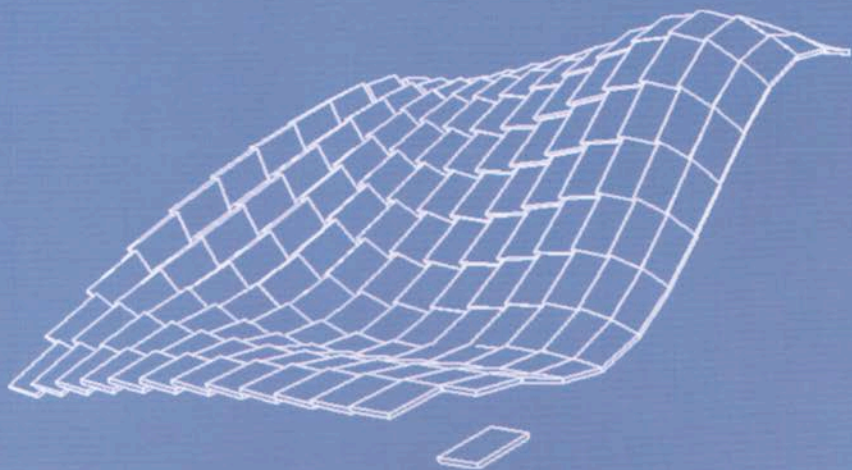


# uno (nessuno) centomila | prototipi in movimento

trasformazioni dinamiche del disegno  
e nuove tecnologie per il design

**workshop**  
marzo-maggio 2014



Workshop della Scuola Nazionale di Dottorato  
in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo

a cura di  
Michela Rossi e Andrea Casale

politecnica

  
MAGGIOLI  
EDITORE

## COLLANA POLITECNICA

### COMITATO SCIENTIFICO- AREA ARCHITETTURA

Serie di : **Tecnologia, Progettazione dell'architettura, Urbanistica e territorio, Design, Saggi, Documenti e Ricerche, Real Estate**

Cristiana Achille, Dipartimento BEST, Ricercatore ICAR 06, Politecnico di Milano; Oscar Eugenio Bellini, Dipartimento ABC, Ricercatore di ruolo confermato ICAR 12 Tecnologia dell'architettura, Politecnico di Milano; Tim Bennet, School of Surveying & Planning Faculty of art, design and architecture, Kingston University, UK; Guya Bertelli, Dipartimento DASTU, Professore di ruolo 1 fascia, Politecnico di Milano; Matteo Bolocan Goldstein, Dipartimento DASTU, Professore Associato in Geografia economico-politica, Politecnico di Milano; G. Bertrando Bonfantini, Dipartimento DASTU, Professore Associato di Urbanistica, Politecnico di Milano; Antonio Borghi, PhD in Progetti e Politiche Urbane, URBACT II ; Marco Bovati, Dipartimento DASTU, Ricercatore in Composizione Architettonica e Urbana, Politecnico di Milano; Angelo Bugatti, Dipartimento DICAR, Ordinario in Composizione Architettonica e Urbana, Università degli Studi di Pavia; Andrea Ciaramella, Dipartimento ABC, Ricercatore, Politecnico di Milano; Laura Daglio, Dipartimento ABC, Ricercatrice di ruolo confermata ICAR 12 Politecnico di Milano; Anna Delera, Dipartimento DASTU, Professore Associato, Politecnico di Milano; Riccardo Dell'Oso, Dipartimento di Architettura, Professore di Composizione Architettonica e Urbana, Università degli Studi di Catania; Ioanni Delsante, Dipartimento DICAR, Ricercatore universitario, Università degli Studi di Pavia; Giovanni Denti, DASTU, Professore di prima fascia ICAR 14, Politecnico di Milano; Andrea Di Franco, Dipartimento DASTU, Ricercatore di ruolo, Politecnico di Milano; Luca M. F. Fabris, Dipartimento DASTU, Dottore di ricerca in Tecnologia dell'Architettura e dell'Ambiente, Politecnico di Milano; Emilio Faroldi, Dipartimento ABC, Professore, Politecnico di Milano; Davide Fassi, Dipartimento INDACO, PhD, Politecnico di Milano; Massimo Fortis, Dipartimento DASTU, Professore ordinario di Composizione Architettonica e Urbana, Politecnico di Milano; Giorgio Garzino, Dipartimento ISEG, Professore Associato di ruolo, Politecnico di Torino; Agnese Ghini, Dipartimento DICATeA, Ricercatrice ICAR 10 Architettura e Tecnica, Università degli Studi di Parma; Elena Granata, Dipartimento DASTU, Ricercatrice in Tecnica Urbanistica, Politecnico di Milano; Areli Marina, Ph.D. History of Art and Architecture, University of Illinois; Declan McKeown, Faculty of built environment, Dublin Institute of Technology, Irlanda; Marzia Morena, Dipartimento ABC, Ricercatrice di ruolo confermata ICAR 12, Politecnico di Milano; Nick Nunnington, , Professional programs, Higer Colleges of Technology Abu Dhabi Emirati Arabi; Ilaria Oberli, Dipartimento ABC, Ricercatrice di ruolo confermata ICAR 12, Politecnico di Milano; Pierluigi Panza, Dipartimento DASTU, Docente di storia dell'Estetica Moderna, Politecnico di Milano; Ingrid Paoletti, Dipartimento BEST, Ricercatrice di ruolo confermata ICAR 12 Tecnologia dell'Architettura, Politecnico di Milano; Angela Silvia Pavesi, Dipartimento ABC, Ricercatrice di ruolo nel SSD 08/C1 - Design e Progettazione dell'Architettura, Politecnico di Milano; Laura Pezzetti, Dipartimento ABC, Ricercatore, Politecnico di Milano; Orsina Simona Pierini, Dipartimento di Progettazione dell'Architettura, Ricercatrice in Composizione Architettonica e Urbana, Politecnico di Milano; Sergio Pone, Dipartimento di Progettazione urbana e Urbanistica, Professore Associato, Università degli Studi di Napoli Federico II; Valeria Pracchi, Professore Associato ICAR 19 Restauro, Politecnico di Milano; Massimo Rossetti, Dipartimento Culture del Progetto, Ricercatore in Tecnologia dell'Architettura, Università IUAV di Venezia; Michela Rossi, Dipartimento INDACO, Architetto, Politecnico di Milano; Francesco Rubeo, , Professore a contratto in Valutazione economica dei progetti, Sapienza Università di Roma; Dario Russo, Dipartimento di Design, Ricercatore di Storia del Design, Università di Palermo; Cesare Sposito, Dipartimento DARCH, Ricercatore ICAR 12 Tecnologia dell'Architettura Università di Palermo; Luca Tamini, Dipartimento DASTU, Ricercatore di ruolo confermato in Urbanistica, Politecnico di Milano; Valeria Tatano, Dipartimento Culture del Progetto, Professore Associato di Tecnologia dell'Architettura, Università IUAV di Venezia; Maurizio Tira, Dipartimento DICATA, Professore Ordinario di Tecnica e Pianificazione Urbanistica, Università degli Studi di Brescia; Marco Lorenzo Trani, Dipartimento ABC, Dottore di ricerca in Ingegneria Ergotecnica Edile, Politecnico di Milano; Maria Cristina Treu, Dipartimento DASTU, Professore Ordinario di Urbanistica, Politecnico di Milano; Oliviero Tronconi, Dipartimento ABC, Professore ordinario, Direttore del Laboratorio Gest.Tec. Politecnico di Milano; Gianni Utica, Dipartimento ABC, Professore associato di Estimo ed esercizio professionale, Direttore dei corsi della Formazione Permanente in acustica per la progettazione, Politecnico di Milano; Maria Pilar Vettori, Dipartimento ABC, Dottore di Ricerca, Politecnico di Milano; Arianna Vignati, Dipartimento INDACO, Assistant Researcher, Politecnico di Milano; João Pedro Xavier, Architetto, Vice-preside di Facoltà, Vice-presidente del Comitato Scientifico, University of Porto (FAUP); Fabrizio Zanni, Dipartimento DASTU, Professore Associato in Progettazione Architettonica Politecnico di Milano

Il presente testo è stato sottoposto alla procedura di valutazione e accettazione del doppio referaggio anonimo (*double-blind peer review*), in conformità con i procedimenti e i criteri definiti per la pubblicazione nella Collana.





# **Uno (nessuno) centomila | prototipi in movimento**

**Trasformazioni dinamiche del disegno  
e nuove tecnologie per il design**

**workshop**  
**marzo-maggio 2014**

**Workshop della Scuola Nazionale di Dottorato  
in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo**

**a cura di  
Michela Rossi e Andrea Casale**

**Dipartimento di Design | Politecnico di Milano**

**Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro  
d'Architettura | Sapienza Università di Roma**

**POLITECNICO DI MILANO**



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**DIPARTIMENTO DI DESIGN**



Scuola Nazionale di Dottorato in  
Scienze della Rappresentazione e del Rilievo

seminario di apertura organizzato da  
***Design Representation***  
Dipartimento di Design - Politecnico di Milano:

Giuseppe Amoruso  
Fausto Brevi  
Mauro Ceconello  
Gabriele Pierluisi  
Michela Rossi  
Michele Russo

*Coordinamento:*  
Michela Rossi

*Progetto grafico:*  
Flora Gaetani

*immagine di copertina:*  
Giorgio Buratti

# Indice

- 7** Presentazione | Cesare Cundari
- 9** Ripensare il disegno. Introduzione | Michela Rossi e Andrea Casale
- 13** Rethinking Design | Michela Rossi e Andrea Casale

## **PARTE I | SEMINARIO**

- 19** Generative Design. La rappresentazione delle variazioni infinite | Celestino Soddu
- 35** Le regole del disegno. Modelli organici e pattern digitali | Michela Rossi
- 53** Modellazione 3D, ambienti BIM, modellazione solida per l'Architettura e il Design | Anna Marotta, Massimiliano Loturco
- 61** Rilevare per modificare | Adriana Rossi
- 73** La forma mutante | Andrea Casale
- 85** Forma in movimento | Graziano Valenti
- 93** Variabili in cerca di definizione: ontologia del disegno computazionale | Giorgio Buratti
- 111** Prototipi responsivi. L'approccio nel contesto del Physical Computing | Giorgio Vignati
- 125** Physical computing: strumento creativo per il designer di oggi | Maximiliano Ernesto Romero
- 137** Progettare architetture responsive | Attilio Nebuloni
- 149** Progettazione computazionale e fabbricazione robotica per l'architettura | Pierpaolo Ruttico

## **PARTE II | ESPLORAZIONI**

- 163** Contorni apparenti. Algoritmi digitali per la movimentazione delle superfici articolate | Michele Calvano
- 173** L'ordine complesso. La generazione delle superfici minime periodiche | Giorgio Buratti
- 183** Le geometrie dei meccanismi per il movimento | Leonardo Paris
- 193** 'Prototipazione' per l'architettura | Leonardo Baglioni, Federico Fallavolita, Marta Salvatore
- 209** Computer Grafica e design delle installazioni interattive e multimediali | Tommaso Empler
- 221** I metodi di comunicazione dei sistemi responsivi | Fabio Quici
- 231** Bibliografia di riferimento | a cura di Giorgio Buratti



# Presentazione

Cesare Cundari

Sapienza Università di Roma

*Coordinatore del Dottorato in "Scienze della Rappresentazione e del Rilievo"*

*Direttore della Scuola Nazionale di Dottorato in  
"Scienze della Rappresentazione e del Rilievo"*

Con grande favore accolgo la richiesta di presentare questo volume che raccoglie una prima parte degli atti relativi ad un Workshop sulle trasformazioni dinamiche del Disegno e le nuove tecnologie per il Design svoltosi in collaborazione tra docenti del Politecnico di Milano e dell'Università Sapienza di Roma e che costituisce un nuovo documento di una consolidata collaborazione.

