

Essays & Viewpoint

architecture

IL RUOLO DELLA DIDATTICA NELL'ERA POST-DIGITALE

THE ROLE OF DIDACTICS IN THE POST-DIGITAL AGE

Angelo Figliola*

ABSTRACT

La nascita del primo laboratorio di fabbricazione robotica nel 2005 presso la scuola Politecnica Federale di Zurigo ETH con la direzione di F. Gramazio e M. Kolher ha segnato un nuovo corso per la fabbricazione digitale in architettura. Le potenzialità di questa metodologia progettuale vengono indagate rispetto a diverse linee di ricerca che hanno in comune lo sviluppo di processi legati alla definizione di architetture informate. Uno degli aspetti cruciali è relativo alla didattica, fondamentale per maturare e strutturare le competenze necessarie che dovrebbero possedere i futuri operatori per consentire la diffusione della tematica nella pratica architettonica-esecutiva.

The birth of the first robotic manufacturing laboratory in 2005 at the Federal Polytechnic School of Zurich, ETH, under the direction of F. Gramazio and M. Kolher marked a new course for digital architecture manufacturing. The potentialities of this design methodology are investigated with respect to different lines of research that have in common the development of processes related to the definition of informed architectures. One of the crucial aspects is related to teaching, which is fundamental for developing and structuring the necessary skills that future operators should possess to allow the dissemination of the theme in architectural and executive practice.

KEYWORDS

post-digitale, innovazione tecnologica, computazione digitale, fabbricazione digitale, master builders.

post-digital, technological innovation, digital computing, digital fabrication, master builders.

La nascita del primo laboratorio di fabbricazione robotica nel 2005 presso la scuola Politecnica Federale di Zurigo, ETH, ha segnato un nuovo corso per la fabbricazione digitale in architettura introducendo nuovi paradigmi progettuali presto diventati capisaldi delle principali ricerche dell'era post-digitale (Fig. 1). La macchina generica di derivazione industriale diviene uno strumento progettuale in grado di trasformare i modelli virtuali in sistemi materiali attraverso una connessione diretta tra modello digitale e processo produttivo. Le potenzialità di questa metodologia progettuale, estensione del concetto di file-to-factory, vengono indagate rispetto a diverse linee di ricerca che hanno in comune lo sviluppo di processi legati alla definizione di architetture informate attraverso un processo digitale che include generazione formale, simulazione di fenomeni dinamici e fabbricazione (Fig. 2). La produzione architettonica contemporanea evidenzia come la progettazione di sistemi tecnologici informati abbia già trovato un terreno fertile di sperimentazione nella collaborazione tra l'accademia e le industrie del settore. Ad oggi, superata una prima fase di studio e di messa a punto dell'apparato teorico e strumentale, la ricerca ha raggiunto una maturità tale da consentire il passaggio dalla fase di prototipazione a quella di costruzione.

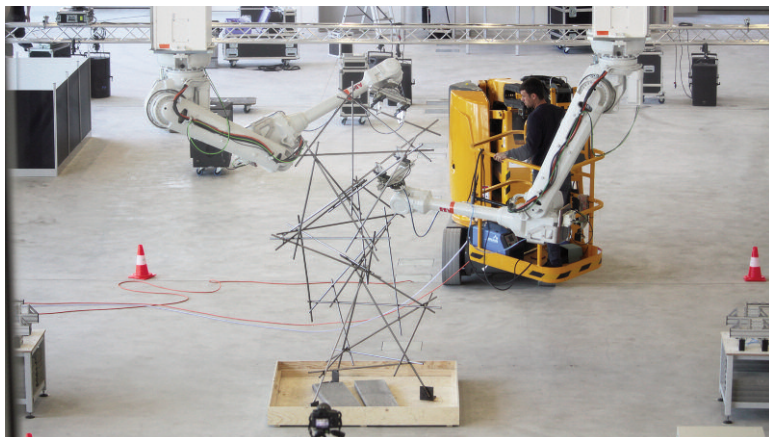
La definitiva applicazione di queste tecnologie nella pratica professionale e architettonica-esecutiva passa attraverso tre aspetti: a) la comprensione della mass-customization dei sistemi tecnologici in relazione ai parametri performativi che guidano il processo progettuale (Fig. 3); b) il consolidamento del rapporto con l'industria del settore per una nuova visione dei processi di produzione automatizzati; c) la formazione specialistica degli operatori, 'master builders', per intercettare le innovazioni dell'era post-digitale (Fig. 4).

Uno degli aspetti che concorre alla formazione degli strumenti attraverso cui l'applicazione di tali tecnologie potrebbe divenire di uso comune è relativo alla didattica, fondamentale per maturare e strutturare le competenze necessarie che dovrebbero possedere i futuri operatori per consentire la diffusione all'interno del mercato di riferimento della metodologia operativa proposta e degli strumenti necessari per la sua applicazione. A riguardo, è necessario far sì che le tematiche in oggetto, architettura performativa e processo 'da-

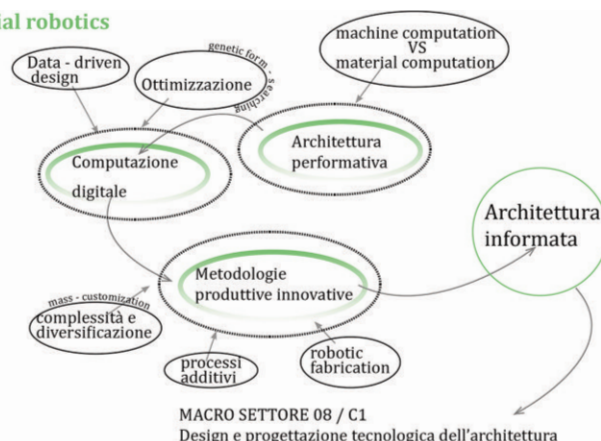
ta-driven', 'digital materiality' e fabbricazione digitale, non siano relegate all'interno di un percorso formativo specialistico di secondo livello¹ ma bensì diventino parte integrante dei programmi formativi a partire dal primo ciclo di formazione universitaria per arrivare a «una organizzazione professionale complessa dotata di quegli indispensabili strumenti per capire il mutare del contesto» (Paoletti, 2006).

