

Eliana Cangelli, Michele Conteduca,

Dipartimento PDTA, Pianificazione Design Tecnologia dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, Italia

eliana.cangelli@uniroma1.it

michele.conteduca@uniroma1.it

**Abstract.** L'articolo indaga come le relazioni tra il progetto e la materia si stiano modificando in ragione dell'impatto della digitalizzazione e dei paradigmi economici e produttivi emergenti, sia in termini di processo che di prodotto. Il percorso evolutivo del rapporto tra industrializzazione e architettura, consente di tracciare un quadro che, principiando dalle prime esperienze di prefabbricazione standardizzata, giunge ad esiti sempre più orientati alla personalizzazione delle realizzazioni (Industrial Mass Customization). Il saggio propone una lettura critica delle innovazioni tecnologiche più recenti ed evolute, focalizzandosi sulle applicazioni della tecnica di stampa additiva in 3d all'architettura, e ai nuovi scenari di ricerca che si aprono per il progetto e l'industria delle costruzioni.

**Parole chiave:** Industrial mass customization; Open building; Prefabbricazione; 3d printing; Automazione/robotica.

## Premessa

La fluidità e la rapidità di circolazione delle informazioni che caratterizzano il mondo in cui viviamo, hanno portato alla progressiva smaterializzazione dei processi cognitivi e a innovazioni tecnologiche repentine che investono tutti gli ambiti della vita.

Lo sviluppo tecnologico e le realtà sociali delineano un contesto culturale mutevole e in transizione verso un nuovo modello che tende al Postumano, in cui l'uomo verrà progressivamente affiancato, forse sostituito, dall'intelligenza artificiale nei processi decisionali e produttivi. Questo genera inevitabilmente un clima d'ansia, che per non cedere al nichilismo impone la sottrazione del dibattito ai tecnocrati, in favore di un pensiero critico scaturito dalla convergenza tra saperi (Braidotti, 2014).

In quest'ottica, la cultura tecnologica può giocare un ruolo significativo attraverso l'analisi e la previsione circa l'impatto che la tecnologia ha oggi e avrà in futuro sulla vita dell'uomo (individuo e società), in relazione all'ambiente fisico e biologico in cui egli è posto (Ciribini, 1984).

La terza rivoluzione industriale ha visto mutare profondamente il rapporto tra progetto di architettura e industrializzazione. Le

tecnologie informatiche e i sistemi di automazione e robotica, influenzando direttamente gli aspetti materiali della costruzione, oltre che i metodi, gli strumenti e i processi di produzione, hanno progressivamente esteso i limiti delle innovazioni tecniche all'ambito morfologico, produttivo e ambientale. All'autoreferenzialità e alla dicotomia che spesso hanno contraddistinto le relazioni tra Tecnologia e Architettura, tra materia e progetto, va recuperata una visione euristica, in cui il trinomio idea-progetto-cantiere, oltre a essere fortemente caratterizzato dalla ingegnerizzazione, veda il recupero dell'aspetto esplorativo e creativo dell'attività progettuale e il confronto in tempo reale delle differenti competenze in esso coinvolte. Le consolidate modalità di gestione del processo progettuale e realizzativo sono scardinate da nuovi paradigmi complessi, costituiti da applicazioni, modelli e piattaforme ormai decifrabili soltanto attraverso una lettura interdisciplinare e approcci conoscitivi evoluti, noti come Intelligenza collettiva (Levy, 1994). Tra questi, particolare rilevanza assumono l'architettura parametrica, la morfogenesi computazionale favorite da software e piattaforme informatiche ad accesso libero e condiviso (open source), che aprono a nuovi metodi per la progettazione e la realizzazione degli organismi edilizi.

In questo contesto, si può affermare che la digitalizzazione, sia in termini di processo che di prodotto, unitamente ai nuovi paradigmi economici e ai cambiamenti generati dalla necessità di orientare lo sviluppo verso un'economia circolare e green, vedono la crescente esigenza di garantire flessibilità e adattabilità, competenze interdisciplinari e il coinvolgimento degli utenti finali. L'impatto di queste tendenze ha portato a una domanda sempre più rivolta alla personalizzazione e a un'offerta sempre più diversificata e sperimentale, che guarda all'industrializzazio-

Architecture on demand.  
New scenarios for the  
design project and the  
construction industry

**Abstract.** The paper examines how the relationship between the project and the matter is changing under the impact of digitalization and the productive and economical emerging paradigms, both in terms of process and product. The evolutionary path of the relationship between industrialization and architecture allow us to draw a picture which, starting from the first experience of standardizing prefabrication, lead to results increasingly oriented towards the personalization of realizations (Industrial Mass Customization). The essay proposes a critical reading of most recent and advanced technological innovations, focusing on the applications of 3d printing additive technology to the architecture and to the new scenarios of research opened for the project and the construction industry.

**Keywords:** Industrial mass customization; Open building; Prefabrication; 3d printing; Automation/robotics.

## Introduction

The fluidity and the speed of information transmission that characterize the world in which we live, have brought to the progressive dematerialization of cognitive processes and to the sudden technological innovations that concerns every field of life.

The technological development and the social situation describe a cultural and variable context oriented to a model increasingly trend to Posthuman, in which the human being will be progressively flanked or perhaps replaced with the artificial intelligence in the productive and decision making process.