Il tema, inquadrato dai due curatori nella introduzione, stimola qualche riflessione.

Quando, nel 2011, fui incaricato del coordinamento del Dottorato romano, fui favorevole a recepire, nell'ambito delle attività di formazione, alcune iniziative rivolte esplicitamente al ruolo del Disegno nell'ambito del Design; la stessa attenzione al problema l'ho mantenuta quale Direttore della Scuola Nazionale, patrocinando peraltro l'iniziativa di cui al presente volume. Ciò, naturalmente, con la curiosità del ricercatore di esplorare possibili nuovi spazi di studio ma, contemporaneamente, con il timore di favorire nuovi equivoci nel rapporto tra disegno/progetto/produzione.

Sono stato sempre convinto che il disegno di rilievo dell'architettura, non fermandosi alla rappresentazione delle sue superfici, debba esplicitarne le connotazioni costruttive ed estetiche; analogamente ho sempre pensato che il disegno di progetto - considerato come atto di invenzione - non possa ignorare le caratteristiche di lavorazione e dei materiali: lo confermano - per fare due esempi emblematici - le tracce delle casseforme lignee sulle strutture in cemento armato di Le Corbusier come i materiali prescelti ed utilizzati da Frank Lloyd Wright per la Casa sulla Cascata. Il fatto che in ambito industriale la giusta importanza l'abbiano assunta i procedimenti di lavorazione ed i comportamenti dei vari materiali, secondo me, conferma

l'assunto che chi disegna per progettare - anche per una produzione in serie - debba conoscere fino in fondo caratteristiche e proprietà dei materiali e dei processi di lavorazione.

Oggi l'evoluzione tecnologica consente un immediato passaggio dal modello digitale al prototipo; questo è sicuramente un vantaggio per il progettista consentendogli una più pronta verifica della idoneità proporzionale e funzionale dell'oggetto inventato; il mio rammarico è nel fatto che il progettista non sia più costretto a verificare l'efficacia della propria invenzione giovandosi solo e soprattutto delle proprie capacità di espressione grafica o di visualizzazione mentale/spaziale, così come hanno dovuto fare sino a qualche anno fa tanti Maestri del Design. Questa semplificazione potrebbe avere effetti dirompenti nella formazione dei giovani progettisti.

La mia preoccupazione è, infine, rivolta ad un altro aspetto d'importanza strategica: qualsiasi modello virtuale (purché di determinate caratteristiche tecniche) può essere prototipato .... Allora qualsiasi disegno meriterebbe una prototipazione? In che misura incideranno il fattore di riduzione di scala, l'abbinamento di materiali, ecc. Possiamo effettivamente pensare - per questa facilitazione consentita dall'evoluzione tecnologica - di trovarci all'inizio di un nuovo artigianato in cui trovino nuovamente quel modo "alto" di coagulo la capacità di invenzione, la conoscenza del materiale e la sua manipolazione?

O, non piuttosto, siamo - come in tanti altri campi della nostra operatività - in un momento di euforia che non rende chiaramente visibili i termini del problema, che non rende evidente il ventaglio di competenze necessarie affinché una invenzione (il disegno) possa essere effettivamente realizzata?

La domanda più importante che attende risposta è: qual'è l'ambito entro il quale possa svolgersi l'azione del Disegno senza confondersi perniciosamente con il Progetto, aspetto che, pur nella unitarietà del concetto/processo disegno=progetto, non sempre trova riscontro nelle dinamiche universitarie.

In ogni caso, sono convinto che la ricca e complessa esperienza cui si riferisce il presente volume - e che troverà il completamento della sua narrazione nell'altro volume che sarà pubblicato nei prossimi mesi - sia di sicuro giovamento per trovare possibili risposte ai quesiti prima espressi.

Infine, per la diretta conoscenza dell'immane lavoro che l'organizzazione di queste iniziative comporta, non posso esimermi, nel mio duplice ruolo, dal ringraziare i due promotori - la prof. Michela Rossi del Politecnico di Milano e il prof. Andrea Casale del mio Ateneo - con tutti i loro collaboratori, per l'attività svolta e per la ricca esperienza che hanno consentito ai dottorandi.

# Presentazione

Cesare Cundari

Sapienza Università di Roma

*Coordinatore del Dottorato in "Scienze della Rappresentazione e del Rilievo"*

*Direttore della Scuola Nazionale di Dottorato in  
"Scienze della Rappresentazione e del Rilievo"*

Con grande favore accolgo la richiesta di presentare questo volume che raccoglie una prima parte degli atti relativi ad un Workshop sulle trasformazioni dinamiche del Disegno e le nuove tecnologie per il Design svoltosi in collaborazione tra docenti del Politecnico di Milano e dell'Università Sapienza di Roma e che costituisce un nuovo documento di una consolidata collaborazione.

Il tema, inquadrato dai due curatori nella introduzione, stimola qualche riflessione.

Quando, nel 2011, fui incaricato del coordinamento del Dottorato romano, fui favorevole a recepire, nell'ambito delle attività di formazione, alcune iniziative rivolte esplicitamente al ruolo del Disegno nell'ambito del Design; la stessa attenzione al problema l'ho mantenuta quale Direttore della Scuola Nazionale, patrocinando peraltro l'iniziativa di cui al presente volume. Ciò, naturalmente, con la curiosità del ricercatore di esplorare possibili nuovi spazi di studio ma, contemporaneamente, con il timore di favorire nuovi equivoci nel rapporto tra disegno/progetto/produzione.

Sono stato sempre convinto che il disegno di rilievo dell'architettura, non fermandosi alla rappresentazione delle sue superfici, debba esplicitarne le connotazioni costruttive ed estetiche; analogamente ho sempre pensato che il disegno di progetto - considerato come atto di invenzione - non possa ignorare le caratteristiche di lavorazione e dei materiali: lo confermano - per fare due esempi emblematici - le tracce delle casseforme lignee sulle strutture in cemento armato di Le Corbusier come i materiali prescelti ed utilizzati da Frank Lloyd Wright per la Casa sulla Cascata. Il fatto che in ambito industriale la giusta importanza l'abbiano assunta i procedimenti di lavorazione ed i comportamenti dei vari materiali, secondo me, conferma

l'assunto che chi disegna per progettare - anche per una produzione in serie - debba conoscere fino in fondo caratteristiche e proprietà dei materiali e dei processi di lavorazione.

Oggi l'evoluzione tecnologica consente un immediato passaggio dal modello digitale al prototipo; questo è sicuramente un vantaggio per il progettista consentendogli una più pronta verifica della idoneità proporzionale e funzionale dell'oggetto inventato; il mio rammarico è nel fatto che il progettista non sia più costretto a verificare l'efficacia della propria invenzione giovandosi solo e soprattutto delle proprie capacità di espressione grafica o di visualizzazione mentale/spaziale, così come hanno dovuto fare sino a qualche anno fa tanti Maestri del Design. Questa semplificazione potrebbe avere effetti dirompenti nella formazione dei giovani progettisti.

La mia preoccupazione è, infine, rivolta ad un altro aspetto d'importanza strategica: qualsiasi modello virtuale (purché di determinate caratteristiche tecniche) può essere prototipato .... Allora qualsiasi disegno meriterebbe una prototipazione? In che misura incideranno il fattore di riduzione di scala, l'abbinamento di materiali, ecc. Possiamo effettivamente pensare - per questa facilitazione consentita dall'evoluzione tecnologica - di trovarci all'inizio di un nuovo artigianato in cui trovino nuovamente quel modo "alto" di coagulo la capacità di invenzione, la conoscenza del materiale e la sua manipolazione?

O, non piuttosto, siamo - come in tanti altri campi della nostra operatività - in un momento di euforia che non rende chiaramente visibili i termini del problema, che non rende evidente il ventaglio di competenze necessarie affinché una invenzione (il disegno) possa essere effettivamente realizzata?

La domanda più importante che attende risposta è: qual'è l'ambito entro il quale possa svolgersi l'azione del Disegno senza confondersi perniciosamente con il Progetto, aspetto che, pur nella unitarietà del concetto/processo disegno=progetto, non sempre trova riscontro nelle dinamiche universitarie.

In ogni caso, sono convinto che la ricca e complessa esperienza cui si riferisce il presente volume - e che troverà il completamento della sua narrazione nell'altro volume che sarà pubblicato nei prossimi mesi - sia di sicuro giovamento per trovare possibili risposte ai quesiti prima espressi.

Infine, per la diretta conoscenza dell'immane lavoro che l'organizzazione di queste iniziative comporta, non posso esimermi, nel mio duplice ruolo, dal ringraziare i due promotori - la prof. Michela Rossi del Politecnico di Milano e il prof. Andrea Casale del mio Ateneo - con tutti i loro collaboratori, per l'attività svolta e per la ricca esperienza che hanno consentito ai dottorandi.

