emergenti); dai primi anni del nuovo millennio questo tipo di approccio ha avuto, grazie ai ricercatori del MIT, una sua apertura all’ambito progettuale open-source con la creazione dell’ambiente *Processing*.

Nell’analisi sviluppata il riferimento è legato particolarmente alla seconda accezione, tenendo presente che si tratta di “traduzioni immaginative” della realtà naturale, nel senso sottolineato da Umberto Eco agli albori del fenomeno quando, nel 1962, affrontando criticamente il rapporto tra arte e cibernetica nel lavoro di Bruno Munari e del Gruppo T, chiariva come, nel caso dell’*arte generativa*, si trattasse di stabilire un nuovo tipo di rapporto con la natura, perché «in questo caso l’arte non imita quella natura che per abitudine percettiva vediamo tutti i giorni, ma quella che concettualmente definiamo in laboratorio. E dunque, intendendo “natura” nel solo senso corretto possibile, l’arte imita non la natura, imita il nostro rapporto operativo con la natura...» (Eco, 1962, p. 176) [fig. 01]. A differenza dell’arte generativa, la quale si fonda sulla produzione di processi autonomi e non necessariamente

controllati dall'autore, gli strumenti di progettazione parametrica hanno esplicitato, fin dal loro apparire in forma sperimentale, una stretta relazione con la simulazione indirizzata al controllo della forma finale di un artefatto complesso. Nel campo della progettazione architettonica i software di design parametrico come CATIA iniziano ad essere utilizzati agli inizi degli anni Novanta del Novecento, come transfer tecnologico dall'ingegneria aerospaziale, allo scopo di controllare il disegno di superfici curve sulla base di equazioni matematiche, elaborando dati differenziati per gli strutturisti (i punti di appoggio) e informazioni per la realizzazioni dei rivestimenti. Emblematico, in tal senso, risulta il primo progetto realizzato da Frank Gehry con l'uso del computer: il "Pesce dorato" per le Olimpiadi di Barcellona del 1992 (Lindesy, 2001) [3]. È in questo contesto operativo che il design parametrico rivela la sua particolare attitudine nel controllo e realizzazione di pezzi unici, perché le superfici complesse possono essere fabbricate suddividendole in porzioni di differenti forme e dimensioni.

Questa connotazione originaria di *aided design* si è andata modificando nell'ultimo decennio in relazione a due nuovi contributi innovativi.

Il primo, sottolineato da Lev Manovich in *Software takes command*, riguarda la sempre maggiore trasversalità dei media digitali. Nel cinema d'animazione e nei videogiochi, lo sviluppo delle tecniche di simulazione di fenomeni naturali (quali la neve, il fuoco, le cascate d'acqua), ha aperto la strada per ricerche in altri campi, poiché «The general principle behind this technique can also be used to generate 3D models, animations, textures, make plants and landscapes, etc. It is often referred to as "parametric design," or "parametric modeling» (Manovich, 2008, p. 144). In questo campo un notevole contributo è stato dato da software e applicativi di computer grafica e videogames come Blender, Zbrush e Maya, impiegati per la modellazione di concept artistici o di prodotti sperimentali.

Il secondo contributo innovativo è relativo alla diffusione delle tecnologie di fabbricazione digitale – in particolare quelle di produzione additiva – che (sebbene presentino ancora limitazioni nell'impiego di materiali, dimensioni di stampa, tempistiche di produzione e trattamenti superficiali) permettono di generare forme concettualmente e concretamente complesse, difficilmente realizzabili (o, addirittura, irrealizzabili) attraverso le tecniche di produzione tradizionali quali fusione, fresatura, stampaggio, ecc.

