

**Massimiliano Ciammaichella**

Nato a Roma (1973), è Ricercatore in Disegno all'Università Iuav di Venezia, dove tiene i corsi di Disegno digitale per la moda e Teorie e tecniche della rappresentazione, presso la facoltà di Design e Arti. La sua attività di ricerca si concentra sugli estremi dell'evoluzione dei processi di Rappresentazione del progetto.

## Artefatti in evoluzione. La rappresentazione matematica fra design generativo e pratiche numeriche

### *Artifacts in evolution. The mathematical representation between generative design and numerical practices*

Negli ultimi anni è cresciuto l'interesse verso pratiche progettuali ispirate a fenomeni e organismi naturali, da ibridare in sintetici gusci e strutture. La rappresentazione digitale guida progetti concentrati sull'aspetto evolutivo della forma, consentendo un approccio scultoreo alla modellazione.

L'articolo racconta di come la piega dei volumi scattolari, decostruiti e frammentati, si sia liquefatta in statici embrioni da abitare. Grazie alle potenzialità del computer, che forse condizionano più che servire la progettazione, così siamo passati alla programmabile deformazione degli involucri e alla scrittura di codici per la definizione di strutture a pattern ricorsivi, tuttavia la costruzione di artefatti noti come "architetture generative" non fa che ricalcare consolidati metodi e saperi della rappresentazione, coniugandoli con le attuali tecniche disponibili.

*In last years is increased the interest in design practices inspired to natural organisms and forms, to hybridize in synthetic shells and structures.*

*The digital representation directs design processes concentrated on the evolutive process of form, allowing a sculptural approach to modelling.*

*The paper describe how folding of box shaped volumes, deconstructed and fragmented, it was melted in static embryos to inhabit.*

*Thanks to the computer potentiality, which may influence more than serve the design, we passed to the programmable deformation of surfaces, written by codes for the definition of recursive patterns on structures, however the construction of artifacts named "generative architecture" does nothing of different that follow consolidated methods and knowledge of Representation, blending them with current available techniques.*

**Parole chiave:** design generativo, modellazione parametrica, rappresentazione matematica e numerica

**Keywords:** generative design, parametric modeling, mathematical and numerical representation

L'unione di diverse pratiche progettuali, attuate dai metodi della rappresentazione digitale, definisce le odierne tendenze del design: di architettura, del prodotto, della moda e coinvolge le arti in generale, in un processo di trasformazione continuo dei modelli di riferimento che si concentra sul carattere strettamente evolutivo della forma.

Focalizzandoci anche solo sugli esiti degli ultimi cinque anni, possiamo registrare un fortissimo interesse verso approcci progettuali che guardano ai fenomeni e agli organismi naturali, per ibridarli in sintetici gusci e strutture da realizzare. Ma i temi ricorrenti della trasformazione e della deformazione perdurano da molto più tempo.

Gli anni Novanta hanno segnato l'inizio di una ricerca sempre più spinta dell'evoluzione e dei limiti della forma da edificare, così l'informatizzazione delle tecniche del disegno ha portato i designer all'abbandono del tecnigrafo, data l'estrema facilità con la quale gli strumenti CAD consentivano, ieri come oggi, di controllare e modificare geometrie complesse in un processo del tutto reversibile. I metodi della rappresentazione scientifica si sono pertanto confrontati con le tecniche che i software di modellazione erano in grado di implementare.

La piega dei volumi scatolari decostruiti e frammentati, la ricomposizione fatta di affilati piani alla ricerca di fughe prospettiche, per architetture che sintetizzavano il concetto di moto, hanno alternato la completa liquefazione dei volumi nella quiete degli statici *embrioni* da abitare, con la convinzione fideistica che il computer tutto può fare poiché lo strumento sembra sempre assecondare e, spesso, condizionare l'intero processo.

Le idee di progetto scaturiscono sicuramente dall'elaborazione di teorie, poi però si dovranno concretizzare nella materia della tangibile edificazione, altre invece continueranno a navigare nell'ideale, anacronistico, *cyberspazio*.

Del resto gli esiti sono sempre più incisivi dei motti perché offrono risposte certe, tanto che in molti azzardi formali è facile riconoscere la firma del software che li ha rappresentati e mai costruiti realmente. Giusto per fare un

esempio: i *Blob* sono una denominazione altra delle polisuperfici isomorfe altrimenti dette *Metaball*, particolari geometrie sferiche fuse da campi di forza attrattivi o repulsivi, che si sono dissolte nelle bolle teorizzate da Greg Lynn.