La maturazione di competenze necessarie per affrontare problematiche complesse e avanzate relative alla progettazione e alla seguente fase tecnologica e costruttiva, passa per una formazione graduale che permette di recepire e metabolizzare teorie e strumenti innovativi a partire dal primo livello di istruzione universitario in coesistenza con le materie classiche che contraddistinguono il curriculum di Tecnologia dell'Architettura. Riferimento pratico di questo approccio è quello del Massachusetts Institute of Technology, MIT, che nel 2016 ha presentato all'interno dell'offerta formativa di base tre corsi in grado di sensibilizzare gli studenti rispetto a delle grandi macro-categorie: processo data-driven, fabbricazione digitale e design interattivo. I corsi Information Design, Design Thinking Through Making e Design Objects (Fig. 5) introducono teorie e strumenti che delineano una modalità di pensiero innovativa e transdisciplinare in grado di intercettare una richiesta mutevole del mercato di settore. All'interno di questo percorso formativo la parte teorica acquisisce un peso equivalente, se non superiore, rispetto a quello strumentale relativo alla conoscenza di *software* specifici e di protocolli di comunicazione per i processi di fabbricazione digitale.

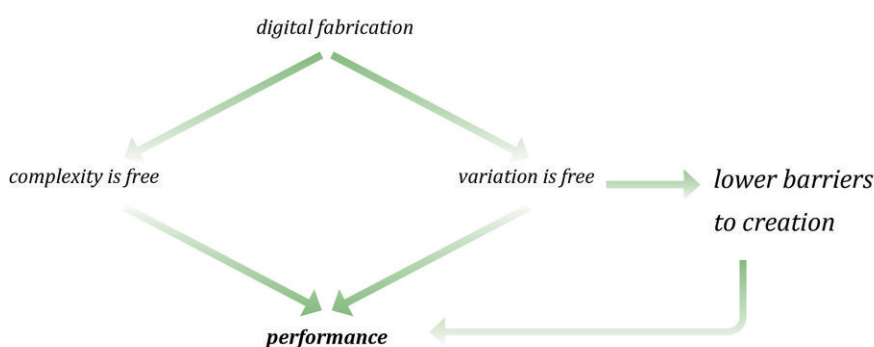
Il secondo aspetto alla base del processo di trasferimento tecnologico sta nel consolidamento del rapporto con le industrie che operano nel settore delle costruzioni. La capacità di realizzare una connessione tra laboratori di ricerca e mondo professionale attraverso la scalabilità dei processi, è direttamente connessa al rapporto che viene instaurato con le industrie del settore. Le ricerche condotte dall'ETH di Zurigo, dall'Università di Harvard piuttosto che dall'Institute for Computational Design (ICD) di Stoccarda sono il risultato di collaborazioni e partnership con industrie operanti nel settore che permettono di avere le risorse economiche e strumentali necessarie per il corretto svolgimento delle attività scientifiche di



Post - industrial robotics



Digital fabrication in architettura



Master Builders

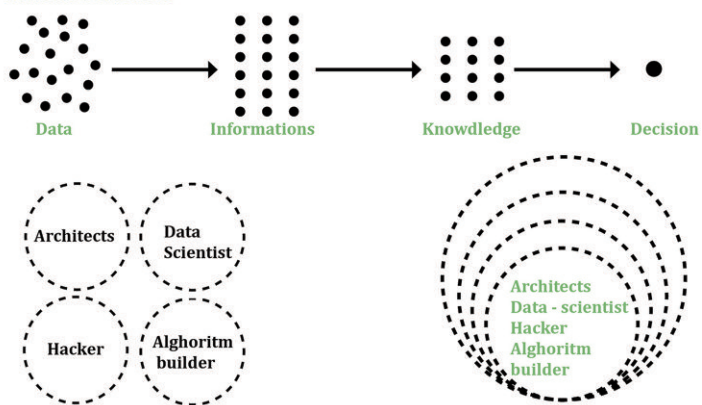


Fig. 1 - Robotic manufacturing laboratory of the Federal Polytechnic School of Zurich, ETH (A. Quartara).

Fig. 2-4 - Designing in the post-digital era; Digital fabrication as a tool to break down creative barriers with respect to complexity and customization; Architect as Master Builders for the management of complex design processes (A. Figliola).

ricerca e, allo stesso tempo, implementare il *know-how* per sperimentare codici formali e processi produttivi innovativi.

Strumenti della didattica post-digitale – La didattica post-digitale non è orientata unicamente alla formazione di figure specialistiche in grado di utilizzare *software* innovativi e controllare processi di fabbricazione digitale ma vuole fornire gli strumenti teorici necessari allo sviluppo di una metodologia operativa che prevede la scomposizione del problema progettuale in fasi consequenziali, un rinnovata sensibilità materiale e una conoscenza del processo di fabbricazione adottato.

Il primo aspetto teorico e strumentale che dovrebbe essere parte del percorso di formazione sulla tematica riguarda il computational design (thinking): la computazione digitale² e il computational thinking, costituiscono gli elementi chiave delle linee di sperimentazione post-digitale, come grande contenitore attraverso il quale tutte le competenze coinvolte nel processo progettuale vengono strutturate sotto forma di dati. Alla conoscenza dei programmi avanzati di modellazione algoritmica deve corrispondere l'insegnamento e la divulgazione di un pensiero computazionale che guida lo studente nell'approccio al problema e nella sua scomposizione per parti al fine di strutturare i dati in maniera coerente e propedeutica alla loro elaborazione e ottimizzazione. Il processo computazionale 'data-driven' rappresenta il momento di sintesi tra diverse competenze disciplinari nel nome di un'intelligenza collettiva basata sull'Informaton Technology (IT); l'informazio-

ne del processo stabilisce una connessione tra attori e fasi progettuali comunemente distinti e assume un peso ancora maggiore se collegato alle teorie sull'evoluzione della forma, morfogenetica, come risultato sugli studi sulla 'gestalt', forma, e 'bildung' formazione, e all'ottimizzazione delle performance (Fig. 6).

Alle teorie sul pensiero computazionale va affiancato l'insegnamento di programmi attraverso i quali gestire i processi progettuali, la simulazione dinamica e i protocolli di fabbricazione digitale. La conoscenza di software parametrici è una condizione essenziale per il controllo dell'intera filiera progettuale e per l'informazione dello stesso, ma non sufficiente se non coadiuvata da un'idea progettuale e da una modalità di sintetizzarla idonea per essere gestita mediante modelli computazionali. A riguardo, l'introduzione nel percorso formativo dell'insegnamento di strumenti di progettazione parametrica permette di fornire agli studenti un tool attraverso il quale organizzare il processo progettuale secondo una gerarchia di dati basata sull'associazione e interrelazione degli stessi e, inoltre, consente agli stessi di simulare e analizzare l'azione di forze che guidano i processi di generazione formale, evitando la costruzione di modelli analogici complessi e time consuming.