Dal modello virtuale al prodotto finito

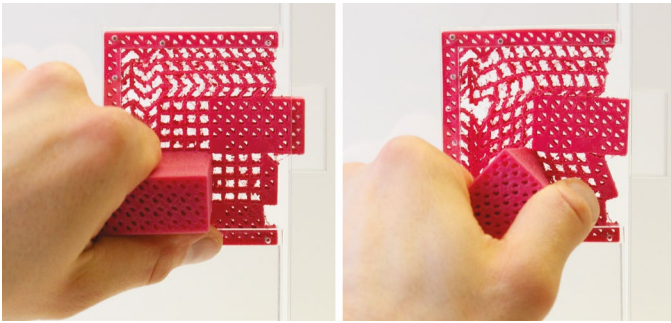
Il passaggio dall'imitazione della forma naturale all'imitazione della logica fisico-constitutiva attraverso cui la natura

crea le sue forme, appare oggi come il modello emergente nel rapporto tra design generativo e *additive manufacturing*. È difficile affermare se ciò preluda all'avvento di quell'“era biomorfica” preconizzata da Victor Papanek (1973), caratterizzata da una tecnologia che favorisce processi evolutivi, ma certamente il fenomeno prefigura alcune significative trasformazioni nel campo del progetto, relative al rapporto tra la concezione geometrica della forma e la sua realizzazione materiale.

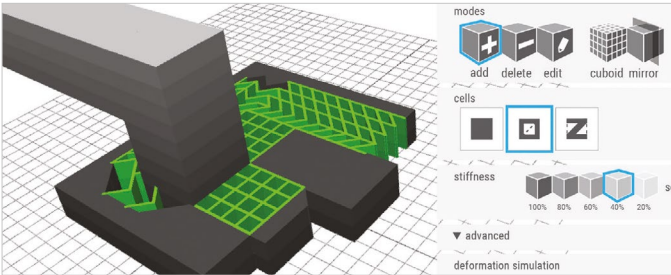
L'*additive manufacturing* è, fra i modi di produrre dell'uomo, uno dei più simili al processo di accrescimento di alcuni organismi biologici come i radiolari, i foraminiferi o le diatomee, i quali appaiono dotati di una “capacità formativa” [4] che ne presiede la definizione strutturale (Di Napoli, 2011). Utilizzando il modello proposto da Jakob Von Uexküll (2015) nel suo *Biologia teoretica* – dove si afferma che le forme viventi possiedono proprietà “dominanti” (il codice genetico proprio di ogni specie) e proprietà “accidentali” (relative alla sostanza: quali colore, venature, segni della genesi, giunzioni, ecc.) generate in forme ripetitive da un codice-genoma – nella produzione digitale basata sul design generativo, la “dominante” è la scrittura algoritmica, mentre la sostanza è la possibilità di generare, attraverso la regola-codice, una pluralità di forme simili, ma non uguali. Geometria computazionale e produzione per sintesi additiva inducono, in questo senso, un cambiamento nella metodologia progettuale-produttiva perché, mentre gli oggetti d'uso complessi sono, per lo più, costituiti da parti o elementi costruttivi-funzionali, tenute insieme da giunzioni – segni di genesi – (Von Uexküll, 2015), la formazione per accrescimento permette di realizzare oggetti *unibody* (cioè costituiti da un solo componente) caratterizzati da estrema complessità formale (non-linearità) unitamente alla bassa densità (economia) della struttura.

Significativi in questo senso gli oggetti sperimentali creati per mezzo di stampanti 3D dal team dello Human Computer Interaction Lab dell'Hasso Plattner Institute di Potsdam, nell'ambito di un progetto di ricerca teso a verificare le potenzialità di strutture formali definite “metamateriali”. Si tratta di strumenti come maniglie e pinze, costituiti da unici componenti, privi di elementi di giunzione [fig. 02]. Il materiale polimerico, costituito da una struttura interna a pattern non-lineari e con differenti livelli di rigidità, permette l'accorpamento (*embody*) contemporaneo di più funzioni, cinematismi compresi (Ion et al., 2016). Un'interfaccia progettuale parametrica, frutto del programma di ricerca, permette all'utente di elaborare le prestazioni meccaniche di un oggetto sulla base della composizione geometrica delle strutture alveolari.