# Ripensare il disegno | Introduzione

Michela Rossi\*, Andrea Casale\*\*

\*Dipartimento di Design, Politecnico di Milano

\*\*Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro d'Architettura,  
Sapienza Università di Roma

Le sinergie tra la modellazione digitale con algoritmi morfogenetici reiterati e la diffusione di macchine da prototipazione capaci di trasformare direttamente i modelli virtuali in copie al vero, anticipano cambiamenti radicali nei processi produttivi, destinati a incidere prepotentemente sui metodi del progetto. La recente crisi economica ha evidenziato l'equilibrio instabile del sistema industriale, basato sulla produzione di massa di oggetti tutti uguali, in cui i grandi numeri richiedono la realizzazione di linee produttive costose e giustificano processi progettuali raffinati anche per prodotti di basso costo. Senza la fabbricazione a macchina dell'industria manifatturiera non sarebbe nato il design, reso necessario dalla separazione tra il progetto e la produzione, come era già avvenuto parecchi secoli prima nell'architettura.

L'industrializzazione richiedeva l'apporto preliminare del progetto per la meccanizzazione del fare, che per forza di cose coinvolgeva anche il disegno del prodotto, determinando la nascita del design come disciplina peculiare dell'era industriale. L'industria e il design, legati da un'inscindibile sorte comune, avrebbero reso obsoleta la figura dell'artigiano capace di creare oggetti uno per volta, da un disegno al vero, senza l'esigenza di un progetto preliminare, perché nel suo lavoro manuale fare e pensare coincidono.

La dicotomia tra la fase ideativa e quella produttiva che caratterizza il processo industriale, ha relegato il disegno all'ambito del progetto, favorendo la progressiva scomparsa degli strumenti della sua esecuzione manuale, gli stessi che erano stati indispensabili al fare dell'artigiano.

La nuova rivoluzione preannunciata dall'introduzione della prototipazione digitale e dalle potenzialità dell'adattamento alla produzione in associazione ai software capaci di controllare la fabbricazione a basso costo di pezzi diversi, direttamente da uno stesso modello, rimette il

disegno alla base della realizzazione, aprendo la strada a una nuova artigianalità, capace di coniugare il concetto di pezzo unico con la produzione industriale.

Nell'evoluzione del rapporto tra il *pensare* e il *fare*, prima implicitamente intrecciati nell'azione della mano dell'artista artigiano e poi legati da un rapporto di causa effetto espresso dal progetto, si consuma lo spostamento del ruolo del disegno dal *fare* al *pensare* e quindi la sua concezione come linguaggio tecnico prima che come strumento attivo dell'atto creativo. Per questo motivo sembra opportuno partire dal disegno, nelle nuove forme e articolazioni che esso può assumere nell'evoluzione delle tecnologie digitali, per capire il rapporto nuovo che si instaura tra il design e la produzione all'alba di quella che può diventare una nuova rivoluzione industriale e introducendo la possibilità di produrre pezzi unici in serie, riavvicina l'industrial design ai presupposti del progetto di architettura.

L'industrializzazione e i conseguenti cambiamenti sociali di inizio novecento hanno portato alla nascita del design e ai radicali cambiamenti nella forma e nella funzione dell'architettura. Oggi, il nuovo rapporto fra l'uomo e la gestione dell'informazione permette, da una parte, di modificare l'oggetto durante la sua produzione, coniugando il concetto di pezzo unico con la produzione industriale, dall'altra consente di progettare superfici architettoniche capaci di modificare la propria forma per adeguarsi a diverse esigenze formali e funzionali, interagendo con l'ambiente esterno.

Il design e l'architettura ritrovano le antiche corrispondenze concettuali e progettuali nel nuovo rapporto con l'informatica.

L'architettura diventa design e il design muta in architettura. L'oggetto diventa mutevole e mutante e, nelle diverse scale dal progetto industriale a quello architettonico, è pensato per modificare la propria conformazione così da potersi adattarsi, in "tempo reale", alle esigenze dell'utente. La progettazione diventa algoritmica e gli oggetti di architettura e di design responsivi, si crea quindi un chiaro collegamento di carattere dinamico fra gli eventi generatori (*input*), il progetto (elaborazione digitale) e la rappresentazione formale (*output*). Il disegno, per le nuove forme e articolazioni che assume nell'evoluzione delle tecnologie digitali, diventa un nuovo e rivoluzionario strumento di progetto, controllo e verifica del rapporto tra l'architettura, il design e la produzione-costruzione, riannodando in maniera assolutamente nuova i rapporti progettuali tra l'architettura e il design.

Una trasformazione imponente, per quanto poco avvertita, è in atto nell'operare e nei prodotti che caratterizzano oggi la società: è il processo evolutivo verso le attività "real-time". Nel campo specifico del progetto, il fenomeno si avverte osservando l'affermarsi dei progetti parametrici, dei modelli cinematici responsivi, della prototipazione rapida e di numerose altre attività ad esso connesse.

Il processo è generato e alimentato da un rinnovato rapporto fra l'uomo

e il computer o in modo più generale fra l'essere umano e lo spazio dell'elaborazione digitale. Elemento chiave di questo rinnovamento è la centralità dell'elaborazione nelle nuove attività e nei nuovi prodotti: essa non è utilizzata per generare un prodotto, ma è essa stessa anima intelligente del prodotto.

Gli oggetti mutevoli così progettati non hanno una forma statica definita, ma sono in continua rappresentazione di se stessi.

L'articolato processo progettuale che sottende la complessità di questa "rappresentazione", trova fondamento nella modellazione digitale parametrica, nella simulazione cinematica dei modelli, nella prototipazione rapida, e – quasi a chiudere il cerchio – nell'acquisizione digitale dei modelli sperimentali.

La progettazione parametrica è l'unica via per definire oggetti realmente responsivi, creando un chiaro collegamento di carattere dinamico fra eventi generatori, il progetto e la rappresentazione.

La simulazione cinematica studia la rappresentazione del progetto nello spazio quadridimensionale realizzato, aggiungendo la variabile tempo a quello tridimensionale: consente di riconoscere, affrontare e risolvere le problematiche connesse alla movimentazione delle forme.

L'acquisizione dell'output nelle diverse accezioni fisico e virtuali, e la sua reintegrazione all'interno del processo progettuale, consente di rinnovare e ampliare il livello di interazione e ricorsività che in vario modo ha da sempre caratterizzato il processo progettuale.

Operare in questo nuovo scenario, dove l'oggetto supera la tradizionale staticità per acquisire un nuovo significato formale attraverso il movimento nel tempo, propone un'indispensabile analisi e acquisizione di conoscenze teoriche e riflessioni critiche interdisciplinari che uniscono il disegno al progetto abbracciando sia la modellazione parametrica che la comunicazione dell'oggetto responsivo, sia la robotica che la prototipazione, sia i sistemi cinematici e dinamici che le geometrie dei meccanismi, e trova nella sperimentazione un'indispensabile strumento di concreta verifica.

Nel workshop è possibile individuare due momenti distinti, ma strettamente interlacciati:

- il seminario, prevalentemente di carattere teorico e critico sugli sviluppi e conoscenze nei diversi campi d'interesse, ospitato dal Dipartimento di Design del Politecnico di Milano;
- il laboratorio teorico-applicativo, svolto presso la Facoltà di Architettura di Roma con approfondimenti teorici e pratici e la successiva sperimentazione rivolta agli studenti del XXVIII ciclo del Dottorato in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo e del XXIX ciclo del Dottorato del Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura della Università "Sapienza".

Ad unire strettamente queste due esperienze si sono succedute, in video

conferenza, delle attività integrative di approfondimento a cui hanno partecipato alcuni docenti, dottori e dottorandi della Scuola Nazionale di Dottorato in Scienze della Rappresentazione.

Si è voluto quindi distinguere l'attività svolta in due pubblicazioni distinte: la prima, che trova traccia in questo libro, orientata all'indagine degli aspetti teorici, critici e applicativi inerenti la ricerca sulla forma responsiva; la seconda, che troverà collocazione nella Collana degli Strumenti del Dottorato in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo (in fase di redazione), affronta l'aspetto sperimentale dimostrando come l'applicazione teorica proponga nuove ed interessanti convergenze tra Disegno e Progetto nella gestione della forma movimentata, quando questa assume la propria espressione materiale e fisica.

Il contenuto del libro si divide in due parti, costituite da contributi apparentemente slegati perché frutto di mani (e teste) diverse, ma legati da un *fil rouge* che si dipana fissando l'attenzione sulle diverse implicazioni delle tecnologie digitali nel progetto, che ben al di là del rapporto con la rappresentazione, stanno cambiando il modo di fabbricare e costruire le "cose", riportando in attualità ricerche e contenuti desueti.

La prima parte riflette e talvolta amplia gli interventi presentati al seminario iniziale, tesi a presentare le radici culturali dei fondamenti teorici e delle diverse declinazioni applicative della rappresentazione parametrico-generativa in relazioni al progetto e alla produzione alla luce dell'evoluzione digitale, che introduce il recupero dell'artigianalità in una nuova interpretazione del pezzo unico. Il libro si apre con la storia del Design generativo e il racconto delle prime ricerche pionieristiche che hanno aperto la strada che ha portato ad un approccio nuovo al progetto, partendo da sperimentazioni solo apparentemente "improduttive". Seguono un richiamo alle radici della cultura parametrica del progetto nei presupposti matematici del disegno ornamentale e del Basic Design, il riferimento alla natura e alla definizione dei software per il progetto e al significato delle trasformazioni parametriche in relazione alla forma degli oggetti, infine gli strumenti e le tecnologie che permettono l'interazione responsiva del designer con il progetto e del prodotto con il suo fruitore.

La seconda parte raccoglie le lezioni del workshop telematico, volte a fornire ai partecipanti le conoscenze di base per sperimentare applicazioni concrete nell'ambito del progetto di oggetti/architetture caratterizzati da superfici mobili, capaci di interazioni dinamiche con l'utente. I diversi capitoli quindi sottolineano prima le problematiche di base della progettazione (gli algoritmi digitali, le geometrie e i meccanismi del movimento, la definizione e le proprietà delle forme) e poi esempi significativi di applicazioni specifiche negli ambiti di maggior interesse: la prototipazione digitale, le installazioni interattive e multimediali, la comunicazione.



## *Rethinking Design | Introduction*

Synergies between digital modeling, based on algorithms of form generation, and the spread of prototyping machines that can easily transform virtual models into actual objects, anticipate radical changes in production processes and industrial-scale production. These developments will have far-reaching implications for design procedures and methodologies. The recent economic crisis has highlighted the instability and identity crisis facing the 'western' industrial system, a model now embraced globally, and based on the production of objects that are identical and produced in vast numbers. This mass production provides the economic justification for expensive production lines aimed at the production of broadly identical low-cost products.