Nell'interpretare l'architettura come elemento di mediazione tra i complessi sistemi interni ed esterni, la simulazione rappresenta uno strumento importante nell'analisi quantitativa dei parametri performativi oltre che fornire un supporto strumentale al progettista al fine di implementare il processo creativo. Rispetto al tradizionale approc-

cio all'architettura performance-based, la computazione digitale consente di relazionare i dati geometrici a valori quantitativi, risultato delle analisi, per guidare il processo di generazione formale. A tal proposito, il discente deve avere una conoscenza di base per quello che riguarda i fenomeni basilari della fisica tecnica dell'edificio e del comportamento strutturale attraverso la quale poter leggere correttamente il risultato delle analisi condotte ed eventualmente elaborare processi complessi di ottimizzazione euristica e genetica. Percorsi didattici sulla tematica sono da sempre presenti nell'offerta formativa post-laurea delle più importanti università internazionali (Nagakura, 1998; Terzidis, 2002; Celani, 2004; Duarte, 2007) mentre solo in alcuni casi nella formazione universitaria di primo livello (Varinlioglu et al., 2016) e pur sempre limitati alla creazione di un modello digitale attraverso il quale sperimentare soluzioni compositive e spaziali organiche e complesse.

L'elemento innovativo della didattica post-digitale è rappresentato dalla connessione diretta tra il processo progettuale di generazione formale e quello produttivo di fabbricazione digitale, in particolare tra geometria, sistema materiale e fabbricazione, definito grazie all'informazione del processo computazionale che incrementa le relazioni tettoniche tra struttura e materiale nei limiti delle logiche di fabbricazione adottate (Fig. 7). Questa connessione tra le due fasi della progettazione introduce un nuovo aspetto legato alla didattica post-digitale che può essere definito come 'Critical Making' (Ratto, 2011): la catena digitale, il flusso continuo di informazioni tra il design e la

produzione, acquisisce una rilevanza fondamentale nel controllo e nella gestione delle forme digitali per avviare il successivo processo di materializzazione. La separazione rinascimentale tra lavoro manuale e intellettuale, tra processo ideativo e costruttivo (Campioli, 2005) viene meno a favore di una cultura del fare. Il processo astratto ed esplicito perlopiù orientato alla progettazione e produzione di uno specifico prodotto o di una specifica forma finale, che caratterizza l'approccio metodologico classico, si evolve in maniera pratica e materiale ponendo l'attenzione sul processo piuttosto che sul risultato finale.

La manipolazione del materiale, i test necessari per definire le sue potenzialità e le sue criticità, l'analisi del suo comportamento strutturale divengono parte integrante del processo progettuale in un'ottica di 'learning by doing', ovvero imparare attraverso l'atto del fare che, in chiave post-digitale, si evolve in 'learning by digital fabrication' (Özkar, 2007). Il processo non è nuovo alla didattica: il Bauhaus ha messo i suoi laboratori al centro dell'attività didattica e pedagogica, come luogo di ricerca nei quali sperimentare attraverso la pratica, affinando il prodotto e soprattutto il processo progettuale. Rispetto al passato, la sperimentazione materiale post-digitale si arricchisce di un nuovo layer di complessità caratterizzato dall'impiego di strumenti innovativi di fabbricazione digitale come robot e 3D printer: mediante l'impiego di questi nuovi strumenti è possibile sperimentare una rinnovata sensibilità materiale, che passa dalla customizzazione dei tools e dei processi produttivi, attraverso la quale esplorare codici formali evolutivi e una nuova tettonica informata da parametri performativi oggettivamente misurabili (e.g. performance strutturali, energetico-ambientali). In relazione ai processi di file-to-factory (Burry, 2012), quello che cambia è il rapporto diretto con gli strumenti di fabbricazione digitale in grado di condividere e occupare lo stesso spazio del progettista oltre che diventare estensione dello stesso nello spazio di lavoro (Carpo, 2014). La produzione non è più unicamente l'ultimo step del processo progettuale ma diviene una delle competenze del progettista che può trasformarla da vincolo a opportunità, espandendo il range delle possibilità progettuali.

Learning by doing – La didattica post-digitale deve prevedere una serie di passaggi innovativi e interdisciplinari: il primo di questi riguarda l'istituzione di laboratori di ricerca e il relativo investimento nell'acquisto di strumenti necessari per i processi di fabbricazione mentre il secondo interessa la conoscenza delle macchine, dei protocolli di comunicazione e di tutti gli aspetti tecnici che influiscono sul loro utilizzo. La dotazione di base è costituita da tools per lavorazioni manuali, stampanti 3D di varie dimensioni, macchine a taglio laser, CNC machine mentre un equipaggiamento avanzato prevede l'acquisto di robot di medie e grandi dimensioni. Se nel panorama italiano, solo il Politecnico di Milano³ è dotato di robot per processi di fabbricazione digitale (Fig. 8), le maggiori università internazionali sono dotate di laboratori avanzati, in cui robot condividono lo spazio con gli studenti all'interno di processi collaborativi e sperimentali (Fig. 9).

La presenza di un apparato strumentale adeguato costituisce la condizione fondamentale per

poter lavorare alla scala 1:1 (Figg. 10, 11) e materializzare il processo digitale. Infatti, uno degli obiettivi della formazione post-digitale è il rinnovamento di una cultura del fare che implica la conoscenza dei materiali impiegati e delle loro proprietà meccaniche e fisiche e degli strumenti e dei metodi di produzione adottati. Lo spazio ibrido di iterazione tra designer e strumenti di computazione e fabbricazione digitale viene contaminato da altri ambiti disciplinari nell'intento di indagare nuovi metodi di fabbricazione ma anche di stimolare la creatività attraverso un fecondo processo di collaborazione tra vari settori disciplinari. L'interdisciplinarietà è uno dei criteri che deve caratterizzare un percorso didattico che si pone come obiettivo quello di intercettare competenze diversificate che vanno dall'architettura, all'ingegneria fino alla biologia e alla mecatronica.