L'inno alla "complessità" si perpetua, quindi, nella rappresentazione di *forme animate*, per le quali: «Animazione è un termine che differisce da, ma è spesso confuso con, mozione. Mentre la mozione implica movimento ed azione, l'animazione implica l'evoluzione di una forma e delle forze che la plasmano; ciò suggerisce animalismo, animismo, crescita, attuazione, vitalità e virtualità. Nelle sue molteplici applicazioni, l'animazione tocca molte delle assunzioni più profondamente incorporate nell'architettura riguardo la sua struttura. Ciò che rende l'animazione così problematica per gli architetti è che questi devono mantenere un'etica della statica nella loro disciplina. A causa della sua dedizione alla permanenza, l'architettura è uno degli ultimi modi di pensare basato sull'inerzia. Oltre al tradizionale ruolo di fornire riparo, gli architetti sono tenuti a coniugare cultura con la stasi»<sup>1</sup>.

Guardando alle pratiche odierne e ai risultati di chi l'architettura la costruisce sul serio: dal disegno di solidi e superfici libere, generate dagli avanzati algoritmi di tipo *Nurbs*, siamo passati a una programmabile deformazione degli involucri e alla scrittura di codici per la definizione di strutture a pattern ricorsivi.

Le lisce e sinuose superfici della modellazione matematica hanno così cominciato a rivestirsi di ulteriori superfici e superfetazioni formali, altre volte si sono scarnificate in un gioco apparentemente casuale di trame e intrecci strutturali, per un'architettura che riecheggia lo scheletro e la pelle di un essere mutante, in stato di quiete e moto.

Fra natura e artificio, in questi casi i riferimenti di progetto vanno analizzati non tanto per simularne l'immagine e riproporla, quanto piuttosto per comprendere le dinamiche che sottostanno alle ragioni della crescita legate alla forma, poiché la costruzione di artefatti spesso etichettati con il nome di "architetture generative", intreccia consolidati metodi e saperi della

rappresentazione, coniugandoli con le attuali tecniche, documentate da strumenti software e plugin dedicati che proliferano nel mercato<sup>2</sup>.

Non senza una certa confusione nell'uso dei termini, volti ad inquadrare un insieme di pratiche da sintetizzare in un possibile metodo costruttivo, spesse volte si è parlato di progettazione parametrica senza descrivere i percorsi che portano i designer a sfruttare il potenziale offerto da un certo tipo di modellazione algoritmica, per trasformare di continuo la struttura e gli involucri degli artefatti, a partire dalle prime fasi di concezione dell'idea.

I creativi si sono ormai abituati all'uso della modellazione matematica per riproporre, attraverso primitive solide, operazioni booleane, superfici di rotazione e traslazione, ..., dei modelli tridimensionali di oggetti rappresentabili secondo un approccio molto vicino alla scultura.

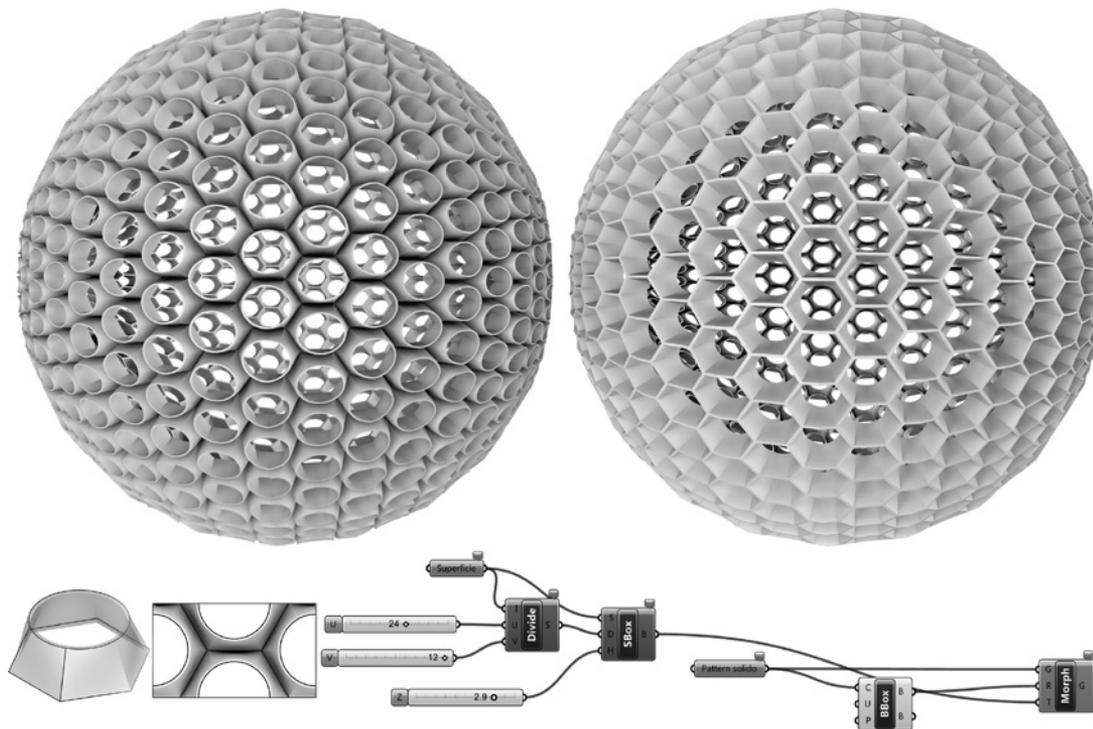
Ma i gradi di libertà aumentano nella determinazione di algoritmi generativi che non si basano sulla predisposizione di primitive geometriche, quanto piuttosto su regole sancite da script e interfacce che si allontanano dai consueti linguaggi del disegno.