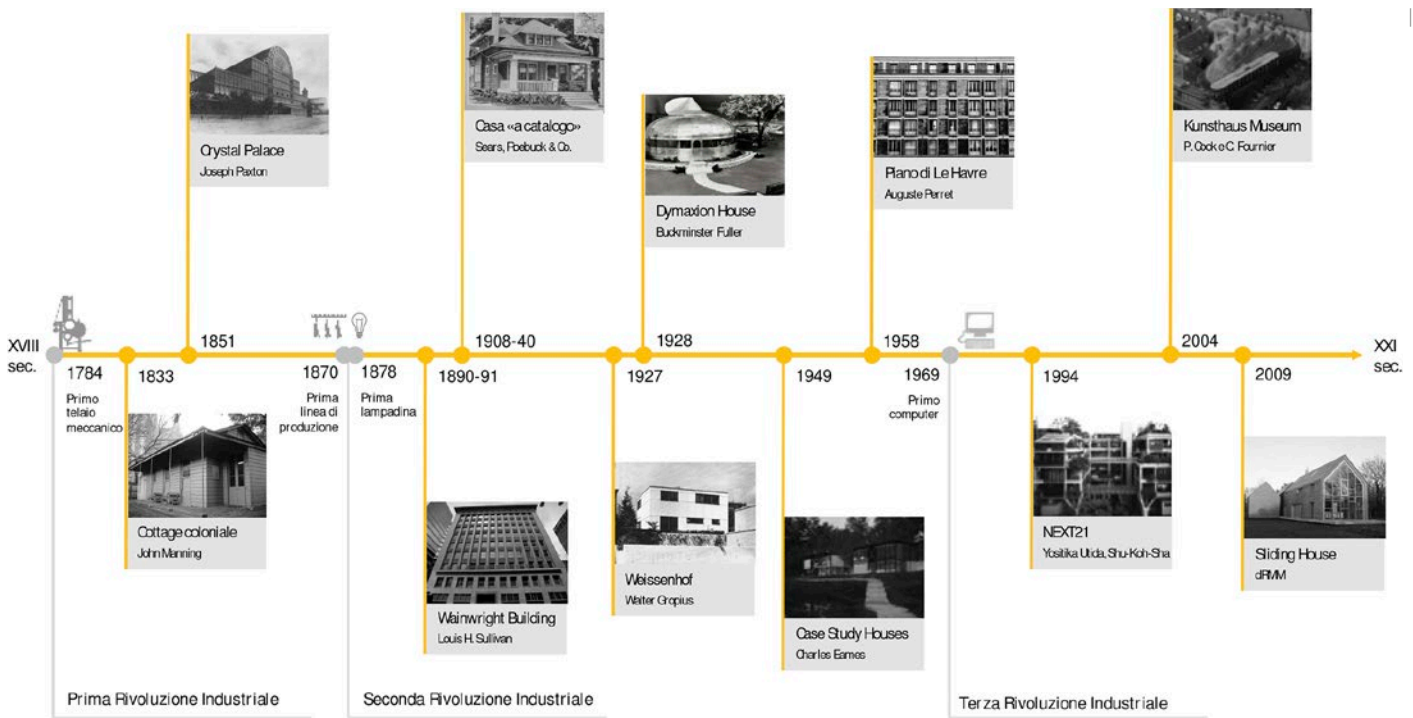
This situation produce, inevitably, an atmosphere of anxiety that requires, with the objective of don't drifting in some nihilist current, to subtract the debate from the technocrats in order to bring out a critical thought, arising

from the convergence of knowledge (Braidotti, 2014).

In this perspective, the technological culture can play a meaningful role through the analysis and the prediction about the impact that technology has today and it will have on the life of man (in both situations, as individual and as society) in relation to the physical and biological environment where he has been placed (Ciribini, 1984).

The third industrial revolution has seen changing, deeply, the connection between the project of architecture and the industrialization.

The information technologies and the automation and robotics systems, influencing directly the material aspects of the construction, in addition to the methods, the tools and the production processes, have progressively extended the limits of the technical innovations to the morphological, productive and



01 | Timeline dell'evoluzione della prefabbricazione in architettura  
Evolution timeline of the prefabrication in architecture

ne e alle potenzialità dell'Industrial Mass Customization, aprendo a nuovi scenari come quello dell'Architettura on demand. Tuttavia il settore edile, specie in Italia, reagisce pigramente a questi nuovi imperativi e continua a proporre sul mercato edifici invariabili nella tipologia e nella forma, realizzati con tecnologie costruttive prevalentemente tradizionali, aggiornati blandamente nelle soluzioni impiantistiche. Unico elemento d'innovazione diffuso, è la prefabbricazione, che garantisce standard qualitativi superiori e certificabili, con costi e tempi inferiori. L'articolo ripercorre il percorso evolutivo dell'industrializzazione edilizia, soffermandosi sui principali punti di svolta che hanno definito la Mass Customization quale chiave di lettura del contesto contemporaneo, in cui ha assunto particolare rilievo il

environmental field. Compared to the self-referentiality and the dichotomy that often have distinguished the relationship between Technology and Architecture, the project and the matter, it should be recovered a heuristic vision, in which the trinomial Idea - Project - Construction, strongly characterized by "engineeringization", determine the reactivation of the exploratory and creative aspect about the design activity and the comparison, in real time, of the different skills involved in it. The consolidated methods of managing of the design and implementation project are demolished by new complex paradigms, formed by applications, models and platforms that can be decrypted only through an interdisciplinary analysis and advanced cognitive approaches, known as Collective Intelligence (Levy, 1994). Among them, it is possible to indicate

the importance assumed by the parametric architecture and the computational morphogenesis, facilitated from software and information platforms with free and shared access (open source), which allows to develop new design methods and the implementation of building organisms. In this context, the digitalization, both in terms of process and product. along with the new economical paradigms and the changes generated by the need to guide the development towards a circular and green economy, evaluates the growing necessity to guarantee flexibility and adaptability, interdisciplinary skills and the participation of all the end users. The impact of those tendencies determined a demand focused around more personalization and a always more diversified and innovative supply: this model is oriented towards the indus-

trialization and the potentiality of Industrial Mass Customization, opening up to new scenarios such as the Architecture on demand. However, the building sector, especially in Italy, reacts lazily to these new imperatives and continues to offer on the market buildings with an unchanged form and type, constructed mainly with traditional technologies and blandly updated in engineering plant solutions. The only element of widespread innovation is the prefabrication, which guarantees superior and certifiable quality standards, with lower costs and reduced times. The paper retraces the evolutionary path of industrialized construction, focusing on the main turning points that have defined Mass Customization as a key to understand the contemporary context, in which the system of enabling technologies, ascribable

