

Post-Industrial Robotics

Paradigmi progettuali della seconda era digitale

Angelo Figliola Sapienza Università di Roma, Dipartimento PDTA

angelo.figliola@uniroma1.it

Alessandra Battisti Sapienza Università Roma, Dipartimento PDTA

alessandra.battisti@uniroma1.it

L'introduzione dei robot e la diffusione della stampa 3D ha segnato l'inizio dell'era post-digitale in architettura che pone le sue radici nella combinazione tra computazione e fabbricazione digitale. La connessione bidirezionale tra il processo generativo e la fabbricazione digitale non implica un'evoluzione formale priva di relazioni logiche, bensì identifica la macchina come un agente attraverso il quale materializzare geometrie ottimizzate. Le potenzialità di questa metodologia vengono indagate rispetto a linee di ricerca che hanno in comune lo sviluppo di architetture informate attraverso un processo digitale che include la computazione morfogenetica, la ricerca materiale e metodi innovativi di fabbricazione digitale.

Computazione digitale, Fabbricazione robotica, Customizzazione, 3D printing, Material-fabrication-design

The introduction of robots and the spread of 3D print, marked the beginning of the post-digital era in architecture that puts its roots in the combination of digital computing and manufacturing. The bidirectional connection between the generative process and manufacturing does not imply a formal evolution without logical relationships, but they identify the machine as an agent through which materialize optimized geometries. The potentialities of this methodology are investigated over several research lines that share the development of processes related to the definition of informed architectures through a digital pathway that includes morphogenetic computation, material research and innovative digital fabrication techniques.

Digital computation, Robotic fabrication, Mass customization, 3D printing, Material-fabrication-design

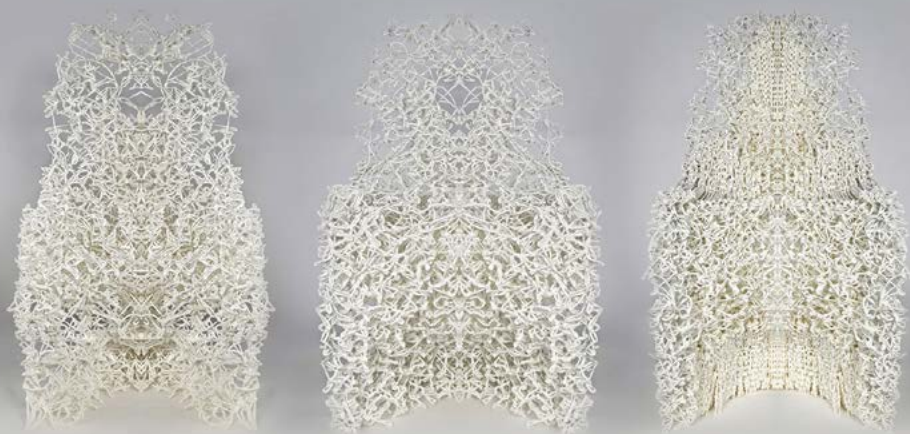
Informazione dei processi e fabbricazione digitale