La forma definitiva da raggiungere non sarà certo scelta aprioristicamente, ma sarà il risultato di un insieme di operazioni che evolveranno il modello di partenza, di continuo; spetterà poi al progettista stabilire la più idonea alla realizzazione, secondo una discretizzazione numerica.

Per modellazione di architetture, dette *parametriche*, si intende la possibilità di operare con gli attuali metodi della rappresentazione matematica e numerica, interagendo con essi in modo gerarchico.

In genere, le interfacce si dotano di componenti e comandi visualizzabili, che l'utente può scegliere e connettere al fine ultimo di produrre la forma desiderata. Una logica operativa di questo tipo parte dall'algoritmo per giungere alla geometria dell'ente da rappresentare, attraverso una sorta di albero genealogico all'interno del quale sarà sufficiente variare i parametri delle singole funzioni interconnesse per mutare la forma dell'oggetto da architettare.

«Si parla di "Algoritmo generativo" o (Algoritmo



01. Ethmosphaera conosiphonia e Cenosphaera, modellazione 3D con Rhinoceros e Grasshopper (www.rhino3d.com).

Generativo della forma) ogni qual volta il risultato di una sequenza algoritmica è costituito da una geometria più o meno complessa. La definizione di modelli tridimensionali mediante algoritmi generativi prende il nome di “Modellazione Algoritmica” o “Modellazione Generativa”. L’espressione “Modellazione parametrica”, deriva invece dal ruolo centrale dei dati iniziali, che assumono il ruolo di Parametri nella riconfigurazione geometrica di un modello 3D generato attraverso algoritmi [...]. A differenza di un modello 3D “statico” creato attraverso primitive geometriche, un modello parametrico può essere inteso come sistema dinamico di relazioni tra diversi oggetti»<sup>3</sup>. Una modalità sicuramente innovativa, che si

allontana dai canoni della rappresentazione digitale per concentrarsi sul complesso di regole matematiche che la governano. Ma il principale linguaggio dei designer è il disegno, non certo la programmazione e molto ancora si dovrà fare per integrare questi algoritmi generativi, all’interno di interfacce d’uso più intuitive.

Osservando gli artefatti che scaturiscono dalle pratiche progettuali, si riscontra un evidente ritorno alle geometrie della natura, così differenziate e apparentemente casuali da adattarsi alle trame del disordine spaziale che caratterizza la società contemporanea.

Si possono pertanto rileggere i saperi offerti da D’Arcy Wentworth Thompson<sup>4</sup>, per ricomporre attraverso algoritmi generativi le geometrie di

organismi naturali quali ad esempio i *radiolari*, microscopici protozoi marini presenti nel plankton, dotati di una varietà di scheletri talmente vasta da trovare riscontro nelle architetture *spugnose* di ultima generazione.

Ad esempio l’*Ethmosphaera conosiphonia* e la *Cenosphaera* (fig. 01), hanno uno scheletro sferico composto da celle a base esagonale e bocche circolari, estroverse e introverse.