### Industrializzazione e architettura: la prefabbricazione dalla produzione di massa alla personalizzazione di massa

Con la prima fase della rivoluzione industriale, inizia a delinearsi un percorso di crescita economica costante, che culmina nella seconda fase con il trionfo della grande impresa e il paradigma fordista: sono gli anni della prefabbricazione in edilizia e della produzione di massa completamente standardizzata.

to the so-called Industry 4.0, have become particularly prominent; in particular the most recent additive production techniques known as 3d printing, and their application to the construction industry (construction 3d printing)<sup>1</sup>.

### Industrialization and architecture: the prefabrication from mass production to mass customization

With the first phase of the industrial Revolution, a path of constant economic growth began to take shape and reaches its climax in the second phase with the triumph of big firms and the Fordist paradigm: these are the years of the prefabrication in building construction and the completely standardized mass production.

The evolution of the relationship between the building prefabrication techniques (Fig. 1) and the architec-

L'evoluzione del rapporto tra le tecniche di prefabbricazione edilizia (Fig. 1) e la cultura architettonica muove dalla standardizzazione spinta che ha connotato i primi edifici realizzati interamente offsite sotto la spinta dell'espansione coloniale dell'età vittoriana, di cui i primi esempi sono gli edifici smontabili noti come «case di Manning» (1833). L'abbandono del binomio colonialismo-prefabbricazione in favore di quello prefabbricazione-industrializzazione, si realizza a metà del XIX secolo, grazie all'utilizzo diffuso del ferro e dell'acciaio negli edifici su larga scala: è il caso del Crystal Palace a Londra (1851), e dei primi grattacieli della Scuola di Chicago. Il passaggio tra il XIX e il XX secolo segna, negli USA, la nascita di un'innovazione alla prefabbricazione: l'approccio kit of parts delle case a catalogo proposte dalla Sears, Roebuck and Company.

Nel secondo dopoguerra, negli anni del boom e della terza fase della rivoluzione industriale, il metodo e la struttura produttiva non cambiano: il «paradigma taylorista», ormai declinato nel «modello fordista», raggiunge il suo punto più elevato negli esempi di prefabbricazione leggera sperimentata nel Case Study House Program. Gli anni '60 e '70 del '900 furono, invece, caratterizzati da un lato dall'esplosione della prefabbricazione pesante in cemento armato per pannelli, e dall'altro dalle sperimentazioni basate sulla teoria dell'Open Building<sup>2</sup> sviluppata da Habraken nel 1961, secondo cui l'oggetto architettonico deve essere modificabile autonomamente da parte dei suoi fruitori, in funzione delle loro mutevoli esigenze. Si affianca, dunque, alla standardizzazione tipica della prefabbricazione leggera una vasta possibilità di personalizzazione, assicurata dall'utilizzo di elementi di riempimento facilmente sostituibili e, dunque, dinamici, all'interno di un'infrastruttura permanente statica che incorpora la struttura, l'involucro e l'impiantistica.

tural culture originates from the big standardization that characterized the first buildings constructed entirely offsite under the thrust of the colonial expansion of the Victorian age: in this period, it is possible to remind the dismantled buildings known as «Manning house» (1833).

In the mid-nineteenth century the abandonment of the binomial colonialism-prefabrication in favor of the prefabrication-industrialization combination has been realized with the widespread use of the iron and steel in large-scale buildings: this is the case of the Crystal Palace in London (1851), and the first skyscrapers of the School of Chicago. The passage between the nineteenth and twentieth century coincides with the birth of a prefabrication innovation in the USA: the kit of parts approach houses proposed by Sears, Roebuck and Company.

After the second world war, during the years in which the economic boom was at its peak and with the emergence of third Industrial revolution phase, the method and the structure of production remained unchanged: «The Taylorism model», structured in the «fordism model» reaches its highest point in the examples of light prefabrication, experimented in the Case Study House Program.

The 1960 and 1970 were years characterized, on the one hand, by the explosion of heavy prefabrication in reinforced concrete for panels and, on the other hand, by experiments based on the Open Building theory<sup>2</sup> developed by Habraken in 1961, according to which the architectural object must be independently modifiable by its users, according to their changing needs. Therefore, the typical standardization of light prefabrication was accompa-

Con la crisi petrolifera degli anni '70 inizia il declino della produzione di massa. Inizia l'era post-industriale e il riposizionamento della struttura produttiva, che trova il suo nuovo punto di riferimento nel modello giapponese di fabbrica snella (lean production)<sup>3</sup>, che trae ispirazione da una radicata tradizione produttiva di stampo artigianale, attenta alla qualità e al gusto del produttore (Toninelli, 2006). Il paradigma taylorista cede il passo al paradigma toyotista, nel quale il flusso produttivo non procede più dall'alto verso il basso (push production), ma dal basso verso l'alto (pull production). Questo non significa abdicare alla standardizzazione delle singole componenti dei manufatti, ma consente di aprire alla possibilità di introdurre margini di flessibilità e personalizzazione nel prodotto finito.

Nel campo edilizio questo si è tradotto in una produzione su misura ma su vasta scala, con lavorazioni snelle e sistemi di prefabbricazione leggera, mettendo in atto la mass customization: la personalizzazione della produzione, in cui, l'intero processo realizzativo si caratterizza per un mix che combina il costo ridotto consentito dall'impiego di tecnologie efficienti, tipiche della produzione di massa, con l'artigianalità normalmente connessa alla peculiarità di ogni singolo progetto (Paoletti, 2006).