La nascita del primo laboratorio di fabbricazione robotica nel 2005 presso l'ETH di Zurigo, sotto la direzione degli architetti *Gramazio & Kolher* (G&K), ha segnato un nuovo corso per la fabbricazione digitale in architettura introducendo paradigmi progettuali innovativi presto diventati capisaldi delle principali ricerche sui temi in questione (Gramazio et al., 2014, p. 106). Nel laboratorio di (G&K) la macchina generica di derivazione industriale diviene il mezzo in grado di trasformare i modelli virtuali in sistemi materiali attraverso la connessione diretta, bidirezionale, tra modello digitale e processo produttivo, convertendo il materiale da semplice ricettore passivo di forma a elemento generatore della stessa grazie a un processo digitale informato. Le potenzialità di questo percorso progettuale, radicalizzazione dei concetti di *file to factory* (Burry, 2012, p. 56) e *design to production* (Scheurer et al., 2009, p. 408), vengono indagate inerendo a diverse linee di ricerca che hanno come denominatore comune lo sviluppo di processi produttivi digitali che vanno dalla computazione morfogenetica, alla computazione materiale, fino ai più recenti metodi di fabbricazione digitale. In questo complesso scenario la computazione digitale svolge il ruolo fondamentale che attiene alla ricerca delle soluzioni progettuali, oltre che alla possibilità di concentrare, in un unico *workflow*, generazione formale, simulazione e fabbricazione, secondo una metodologia operativa che prevede la definizione di un meta-design attraverso il quale integrare i parametri geometrici, materiali e processuali di fabbricazione. Questo strumento operativo permette di definire le condizioni al contorno del *form searching* o *form finding* e al contempo i limiti del processo creativo ed esplorativo. Nell'era post-digitale, o seconda era digitale [1], la figura del designer muta radicalmente così come la divisione che per anni nel secolo scorso ha caratterizzato la divisione tra processo ideativo e realizzazione. Viene introdotta una competenza specifica quella del *Master Builders* (Carpo, 2014, p. 18), ovvero la figura in grado di sviluppare una sensibilità materiale, quella sensibilità che apparteneva alla manualità degli antichi artigiani che nella macchina trovavano una sorta di protesi corporea, il medium tra loro e la materia. Il ricorso odierno alle tecnologie di fabbricazione digitale estende e dilata questo concetto: il designer acquisisce e si identifica nel controllo dell'intero processo progettuale, dallo spazio virtuale a quello fisico. Nel *continuum digitale* (Kolarevic, 2003, pp. 9-12) tettonica e materiali non dipendono da convenzioni o standard tipologici ma sono il risultato di un processo in cui sensibilità umana e to-

ols definiscono i materiali che costituiscono la forma. Il controllo del processo diventa metonimia di un modello digitale capace di metabolizzare parametri relativi ai materiali, ai vincoli geometrici e agli strumenti utilizzati, stabilendo una nuova relazione tra designer e maker (Sheill, 2012, pp. 20-26), dove il continuum digitale diviene il luogo in cui le varie competenze trovano uno spazio di sintesi, nella figura del *Master Builders*. A tutto questo fanno da sfondo i robot, mezzi di connessione diretta tra mondo digitale e spazio reale, che elidendo l'astrazione dei processi stabiliscono i contorni di una nuova cultura digitale che prende le mosse dal senso estetico e materiale e dalla dimensione sociale e culturale. Questo approccio apre nuovi scenari in relazione all'utilizzo di materiali e di processi produttivi tradizionali e sperimentali, dall'esplorazione di concetti innovativi legati alla collaborazione uomo-macchina, all'introduzione della metodologia operativa per l'applicazione alla scala architettonica o per l'esplorazione di ambiti transdisciplinari. Per comprendere al meglio questo assetto di insieme la scelta dei casi studio è caduta nello spazio di intersezione tra le due discipline dell'architettura e del design; i progetti *Curvoxel* [2], *UCL Bartlett*, *GCODE.Clay* [3], *Emerging Objects e Robotic Softness* [4], *ICD Stuttgart, Institute for Computational Design*, generano una domanda di ricerca e di conoscenza basata su processi computazionali che impiegano algoritmi complessi e sull'utilizzo di tecnologie di fabbricazione digitale sperimentali che a loro volta costituiscono un driver di sviluppo per la materializzazione della complessità dello spazio digitale.