Per esplorare l'impatto dell'uso dei dati nella progettazione di architetture performative è necessario adottare un approccio multidisciplinare attraverso il quale diverse competenze collaborano al fine di visualizzare, modellare e interpretare i dati necessari per prendere decisioni e quindi generare soluzioni progettuali. Nelle università italiane, un primo livello di integrazione è stato raggiunto attraverso l'istituzione di laboratori integrati in cui il progetto costituisce la sintesi tra i vari apporti disciplinari; un ulteriore passo in avanti potrebbe essere rappresentato dall'istituzione di laboratori integrati transdisciplinari e dal carattere sperimentale per verificare come gli studenti recepiscono l'innovazione del modello didattico proposto (Fig. 12). In sintesi, i criteri fondamentali per strutturare un percorso didattico post-digitale possono essere riassunti come segue:

- l'inserimento di moduli relativi alla computazione e alla fabbricazione digitale nei programmi didattici a partire dal primo ciclo di formazione universitaria;
- integrare l'insegnamento di programmi parametrici con quello di discipline di natura scientifica per favorire una consapevole lettura dei dati risultate dalle analisi, necessaria per impostare il meta-progetto ed eventuali processi di ottimizzazione;
- strutturare laboratori di fabbricazione digitale con una dotazione strumentale adeguata e collegarli alla didattica attraverso moduli di progettazione integrata;
- prevedere già nel triennio un laboratorio di pro-

gettazione integrata e interdisciplinare che prevede lo sviluppo di un workflow digitale che termina con la realizzazione di un prototipo;

- promuovere il lavoro 'in scala', ovvero promuovere lo studio di soluzioni tecnologiche attraverso la costruzione di modelli che permettono una valutazione diretta dei parametri prestazionali;
- promuovere la collaborazione con le industrie, condividere il know-how per individuare gli aspetti da potenziare e innovare.

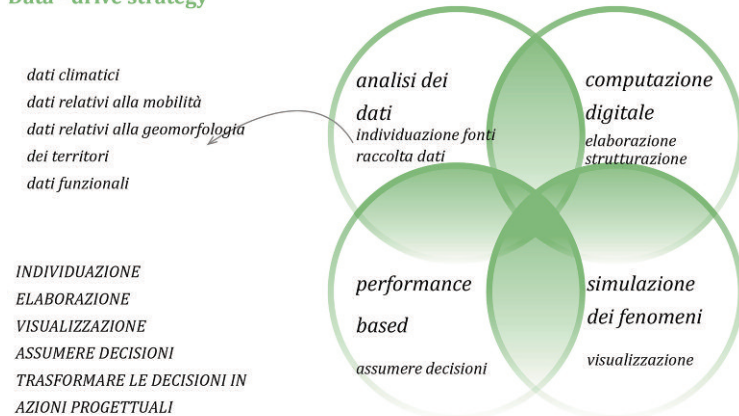
Risultati attesi in relazione a figure professionali emergenti – La didattica così strutturata, si pone come obiettivo lo sviluppo da parte dei futuri operatori del settore di una consapevolezza tecnologica rinnovata rispetto alla costante evoluzione di materiali e delle tecnologie costruttive, come volontà di comprendere i cambiamenti in atto per misurare e verificare l'incidenza degli stessi sull'ambiente costruito (Claudi De Saint Mihiel, 2005). All'interno di uno scenario post-digitale (Fig. 13), la figura del designer muta radicalmente così come la divisione persistente tra l'idea e la costruzione: la figura dell'Information Master Builder mette in risalto la figura dell'architetto che, grazie all'evoluzione del rapporto CAD / CAM, acquisisce la capacità di gestire il processo produttivo attraverso la costruzione di un modello digitale algoritmico.

La metodologia proposta introduce una nuova specifica alla figura del Master Builders: la capacità di sviluppare una sensibilità materiale che appartiene alla manualità degli antichi artigiani attraverso il medium della macchina. Il ricorso alle nuove tecnologie di fabbricazione digitale estende questo concetto: l'architetto acquisisce il controllo dell'intero processo progettuale, dalla generazione formale fino alla costruzione, dallo spazio virtuale a quello fisico. Nel continuum digitale, tettonica e materiali non dipendono da convenzioni o standard tipologici e sono il risultato di un processo in cui i tools definiscono i materiali che costituiscono la forma, e non viceversa. Il controllo del processo si materializza nella costruzione di un modello digitale capace di inglobare i parametri relativi ai materiali, ai vincoli geometrici e agli strumenti utilizzati, definendo una nuova relazione tra designer e maker (Sheill, 2012). Rispetto all'innovazione introdotta con la prima era digitale, con il passaggio da modello bidimensionale a tridimensionale



Fig. 5 - Information Design, Design Making and Design Objects: training courses in the MIT, first cycle of studies (MIT).

Data - drive strategy



Informed and responsive architecture

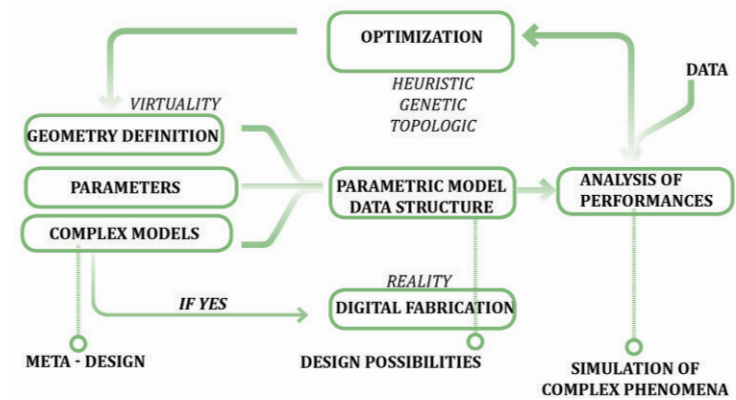


Fig. 6, 7 - Data-driven computational process: data analysis, digital computation and optimization; Design process for informed architectures in the post-digital era (A. Figliola).

dal quale estrarre i dati per la produzione dei componenti, il processo si arricchisce di informazioni e la materia acquisisce un'intelligenza digitale.