**Industrial Mass Customization: come l'automazione e la robotica hanno modificato la produzione e il cantiere**

standardization, customized standardization, tailored customization e pure customization. Procedendo verso la pure customi-

Le strategie di mass customization sono state classificate da Lampel e Mintzberg (1996) all'interno di un continuo con cinque punti di snodo: pure standardization, segmented

nied by a wide range of customization, ensured by the use of filling elements that are easily replaceable and dynamics, within a permanent static infrastructure that incorporates the structure, the enclosure and plant design.

With the oil crisis of the 70s the decline of mass production begins. The post-industrial era begins with the repositioning of the production structure, which finds its new reference point in the Japanese lean factory model<sup>3</sup>: this model draws inspiration from a deeply rooted tradition of artisanal production, keenly attentive to satisfy the quality and the taste of producer. (Toninelli, 2006).

The Taylorist paradigm has been bypassed by the Toyotista paradigm, in which the production flow no longer proceeds from the top to the bottom (push production), but from the bot-

tom to the top (pull production). This approach does not require the standardization of the individual components of the products, but it allows to include the possibility of introducing flexibility and customization in the finished product.

In the building field, this method has been applied into a tailor-made production but on a large scale, with simple processing techniques and light prefabrication systems, implementing the mass customization: the customization of production, in which the entire manufacturing process is characterized by a combination which connects the reduced cost, allowed by the use of efficient technologies, typical of mass production, with the craftsmanship generally linked to the peculiarity of each individual project (Paoletti, 2006).

zation, le strategie realizzative sono progressivamente più costose, ma anche più ricettive sul lato della domanda, ovvero sempre più in grado di ampliare la gamma di opzioni che, fin dalla fase di progettazione, possono essere offerte alla committenza.

Sul piano del processo produttivo, l'intuizione di Pine (1993), secondo cui la sostenibilità economica della mass customization risiede nella modularità, è stata anche di recente confermata e sviluppata da Butt (2012), che, anche sulla base degli studi di Naim e Barlow (2003), individua nella scelta sulla collocazione del punto di differenziazione del prodotto nella filiera produttiva (decoupling point) la sfida principale per la mass customization. Allo stato attuale, la tendenza prevalente sembra essere quella di spostare quanto più possibile il decoupling point in prossimità del prodotto finito (e, quindi, verso il committente). In breve, nell'edilizia si riscontrerebbe un'estensione della prefabbricazione fino alla fase dell'assemblaggio (che inizierebbe solo a seguito della ricezione della commessa specifica), con la standardizzazione che cederebbe il passo alla personalizzazione soltanto nella fase finale della catena produttiva. Si tratta della strategia del postponement, una delle cui principali applicazioni è, come detto, l'Open Building (Habraken, 1976; Kendall, 2004).

Quanto all'automazione e alla robotica, sulla base di Bock et al. (2011), è possibile individuare tre modalità di impiego nel settore delle costruzioni, contraddistinte da un crescente grado di automazione del processo produttivo: produzione pura, offsite robotics e onsite robotics. Nella pratica, si constata un orientamento generalizzato per l'offsite robotics, ovvero la concentrazione dell'automazione nelle fasi di prefabbricazione e pre-assemblaggio. Di conseguenza, il settore delle costruzioni registra un livello di produttività inferiore rispetto a quello degli altri

#### **Industrial Mass Customization: How the Automation and the Robotics have changed the production process and the construction site**

The mass customization strategies have been classified by Lampel and Mintzberg (1996) within a continuous process that establish five focal points: pure standardization, segmented standardization, customized standardization, tailored customization and pure customization. Focusing on the pure customization, the implementation strategies are progressively more expensive but also more receptive for the demand side: these kind of strategies are going to be increasingly able to expand the range of options that, from the design phase, can be offered to the consumer.

In terms of the production process, Pine's assumption (1993) that the modularity is the key to achieve the

mass customization, has also recently been confirmed and developed by Butt (2012) who, also on the basis of Naim and Barlow researches (2003), identifies in the choice on the location of the product differentiation point, inside the production chain (decoupling point), the main challenge for mass customization.

The prevailing trend, at the present, seems to be the reposition of the decoupling point as close as possible to the end product (and, therefore, towards the client). Briefly, in the building sector there would be an extension of the prefabrication until the assembly process (which would begin only after receiving the specific work order): the standardization will be replaced from the customization only in the final phase of the production chain.

This is called the postponement strategy: one of the main applications of

settori economici, specialmente a causa di processi produttivi fortemente legati ad un'impostazione tradizionale, oltre che a causa di elevati costi fissi di natura organizzativa e regolamentare. Una ragguardevole eccezione è costituita dall'Asia, dove le principali imprese di costruzione hanno sviluppato strategie di investimento in controtendenza sia sul piano quantitativo (come il trasferimento di tecnologie e know how del settore automobilistico e cantieristico in ognuna delle fasi del processo produttivo), sia su quello qualitativo (come la significativa automazione nella fase di cantierizzazione).

L'innovazione tecnologica derivante dalle applicazioni di automazione e robotica, ha avvicinato il progetto di architettura sempre di più a scelte costruttive sempre meno relegate a opera di cantiere, ma studiate sin dalle prime fasi di progettazione. La prefabbricazione edilizia prevede tre categorie principali di sistemi di costruzione (Fig. 2): il Site-intensive kit of parts, il Factory-made 3d module e sistemi ibridi (Roger, 2007), in cui la fabbrica è ormai nel cantiere onsite-robotics<sup>4</sup>.