Materializzare la complessità: casi studio

Il progetto *CurveVoxel* indaga le potenzialità derivate dall'applicazione di tecniche computazionali e di fabbricazione innovative, *Robotic 3D printing*, per la realizzazione di strutture spaziali informate. Il tema della sperimentazione è rappresentato dall'esplorazione della tettonica del continuo mediante la reinterpretazione di una tipologia di complemento d'arredo, sedia a sbalzo o *S-Shaped Chair* [fig. 01]. Alla base della sperimentazione c'è la definizione di una struttura cellulare "informata" e materializzata attraverso un processo di stampa 3D antigravitazionale. La potenza di calcolo ha permesso di raggiungere un livello di dettaglio che arriva ai *pixel* [5] e di conseguenza al *voxel* [6]. Sul piano tecnico e progettuale attraverso la definizione di regole geometriche il processo computazionale è in grado di variare la risoluzione e la geometria della curva in relazione allo stress strutturale meccanico in modo tale da trasformare e differenziare la densità della maglia tri-



01

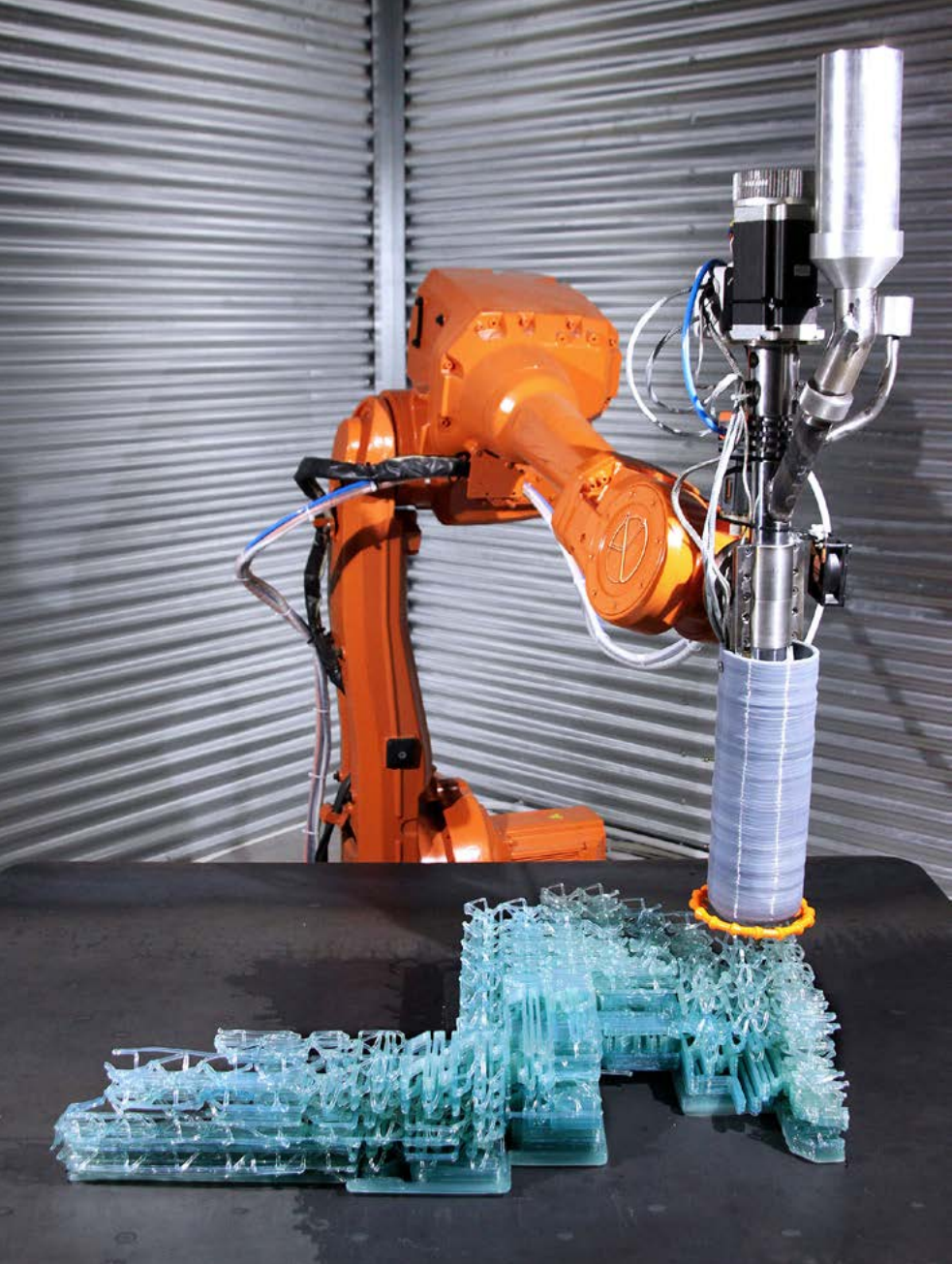
dimensionale rispetto a dati strutturali [fig. 02] (Garcia, Retsin, 2015, pp. 331-339). Per realizzare questa struttura adattiva, il codice lavora sulla definizione di tangenti e sui punti di controllo delle curve originate a partire dai *voxel* che rappresentano la prima discretizzazione della superficie. Il processo digitale informato dalle proprietà del materiale e del processo costruttivo permette così di genera-