Industrial design, as we know it today, was born during the machine age of the Industrial Revolution of the eighteenth and nineteenth centuries. Design and production became progressively separated, a divorce witnessed previously in architectural design. Industrialization necessitated the contribution the contribution of design prior to the management of making, which inevitably also involved the product, resulting in the birth of industrial design as a distinctive subject or specialism of the industrial era. Industry and design, bound together by an unbreakable common fate, made obsolete the figure of the artisan, who was able to create objects one by one, starting from a true-scale drawing, without any need for a preliminary draft, because in handwork *to make* and *to design* are referred to the same actor.

The dichotomy between the creative phase and the manufacturing one, that characterizes the industrial process, has relegated the contribution of drawing to a support role in the drafting process, and has favoured the gradual disappearance of the tools of manual execution, the same that were essential to the craftsperson during the making process. In the evolution of the relationship between *thinking* and *making*, which originally was intertwined in the action of the hand of the craftsperson-artist and then was expressed by the design, drawing plays its role from *making* to *thinking* and then coming back to its early conception as technical language instead of being just an active tool of the creative process. Today the revolution announced by the integration of digital prototyping with software that manages the low-cost manufacturing of different pieces directly from one same model, opens the way for a new type of craftsperson. This in turn brings together the concept of a single piece with serial production and puts drawing at the base of the

making process again, approximating the conditions prevalent largely in architectural design.

At the dawn of this New Industrial Revolution, in order to understand the new relationship between design and making, it seems appropriate to re-start the drawing process in order to design a product's DNA and, assisted by new forms of digital technology, to re-discover the fundamental principles of visual structure and how these principles subtend final form. Structure subtends form, and drawing comes into play where the first meets the later and thus helps to merge design thinking, drawing and making.

This seminar was dedicated to unwrapping the principles, processes and developments that subtend the New Industrial Revolution and, in particular, it will highlight the new relationship between design thinking, drawing and making.

At the beginning of the twentieth century, the industrialization and the consequent social changes led to the birth of design and to radical transformations in architecture. Today, the new relationship between man and information management make it possible to amend the object during its production, combining the concept of the *single piece* with *mass production*. It is possible to create objects that change their shape by adapting to the different needs of design and function, or create architecture with responsive surfaces that react to environment.

Through their relationship with the compute, the industrial design and the architecture find their common roots in old design concepts. The architecture becomes industrial design and the later evolves in architecture. The product becomes changeable and mutant. In the different scales from industrial design to architecture, its conformation is meant to change in order to fit in "real time" with the user's needs.

The algorithmic design creates responsive objects, which stress the dynamic link between the environment (*input*), the design (*digital processing*), and the shape (*output*). Thanks to the new expression that it fulfils in the evolution of digital technology, the computing – i.e. digital drawing- gains importance in the project management. The relationship between design and manufacturing/construction stresses in an unexpected way the one between architecture and industrial design.

The working mode and the products features in today's society are radically evolving, leading towards "real-time" activities. In the field of design the rise of parametric design, rapid prototyping, models of responsive kinematic surfaces of architecture and several other activities, is flagrant. The evolution is powered by a renewed relationship between man and computer, or more generally between the human being and the digital space. The key element of the innovation is the centrality of computing in the design process, such as in new products. The computing generates objects and it is the intelligent soul of their design.

New objects and/or architecture can change, to fit the user's needs in

“real time”. They have not a defined and static shape, but they are a continuous representation of themselves.

An articulated design process subtends the complexity of the “re-presentation”. It grounds on parametric modeling, on kinematic simulation of models, on digital prototyping and on the digital acquisition of experimental mock-up models.

The parametric design is the way to create responsive objects. It creates a dynamic link between the generating events (input), the project (digital processing) and its formal representation (output).

The representation in a “four-dimensional space” includes the variable of “time”, which make possible the simulation of movement in order to study the solution of issues related to the handling of shape elements. The output in physical and virtual models increases the interaction between the designer and the whole design process.

Operate in this new scenario, where the object goes beyond the traditional static to acquire a new formal meaning through movement, suggests critical reflections that merge drawing and design. This requires, the acquisition of theoretical knowledge and embracing both the parametric modelling and the communication of responsive object, the robotic and the prototyping, the kinematic systems and the geometry of mechanisms. These interdisciplinary skills are the necessary tool for the verification carried out by PhD candidates with the design experimentation, which is the actual goal of the workshop.

The workshop had two parts, closely interlaced each other:

- the seminar, guested by the Department of Design of Politecnico di Milano and had a theoretical and critical approach and focused on knowledge developments in the main topic;
- the studium was hold in Rome by the Faculty of Architecture and met together theoretical insights and specific applicative experiences, preparing the following design application carried out by PhD candidates of XXVIII and XXIX cycles of the doctorate programme of the Department of History, Drawing and Restoration of Architecture, “Sapienza” University of Rome.

The integrative insights unite closely the two parts with some videoconference lectures, attended by scholars, PhD and PhD candidates of the “Scuola Nazionale di Dottorato in Scienze della Rappresentazione”.

We wanted therefore to distinguish these different activities in two separate publications: this book gathers theoretical investigations, critical issues and research applications, which are the workshop’s “input”; a further volume in the book series of “Strumenti del Dottorato in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo” will afford the experimental “output”, demonstrating how the theoretical application leads to interesting convergences of Drawing and Design, in the project management of “moving” Architecture.

The book is divided into two parts, consisting of contributions seemingly

unrelated because they are due to different hands (and heads). Anyway they are linked by a common thread that focuses the attention on different implications of digital technologies in Design, which -well beyond the relationship with the representation- are changing the way we produce and build “things”, bringing old content in current research.

The first part reflects and sometimes broadens the lectures of the initial seminar, with the aim to present cultural roots of theoretical foundations and applications of the parametric-generative representation as a consequence of digital technologies, which recover the craftsmanship in a new interpretation of the product. The book opens with the history of generative design's development and the story of the first pioneering research that paved the road to a new approach to the project, starting from seemingly “unproductive” experiments. Then, there is a reference to the ornamental and the basic design in the mathematical assumptions in symmetries, such as to the nature; further a definition of various softwares and the meaning of parametric transformations in relation to the shape; finally tools and technologies that facilitate the interaction of the designer and of the users with responsive objects.

The second part contains the lessons of the workshop, aimed to provide participants with the basic knowledge to experiment applications in the design of responsive objects/architectures with movable surfaces, capable of dynamic interaction with the user. Following chapters highlight the significant issues of digital algorithms, geometry and mechanics of movement, the definition and properties of shapes. Last chapters focuses on specific applications in the areas of great interest for today design: digital prototyping, interactive installations and multimedia communication.

# Le regole del disegno | Moduli e pattern in trasformazione

Michela Rossi

Politecnico di Milano - Dipartimento di Design

Il progresso tecnologico è stato la risultante di due fattori correlati: l'affinamento degli utensili e la disponibilità di fonti di energia. Nel corso della storia, l'accesso a nuove risorse che mutavano in modo radicale la *quantità* e l'*intensità* (quindi anche il costo) della forza lavoro è stata la causa prima delle due grandi rivoluzioni che hanno interessato la struttura produttiva dell'occidente.

Agli albori del Medioevo l'applicazione del mulino vitruviano alla molitura, ha poi favorito la nascita della manifattura urbana e lo sviluppo della città trecentesca. Alcuni secoli dopo, l'invenzione della caldaia a vapore ha determinato l'origine della civiltà industriale propriamente detta.<sup>1</sup>

Nella loro applicazione al lavoro, gli strumenti hanno sempre avuto un ruolo attivo sul risultato, condizionando in modo decisivo le qualità dei prodotti, come risulta evidente nel circolo vizioso dell'innovazione tecnologica implicita nel rapporto di causa-effetto per il quale l'uomo specializza gli utensili in funzione della lavorazione, e sviluppa tecnologie consone agli strumenti di cui dispone.

Si dice che "*la necessità aguzza l'ingegno*"; nei fatti la ricerca di attrezzi specifici e la conseguenza della disponibilità degli stessi sono sempre andate di pari passo, senza che si possa riconoscere quale delle due sia veramente la causa, e quale l'effetto.<sup>2</sup>

1. AA. VV. *Storia della tecnologia*, Torino, Bollati - Boringhieri, 2012-13.

2. Si dice che deriva dal proverbio "*Mater artium necessitas*". La parola latina *ars* significa "abilità" e resta nella parola italiana "artefice". In inglese, il proverbio corrispondente è "*Necessity is the mother of invention*". Il detto sarebbe però un'invenzione rinascimentale, la cui prima citazione si trova nel *Vulgaria* di William Horman. Cfr. Wikipedia.

Nelle applicazioni quotidiane si può pensare che la causa sia la disponibilità tecnologica e l'effetto sia il tipo di produzione, ma riguardo alle grandi idee vale sicuramente il contrario: molti capolavori del passato devono la loro esistenza al fatto che chi le ha pensate o volute, ha poi trovato il modo di realizzarle. Un esempio eclatante è quello della geniale soluzione del Brunelleschi al problema ingegneristico creato dalla realizzazione della cupola di Santa Maria del Fiore.<sup>3</sup>