#### **Construction 3d printing**

La possibilità di definire il paradigma industriale per il settore dell'edilizia del mondo contemporaneo appare ancora incerta, da un lato a causa della rapidità con cui si susseguono le innovazioni tecnologiche, dall'altro per l'incredibile numero di tecniche trasferite da altri settori, che hanno sempre più a che fare con aspetti immateriali piuttosto che materiali. Alle tecnologie in grado di avviare linee innovative di sviluppo per la progettazione e la realizzazione architettonica appartengono l'internet delle cose, il cloud computing, i big data, la robotica avanzata e l'additive manufacturing/3d printing, o stampa 3d. Si tratta di alcune

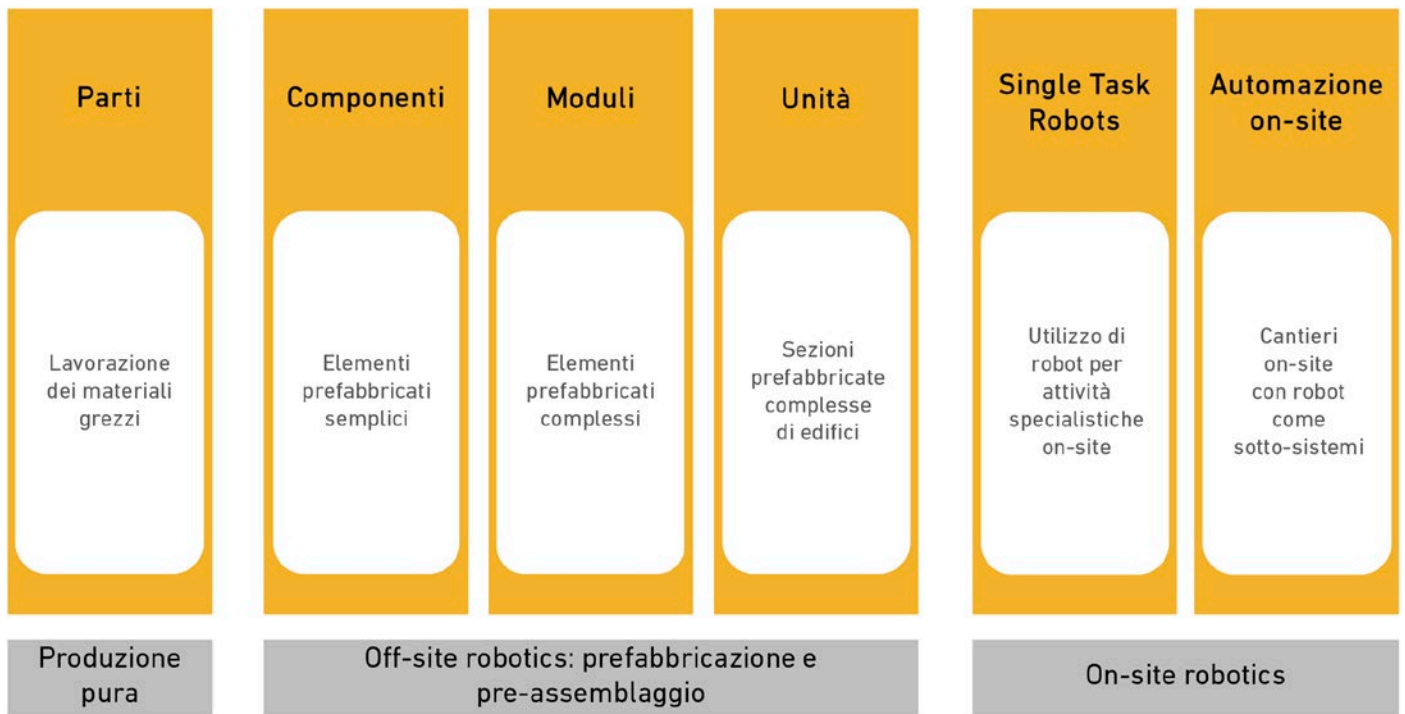
this strategy is, as mentioned above, the Open Building (Habraken, 1976; Kendall, 2004).

Regarding the Automation and the Robotics technology, on the basis of Bock and others (2011), it is possible select three methods for their use in the building sectors, characterized by a growing level of automation in the production process: pure production, offsite robotics and onsite robotics. Actually, there is a generalized orientation towards the offsite robotics, or rather the concentration of automation in the prefabrication and pre-assembly phases. Following this concentration, the construction sector report a lower productivity level compared to other economic sectors, especially due to production processes strongly connected to a traditional approach and due to high fixed costs of an organizational and regulatory nature.

A notable exception involves the Asiatic context, where the main construction companies have developed a countertrend investment strategy, both in quantitative (with the transfer of technologies and know-how of the automotive and shipbuilding sectors in each phase of the production process), and qualitative terms (with a growing level of automation in the construction phase).

The technological innovation, deriving from automation and robotics applications, has brought the architecture project towards construction choices deeply analyzed from the early design phases, reducing the choices related to the construction site works.

The prefabrication building provide three main categories of construction systems (Fig. 2): Site intensive kit of parts, Factory-made 3d module and hybrid systems (Roger, 2007), in which



02 | Dimensione dei processi di produzione per l'edilizia con integrazione di automazione e robotica  
 Production process dimension for the building sector with the integration of automation and robotics

delle tecnologie in grado di avviare la quarta fase della rivoluzione industriale, ormai riconosciute come tecnologie abilitanti dall'Industria 4.0.

La produzione additiva nota come stampa 3d<sup>5</sup>, in particolare, impiegata inizialmente nel settore manifatturiero per la prototipazione industriale rapida, è stata oggetto negli ultimi venti anni di numerose sperimentazioni anche in ambito architettonico, che hanno progressivamente abbracciato vere e proprie fasi della produzione edilizia, fino a includere l'intera fabbricazione.