01
CurveVoxel
Chair: prototipi informati da differenti codici evolutivi che variano la densità della struttura.
©Team
CurveVoxel

02



02
S-Shaped
Chair: struttura spaziale a elevata risoluzione.
©Team
CurveVoxel



03

03
*Robotic 3D Printing: customizzazione
del processo produttivo per la stampa
antigravitazionale. ©Team CurveVoxel*

re diverse soluzioni tettoniche al mutare degli input e delle performance che influenzano il sistema. Per materializzare la complessità dello spazio virtuale è stato necessario prototipare un *end-effector* per il braccio robotico attraverso il quale estrudere il polimero plastico nello spazio, x, y, z, e non esclusivamente sul piano x, y [fig. 03] sorpassando la logica dei layer. Il processo additivo antigravitazionale ha permesso l'estrusione continua della morfologia grazie alla messa a punto di un sistema di relazioni tra *tools*, materiale e parametri variabili, quali temperatura e velocità di estrusione. Nello specifico, l'esplorazione di strutture organiche, corpi fluidi e continui, sperimentano processi additivi in cui la logica di sovrapposizione lineare di *layer* viene superata mediante l'estrusione spaziale del materiale che lavora sulle tre dimensioni sfruttando le qualità del materiale e l'ottimizzazione strutturale.

Così come i polimeri termoplastici, anche l'impiego dell'argilla rappresenta un terreno fertile per sperimentazioni volte a combinare antiche tecniche di lavorazione manuale con tecnologie moderne. L'impiego di questo materiale tradizionale torna a occupare un ruolo importante nell'architettura e nel design in combinazione con le potenzialità offerte dal processo computazionale e dalla fabbricazione digitale. Una dimostrazione strategica in questo senso è data dal progetto *GCODE.Clay*, una ricerca condotta dallo studio di architettura *Rael San Fratello Architects* che si compone di due fasi principali: il processo computazionale, per la generazione delle morfologie e il trasferimento delle stesse alla stampante 3D, e la produzione dei componenti che avviene facendo uso di diversi tipi di argilla. All'interno del processo generativo, gli architetti hanno programmato una serie di imperfezioni, "errori controllati", per smorzare ed evitare la perfezione della stampa 3D, un errore programmato a rappresentare la sfida alla macchina e al tempo stesso capace di ricreare un processo di produzione artigianale attraverso un codice digitale. Il risultato di questa sperimentazione è una serie di oggetti ceramici dalle spiccate qualità espressive ottenute attraverso i pattern generati sulle superfici, in relazione al loro rapporto con la luce, le ombre e il tatto [fig. 04].