Strutturare percorsi formativi innovativi nell'ambito della formazione universitaria di primo livello, consente di accrescere la sensibilità e le conoscenze specialistiche degli allievi rispetto alle tematiche sopra esposte. L'obiettivo primario è la formazione di una nuova forza lavoro composta da esperti altamente qualificati con competenze trasversali che spaziano dal design del prodotto, all'ingegneria, alla scienza dei materiali, fino alla computazione digitale e alla progettazione e fabbricazione di sistemi tecnologici avanzati (Fig. 14). Nell'era dell'industria 4.0 e della crescita esponenziale dell'innovazione tecnologica che sta investendo tutti i settori di sviluppo, siamo davanti a una carenza di operatori qualificati in grado di gestire processi progettuali complessi, in linea con le crescenti aspettative di qualità e regolamentazione (Fig. 15). A riguardo, la metodologia didattica basata sul concetto di 'learning by doing' e la collaborazione con le industrie del settore, esporrà gli studenti a nuove forme di progettazione avanzata e metodologie ingegneristiche, come la robotica, la stampa e la scansione 3D, che attualmente stanno reinventando il modo in cui analizziamo, modelliamo, costruiamo e ristrutturiamo l'ambiente costruito.

La collaborazione tra l'Università e l'industria fa sì che quest'ultima si trasformi da ricettore passivo di un processo ideativo che avviene altrove, con il solo compito di automatizzare la produzione dei componenti, ad agente attivo, parte integrante del processo progettuale attraverso la condivisione del know-how relativo ai materiali e ai processi produttivi impiegati. Per rendere proficuo il rapporto tra le due entità è necessario creare un flusso di lavoro bidirezionale: le sperimentazioni effettuate e i prototipi realizzati in ambito accademico, devono presentare possibili soluzioni a problematiche concrete del settore delle costruzioni, o comunque necessarie ad affrontare sfide tecnologiche e costruttive del futuro.

ENGLISH

Innovation of the approach to teaching – *The birth of the first robotic manufacturing laboratory in 2005 at the Federal Polytechnic School of Zurich, ETH, marked a new course for digital architecture manufacturing by introducing new design paradigms that soon became the cornerstones of*

the main research paths in the post-digital era (Fig. 1). The generic machine of industrial derivation becomes a design tool able to transform virtual models into material systems through a direct connection between the digital model and the production process. The potential of this design methodology, extension of the concept of file-to-factory, are investigated with respect to different lines of research that have in common the development of processes related to the definition of informed architectures through a digital process that includes formal generation, simulation of dynamic phenomena and manufacturing (Fig. 2). The contemporary architectural production shows how the design of informed technological systems has already found fertile ground for experimentation in the collaboration between the academy and the industries of the sector. To date, after a first phase of study and set-up of the theoretical and instrumental apparatus, the research has reached a maturity that allows the transition from the prototyping to the construction phase.

The definitive application of these technologies in professional and architectural-executive practice goes through three aspects: a) an understanding of the mass-customization of technological systems in relation to the performance parameters that guide the design process (Fig. 3); b) consolidation of the relationship with the industry in the sector for a new vision of automated production processes; c) the specialized training of operators, master builders, to intercept the innovations of the post-digital era (Fig. 4).

One of the aspects that contributes to the formation of the tools through which the application of such technologies could become of common use is related to teaching, fundamental for maturing and structuring the necessary skills that should be possessed by future operators to allow diffusion within the market of the proposed operational methodology and the tools necessary for its application. In this regard, it is necessary to ensure that the issues in question, performative architecture and data-driven process, digital materiality and digital manufacturing are not relegated to a second level specialized training path¹ but rather become an integral part of the training programs starting from the first cycle of university education to arrive at «a complex professional organization equipped with those indispensable tools to understand the changing context» (Paoletti, 2006).

The maturation of skills necessary to face complex and advanced problems related to the design and the following technological and constructive phase, passes through a gradual training that allows to transpose and metabolize innovative theories and tools starting from the first level of university education in coexistence with the traditional subjects that distinguish the Architectural Technology curriculum. Practical reference of this approach is that of the Massachusetts Institute of Technology, MIT, which in 2016 presented, within the basic educational offer, three courses able to sensitize students with respect to large macro-categories: data-driven process, digital fabrication and interactive design. The courses Information Design, Design Thinking Through Making and Design Objects (Fig. 5) introduce theories and tools that outline an innovative and transdisciplinary way of thinking able to intercept a changing market demand in the sector. Within this training the theoretical part acquires an equivalent weight, if not higher, than the instrumental one related to the knowledge of specific software and communication protocols for digital manufacturing processes.

The second aspect of the technology transfer process is the consolidation of the relationship with the industries operating in the construction sector. The ability to make a connection between research laboratories and the professional world through the scalability of processes, is directly connected to the relationship that is established with the industries of the sector. The research conducted by the ETH Zurich, the University of Harvard rather than the Institute for Computational Design of Stuttgart, ICD, are the result of collaborations and partnerships with industries operating in the sector that allow to have the economic and instrumental resources necessary for the proper conduct of scientific research activities and, at the same time, implement the know-how to experiment with formal codes and innovative production processes.

Post-Digital Teaching Tools – Post-digital didactics are not aimed solely at the training of specialist figures able to use innovative software and control digital manufacturing processes but want to provide the theoretical tools necessary for the development of an operational methodology that provides for the decomposition of the design

problem in consequential phases, a renewed material sensitivity and a knowledge of the manufacturing process adopted.

The first theoretical and instrumental aspect that should be part of the training course on the subject concerns computational design (thinking): digital computation² and computational thinking, are the key elements of the post-digital experimentation paths, as a large container through which all the skills involved in the design process are structured in the form of data. To the knowledge of advanced programs of algorithmic modelling must correspond the teaching and the disclosure of a computational thought that guides the student in the approach to the problem and in its decomposition for parts in order to structure the data in a coherent and preparatory way to their elaboration and optimization. The data-driven computational process represents the moment of synthesis between different disciplinary competencies in the name of a collective intelligence based on Information Technology (IT); the information of the process establishes a connection between actors and project phases that are commonly distinct and takes on even greater weight when linked to theories on the evolution of form, morphogenetic, as a result of studies on gestalt, form, and bildung training, and optimizing performance (Fig. 6).