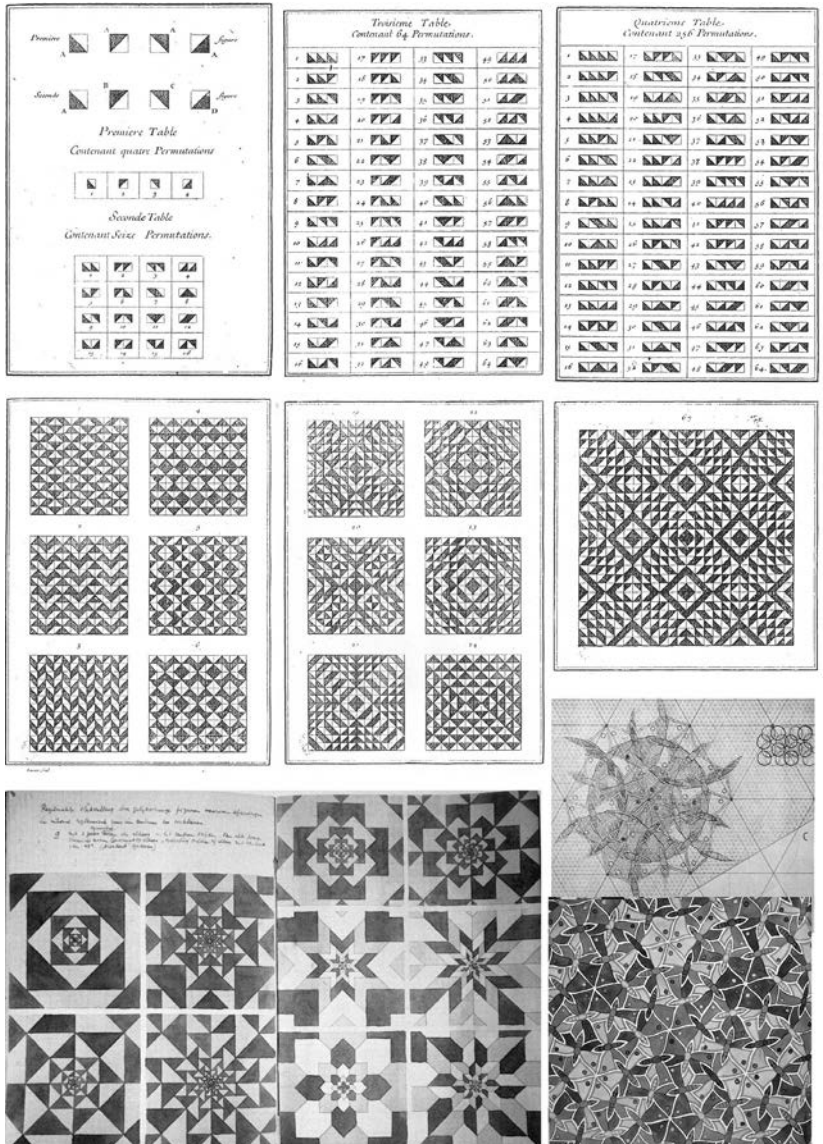
Questo condizionamento caratterizza a tutte le scale anche il rapporto tra i metodi e gli strumenti tecnici del progetto. Di conseguenza le forme dell'architettura e degli artefatti che arredano il microcosmo artificiale dell'uomo si configurano in relazione ai modi di rappresentazione del progetto, ovvero le modalità di realizzazione del modello che prefigura la costruzione, perché realizzazione ha sempre applicato gli stessi strumenti e procedimenti del disegno.

Con queste premesse era facile prevedere che l'introduzione dell'informatica e la sua applicazione al disegno avrebbero inciso sul progetto e sui suoi "prodotti". L'informatica è una delle tante facce dell'energia nucleare, perché applica tecnologie correlate alla studio delle particelle atomiche. La velocità di calcolo della macchina aumenta sempre più la quantità di "energia" disponibile al disegno assistito, come conseguenza della nuova rivoluzione preannunciata dalle applicazioni civili degli studi sull'atomo della prima metà del XX secolo.

Un cambiamento profondo è palese nell'architettura del decostruttivismo, che non sarebbe stato possibile (o facile) sviluppare senza strumenti che permettessero di studiarne le forme organiche e le trasformazioni topologiche nello spazio virtuale della rappresentazione digitale. Come già per gli attrezzi da lavoro, la volontà di costruire oggetti che esulavano dalla regolarità cartesiana delle forme euclidee, ha stimolato le tecnologie della rappresentazione digitale allo sviluppo di *software* che ne permettessero il controllo. Un esempio significativo è quello di Katia nell'ingegnerizzazione dell'opera di F. O. Gehry, peraltro concepita in modo tradizionale, usando modelli di studio costruiti in modo molto artigianale con spugnette e fil di ferro e poi sviluppati con l'ausilio di un programma appositamente sviluppato, ma se ne potrebbero citare altri.<sup>4</sup>

In breve le nuove modalità della rappresentazione digitale han-

- .....
3. Il Brunelleschi è passato alla storia come padre del Rinascimento per avere risolto l'ingegnerizzazione del progetto gotico di Arnolfo di Cambio, che insieme alla prospettiva ha aperto un'era nuova nelle arti.
  4. In particolare Gregg Lynn e Lars Spuybroeck, che ha teorizzato con molta lucidità la concezione del progetto come processo.



F01 | Sviluppo delle permutazioni simmetriche di 4 elementi diversi. Tavole combinatorie tratte da S. Truchet, *Méthode pour faire un'infinité de dessins differens avec de carreaux mi-partis de deux couleur par une ligne diagonal* ou observation di Pere Dominique Douat. Paris, 1722. Pattern simmetrici su griglia quadrata o triangolare, dagli studi preparatori di M.C. Escher.

no scatenato l'inventiva nella ricerca di nuove forme; nello stesso tempo la tecnologia si è adeguata velocemente alle richieste dei progettisti con lo sviluppo di interfaccia e sistemi di interazione che facilitavano la *computer graphics*, permettendo l'accesso diretto del disegnatore allo *scripting*, ovvero alla stesura delle informazioni che "costruiscono" il riferimento informatico del disegno digitale.

Questo ha fatto sì che a cambiare non fossero solo le forme, ma anche i metodi del disegno e quindi del progetto, spostando l'attenzione dalla *tettonica* alla *forma-disegno*:

- la prima rielabora la logica additiva e aperta della composizione di elementi costruttivi che anticipa la stessa dinamica del cantiere;
- l'altra sviluppa l'articolazione in funzione dell'insieme concepito come un organismo unitario.

Questi due approcci applicano i procedimenti antitetici dell'*aggregazione modulare* e della *scomposizione* dell'intero su cui si basa la teoria classica delle proporzioni<sup>5</sup> che deriva le sue regole rispettivamente dalla individuazione di un modulo e/o di una griglia regolare che misura i rapporti tra le parti o alle suddivisioni armoniche dell'intero secondo tracciati regolatori ordinati da una logica riconoscibile.

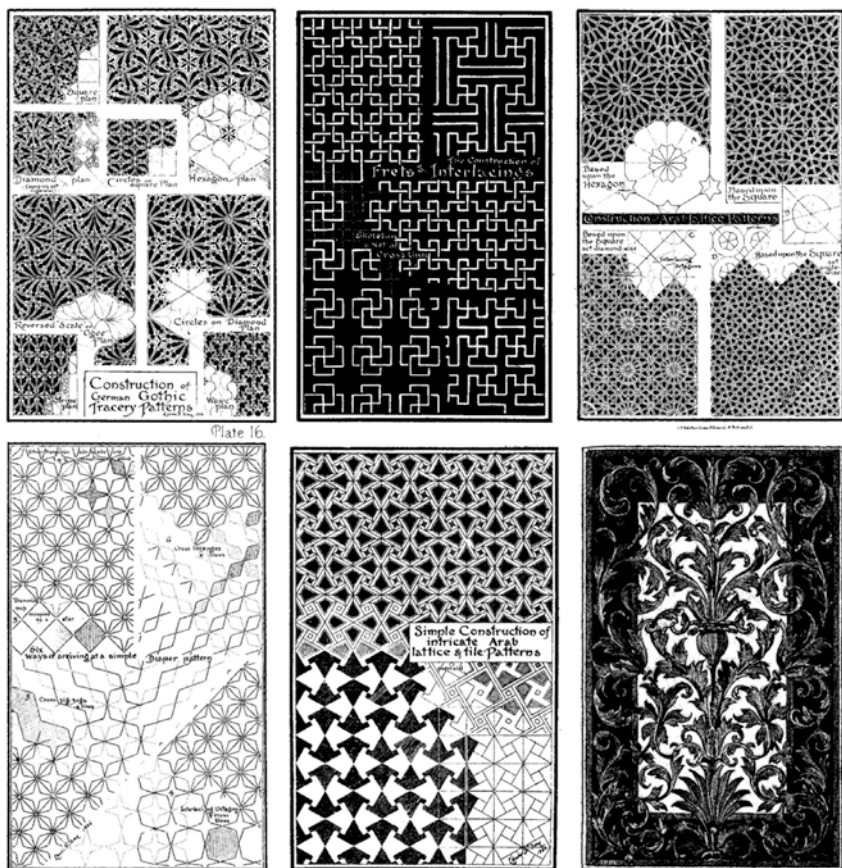
I due sistemi trovano un riscontro alternativo nella visione pragmatica della costruzione che caratterizza gli applicativi BIM e in quella più concettuale che pervade la concezione del disegno come processo mentale unitario, governato dagli algoritmi dei software generativi. Entrambi gli approcci sviluppano però elementi riferibili a concetti correlati che sono basilari nella teoria del disegno e della definizione del movimento: le leggi della geometria nel rapporto che lega le parti nell'insieme e le categorie innate dell'orientamento spazio-temporale cui si riferiscono le *trasformazioni*.

## Un futuro antico

Per apprezzare l'effetto della rivoluzione informatica è stato necessario aspettare che si compisse il ciclo di crescita della prima generazione di nativi digitali, che non si è dovuta adattare alle nuove tecnologie, ma si è formata insieme a loro, sviluppando un approccio spontaneo, apparentemente autonomo dai riferimenti precedenti. Nell'introduzione di *Machining Architecture* L. Spuybroek scrive che: "*The computer has reached a cultural stage, finally. The years that it was used for dreaming of perfect shape grammars and design au-*

5. P.H. Scolfield. 1958





F02 | Pattern ornamentali da L.F. Day. *The Anatomy of Pattern*. London, 1897.

La logica combinatoria definisce il numero delle alternative che si possono ottenere con i movimenti rigidi delle simmetrie elementari (traslazione, riflessione, rotazione o rototraslazione):

- 7 nelle conformazioni lineari (gruppi fregio, cornici);
- 17 nell'aggregazione bidimensionale della superficie (gruppi del piano, wall-paper);
- 230 nello spazio (gruppi cristallografici).

I sistemi chiusi applicano logiche di partizione connaturate alla forma che possono avere un'organizzazione seriale o polare, nei quali la disposizione gerarchica delle forme implica due fasi distinte e correlate: l'inquadratura, ovvero la definizione del dominio con un bordo (cornice) e il riempimento, ovvero l'organizzazione del campo definito dal dominio.

*tomation (...) or, worse, used for dreaming disembodied dreams of an architecture floating in cyberspace – those tears are over. Also finally and especially important for the architectural profession, computers have outgrown their servile function in the digital drawing room, where the real design was still done far away from the machines, sketched by hand, guided by genius.”<sup>6</sup>*

Con i nativi digitali si è consumato il passaggio tra il *computer-tecnigrafo* e il *computer-processo*. Il progetto è sempre meno il risultato di una composizione additiva di parti per diventare il disegno globale e unitario di una forma in divenire, ordinata da regole più o meno complesse, implicite nel processo stesso.