Se da un lato si stanno facendo studi e indagini finalizzate allo sviluppo di soluzioni formali uniche attraverso processi di *Additive Manufacturing* [fig. 05], dall'altro assistiamo alla materializzare di morfologie complesse quali risultato dell'applicazione di codici evolutivi altrimenti irrealizzabili con i metodi di produzione tradizionali. In questa direzione si muove il caso studio *Robotic Softness* (RS) (Brugnaro et al., 2016, pp. 154-163) sviluppando un sistema di relazioni, *feedback loop*, che regola la generazione formale

rispetto a parametri performativi individuati grazie a un processo produttivo customizzato e altamente specializzato. Il processo parte dallo studio del fenomeno naturale del *nesting*, tipiche strutture intrecciate utilizzate come nidi dai volatili, analizzandone e comprendendone le logiche che ne regolano la formazione. Rispetto agli altri casi proposti, RS introduce un nuovo concetto che fa riferimento a sistemi *soft* caratterizzati da una relazione non-lineare, basata su *feedback* continui sia alla scala globale che locale [fig. 06]. Così come nel mondo dei volatili la formazione dell'intreccio viene guidata da performance ambientali e strutturali, il processo digitale e produttivo viene informato alla scala globale da parametri di valutazione quali permeabilità della luce, densità e spessori dei filamenti, e alla scala locale da parametri geometrici grazie all'utilizzo di un sensore *kinect* in grado di restituire in *real-time* i dati provenienti dallo spazio fisico [fig. 07]. Attraverso quest'interazione tra mondo digitale e fisico,

04



04

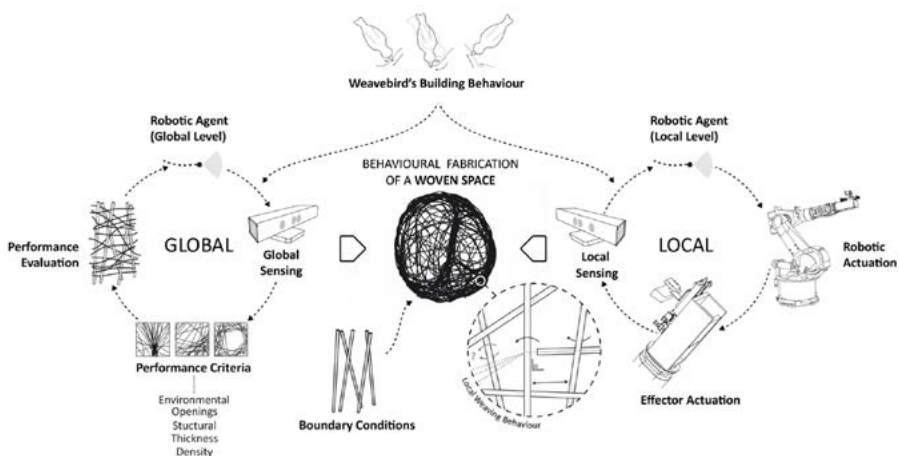
GCODE.Clay: serie di oggetti ceramici dalle spiccate qualità espressive testimoniate dai pattern generati sulle superfici.
© Emerging Objects

05



05

Processo di stampa 3D con materiale ceramico e creazione dell'errore controllato.
© Angelo Figliola



06

il robot può essere considerato un “agente” in grado di mediare le performance alla scala globale e i parametri geometrici alla scala locale in un processo che definisce solo le condizioni di contorno e le regole generali entro le quali muoversi senza definire la morfologia finale del prodotto [fig. 08].