Theories on computational design thinking should be accompanied by the teaching of programs through which to manage design processes, dynamic simulation and digital fabrication protocols. The knowledge of parametric software is an essential condition for the control of the entire design supply chain and for the information of the same, but not sufficient if not supported by a design idea and a modality of synthesis suitable to be managed through computational models. In this regard, the introduction into the training course of teaching parametric design tools allows students to provide a tool through which to organize the design process according to a hierarchy of data based on the association and interrelation of the same and, moreover, allows themselves to simulate and analyse the action of forces that drive the processes of formal generation, avoiding the construction of complex analogical and time-consuming models.

In interpreting architecture as an element of mediation between complex internal and external systems, simulation is an important tool in the quantitative analysis of performance parameters as well as providing instrumental support to the designer in order to implement the creative process. Compared to the traditional approach to performance-based architecture, computational design makes it possible to relate geometric data to quantitative values, the result of analyses, to guide the process of formal generation. In this regard, the student must have a good knowledge regarding the basic phenomena of physics of the building and of the structural behaviour through which it is possible to correctly read the result of the analyses carried out and eventually elaborate complex processes of heuristic and genetic optimization. Didactic courses on the theme have always been present in the post-graduate training offer of the most important international universities (Nagakura, 1998; Terzidis, 2002; Celani, 2004; Duarte, 2007) while only in some cases in first level university education (Varinlioglu et al., 2016) and still limited to the creation of a digital model through which to experiment organic and complex compositional and spatial solutions.

The innovative element of post-digital didactics is represented by the direct connection between the design process of formal generation and the production one of digital manufacturing, in particular between geometry, material system and manufacturing, defined thanks to the information of the computational process that increases the tectonics relationship between structure and material within the limits of the manufacturing logics adopted (Fig. 7). This connection between the two phases of the design introduces a new aspect related to post-digital teaching that can be defined as Critical Making (Ratto, 2011): the digital chain, the continuous flow of information between design and production, acquires a fundamental importance in the control and management of digital forms to start the subsequent materialization process. The Renaissance separation between manual and intellectual work, between the ideational and constructive process (Campioli, 2005) is transformed in favour of a culture of doing. The abstract and explicit pro-

cess, mostly oriented towards the design and production of a specific product or of a specific final form, which characterizes the classical methodological approach, evolves in a practical and material way, focusing on the process rather than on the final result.

The manipulation of the material, the tests necessary to define its potentialities and its critical aspects, the analysis of its structural behaviour become an integral part of the design process with a view to learning by doing, ie learning through the act of doing which, in a post-digital era, evolves into learning by digital fabrication (Özkar, 2007). The process is not new in the academic environment: Bahauus has put its laboratories at the centre of educational and pedagogical activities, as a research place in which to experiment through practice, refining the product and above all the design process. Compared to the past, post-digital material experimentation is enhanced by a new layer of complexity characterized by the use of innovative digital manufacturing tools such as robots and 3D printers: through the use of these new tools it is possible to experiment with a renewed material sensitivity, which passes from the customization of tools and production processes, through which to explore formal evolutionary codes and a new tectonics informed by objectively measurable performance parameters (eg structural performance, energy-environmental).

In relation to the file-to-factory processes (Burry, 2012), what changes is the direct relationship with the digital fabrication tools able to share and occupy the same space as the designer as well as becoming an extension of the same in the workspace (Carpo, 2014). The production is no longer solely the last step of the design process but becomes one of the skills of the designer who can transform it from constraint to opportunity, expanding the range of design possibilities.

Learning by doing – Post-digital didactics must include a series of innovative and interdisciplinary steps: the first of these concerns the establishment of research laboratories and the related investment in the purchase of tools necessary for the manufacturing processes while the second involves the knowledge of the machines, communi-



Fig. 8, 9 - Left: Index Lab, robotic manufacturing laboratory at the Politecnico di Milano (A. Quartara). Right: Arhus School of Architecture, collaboration and iteration between students and robots within a creative process (R. Hughes).



cation protocols and all the technical aspects that influence their use. The basic equipment consists of tools for manual work, 3D printers of various sizes, laser cutting machines, CNC machines, while advanced equipment involves the purchase of medium and large industrial robots. While in the Italian scenario, only the Politecnico of Milan³ is equipped with robots for digital manufacturing processes (Fig. 8), the major international universities are equipped with advanced laboratories, where robots share space with students in collaborative and experimental processes (Fig. 9).

The presence of an adequate instrumental apparatus is the fundamental condition for working on the 1:1 scale (Figg. 10, 11) and materializing the digital process. In fact, one of the objectives of post-digital training is the renewal of a culture of doing that involves the knowledge of the materials used and their mechanical and physical properties and of the tools and techniques of production adopted. The hybrid iteration space between designers and digital computation and manufacturing tools is contaminated by other disciplinary fields in order to investigate new manufacturing methods but also to stimulate creativity through a fruitful process of collaboration between various disciplinary sectors. Interdisciplinarity is one of the criteria that must characterize an educational path that aims to intercept diverse skills ranging from architecture, engineering, to biology and mechatronics.

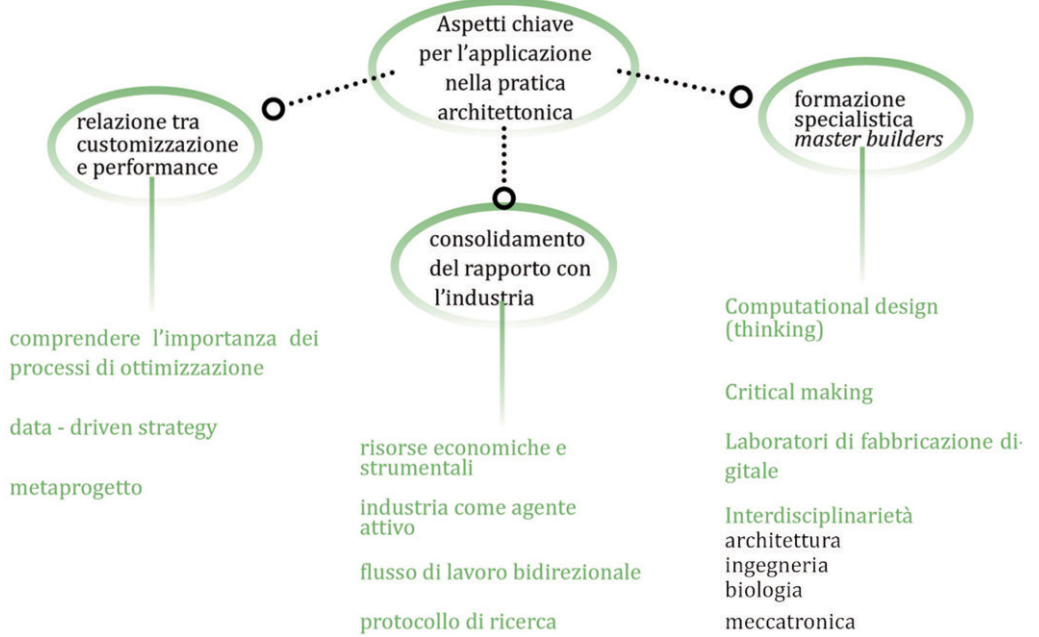
To explore the impact of the use of data in the design of performative architectures it is necessary to adopt a multidisciplinary approach through which different skills collaborate in order to visualize, model and interpret the data necessary to make decisions and then generate design solutions. In Italian universities, a first level of integration has been achieved through the establishment of integrated laboratories in which the project represents the synthesis between the various disciplinary contributions; a further step forward could be represented by the establishment of transdisciplinary integrated laboratories to verify how students understand the innovation of the proposed teaching model (Fig. 12). In summary, the fundamental criteria for structuring a post-digital educational path can be summarized as follows:

- the inclusion of modules relating to computational design and digital fabrication in the educational programs starting from the first university education cycle;
- integrate the teaching of parametric programs with that of disciplines of a scientific nature to promote an informed reading of the results of the analyses, necessary to set up the meta-project and possible optimization processes;
- structuring digital fabrication laboratories with an adequate instrumental equipment and linking them

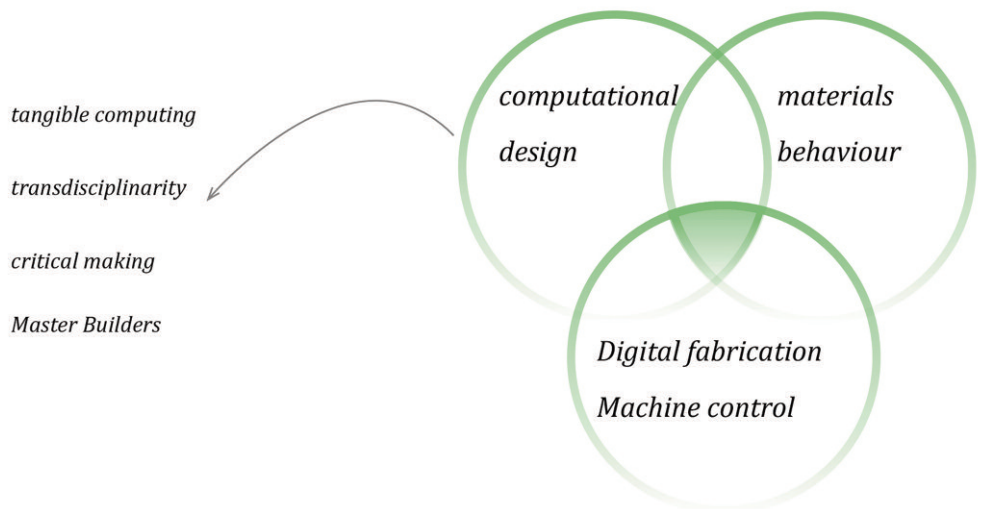
Fig. 10, 11 - Previous page: Fusta Robotics and Digital Urban Orchard; 1:1 pavilions built at the IAAC, Institute for Advanced Architecture of Catalunya, as part of the 2015-2010 OTF program (A. Quartara).

Fig. 12-14 - Methods and tools for the diffusion of the theme in architectural practice: academy, industry and new professional profiles; Post-digital era: between computation, digital materiality and digital fabrication; Conceptual diagram of key issues related to their application in architectural practice (A. Figliola).

Post - industrial robotics: metodi e strumenti per la diffusione delle tematiche nella pratica architettonica



The second digital turn: post-digital era



Didattica post-digitale

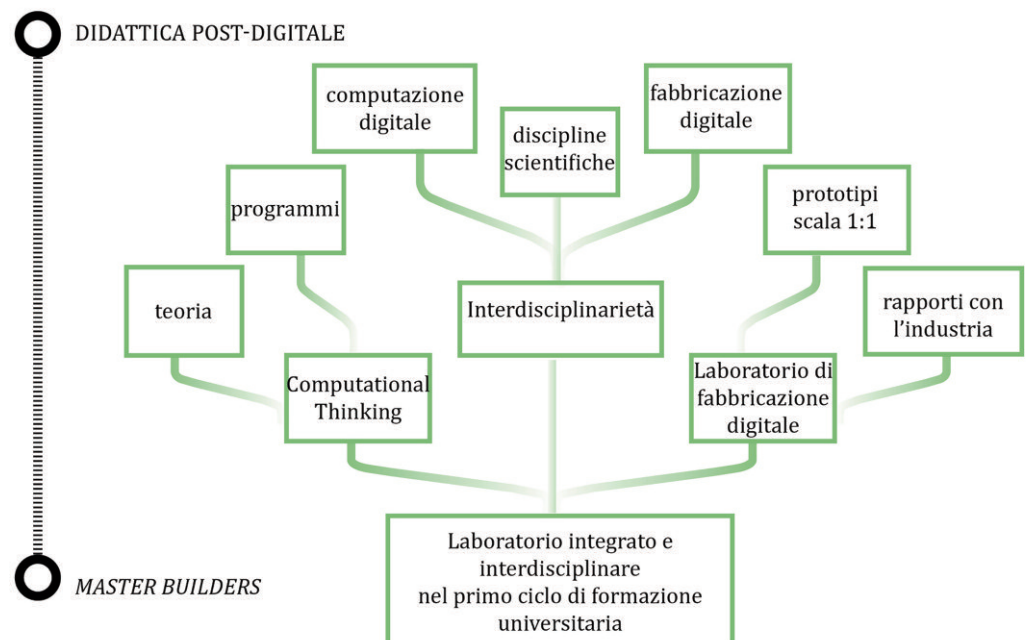




Fig. 15 - Complex technological systems and new operators in the sector (Design for Manufacturing, UCL Bartlett).

to teaching through integrated design modules;
 - foresee an integrated and interdisciplinary design laboratory in the three-year period, which proposes the development of a digital workflow that ends with the creation of a 1:1 scale prototype;
 - promote scale work, ie promote the study of technological solutions through the construction of models that allow a direct evaluation of performance parameters;
 - promote collaboration with industries, share know-how to identify the aspects to be strengthened and innovated.