L'architettura, intesa in senso lato come “struttura articolata”, nasce da un insieme di elementi che evidenziano linee e tettonica complesse, che le nuove tecnologie rendono finalmente capaci di interagire con sollecitazioni esterne, assecondandole con trasformazioni topologiche che sovvertono la sua proverbiale staticità.

Il *computing* controlla la complessità del disegno progettuale, applicando sistemi dinamici ispirati dalla scienza e dalla matematica nel tentativo di trovare un modello che spieghesse con una regola riconoscibile i sistemi caotici che governano i fenomeni naturali.<sup>7</sup>

Le forme dell'architettura decostruttivista, che richiamano i concetti matematici della geometria algebrica e l'algebra relazionale dei grafi, implicano quindi tre livelli d'innovazione: *concettuale*, *geometrico* e *materiale*.

I primi due sono direttamente correlati al processo matematico unitario che controlla il disegno fino al raggiungimento preordinato della forma finale. Il terzo è una conseguenza indiretta dell'applicazione dell'ingegno alla volontà creativa attraverso la stesura dello *scripting*, che definisce e controlla tutti i passaggi del processo generativo. Così gli strumenti digitali aprono la strada allo studio di nuovi materiali o di usi innovativi, basati anche sullo sfruttamento delle proprietà geometriche delle forme, implicito nel disegno.

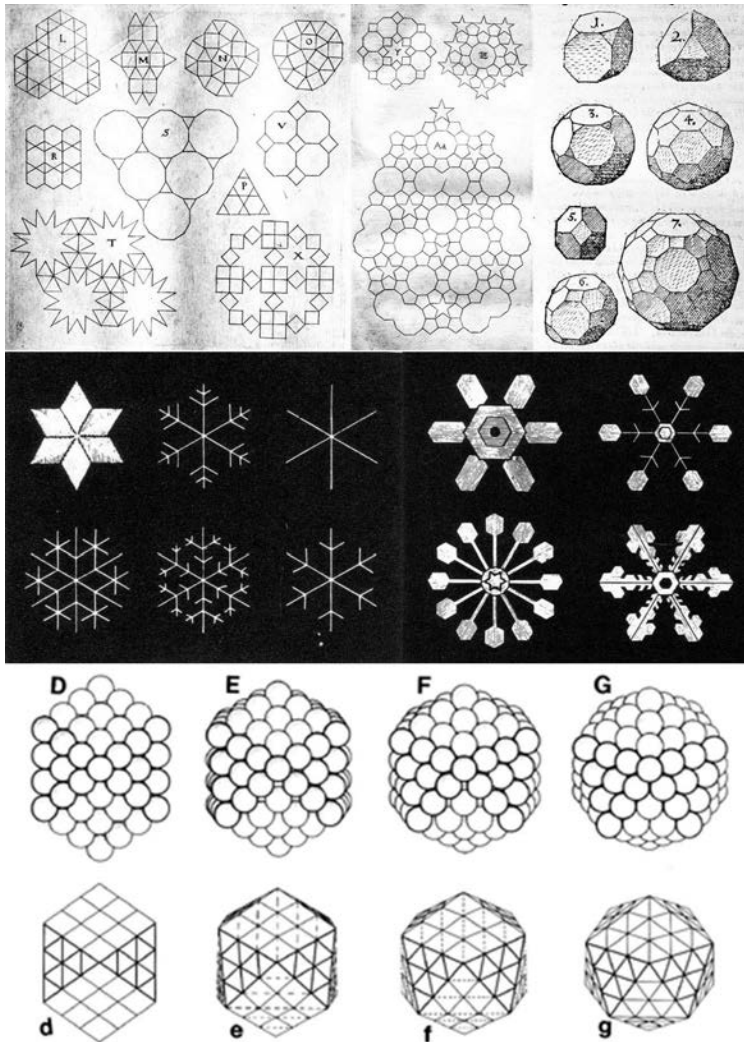
Rispetto alle prime due rivoluzioni, nelle quali la novità ha riguardato prima la *quantità* e poi l'*intensità* dell'energia disponibile, l'era dell'elettronica aggiunge la *velocità* di calcolo alla potenza concentrata del laser, riducendo ai minimi termini la richiesta di “faticavoro” anche in termini di elaborazione progettuale.

L'accelerazione dell'innovazione dovuta ai livelli crescenti di energia disponibile, ha riportato di attualità i concetti e le regole mai abbandonati della trattatistica classica, incentrati sui concetti di

.....

6. L. Spuybroek, 2004, pag. 4

7. R. Penrose, 2006.



F03 | Tassellazioni piane con combinazioni di poligoni e poliedri semiregolari da Keplero, *Harmonices Mundi*, 1619. Struttura simmetrica dei cristalli di neve, da G. Semper, *Der Stil*, 1865. Studi sull'impacchettamento di sfere da B. Fuller. Le conformazioni regolari che si sviluppano a partire dalle simmetrie elementari sono rappresentate in tutti i regni della natura e sono state osservate e studiate anche da Platone e Keplero. La trattatistica ottocentesca ha confermato l'importanza del modello naturale nell'architettura e l'interesse estetico e costruttivo per l'equilibrio delle conformazioni regolari.

modulo e di proporzione, di ripetizione e varietà, di similitudine e cambiamento, che sono alla base della teoria del disegno e sono stati ripresi ciclicamente e aggiornati dagli studiosi della natura, dai matematici e dagli artisti (figg. 1-2-3-4-5).

## Regole

La definizione ottocentesca di *grammatica ornamentale* per l'esposizione delle leggi del disegno sottolinea il riferimento al concetto di decorazione come linguaggio espressivo, ma nello stesso tempo evidenzia il suo riferimento alla matematica.

Le grammatiche ornamentali hanno applicato al disegno le regole delle permutazioni teorizzate da Dominique Douat e pubblicate nel 1722 da Sébastien Truchet, indicato come l'autore del primo trattato esplicitamente dedicato alla teoria del disegno.<sup>8</sup> (fig. 1)

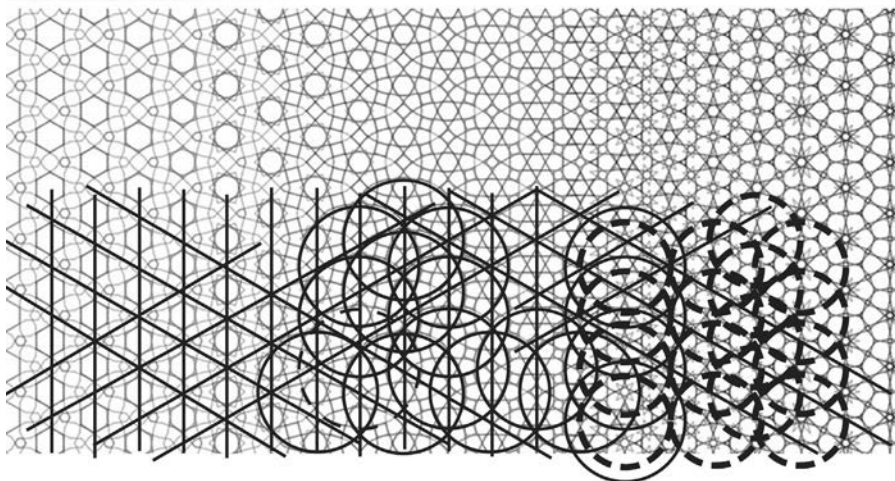
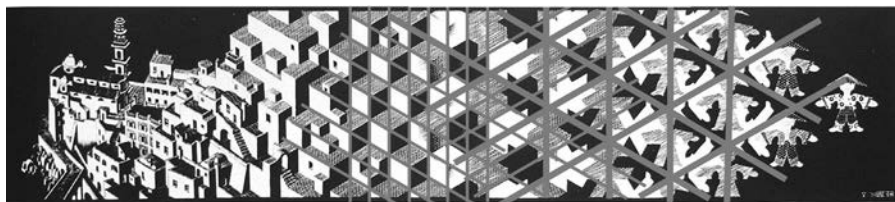
L'accostamento regolare di moduli uguali o simili consente di ottenere innumerevoli disegni con un numero limitato di elementi base, favorendo la variabilità delle forme, caratterizzando in prevalenza motivi geometrici o geometrizzati, concettualmente riconducibili all'intreccio, come aveva già dimostrato Douat nel 1707 sviluppando le possibilità di permutazione di un massimo di 4 elementi, che ricorda la combinazione degli aminoacidi nella catena del DNA, la cui varietà delle configurazioni consente di codificare un numero infinito di proprietà.

La moltiplicazione degli studi sulle leggi del disegno trova riscontro nell'affermazione di Owen Jones,<sup>9</sup> secondo il quale il segreto del successo dell'ornamentazione deriva dalla produzione di un effetto generale vasto con la ripetizione di pochi elementi semplici, secondo quelle che per Gottfried Semper sono le leggi fondamentali della forma con cui opera la natura: *simmetria*, *proporzionalità* e *direzionalità*.<sup>10</sup> Le stesse quattro simmetrie elementari sono alla base di tutte le strutture ripetitive dei disegni ornamentali usati da tutte le culture fin dall'antichità, prima della catalogazione moderna. (fig. 2) L'ordine dell'ornamento nasce dall'osservazione dei fenomeni naturali (fig. 3) che poi ritroviamo applicati alle ricerche di molti progettisti contemporanei. Le leggi dei pattern sono al centro dell'interesse matematico di Andreas Speiser, fondatore della *Teoria dei*

8. E. GOMBRICH, 1979, p. 90. Truchet è anche l'inventore del sistema di misura della dimensione dei caratteri tipografici in punti, che la grafica digitale ha contribuito a divulgare ai non addetti ai lavori.

9. cfr. O. JONES, *The Grammar of ornament*, Londra, 1856.