Per sviluppare il prototipo è stato impiegato un *end effector* specializzato per registrare l'azione progettuale rispetto alle condizioni del sistema locale e al materiale utilizzato. In questo ambito assumono particolare importanza i sistemi robotici *Agent Based* che permettono di adattare il modello virtuale alla materializzazione dello stesso in relazione a dati ottenuti in tempo reale. Grazie a questa metodologia operativa un antico metodo di lavorazione dei materiali come il *weaving* e un materiale antico come il legno, vengono reinterpretati attraverso la fusione tra modello digitale e ambiente fisico proprio come accade nella formazione dei sistemi naturali [fig. 09]. La realizzazione di un *end effector* customizzato e la presenza di un sistema di sensori introduce il concetto di *cyber-physical making* (Menges, 2015, p. 30) rappresentano un nodo fondamentale per l'applicazione di strategie di interazione con l'ambiente fisico in uno stato di *feedback loop* tra mondo reale e virtuale. Il caso studio analizzato introduce una nuova metodologia operativa in cui la materia è in continua trasformazione e il suo comportamento responsivo viene regolato da feedback in *real-time* con l'ambiente fisico. Grazie a questa metodologia operativa un antico metodo di lavorazione dei materiali come

06
Diagramma
del processo
progettuale:
sistema di
relazioni
feedback loop
alla scala locale
e globale.
© Giulio
Brugnaro

il *weaving* e un materiale antico come il legno vengono reinterpretati attraverso la fusione tra modello digitale e ambiente fisico proprio come accade nella formazione dei sistemi naturali.

Nuovi paradigmi progettuali dell'era post-digitale

L'ambito indagato attraverso l'analisi dei casi studio dei processi e della fabbricazione digitale ha messo in evidenza nuovi paradigmi progettuali che possono essere riassunti come segue:

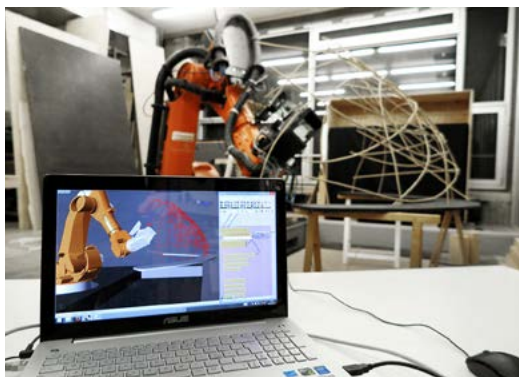
- l'informazione del processo progettuale garantisce configurazioni morfologiche ottimizzate in relazione a parametri performativi utilizzati come input nella fase *early stage*;
- la strategia *data-driven* racchiude in un unico *workflow* i parametri geometrici e la simulazione e l'analisi delle performance;
- il processo di ottimizzazione costituisce uno strumento di esplorazione della relazione tra parametri geometrici e analisi delle performance;
- la relazione progetto-materiali-fabbricazione consente di rafforzare la connessione tra struttura e materiale nei limiti delle logiche di fabbricazione utilizzate;
- l'inclusione di parametri funzionali alla fabbricazione degli elementi permette di assicurare l'effettiva producibilità;
- le tecnologie di fabbricazione digitale indagate consentono di reintrodurre nel dibattito architettonico contemporaneo materiali tradizionali;
- i metodi di fabbricazioni analizzati riescono a ottimizzare l'uso o il risparmio del materiale in relazione all'informazione del processo.

Sino a pochi anni fa i *driver* dell'evoluzione della robotica si muovevano nel campo dell'automazione dei processi finalizzata all'ottimizzazione della quantità di prodotto. Oggi l'esplorazione si orienta su livelli prestazionali di qualità e creatività basati su codici formali evolutivi informati da parametri performativi che possono essere ricondotti a *pattern* geometrici variabili, sulla tassellatura e popolazione di superfici complesse mediante moduli performativi, sulla distribuzione informata del materiale in base all'analisi delle linee di stress e pattern strutturali.

Post-industrial robotics: manifesto

Post-industrial robotics propone una metodologia operativa per architetture informate, mediante una strategia che coniughi computazione digitale, sperimentazione materiale e processi produttivi innovativi.