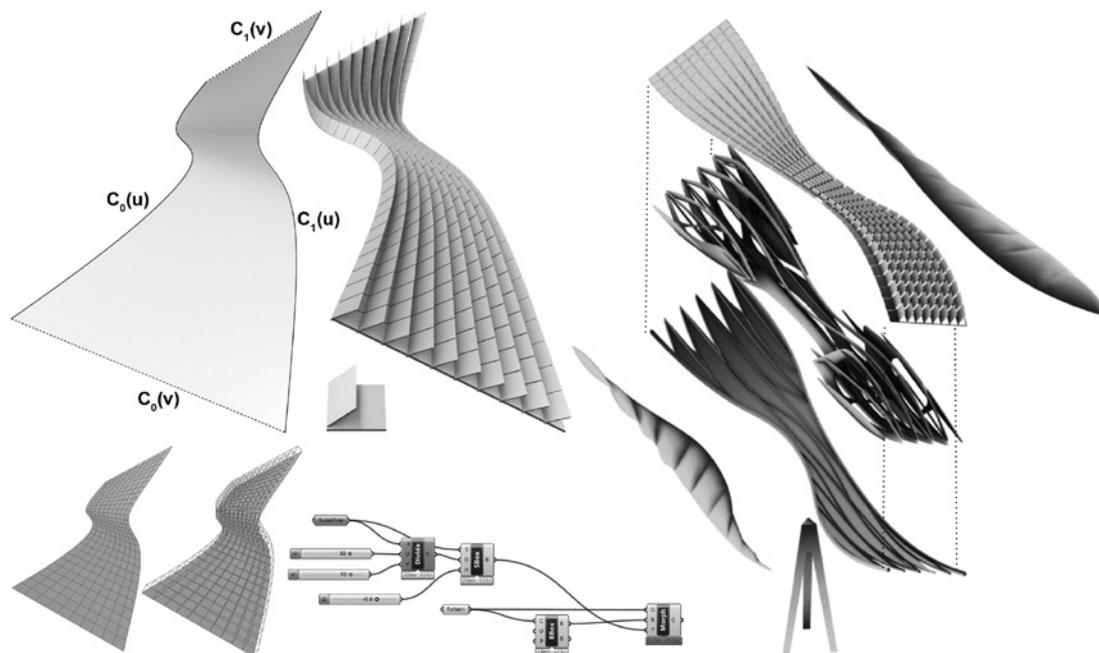
Si può facilmente descrivere la superficie di rivoluzione facendo ruotare una semicirconferenza attorno al suo diametro. Sarà una Nurbs le cui direttrici e generatrici curve,  $u$  e  $v$ , coincideranno con i meridiani e i paralleli di una comune sfera geodesica. Tale configurazione del modello matematico, tuttavia,



02. Coop Himmelb(l)au, Energy Roof, Perugia 2009. Rendering e fotomontaggi. Courtesy Coop Himmelb(l)au.

non è adatta alla distribuzione di pattern solidi per la completa tassellazione della superficie, poiché la conversione del modello matematico in numerico produrrà una *mesh* a facce miste, triangolari e quadrangolari. Sarà sufficiente modificare la distribuzione delle curve, facendo sì che, in fase di conversione, il poliedro si doti di facce quadrangolari (*Quad-sphere*), per ospitare il tassello solido che ha la base inferiore esagonale e quella superiore circolare.

Questo primo metodo costruttivo è molto utilizzato, data la semplicità attraverso la quale, una volta disegnata la superficie e variato il numero di direttrici e generatrici, si sostituiscono



03. Ricostruzione della copertura dell' Energy Roof in modellazione parametrica, con Rhinoceros e Grasshopper (www.rhino3d.com).

facilmente le facce quadrangolari del modello numerico risultante in pattern che definiranno inedite trame.

La scelta del metodo non risponde solamente alle esigenze estetiche ma è anche un valido ausilio funzionale e strutturale. Ad esempio, l'*Energy Roof* di Perugia, progettato da Coop Himmelb(l)au è una galleria resa dinamica da un sistema di copertura tortile che ospita pannelli fotovoltaici (fig. 02).

«La galleria vetrata lungo via Mazzini crea un nuovo spazio urbano ed è un nuovo attrattore. Il luogo è definito dalla sua storia, dai flussi dinamici della mobilità e dalla vitalità urbana.