02a, 02b, 02c
Metamaterial
Mechanisms.
A. Ion,
J. Frohnhofen,
L. Wall,
R. Kovacs,
M. Alistar,
J. Lindsay,
P. Lopes,
H.-T. Chen,
P. Baudisch.
Hasso Plattner
Institute,
Potsdam,
Germany



02a

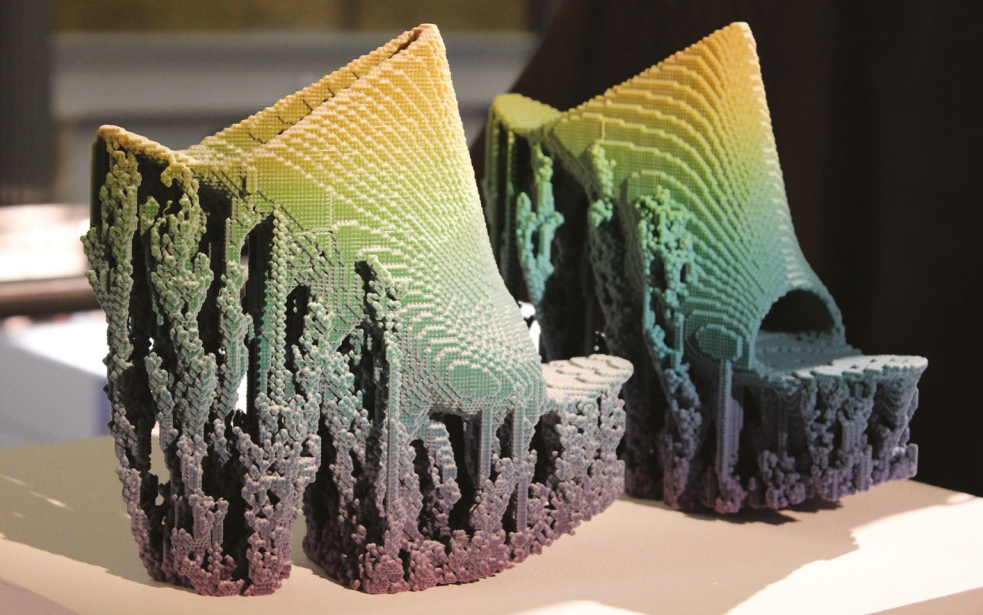


02b



02c





03

Altri esempi chiariscono questo concetto di unicità e provengono dai pionieri statunitensi del design generativo come il newyorkese Francis Bitonti e lo studio americano Nervous System. Bitonti, che nel 2014 aveva concepito, in collaborazione con Michael Schmidt Studios e Shapeways, il primo vestito parametrico *unibody* prodotto con processo tecnologico additivo (*3D Printed Bristed Dress*), ha progettato nel 2015 *Molecule shoe*, un modello per scarpe realizzato con *Game of Life*, un algoritmo ideato nel 1970 dal matematico inglese John Conway, che genera aggregati di pixel tridimensionali [fig. 03]. Nervous System ha messo a punto nel 2016 un artefatto sperimentale (prodotto in serie limitata) per l'azienda di calzature New Balance: un nuovo tipo di soles per scarpe da corsa personalizzate, la cui struttura a schiuma è parametrizzata sulle caratteristiche fisiche del cliente (*data-customization*). Lo stesso studio ha disegnato la serie di sculture biomorfe *Floraform*, prodotte per sinterizzazione di poliammidi in un solo componente [fig. 04], che evidenziano uno dei principali vantaggi dei processi di *additive manufacturing* parametrici: costruendo *layer-by-layer* essi permettono di generare forme continue caratterizzate da geometrie estremamente complesse. Molte di queste tecnologie, messe a punto alla fine degli anni Settanta del secolo scorso nel campo della *rapid prototyping*, sono oggi diventate veri e propri processi di produzione di prodotti finiti. Si tratta di un *design process* nel quale, tramite *software* cosiddetti di *slicing*, il modello virtuale generato in *nurbs* o *mesh* e poi codificato in un file binario (o *ascii*) [4] viene suddiviso in piani orizzontali con-