10. G. SEMPER, 1860.



F04 | *Le metamorfosi di Escher si basano sulla progressiva deformazione delle griglie periodiche di appoggio del pattern di un “controcambio” o di un disegno congruente con centri di simmetria multipla. Questi motivi sono il faticoso risultato di operazioni reiterate di “spostamento” di porzioni sulla forma geometrica del tassello di partenza sino ad ottenere l’effetto voluto.*

**Gruppi**, che si prolunga nelle esperienze dei teorici del Basic Design<sup>11</sup> alla scuola di Ulm, anticipatori della *Shape Grammar* di George Stiny e del *Generative Design* di Celestino Soddu.<sup>12</sup>

11. Il Basic Design è il nucleo teorico e metodologico su cui si fonda la teoria della configurazione, costituiva la disciplina propedeutica del Bauhaus, dove i maestri erano Klee, Itten e Kandinsky e della Hochschule für Gestaltung di Ulm; la disciplina indaga i fondamenti teorici della forma e le relazioni fra la componente estetica, tecnologica e scientifica del progetto.
12. “*Generative Design is a morphogenetic process using algorithms structured as not-linear systems for endless unique and un-repeatable results performed by an idea-code, as in Nature*”, definizione sull’intestazione del sito [www.celestinodosdu.com](http://www.celestinodosdu.com).

## Processi

Le esperienze sperimentali novecentesche che accompagnano l'affermazione del computer, offrono "...la possibilità di programmare la creazione di pressoché qualsiasi tipo di ordine e di studiarne gli effetti". Sono parole scritte oltre 30 anni fa da Ernst Gombrich, che subito dopo aggiunge "Forse la massima novità in proposito è la capacità del computer non soltanto di seguire qualsiasi regola complessa di organizzazione, ma anche di introdurre una dose di aleatorietà esattamente calcolata. Le configurazioni risultanti da questa tecnica, consistente nel lasciare un certo campo al caso all'interno di un reticolo fissato di movimenti predeterminati, non soltanto presentano elementi di un certo interesse estetico, ma offrono anche una comprensione senza pari delle operazioni del nostro senso dell'ordine nella percezione di schemi complessi".<sup>13</sup>

*Shape grammar* è il nome assegnato ai sistemi di algoritmi digitali che generano forme geometriche da Stiny<sup>14</sup> e Gips, che nel 1971 applicarono alla grafica informatizzata i principi linguistici di Noam Chomsky<sup>15</sup>. Questa consiste in una serie di regole e di un motore generativo che la applica all'elemento primitivo, reiterando lo stesso processo un dato numero di volte. La regola definisce quindi le trasformazioni per effetto di successive applicazioni.

Una grammatica formale deve avere almeno tre regole: un inizio, una o più regole di trasformazione e una regola finale.

La regola di partenza è necessaria per innescare il processo, quella finale per arrestarlo quando la forma è compiuta.

Il processo si applica anche ad elementi complessi, nei quali la forma risultante è definita da diversi parametri in modo che l'applicazione della regola può prendere in considerazione un insieme di fattori diversi nello stesso ciclo, o agire su configurazioni sempre più complesse come i frattali. Inoltre può esistere una struttura gerarchica che subordina un fattore ad altri.

Ad esempio, la struttura parametrica della regola può essere correlata alle dimensioni delle parti e alle proporzioni intrinseche di un oggetto, consentendo la creazione di una grande varietà di possibili soluzioni da un unico modello, in modo analogo alla varietà degli organismi simili in natura. Successivamente una nuova regola può controllare la combinazione gerarchica degli elementi.

.....  
13. E. GOMBRICH, op.cit, pag 114.

14. G. STINY, G. GIPS. 1972

15. N. CHOMSKY, 1980.

Molti autori hanno evidenziato il ruolo degli esempi naturali nello sviluppo dei concetti matematici attraverso i quali l'uomo cerca di spiegare i fenomeni fisici ed è interessante notare come i modelli matematici delle strutture naturali sono stati rielaborati e adottati come modelli per risolvere i problemi costruttivi o formali del progetto.<sup>16</sup> Il primo ad affermare l'origine organica dell'architettura è stato Vitruvio, seguito dai trattatisti del rinascimento, ma è D'Arcy Thompson che all'inizio del secolo scorso ne ha spiegato le ragioni chimico-fisiche, dimostrando che la natura, che persegue la massima efficienza, ha sperimentato tutte le forme possibili offrendo un modello utile per la sua grande efficienza, che anticipava la fantasia e l'ingegno dell'uomo. Nella sua spiegazione, il morfologo inglese afferma che la regolarità delle conformazioni naturali nasce dalla necessità di equilibrio e compensazione di forze e la simmetria è tipica delle strutture inorganiche. Quando un fattore esterno altera l'equilibrio interno al sistema, come succede nella crescita degli organismi viventi, questi devono riequilibrare la loro forma con piccoli cambiamenti che mantengono "inalterata" la forma dello gnomo.<sup>17</sup> In natura *"all changes are small changes. Though a transformation can have a large effect, it is always a relatively small step, and the newness of the new can never be appreciated right away."*<sup>18</sup>

Le forme dinamiche del design d'ispirazione organica contemporaneo sono ancora una volta il risultato della disponibilità di strumenti di rappresentazione adeguati, capaci di tradurre in forme i modelli matematici che interpretano i fenomeni naturali. La generazione digitale della forma procede in modo analogo alla crescita degli organismi e al processo evolutivo, un passo per volta per mantenere e ristabilire un equilibrio dinamico che garantisce la massima efficienza alla forma e manifesta la sua *concinntas* nell'*euritmia* del disegno.<sup>19</sup> Quest'ultima applica il senso dell'ordine che deriva dalla ripetitività modulare implicita negli aggregati cellulari e nella crescita organica. Nel piccolo essa applica i concetti basilari del disegno impliciti negli archetipi formali dedotti dall'osservazione naturale, che la tutta la trattatistica riconosce essere alla base delle

16. R. PENROSE, op. cit.

17. W. D'ARCY THOMPSON, 1917.

18. L. SPUYBROEK, p. 9.

19. Secondo G. Sempër, nelle sue creazioni l'uomo costruisce un mondo in miniatura che evoca la perfezione irraggiungibile delle meraviglie della natura, della quale intuisce le regole, e nel gioco creativo delle forme dell'ornamento soddisfa il suo istinto cosmogonico, frustrato dall'impossibilità di spiegare l'essenza profonda della realtà.

invenzioni umane, gli stessi che permettono di controllare il processo morfogenetico digitale.

La differenza principale rispetto al passato è lo spostamento dell'interesse dall'equilibrio statico che nasce dall'applicazione periodica delle simmetrie elementari delle grammatiche ornamentali ottocentesche, alla ricerca di dinamismo attraverso un cambiamento riconoscibile, graduale e continuo, del modulo base nella ripetitività del reticolo. "*Our language of patterning is based on similar principles of translation, reflection and rotation, though it can reach a higher level of complexity since there are no exact borders between figure and configuration. All figures have internal and external transformation that interact with effects like merging, hooking, crossing, sliding, opening, nesting.*"<sup>20</sup>

## Modelli

Secondo Gombrich il senso dell'ordine è una categoria innata e l'uomo si è costruito intorno un mondo di forme geometriche semplici. La nostra percezione coglie il contrasto tra ordine e disordine, leggendo la *regolarità* come indice di *intenzionalità*. Per conferire decoro, il disegno si configura in forme ordinate secondo leggi riconoscibili, legate a motivi scanditi dalla ripetizione uniforme di *pattern*, la cui natura modulare deriva da motivi originari dell'intreccio e della tessitura, che sono ripetitivi come conseguenza della loro stessa realizzazione.<sup>21</sup>

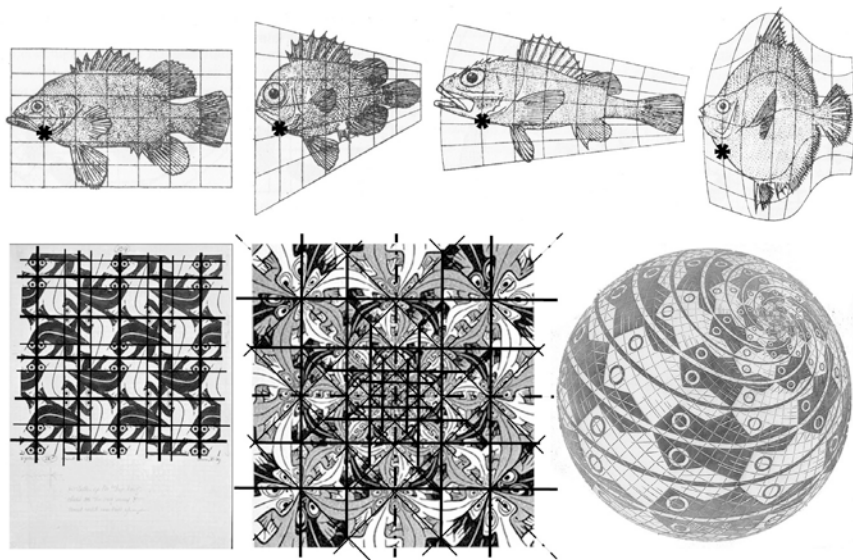
I *pattern* producono insieme di disegni ordinati, generati dalla ripetizione regolare di forme secondo schemi precostituiti ma variabili, basati sulle leggi della simmetria, che applicano movimenti rigidi elementari nel piano e nello spazio.

La logica combinatoria definisce il numero delle alterative che si possono ottenere con i movimenti rigidi delle simmetrie elementari (traslazione, riflessione, rotazione o rototraslazione): le successioni lineari su doppia linea produce 7 gruppi fregio, l'aggregazione bidimensionale sviluppa 17 gruppi piani (wallpaper); le conformazioni spaziali generano 230 differenti gruppi simmetrici nello spazio (gruppi cristallografici). I gruppi del piano sono stati applicati nelle decorazioni dei pavimenti, dei tessuti e delle carte da parati e le possibili combinazioni sono note da tempo memorabile e già gli egizi impiegavano tutti i gruppi del piano nelle decorazioni parietali e i matematici hanno proceduto alla loro classificazione rigo-

20. L. SPUYBROEK, p. 272

21. Cfr. E. GOMBRICH, 1979.





F05 | *M.C. Escher ha applicato le deformazioni omologiche delle forme che Thomson aveva individuato comparando la forma dei vertebrati a una graduale trasformazione del pattern modulare con un lento e minuzioso processo di disegno che anticipa gli algoritmi delle prime forme di computer graphic, introducendo il riferimento biologico alla trasformazione e alla crescita.*

rosa (fig. 1). La simmetria multipla che può essere osservata nelle aggregazioni conformazioni naturali delle strutture cristalline, negli organismi inferiori e nei vegetali.

Il modulo base, ripetuto secondo sequenze cicliche, individua una griglia di riferimento basata su reticoli semplici di forme elementari che si susseguono senza lasciare interstizi nella tassellazione del piano o dello spazio. Ne derivano sistemi additivi aperti, che applicano l'accostamento seriale periodico con ripetizioni cicliche indifferenziate. Tutte le tassellazioni periodiche del piano adottano griglie con maglie uguali quadrilatero o triangolari/esagonali, regolari o irregolari.<sup>22</sup>

.....