Il disegno paradigmatico dell'*Energy Roof* rappresenta un'icona distintiva ed altamente riconoscibile per la città, oltre ad essere una precisa dichiarazione di sostenibilità estetica in accordo con l'antico edificio di via Mazzini. Essa indica l'ingresso al passaggio archeologico sotterraneo che ci guida attraverso la storia di Perugia [...]. La forma della copertura è stata sviluppata partendo dal presupposto ambizioso di produrre energia per la città. Mentre l'orientamento dell'ala occidentale è ottimizzato in funzione dell'angolo di incidenza dei raggi solari, l'ala orientale cattura il vento estivo per raffrescare lo spazio sottostante. Il tetto consta di

tre strati: quello superiore che genera energia, nel mezzo la struttura portante e lo strato inferiore che è una combinazione di vetro stratificato e cuscini pneumatici traslucidi. Il livello superiore include cellule fotovoltaiche trasparenti che generano energia elettrica e schermano la luce solare. L'orientamento delle singole celle è definito e ottimizzato grazie al computer e all'uso di un programma di scripting»<sup>5</sup>.

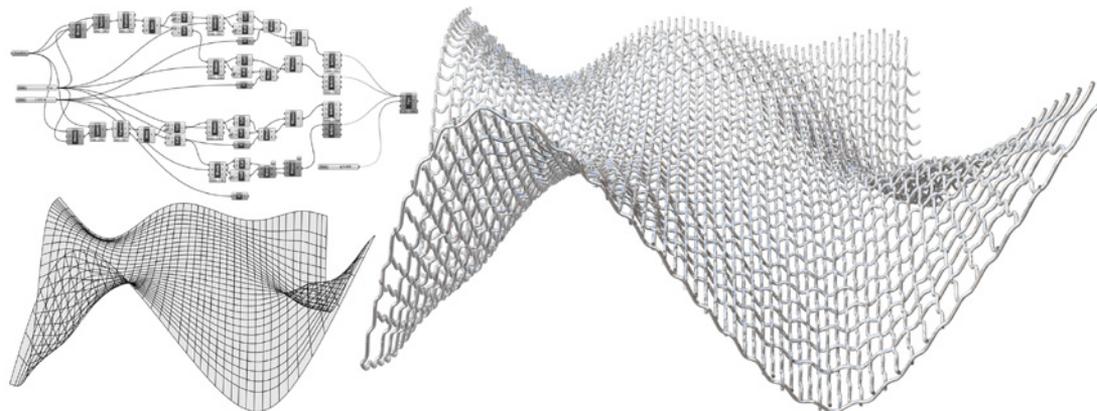
La superficie della copertura può essere descritta da una *swept*<sup>6</sup> che ha per direttrici due curve e per generatrici due rette sghembe di scorrimento; ad essa andrà applicata una suddivisione delle *isocurve* tale da riproporre la stessa configurazione adottata dal collettivo di architetti (30 in direzione *u* e 10 in *v*), così da tracciare un network all'interno del quale i moduli quadrangolari ospiteranno i pattern solidi dei pannelli fotovoltaici (fig. 03).

Si è scelto di disegnare la superficie e di intervenire su di essa con una modellazione parametrica, ma in realtà gli algoritmi selezionati possono annullare quasi completamente il disegno, riducendolo al tracciamento di pochi punti di interpolazione da selezionare e associare ai componenti descrittivi di curve *B-spline*, le stesse divenire componenti della superficie da trasformare e così via...

In altri casi le isocurve si trasformano in direttrici sinusoidali per l'estrusione di profili circolari (*Pipe*), che ricuciono le trame di un tessuto (fig.04), e ancora: superfici molto semplici da disegnare si complicano nelle ramificazioni che le avvolgono.

Si pensi ad esempio allo *Stadio olimpico* di Pechino, progettato dallo studio Herzog & De Meuron, dove una superficie di rivoluzione può raccogliere le proiezioni piane di linee intersecanti, che diverranno direttrici curve per l'estrusione di profili quadrangolari (fig 05).

Le possibilità sono davvero innumerevoli, tuttavia una tendenza progettuale dominata dalla forma di architetture assimilabili ai corpi, si concentra sulla pelle e opera sulla struttura che la sostiene. Si tratta di veri e propri *scheletri*, che rievocano macroscopici ingrandimenti delle trabecole ossee e il loro disegno si riduce al tracciamento di pochi



04. Modellazione di una superficie Patch con Rhinoceros e Grasshopper (www.rhino3d.com).

punti, l'algoritmo invece produrrà una complessa tassellazione spaziale.

La più in voga ricalca il diagramma di *Voronoi*<sup>7</sup>, che rappresenta una specifica suddivisione dello spazio in funzione dei rapporti di vicinato dei suoi punti ed è in relazione diretta con la triangolazione di *Delaunay*<sup>8</sup>, sua duale.