La diffusione della tecnologia della stampa 3d, pur rientrando nell'esperienza di un numero ancora limitato di operatori, sta conoscendo una notevole espansione trainata dal fenomeno dei

“Makers”, i cosiddetti “artigiani 2.0” o “artigiani digitali”, grazie ai quali si è avuta una forte attenzione mediatica su questi sistemi (Anderson, 2012), generata dal motto DIY (Do It Yourself) che identifica nuove modalità di approccio alla produzione industrializzata, basate sull'autosufficienza dell'individuo di fronte ad alcuni bisogni insoddisfatti dalla manifattura tradizionale. Attraverso le stampanti 3d, infatti, è possibile produrre oggetti tridimensionali senza limitazioni di forme con il massimo grado di personalizzazione, ottenendo, al contempo, un'ottimizzazione dei costi di produzione, connessa alla pressoché totale assenza di spreco di materiali.

Il 3d printing e la mass customization hanno in comune alcune

the factory is included in the construction site onsite- robotics<sup>1</sup>.

#### Construction 3d printing

The possibility to define the industrial paradigm for the building sector, in the contemporary world, still seems uncertain: on the one hand because of the rapidity with which the technological innovations follow each other, on the other hand for the incredible number of techniques transferred from other sectors, related always more frequently with immaterial aspects rather than material aspects.

There are some technologies capable of launching innovative development lines for architectural design and creation. It is possible mentioned, among them, the Internet of things, cloud computing, big data, advanced robotics and additive manufacturing / 3d printing, or 3D printing.

This group of technology are enable to set up the fourth phase of the industrial revolution, inside the so-called Industry 4.0.

The additive manufacturing known as 3d printing<sup>5</sup>, in particular, used initially in the manufacturing sector for the industrial rapid prototyping, has been, in the last twenty years, the object of numerous experiments, also in the architectural field, which have gradually included several building production phases, involving, at the last, the whole making process.

The diffusion of 3d printing technology, even though it is part of the experience of a still limited number of operators, is going to meet a relevant expansion driven by the phenomenon of “Makers”, the so-called “2.0 artisans” or “digital artisans”: because of their work, there was a strong media exposure about those systems (Anderson, 2012), stimu-

lated by the DIY motto (Do It Yourself) which identifies new methods of approach to industrialized production, based on the self-sufficiency of the individual in front of certain needs unsatisfied by traditional manufacturing.

In fact, through 3d printers, it is possible to produce three-dimensional objects without limitations of shapes with the maximum level of customization, obtaining, at the same time, an optimization of production costs, connected to the almost total absence of material wasting.

3d printing and mass customization share some economic characteristics. In both cases, these are production processes that minimize business risk: the production, indeed, require a specific order (on demand), reducing the unsold quotas to the minimum.

The dividing aspect is about their organizational model. Mass customi-

zation assumes an organization of teamwork and a production process in which parts, materials and components arrive from different suppliers.

In order to increase the production and make it cost-effective, it is therefore necessary that the supply takes place at the right time and in the right quantities. On the contrary, 3d printing is an automated process that does not require a complex organizational structure and allows the use of different materials (Berman, 2012).

In the construction industry, the adoption of the rapid manufacturing system, based on the technology of 3d printing, at present, could be more complex compared to other sectors, due to the high costs of investment in innovation and development, the regulatory framework, and of the reduced number of printing machinery manufacturers.

caratteristiche economiche. In entrambi i casi si tratta di processi di produzione che minimizzano il rischio di impresa, dato che la produzione avviene su ordinazione (on demand), riducendo ai minimi termini le quote di invenduto. Ciò che le separa è il modello organizzativo. La mass customization presuppone un'organizzazione del lavoro in team e un processo produttivo in cui le parti componenti e i materiali provengono da diversi fornitori. Affinché la produzione possa essere remunerativa è necessario pertanto che l'approvvigionamento avvenga nei giusti tempi e nelle giuste quantità. La stampa 3d, al contrario, è per sua natura un processo automatizzato che non necessita di una struttura organizzativa complessa, e consente l'impiego di materiali diversi (Berman, 2012).

Nel settore dell'industria delle costruzioni l'adozione del sistema di rapid manufacturing basato sulla tecnologia della stampa 3d, allo stato attuale, appare più complessa rispetto ad altri settori, in ragione dei costi elevati di investimento in innovazione e sviluppo, dell'apparato normativo, e del ridotto numero di produttori di macchinari per la stampa. Ma si tratta di un percorso ormai tracciato, come testimonia la strategia di sviluppo nazionale del governo degli Emirati Arabi Uniti (3D Printing Strategy)<sup>6</sup>, di cui la costruzione costituisce uno dei tre ambiti fondamentali.

Le principali sperimentazioni negli ultimi venti anni della stampa 3d in architettura sono concentrate nel passaggio al digitale del processo di produzione edilizia di messa in opera degli edifici e alla componentistica edilizia, con particolare riferimento al risparmio di tempi e costi. Gardiner (2011) identifica i processi additivi di fabbricazione nel settore delle costruzioni (construction 3d printing) nelle seguenti tipologie: Construction Scale

It is, however, a path by now traced, as evidenced by the strategy of national development carried by the Government of the United Arab Emirates (3D Printing Strategy)<sup>6</sup>, whose realization is considered is considered one of the three fundamental areas.

The main experiments in the last twenty years of 3d printing in architecture are concentrated in the digital transition of the building production process for the implementation of buildings and the related components, with particular reference to the saving of time and costs. Gardiner (2011) identifies the additive manufacturing processes in the construction sector (construction 3d printing) through the following types: Construction Scale Rapid Manufacturing, Freeform Construction, and Construction Additive Fabrication.

The first generation of large-scale automated additives manufacturing sys-

tems recognize as main reference the layer manufacturing technique developed at the beginning of the nineties of the twentieth century by the Japanese Shimizu Corporation: they found a new method to explore alternative ways to build skyscrapers<sup>7</sup>.