22. La composizione di tasselli derivati dalla scomposizione del pentagono regolare, con il quale non è possibile la copertura del piano senza interstizi, dardi e aquiloni produce invece tassellazioni aperiodiche come quelle brevettate da Penrose, presenti anche nei girih persiani del XVI secolo.

I sistemi chiusi applicano logiche di partizione connaturate alla forma, che possono avere un'organizzazione seriale o polare, nelle quali la disposizione gerarchica delle forme implica due fasi distinte e correlate: l'*inquadramento*, ovvero la definizione del dominio con un bordo (cornice) e il *riempimento*, ovvero l'organizzazione del campo definito dal dominio.

In tutti i motivi ornamentali si ritrovano motivi complessi costruiti su una struttura geometrica più semplice e spesso ripetitiva e la sovrapposizione di reticoli diversamente orientati può aumentare il grado di complessità del disegno, ma lo studio delle simmetrie è alla base di molte altre ricerche riferibili all'ambito progettuale del design o dell'architettura.

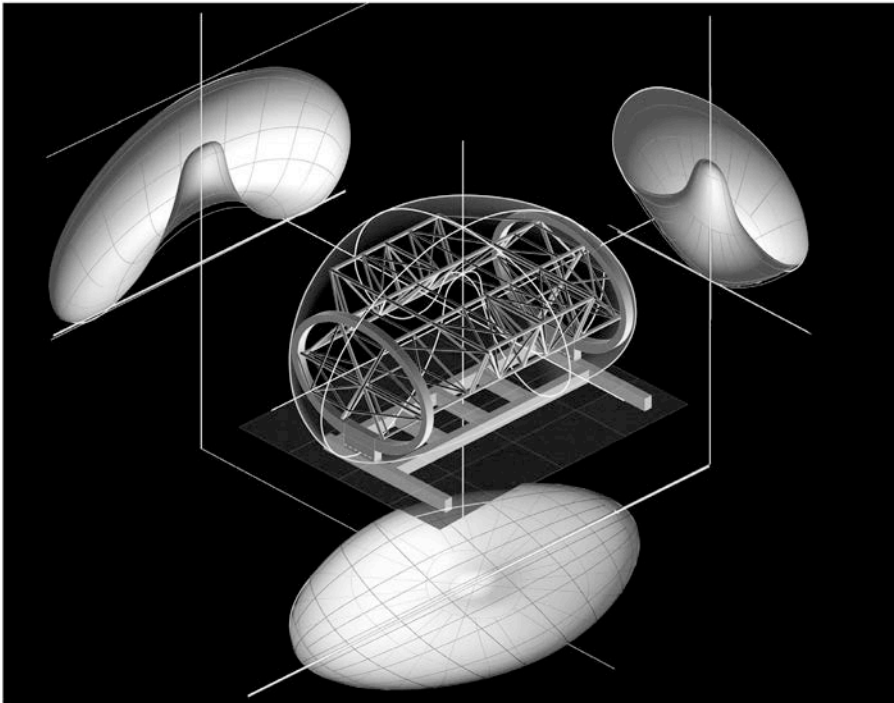
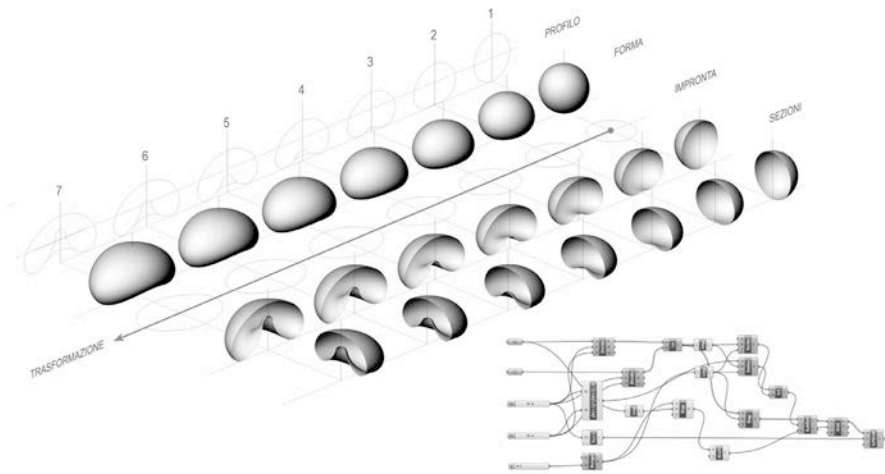
Con le avanguardie del XX secolo, il rifiuto dell'ornamento ha portato ad una riscoperta del valore di "riempimento" della geometria e le strutture elementari del disegno sono diventate un campo di sperimentazione grafica e "strutturale". Gli esempi più conosciuti sono quello di M.C. Escher (figg. 1-4-5) sulla tassellazione regolare del piano, da cui è partita la ricerca sulla trasformazione e la deformazione dei reticoli, e di R.B. Fuller sull'impacchettamento dei solidi regolari e sull'equilibrio "energetico" in un sistema chiuso.

I gruppi dello spazio hanno interessato i chimici e i cristallografi in relazione alla struttura geometrica della materia e alle simmetrie dei cristalli, che sono stati presi a modello da Buckminster Fuller, per studiare l'assestamento delle sfere e i reticoli tridimensionali in applicazioni costruttive e strutturali.<sup>23</sup> Questa ricerca lo ha portato al brevetto delle strutture "tensegrali" e geodetiche, e poi alla concezione della geometria sinergetica, presentata come la geometria del pensiero e dedicata a Coxeter "*Dr. Coxeter is the geometer of our bestirring twentieth century, the spontaneously acclaimed terrestrial curator of the historical inventory of the science of pattern analysis. I dedicate this work with particular esteem for him and in thanks to all the geometers of all time whose importance to humanity he epitomizes*".<sup>24</sup>

La scienza è nata dall'osservazione del mondo naturale e la natura è stata il primo modello per il progetto che deve esaudire i requisiti vitruviani di *firmitas*, *utilitas* e *venustas* nella *concinnitas* che deriva dall'*euritmia* delle parti in un disegno unitario. Nel mondo organico possiamo trovare i riferimenti di tutte quelle che sono le regole

23. I gruppi cristallografici hanno interessato in relazione all'impacchettamento e al rapporto che i reticoli spaziali più semplici potevano avere con l'aggregazione strutturale nelle costruzioni modulari delle strutture reticolari.

24. R.B. FULLER, 1975, pag. 7.



F06 | *Simulazione generativa del processo di definizione della forma e della tassellazione della superficie per la realizzazione delle lastre di rivestimento del Cloud Gate di Anish Kapoor a Chicago (disegno di G. Buratti).*

base del disegno. Gli equilibri naturali sono infatti un ottimo esempio di ottimizzazione del materiale sfruttando al meglio i requisiti geometrici delle forme. Il risultato non è solo quello dell'efficienza strutturale, ma anche di un disegno ordinato e armonioso capace di esprimere i concetti di *euritmia* e *concinnitas*, ovvero la bellezza implicita nella capacità di organizzare le parti nel tutto, in un sistema organico ed efficiente.

Dopo che D'Arcy Thompson ha dimostrato che la regolarità della natura era l'effetto della massima efficienza implicita nelle proprietà della geometria e che all'origine della vita sembra esserci una rottura dell'equilibrio asimmetrico e dinamico che consente la crescita dell'organismo, il concetto di equilibrio organico è stato sviluppato concretamente in termini costruttivi e strutturali innovativi dai progettisti del XX secolo. Il modello organico trova piena applicazione nelle trasformazioni topologiche del design contemporaneo, perché l'efficienza di calcolo della macchina permette di "disegnare", e quindi di controllare, le trasformazioni di un organismo in crescita. Gli algoritmi del disegno digitale applicano le simmetrie elementari e le regole della forma alla dimensione dinamica della crescita, con processi reiterati che creano strutture complesse che imitano i fenomeni naturali e l'organizzazione degli organismi viventi. Attraverso trasformazioni analogiche simili a quelle spiegate da D'Arcy Thompson, essi permettono di studiare, rappresentare e costruire in modo semplice forme matematicamente complesse con superfici organiche. (fig. 6)

Lo *scripting* richiede la conoscenza dei principi geometrici del disegno, solo così gli artefatti artificiali dell'uomo possono sperimentare le infinite possibilità di ordine.

Per infrangere le regole, bisogna conoscerle bene...

## uno (nessuno) centomila | moving prototypes

*The re-instatement of design thinking, drawing and making, in the wake of dynamic changes in shape and uniqueness offered by physical computing.*

Le sinergie tra la modellazione digitale con algoritmi morfogenetici reiterati e la diffusione di macchine da prototipazione capaci di trasformare direttamente i modelli virtuali in copie al vero, anticipano cambiamenti radicali nei processi produttivi, destinati a incidere prepotentemente sui metodi del progetto.

L'industria e il design, legati da un'inscindibile sorte comune, erano destinati a rendere obsoleta la figura dell'artigiano capace di creare oggetti uno per volta, da un disegno al vero, senza l'esigenza di un progetto preliminare, perché nel suo lavoro manuale fare e pensare coincidono. La dicotomia tra la fase ideativa e quella produttiva che caratterizza il processo industriale, ha relegato il disegno all'ambito del progetto, favorendo la progressiva scomparsa degli strumenti della sua esecuzione manuale, gli stessi che erano stati indispensabili al fare dell'artigiano. L'articolato processo progettuale che sottende la complessità di questa "rappresentazione", trova fondamento nella modellazione digitale parametrica, nella simulazione cinematica dei modelli, nella prototipazione rapida, e – quasi a chiudere il cerchio – nell'acquisizione digitale dei modelli sperimentali.

La progettazione parametrica è l'unica via per definire oggetti realmente responsivi, creando un chiaro collegamento di carattere dinamico fra eventi generatori, progetto e rappresentazione.

*Michela Rossi e Andrea Casale*

POLITECNICO DI MILANO



DIPARTIMENTO DI DESIGN

promosso da **Design Representation**,  
Dipartimento di Design

Giuseppe Amoruso  
Fausto Brevi  
Mauro Ceconello  
Gabriele Pierluisi  
Michela Rossi  
Michele Russo



€ 15,00

DESIGN

ARCHITETTURA  
INGEGNERIA  
SCIENZE