07



07

Robotic Agent Based System permette di adattare il modello virtuale ai dati ottenuti in tempo reale.
© Giulio Brugnaro

08

Sistemi di relazioni
Feedback loop: iterazione tra spazio digitale e fisico mediante l'impiego di sensori.
© Giulio Brugnaro

Post-industrial robotics lavora sui limiti del concetto di *design-to-production* attraverso la connessione bidirezionale tra computazionale e fabbricazione digitale.

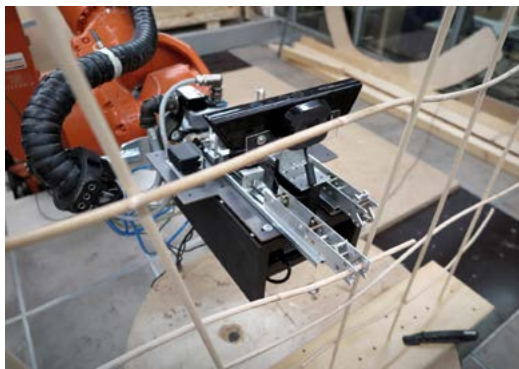
Post-industrial robotics si fonda sull'iterazione tra robot e creatività progettuale.

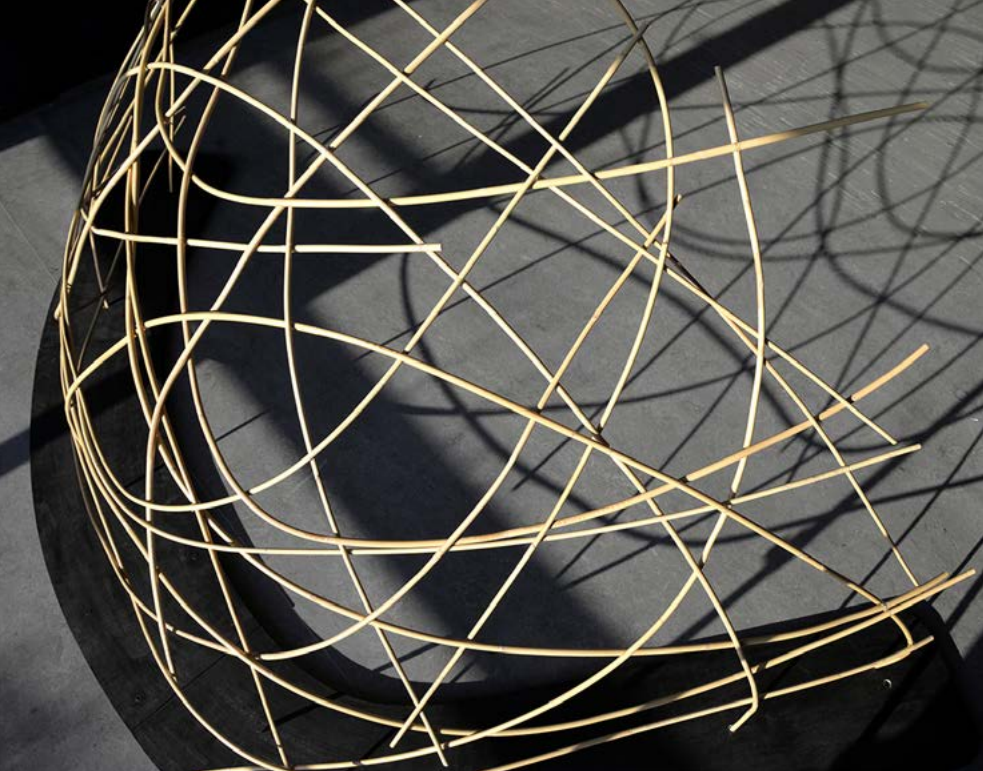
Post-industrial robotics prevede un approccio collaborativo e interdisciplinare per individuare e delineare strategie e *tools* per l'architettura e il design nell'era post-digitale. Il concetto chiave è transdisciplinarietà.

Post-industrial robotics predilige la creatività rispetto all'automazione dei processi, antepone criteri quali intensità, bellezza e sostenibilità a valori industriali, come automazione e accelerazione.