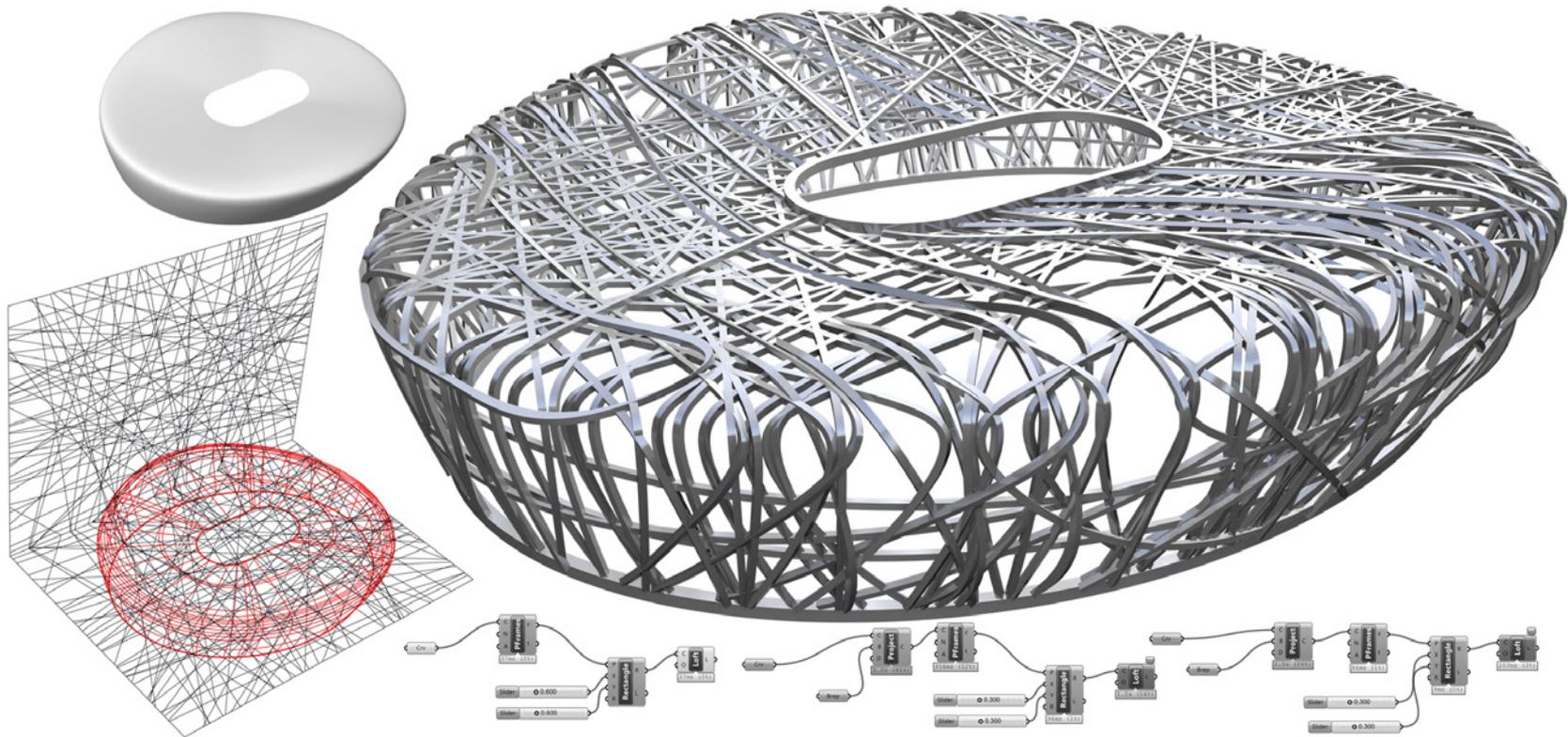
Per la triangolazione di Delaunay, sappiamo che dato un insieme di punti considerati come vertici di triangoli, possiamo inscrivere un qualsiasi triangolo (*abc*) in una circonferenza libera, ma ogni punto (*d*) dei triangoli adiacenti che hanno almeno un segmento in comune con il triangolo (*abc*), deve essere esterno alla circonferenza in

oggetto.