03
Francis Bitonti.
Collezione di
scarpe modellate
con l'algoritmo
"Game of Life"
e prodotte con
stampanti 3D
Stratasys

notati da specifici caratteri quali la densità e la forma del riempimento (*infill*), lo spessore della “pelle” (*shell*), l'intensità degli strati di suddivisione orizzontale (*layer height*), la velocità di accrescimento, la variazione e il posizionamento di materiali diversi nello stesso componente. A differenza di altri processi tradizionali sottrattivi e conservativi della massa, questa modalità di costruzione per aggregazione di materiale consente una migliore gestione della complessità geometrica e, di conseguenza, la possibilità di accorpare funzioni e componenti.

I processi tecnologici additivi possono essere catalogati sulla base della tipologia di materiale che utilizzano, della sorgente energetica che impiegano per la sintesi, del tipo di alimentazione e, soprattutto, della regola di fabbricazione che adottano.

I materiali polimerici si presentano sotto forma di filamento termoplastico riscaldato (*FDM fused deposition modeling*), in polvere (*selective laser sintering SLS* e *Multi Jet Modeling MJM*) o liquidi (stereolitografia SLA, con la variante a sorgente luminosa DLP o CDLP *continuous digital light processing*), MJM (*Multi Jet Fusion*) e *Material Jetting*.

I metalli e le leghe (titanio, acciaio inossidabile, acciaio Maraging, Inconel, alluminio, cobalto, rame e bronzo, ferro, oro, argento e metalli preziosi) sono funzionali alla sinterizzazione, che consiste nella saldatura di polveri micronizzate in atmosfera controllata, evolutasi in SLM (*Selective Laser Melting*) in DMLS (*Direct Metal Laser Sintering*), Binder jetting, l'NPJ (*NanoParticle Jetting*), e, infine, processi *Directed Energy Deposition* o *Laser Cladding* come il LENS (*Laser Engineering Net Shape*) e l'EBAM (*Electron Beam Additive Manufacturing*).

La sabbia, minerali e terre possono essere sinterizzati, aggregati con leganti speciali (*D-Shape* di Enrico Dini o lo *stone spray robot* di Anna Kulik, Inder Shergill e Petr Novikov), ma anche estrusi a freddo (con un metodo informalmente chiamato LDM – *liquid deposition modeling*).

04



04

Studio Nervous
System,
FloraForm



Lo sviluppo di ulteriori processi innovativi, in chiave di rapporto tra materiale, macchina e *additive manufacturing*, sta avvenendo con la combinazione tra robotica e materiale, come nell'impiego del braccio antropomorfo per l'estruzione di polimeri termoplastici (anche riciclati), utilizzato dall'olandese Dirk van der Kooij per i suoi oggetti autoprodotti [fig. 05] e nelle sperimentazioni a saldatura continua del connazionale Joris Laarman.

L'Olanda è il paese dove hanno luogo le principali sperimentazioni di intersezione tra design generativo e *additive manufacturing*, sia per l'approccio orientato alla multidisciplinarietà e alla ricerca perseguiti dagli istituti di formazione, sia per la collaborazione tra istituzioni, aziende, laboratori e università, che permettono a molti professionisti di sviluppare esperienze di ricerca sostenute e finanziate. Fashion designer come Iris Van Harpen e Anouk Wipprecht (significativo il suo *Spider dress*) operano in *teamworking* per creazioni che coniugano stampa 3D e cinematismi controllati elettronicamente. Gli artefatti progettati Joris Laarman sono il frutto di una ricerca che coniuga modellazione generativa e costruzione additiva di prodotti *unibody*. Lo *Starlings Table*, ad esempio, è realizzato utilizzando un *3D flight simulation program* basato sull'algoritmo *boids* di Craig Reynolds, con il quale Laarman ha simulato uno "sciame" che è stato congelato in un dato momento della generazione convertendolo in una struttura tridimensionale autoportante [fig. 06].