Post-industrial robotics dà impulso all'esplorazione di nuovi materiali e metodi produttivi sperimentali. Allo stesso modo promuove l'attualizzazione di materiali e metodi produttivi tradizionali attraverso le nuove tecnologie.

08





09

Post-industrial robotics favorisce la ricerca di nuovi codici formali per architetture informate, sostenibili e ottimizzate; *Post-industrial robotics* sostiene la sperimentazione al fine di colmare il gap tra ricerca e mondo industriale, per l'innovazione di prodotto.

Post-industrial robotics propone di innovare i processi industriali nell'era della quarta rivoluzione industriale introducendo concetti quali produzione collaborativa, iterazione uomo-macchina-materiale e *feedback loop*.

09
Woven Space:
prototipo finale
del nesting.
© Giulio
Brugnaro

NOTE

[1] Per ulteriori dettagli consultare: Mario Carpo, *The Second Digital Turn*, Boston, MIT Press, 2017, pp. 240.

[2] Per ulteriori dettagli consultare: <http://www.curvoxels.com/about> [12 Luglio 2017]. Design: Team CurVoxels; Tutor: Garcia, M.J., Retsin, G., Vicente, S.S., Research Cluster 4, UCL Bartlett.

[3] Per ulteriori dettagli consultare: <http://www.emergingobjects.com/project/gcode-clay/> [12 Luglio 2017].

[4] Per ulteriori dettagli consultare: <http://icd.uni-stuttgart.de/?p=15521> [12 Luglio 2017]. Design: Giulio Brugnaro; Tutor: Prof. A. Menges, E. Bahariou, L. Vasey.

[5] Un *pixel* nella computer grafica indica ciascuno degli elementi puntiformi che compongono la rappresentazione di un'immagine raster digitale.

[6] Un *voxel* è un elemento di volume che rappresenta un valore di intensità di segnale o di colore in uno spazio tridimensionale.

REFERENCES

Kolarevic Branko, *Architecture in the digital age. Design and manufacturing*, New York, Spon Press, **2003**, pp. 444.

Scheurer Fabio, Schindler Christoph, Braach Markus, "From Design to Production: Three Complex Structures Materialised in Wood", pp. 403-413 in *Proceedings of 8th International Conference Generative Art 2005* (Politecnico di Milano, 2005), **2005**, pp. 572.

Burry Mark, "Models, Prototypes and Archetypes", pp. 42-58, in Sheil Bob, *Manufacturing the bespoke*, AD Reader, Wiley, London, **2012**, pp. 280.

Sheil Bob, *Manufacturing the Bespoke*, AD Reader, United Kingdom, John Wiley and Sons, **2012**, pp. 280.

Carpo Mario, "Mario Carpo in conversation with Matthias Kohler", pp. 12-21, in Gramazio Fabio, Kohler Mathias, Langenberg Silke, *Fabricate: Negotiating Design & Making*, Zurich, Gta-Verl, **2014**, pp. 316.

Gramazio Fabio, Kohler Mathias, Willmann Jan, *The robotic touch: how Robots change architecture*, London, Park Books, **2014**, pp. 490.

Garcia Manuel Jimenez, Retsin Gilles, "Design Methods for Large Scale Printing", pp. 331-339, in *Proceedings of eCAADe 33rd Annual Conference, Real-Time* (Tu Wien, 2015), **2015**, pp. 731.

Menges Achim, *Material synthesis: fusing the physical and the computational*, Architectural Design Profile, London, Wiley, **2015**, pp. 136.

Brugnaro Giulio, Baharlou Ehsan, Vasey Lauren, Menges Achim, "Robotic Softness", pp. 154-163, in *Proceedings of ACADIA 2016, Posthuman Frontiers: Data, Designer, and Cognitive Machines* (University of Michigan Taubman College, 2016), **2016**, pp. 324.