Tale triangolazione, molto utilizzata nella rappresentazione di modelli numerici di tipo *mesh*, genera triangoli prossimi all'equilatero, i cui vertici diverranno i centri delle celle di Voronoi. In particolare: ogni lato di una cella biseca i segmenti che congiungono i centri delle celle di Voronoi adiacenti (fig. 06).

Il diagramma risultante consta di poligoni che possono essere proiettati su superfici, o articolarsi nello spazio. I segmenti saranno interpolati in traiettorie di estrusione per profili quadrangolari, a definire una struttura di tipo *mesh*.

Differentemente dai casi visti in precedenza, dove



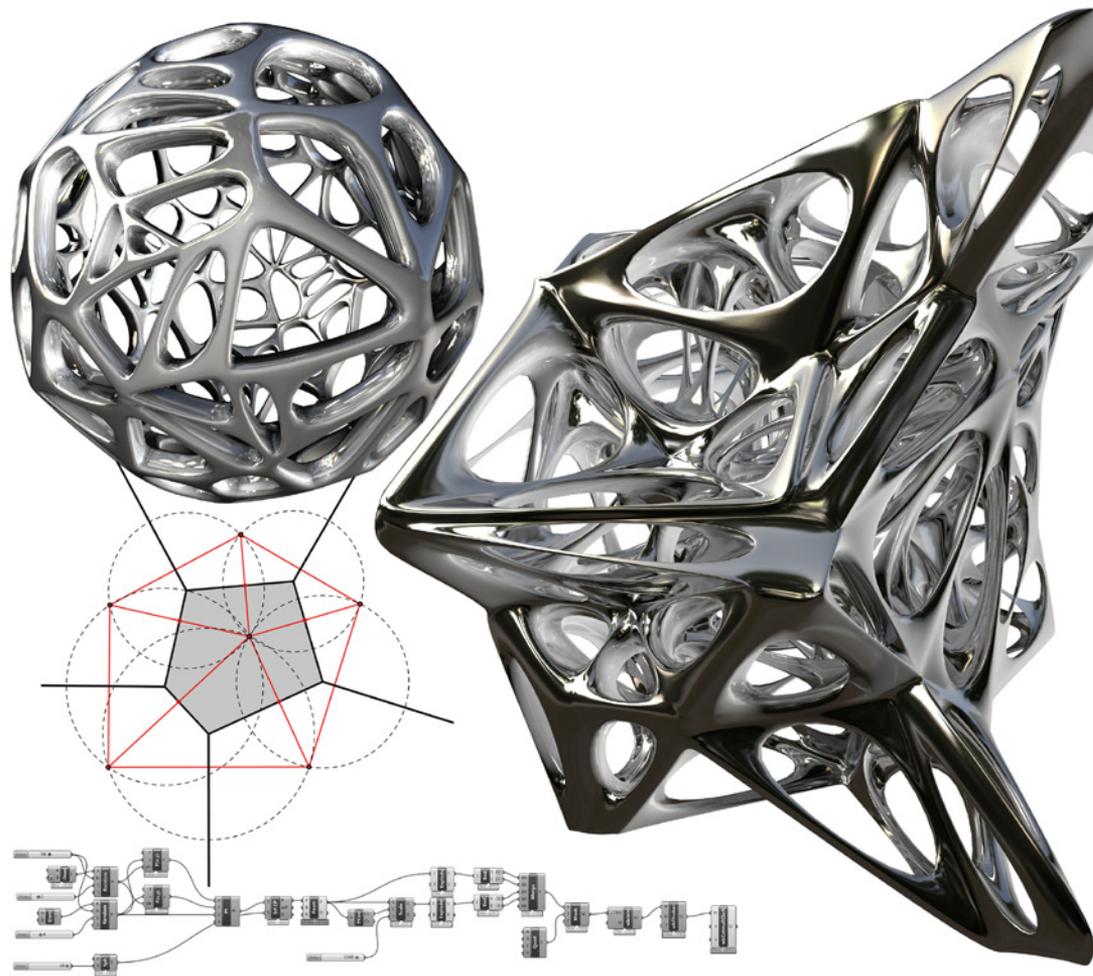
05. Struttura a nido modellata con Rhinoceros e Grasshopper (www.rhino3d.com).

06. Sfera e Scheletro di Voronoi, modellazione 3D con Rhinoceros e Grasshopper (www.rhino3d.com).

il modello matematico era il punto di partenza per giungere alla discretizzazione numerica, qui la protagonista è la *mesh* che conclude l'iter nella sua trasfigurazione in superfici curve, tipiche della modellazione organica, attraverso superfici di suddivisione governate dall'algoritmo di *Catmull-Clark*<sup>9</sup> (fig. 06).