Il cambiamento apportato dai processi tecnologici additivi è avvenuto soprattutto in termini di "visione", cioè di ampliamento degli orizzonti del progetto.

Ai settori produttivi – come biomedicale, industria aeronautica e aerospaziale – dove, in conseguenza della maggiore necessità di performance tecnologica, sono stati sviluppati per primi prodotti di design generativo, si sono affiancati più recentemente studi in aree disciplinari quali l'architettura (vedi il contributo dato dallo studio di Zaha Hadid), il lighting design, il design della moda (gioielli, accessori, calzature) dove le potenzialità di formalizzazione frattale, alveolare, randomizzante, appaiono congeniali alle loro principali linee di ricerca estetica.

In Italia la ricerca si svolge maggiormente su un piano sistemico, con attori che intervengono su applicativi software, linguaggi macchina, modalità innovative di sviluppo e impiego delle tecnologie. I massimi esponenti si trovano nella rete Co-de-iT (*Computational Design Italia*) e sono Davide Del Giudice, Alessio Erioli, Andrea Graziano, Alessandro Zomparelli, Tommaso Casucci, Bruno Demasi, Alberto Casarotto, Michele Semeghini, con collaboratori esterni Mirko Daneluzzo, Mirco Bianchini, Niccolò Ca-

sas, Domenico Di Francesco. I contributi di Alessandro Zomparelli, di MHOX Design, si concretizzano in prodotti industrializzati, come la grattugia per Sisma [fig. 07] o le maschere e accessori moda di Carapace Project o in oggetti sperimentali, come la lampada Feral ottenuta dalla modellazione del fumo e realizzata per sinterizzazione di poliammidi [fig. 08]. Un progetto significativo, per complessità progettuale e realizzativa è la modellazione virtuale della barriera corallina prodotta nel 2012 per D-Shape, assieme allo staff di Co-de-iT, da Enrico Dini [fig. 09].

Esistono in questo nuovo contesto progettuale due tipi di approcci: la concezione ex-novo di un algoritmo finalizzata alla realizzazione di un prodotto o, in alternativa, l'utilizzo di un algoritmo esistente, modificato in funzione di un determinato artefatto.

Spesso ragioni di “economia progettuale” prevalgono su aperture sperimentali ed è necessario (anche in termini di tempi) valutare quale sia l'incremento di valore associato ad uno sviluppo più specializzato di una strategia generativa inedita. Il rapporto tra ricerca formale e ricerca strutturale (anche per la formazione variegata dei progettisti, che provengono dai campi dell'architettura, delle arti o dell'informatica) non ha in queste esperienze un confine definito e, a fronte di strategie di *computational design* assodate (che vanno nella direzione di un miglioramento delle performance strutturali) si affiancano strategie di form finding sviluppate attraverso processi intuitivi.

In questi contesti sperimentali, al termine *design generativo* si preferisce quello di *design computazionale*. L'aspetto innovativo consiste nell'assenza di un obiettivo predefinito rispetto al risultato formale, al punto che un progettista come Zomparelli considera i prodotti generativi come “fossilizzazioni del mondo digitale”, cioè tracce di un processo algoritmico che produce un divenire di forme, ovvero una stratificazione progressiva di soluzioni.