Expected results in relation to emerging professional figures – The didactics thus structured, aims to the development by future operators of the sector of a renewed technological awareness with respect to the constant evolution of materials and construction technologies, as a willingness to understand the changes in act to measure and verify the impact of these on the built environment (Claudi De Saint Mihiel, 2005). Within a post-digital scenario (Fig. 13), the figure of the designer changes radically as well as the persistent division between the idea and the construction phase of the design process: the Information Master Builder highlights the figure of the architect who acquires the ability to manage the whole process, from design to production, through the construction of an algorithmic digital model and thanks to the evolution of the CAD / CAM relationship.

The proposed methodology introduces a new specification to the figure of the Master Builders: the ability to develop a material sensitivity that belongs to the manual skills of the ancient artisans through the medium of the machine. The use of new digital manufacturing technologies extends this concept: the architect gains control of the entire design process, from formal generation to construction, from virtual to physical space. In the digital continuum, tectonics and materials do not depend on conventions or typological standards and are the result of a process in which the tools define the materials that make up the shape, and not vice versa. The control of the process materi-

alizes in the construction of a digital model able to incorporate geometric constraints, the parameters related to the materials and tools used, defining a new relationship between designer and maker (Sheill, 2012). Compared to the innovation introduced in the first digital age, with the transition from a two-dimensional to a three-dimensional model from which to extract data to produce components, the process is enriched with information and the subject acquires a digital intelligence.

Structuring innovative training courses in the context of first level university education, allows students to increase their sensitivity and specialist knowledge in relation to the issues outlined above. The primary objective is the formation of a new workforce composed of highly qualified experts with transversal skills ranging from product design, engineering, materials science, to digital computing and to the design and manufacture of advanced technological systems (Fig. 14).

In the era of the 4.0 industry and the exponential growth of technological innovation that is investing all the development sectors, we are faced with a lack of qualified operators able to manage complex design processes, in line with the increasing expectations of quality and regulation (Fig. 15). In this regard, the teaching methodology based on the concept of learning by doing and collaboration with industries will expose students to new forms of advanced design and engineering methodologies, such as robotics, printing and 3D scanning, which are currently reinventing the way we analyse, model, construct and retrofit the built environment.

The collaboration between the university and the industry allows to transform industries from passive recipient of creative process that takes place in the academic environment, with the sole task of automating the production of the components, to an active agent, an integral part of the design process through the sharing of know-how related to the materials and production processes used. To make the relationship between the two entities profitable, it is necessary to create a bidirectional workflow: the experiments carried out

and the prototypes realized in the academic field must present possible solutions to concrete problems in the construction sector, or in any case necessary to face the technological and constructive challenges of the future.

NOTES

1) The main international universities offer a wide range of post-graduate masters and post-graduate courses that deal with aspects of digital computing and manufacturing as specialized subjects.

2) Digital computing involves problem solving processes through the use of algorithms.

3) Indexlab, a research laboratory of the Polytechnic of Milan, local branch of Lecco, presents two industrial robots as well as other digital manufacturing tools.

REFERENCES

- Burry, M. (2012), "Models, Prototypes and Archetypes", in Sheil, B. (ed.), *Manufacturing the bespoke*, AD Reader, Wiley, pp. 42-58.
- Campioli, A. (2005), "Idea progetto dettaglio", in Losasso, M. (ed.), *Percorsi dell'innovazione*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 78-92.
- Carpo, M. (2014), "Mario Carpo in conversation with Matthias Kohler", in Gramazio, F., Kohler, M., Langenberg, S. (eds), *Fabricate: Negotiating Design & Making*, Gta-Verl, Zurich, pp. 12-21.
- Celani, G. (2004), "The Symmetry Exercise: Using an Old Tool in a New Way", in *SlGraDi 2004*.
- De Saint Mihiel, C. (2005), "L'innovazione dei processi costruttivi", in Losasso, M. (ed.), *Percorsi dell'innovazione*, Clean Edizioni, Napoli, pp. 97-105.
- Duarte, J. (2007), "Inserting New Technologies in Undergraduate Architectural Curricula", in *Predicting the Future 25th eCAADe Conference Proceedings*.
- Menges, A., Sheil, B., Glinn, R. and Skavara, M. (2017), *Fabricate rethinking design and construction*, UCL Press, London.
- Nagakura, T. (1998), *Formal Design Knowledge and Programmed Construct, course thought at MIT*. [Online] Available at: <http://cat2.mit.edu/arc/4.207/> [Accessed 7 July 2016].
- Özkar, M. (2007), "Learning by Doing in the Age of Design Computation", in Dong, A., Moere, A. V., Gero, J. S. (eds), *Computer-Aided Architectural Design Futures (CAADFutures)*, Springer, Dordrecht, pp. 99-112.
- Paoletti, I. (2006), *Costruire le forme complesse. Innovazione, industrializzazione e trasferimento per il progetto di architettura*, Libreria CLUP, Milano.
- Ratto, M. (2011), *Open Design and critical making. Open design now: why design cannot remain exclusive*, BIS Publisher, Amsterdam.
- Sheil, B. (2012), *Manufacturing the Bespoke, AD Reader*, John Wiley and Sons, United Kingdom.
- Terzidis, K. (2002), *Algorithmic Architecture, course thought at GDS Harvard*. [Online] Available at: www.gsd.harvard.edu/cgi-bin/courses/details.cgi?section_id=6847&term=f2004 [Accessed 7 July 2016].
- Varinlioglu, G., Halici, S. M., Alaçam, S. (2016), "Computational Thinking and the Architectural Curriculum: Simple to Complex or Complex to Simple?", in *34th eCAADe (Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe) International Conference: Complexity and Simplicity*, At Oulu School of Architecture, Oulu, Finland.

* ANGELO FIGLIOLA, PhD, is Contract Professor at University of Camerino, Unicam SAD, School of Architecture and Design; during the PhD at La Sapienza he was Visiting Researcher at I'AAAC, Institute for Advanced Architecture of Catalunya in Barcelona. Tel. +39 389/42.19.542. E-mail: angelo.figliola@uniroma1.it