This is followed by researches of Khoshnevis at the University of Southern California which have been essential for register the Contour Crafting system patent<sup>8</sup> (Fig. 3), which is still today the reference model for the experimental systems of Construction 3d Printing<sup>9</sup>.

The second generation is represented by the techniques developed from 2010 to today. The most recent experiments about 3d printing processes are characterized, principally, for the use of concrete, as in the case of the models of the Chinese WinSun company, or the Italian project WASP (World's

Rapid Manufacturing, Freeform Construction, e Construction Additive Fabrication.

La prima generazione dei sistemi di fabbricazione additivi automatizzati su larga scala trovano il loro riferimento nella tecnica del layer manufacturing sviluppata all'inizio degli anni '90 del XX secolo dalla giapponese Shimizu Corporation per esplorare modalità alternative per la costruzione di grattacieli<sup>7</sup>. A questa seguono le ricerche di Khoshnevis presso l'University of Southern California, che hanno portato al brevetto del sistema Contour Crafting<sup>8</sup> (Fig. 3), che costituisce ancora oggi il modello di riferimento per i sistemi sperimentali di Construction 3d Printing<sup>9</sup>.

La seconda generazione è rappresentata dalle tecniche sviluppate dal 2010 ad oggi. Le sperimentazioni più recenti riguardano processi di stampa 3D prevalentemente in calcestruzzo, come nel caso delle realizzazioni dell'azienda cinese WinSun, o il progetto italiano WASP (World's Advanced Saving Project) incentrato sullo sviluppo della stampa 3D open-source, in grado di stampare ceramica e porcellana.

Oltre al calcestruzzo e all'argilla, le ricerche si sono concentrate sui metalli e su altri materiali come i PLA (Poly-Lactic Acid). Alla prima categoria appartengono le sperimentazioni dell'olandese MX3D Metal per lo sviluppo di un sistema multiasse robotizzato di saldatura additiva dell'acciaio, per la fabbricazione e l'installazione di un ponte metallico ad Amsterdam. Sperimentazioni a carattere dimostrativo ed educativo sono anche la 3D Printed Urban Cabin, un modulo sperimentale abitabile, e la 3D Print Canal House ad Amsterdam (2013, in corso) (Fig. 4); entrambe progettate da DUS Architects e realizzate con l'impiego di materiali biodegradabili della categoria PLA.

Advanced Saving Project) focused on the development of open-source 3d printing, able to print ceramics and porcelain

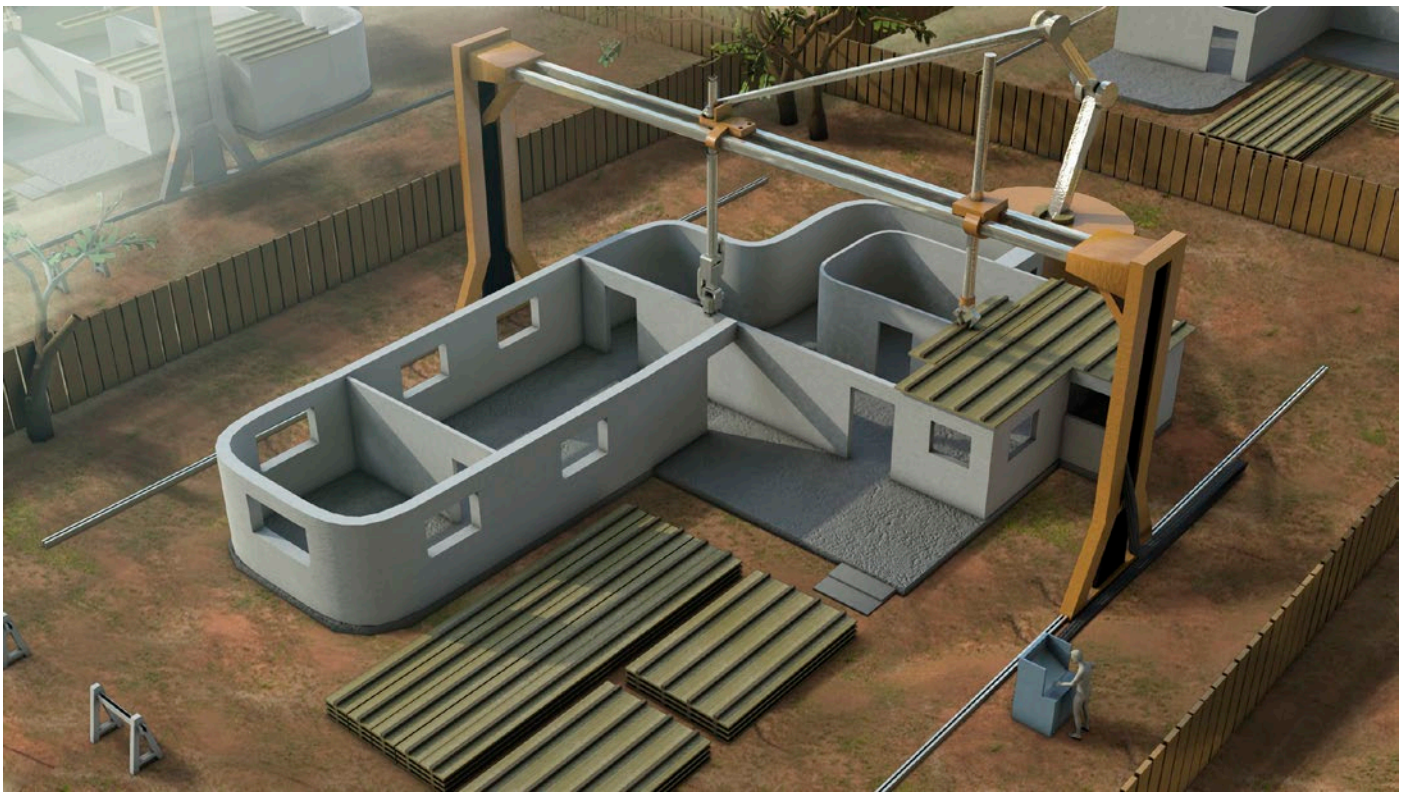
In addition to concrete and clay, the research has focused on metals and other materials such as PLA (Poly-Lactic Acid). The first category includes the experiments of the Dutch MX3D Metal for the development of a multi-axis robotic system through a steel additive welding for the fabrication and installation of a metal bridge in Amsterdam. Demonstrative and educational experiments include also the 3D Printed Urban Cabin, a habitable experimental module, and the 3D Print Canal House in Amsterdam (2013, in progress) (Fig. 4); both designed by DUS Architects and create with the use of biodegradable materials of the PLA category.