06
Joris Laarman,
Starlings Table,
realizzato
utilizzando
un 3D *flight*
simulation
program
basato
sull'algoritmo
boids di Craig
Reynolds



07



08

Conclusioni

Gli esempi illustrati rappresentano tentativi (per lo più sperimentali) di applicazione dei principi di design generativo alla fabbricazione di nuovi prodotti attraverso i processi di *additive manufacturing*. Alla luce della nostra ricognizione, ci sembra di poter affermare che gli strumenti e i processi produttivi siano giunti a un grado di maturità; la qualità di un progetto – a questo punto – dipende dalla capacità di accesso e manipolazione dei dati da parte del progettista. Non solo quelli fisico-formali gestiti all'interno di un modello virtuale, ma anche altri, che permettano di integrare, ad esempio, nell'elaborazione del modello, le condizioni ambientali, le interazioni con le persone e l'ambiente, traducendoli in un prodotto materiale finito. In tale direzione il design generativo potrebbe offrire nuovi contributi alla produzione di una nuova tipologia di prodotti caratterizzati da forme, funzioni e significati unici in relazione al contesto. Questo porterà, come ha recentemente sottolineato John Maeda (Stinson, 2017), ad una inevitabile evoluzione della figura del designer in senso “computazionale”, con la necessità di una maggiore dimestichezza rispetto all'uso dei codici per la progettazione di prodotti in continua evoluzione e una capacità (e flessibilità) a lavorare su strutture, processi, regole e interazioni.

NOTE

[1] Ci riferiamo ai lavori di Herbert Simon, tra i fondatori delle *Computer Sciences*, del cognitivismo e del *decision making*, che sottolineava come le discipline ingegneristiche, progettuali ed economiche, accomunate da un carattere ideativo, dovessero strutturarsi, per guadagnare credibilità, attraverso sempre maggiori competenze di tipo scientifico. Vedi anche il ruolo assegnato all'euristica in opposizione a tale ambito fin dal celebre *General Problem Solver Program* del 1959.

[2] Tralasciamo qui i riferimenti anticipatori dell'approccio generativo di progettisti come Antoni Gaudì, Buckminster Fuller, Le Corbusier.

07
Alessandro Zomparelli (MHOX), Grattugia. Realizzato da Sisma

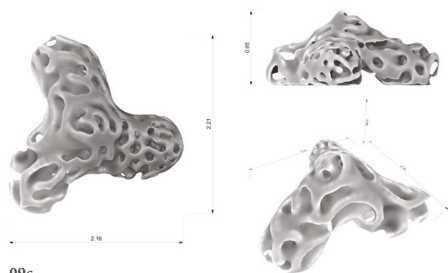
08
Alessandro Zomparelli (MHOX), lampada Feral. Realizzata da Idea Factory e distribuita da Cycles



09a



09b



09c

sier, Frei Otto, Jørn Hutzon. L'adozione del computer nello studio di Frank O. Gehry è dettagliatamente descritta in Lindesy (2001).

[3] Già Keplero, nel Seicento, tentando di spiegare la struttura esagonale dei cristalli di neve, parlava di *facultas formatrix*.

[4] Rappresenta un solido la cui superficie è stata discretizzata in triangoli STL-*Stereo Lithography interface format*).

REFERENCES

Newell Allen, Saw John C., Simon Herbert, *Report on a General Problem-Solving Program*, Pittsburgh, Carnegie Institute of Technology, **1959**, pp. 27.

Eco Umberto, "La forma del disordine", pp. 175-188, in: Morando Sergio (a cura di) *Almanacco Letterario Bompiani 1962. Le applicazioni dei calcolatori elettronici alle scienze morali e alla letteratura*, Milano, Bompiani, **1962**, pp. 188.

Simon Herbert, *The sciences of the artificial*, Cambridge, MIT Press, **[1969]** 1996.

Arbib Michael A., Recensione a *The sciences of the artificial*, in *IEEE Transactions on information theory*, vol. 16, n. 6, **1970**, pp. 803-804.

Papanek Victor, *Progettare per il mondo reale. Il design: come è e come potrebbe essere*, Milano, Mondadori, **1973**, pp. 352.

Steadman Philip, *The Evolution of Designs, Biological analogy in architecture and the applied arts*, Routledge, London and New York, **[1979]** 2008, pp. 302.