Isostenitori di questa linea progettuale, continuano a citare la teoria della complessità prima di lasciare segni architettonici che sono frutto di una qualche evoluzione morfologica. Per Patrik Schumacher: «[...] I sistemi naturali mostrano la coincidenza di una ricca differenziazione e di una rigorosa determinazione che noi riconosciamo quali caratteristiche chiave della *complessità organizzata*. La teoria della complessità – con l'ausilio della computazione digitale – è stata capace di analizzare e simulare le regole base della formazione di questa complessità organizzata. [...] L'ordine architettonico favorisce l'ordine sociale e la sua effettiva realizzazione richiede organizzazione e articolazione come registri cruciali dello sforzo progettuale. Il primo compito è quello dell'organizzazione spaziale. Il secondo dipende dal primo e riguarda l'articolazione morfologica dello spazio. Lo sforzo combinato sfocia nell'ordine architettonico»<sup>10</sup>.

La messa in scena dell'apparente disordine formale, fa affidamento sul presunto programmabile ordine degli script che la modellazione cosiddetta "generativa" deve assecondare, ma questa non fa altro che ricalcare ciò che la rappresentazione 3D ha sempre fatto. Inevitabilmente i designer prediligono il linguaggio del disegno per descrivere il progetto.



**NOTE**

- [1] Lynn, Greg (1999), *Animate Form*, Princeton Architectural press, New York, trad. It dell'autore, p. 9.
- [2] Si vedano ad esempio: "Grasshopper" per Rhinoceros ([www.grasshopper3d.com](http://www.grasshopper3d.com)), "ParaCloud GEM" ([www.paracloud.com](http://www.paracloud.com)), "GenerativeComponents" di Bentley ([www.bentley.com](http://www.bentley.com)).
- [3] Tedeschi, Arturo (2011), *Architettura parametrica. Introduzione a Grasshopper*, II edizione, Le Pensur, Potenza, p. 17.
- [4] Thompson, D'Arcy Wentworth (1999), *Crescita e Forma. La geometria della natura*, edizione ridotta a cura di John Tyler Bonner, Borinighieri, Torino.
- [5] Coop Himmelb(l)au, *Energy Roof*, Perugia 2009. Estratto dalla relazione di progetto.
- [6] Swept: superfici Nurbs avanzate che interpolano due direttrici, rettilinee o curve, e una o due generatrici di scorrimento.
- [7] Diagramma di Voronoi: prende il

nome dal matematico russo Georgij Feodos'evič Voronoi, che lo ha ideato.

- [8] Delanuy: traslitterazione francese del cognome del matematico russo Boris Nikolaevich Delone, che ha sviluppato l'omonimo algoritmo di triangolazione.
- [9] Edwin Catmull e Jim Clark, nel 1978, hanno studiato e dimostrato la validità del loro algoritmo di discretizzazione delle superfici curve, attraverso modelli numerici mesh.
- [10]. Schumacher, Patrik (2012), *The Autopoiesis of Architecture. A new agenda for Architecture*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, trad. It dell'autore, p. 61.

**BIBLIOGRAFIA**

- Alexander, Christopher (1977), *A Pattern Language: Towns Buildings Constructions*, Oxford University Press, Oxford.
- Khabazi, Zubin (2010), *Algoritmi generativi con Grasshopper*, edizione italiana a cura di Antonino Marsala. (<http://www.grasshopper3d.com/page/tutorials-1>).
- Lynn, Greg (1999), *Animate Form*, Princeton Architectural press, New York.
- Piegl, Les; Tiller, Wayne (1997), *The NURBS Book*, Springer, Berlin.
- Schumacher, Patrik (2012), *The Autopoiesis of Architecture. A new agenda for Architecture*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, vol. 2.
- Silver, Mike (2006), *Programming cultures. Art and architecture in the age of software*, Wiley Academy, London.
- Tedeschi, Arturo (2011), *Architettura parametrica. Introduzione a*

*Grasshopper*, II edizione, Le Pensur, Potenza.

Terzidis, Kostas (2006), *Algorithmic architecture*, Architectural Press, Oxford.

Thompson, D'Arcy Wentworth (1999), *Crescita e Forma. La geometria della natura*, edizione ridotta a cura di John Tyler Bonner, Borinighieri, Torino.

Zellner, Peter (1999), *Hybrid Space. New forms in digital architecture*, Thames & Hudson, London.