Volli Ugo, "Modelli, icone, simulazione", pp. 165-169, in: *L'immaginario Scientifico. Dalla percezione alla teoria attraverso le immagini della scienza*, Trieste, Editoriale edizioni, **1987**, pp. 199.

09a

Barriera corallina artificiale REEFS per D-SHAPE.

Co-de-iT

(design team:

A. Erioli,

A. Zomparelli,

T. Casucci,

A. Graziano

collaboratori:

M. Semeghini)

+ disgiuncio&co

(M. Daneluzzo,

M. Bianchini).

Foto F. Nassetti

09b

Algoritmo reaction diffusion tridimensionale

09c

Definizione dell'elemento finale

Gallino Luciano, *L'incerta alleanza. Modelli di relazione tra scienze umane e scienze della natura*, Torino, Einaudi, **1992**, pp. 331.

Maldonado Thomás, *Reale e virtuale*, Milano, Feltrinelli, **[1992]**, 2015, pp. 192.

Maldonado Thomás, *Critica della ragione informatica*, Milano, Feltrinelli, **1997**, pp. 219.

Lindesy Bruce, *Gerhy digitale. Resistenza materiale, costruzione digitale*, Roma, Universale di architettura, Testo&immagine, **2001**, pp. 96.

Lindesy Bruce, *Gerhy digitale. Resistenza materiale, costruzione digitale*, Universale di architettura, Testo&immagine, Roma **2001**, pp. 93.

Watanabe Makoto Sei, *Induction design. Un metodo per una progettazione evolutiva*, Universale di architettura, Testo&immagine, Roma **2004**, pp. 93.

Manovich Lev, *Software takes command*, **2008**, pp. 245. Creative Commons Attribution http://softwarestudies.com/softbook/manovich_softbook_11_20_2008.pdf [marzo 2017].

Hensel Michael, Menges Achim, Weinstock Michael, *Emergent Technologies and Design: Towards a Biological Paradigm for Architecture*, New York, Routledge, **2010**, pp. 256.

Di Napoli Giuseppe, *I principi della forma*, Torino, Einaudi, **2011**, pp. 463.

Gürsel Dino İpek, Creative design exploration by parametric generative systems in architecture, in academia.edu, **2012**, http://www.academia.edu/1821083/CREATIVE_DESIGN_EXPLORATION_BY_PARAMETRIC_GENERATIVE_SYSTEMS_IN_ARCHITECTURE [marzo 2017].

Tedeschi Arturo, *AAD-Algorithms Aided Design. Parametric strategies using Grasshopper*, Brienza, Le penseur, **2014**, pp. 496.

Von Uexküll Jakob, *Biologia teoretica*, Macerata, Quodlibet, **2015**, p. 288.

Chiesa Giacomo, *Paradigmi, tecnologie ed ere digitali. Il dato come parametro di innovazione in architettura e urbanistica*, Torino, Accademia University Press, **2015**, pp. 180. (?)

Ion Alexandra, Frohnhofen Johannes, Wall Ludwig, Kovacs Robert, Alistar Mirela,

Lindsay Jack, Lopes Pedro, Chen Hsiang-Ting and Baudisch Patrick, *Metamaterial Mechanisms*, pp. 529-539 in: Proceedings of UIST'16, **2016**.

https://hpi.de/fileadmin/user_upload/fachgebiete/ baudisch/projects/metamaterial/metamaterial-mechanisms/2016UIST_Metamaterial_Mechanisms_authors_copy_.pdf [marzo 2017].

Stinson Liz, "John Maeda: If You Want to Survive in Design, You Better Learn to Code", *Wired*, 15 marzo **2017** <https://www.wired.com/2017/03/john-maeda-want-survive-design-better-learn-code/2017> [marzo 2017].

Sulle tecniche di additive manufacturing vedi:
www.3dhubs.com/knowledge-base
www.3dprintingindustry.com