#### **Conclusions: to the architecture on demand**

The path traced in this paper describes a complex photography, in which Architecture struggles to keep up with technological innovations, because it needs for a certain settling time, often in contrast with the rapidity of social, economic and technological changes that characterize the today's society. Avoiding the risk to follow temporary trends or false technological myths, the architecture has the duty to be dynamic, variable, open to multiple interpretations with the goal to reactivate a systemic dialogue between material and design aspects.

This dialogue can be useful to illustrate new scenarios complied with the architecture and the construction industry, which mainly involves the rethinking of the skills of the designer, to whom is required an increasingly

03 |



03 | Sistema Contour Crafting, <http://contourcrafting.com>  
Contour Crafting System, <http://contourcrafting.com>

04 |



04 | 3D Print Canal House, DUS Architects, <http://3dprintcanalhouse.com>  
3D Print Canal House, DUS Architects, <http://3dprintcanalhouse.com>

## Conclusioni: verso l'architettura on demand

Il percorso tracciato fotografa un quadro complesso, nel quale l'Architettura fatica a stare al passo con le innovazioni tecnologiche, in ragione della necessità di un certo tempo di sedimentazione, spesso in contrasto con la rapidità dei mutamenti sociali, economici e tecnologici che caratterizzano la società odierna.

Per non correre il rischio di seguire mode momentanee o falsi miti tecnologici, all'architettura è richiesto di essere dinamica, mutevole e aperta a molteplici interpretazioni, affinché si riattivi un dialogo sistemico tra aspetti materiali e progetto.

Un dialogo che può aprire a nuovi scenari per l'architettura e l'industria delle costruzioni, che interessano principalmente il ripensamento delle competenze del progettista, al quale è richiesto un approccio sempre più complesso e aperto per governare i processi che dall'ideazione portano alla realizzazione del progetto, che vede il superamento dei confini disciplinari e comprende una profonda conoscenza da un lato degli strumenti informatici, dall'altro delle tecnologie e delle modalità di produzione industrializzata per l'edilizia.

Il progettista vede dunque amplificare il proprio ruolo di coordinamento dei diversi saperi coinvolti nel processo edilizio, e confermata la necessità di una formazione continuativa, non più generica, ma consapevole delle molteplici istanze sociali, ecologiche e tecnologiche, al fine di rispondere con tempi e costi certi ai repentini mutamenti dello sviluppo tecnologico e delle esigenze della committenza, sempre più coinvolta nel processo decisionale.

Gli strumenti digitali come il BIM, costituiscono il mezzo per controllare le diverse fasi progettuali e realizzative. Oltre che a

complex and open approach to organize each phase of the processes, from the early conception to the ultimate realization of the project, overcoming the disciplinary boundaries and including a deep knowledge, on one side of the informatics tools, on the other side of the technologies and methods of industrialized production for the building industry.

The architect has the possibility to extend his role of coordination between the different knowledge involved in the building process: it is confirmed the need to propose a continuous training, no longer generic but aware of the several social, ecological and technological request, in order to respond properly, with certain time and costs, to the sudden changes in technological development and the needs of the client, increasingly involved in the decision-making process.

Digital tools such as BIM constitute the means to control the different design and construction phases. In addition to allowing the parametric design of increasingly complex shapes, they allow to evaluate, technically, the various design solutions.

The high control of the informatics tools allows the designer not to have a condition of subalternity or to be surprised by the technological changes taking place in the productive sector and, at the same time, to be able to compete in the globalized world.

The 3d printing technology is a frontier in the construction industry with considerable potentiality in terms of efficiency, economic and environmental sustainability of processes, especially in the reduction of construction waste, and about the guarantee of higher safety in the workplace. However, the implementation of such systems

consentire la progettazione parametrica di forme sempre più complesse, essi consentono infatti di valutare tecnicamente le diverse soluzioni progettuali.

La padronanza degli strumenti informatici permette al progettista di non avere una condizione di subalternità nei confronti dei mutamenti tecnologici in atto nel settore produttivo e, allo stesso tempo, di poter competere nel mondo globalizzato.

La tecnologia della Stampa 3d costituisce una frontiera dell'industria delle costruzioni dalle notevoli potenzialità in termini di efficienza e sostenibilità economica e ambientale dei processi, specie nella riduzione dei rifiuti da costruzione e nella garanzia di maggiore sicurezza sui luoghi di lavoro. Tuttavia, l'implementazione di tali sistemi nel campo architettonico presenta ancora alcuni limiti di natura tecnologica, come la stringente relazione di proporzionalità tra la dimensione dei macchinari e gli oggetti da produrre. Questo ha finora ristretto il campo di applicazione alla produzione sperimentale di componenti edilizi offsite, rimandando a futuri sviluppi la possibilità reale di costruire un intero edificio in 3d in situ.

L'armonizzazione dell'industrial mass customization e del construction 3d printing con l'approccio open-source apre alla definizione di un nuovo paradigma interpretativo dell'innovazione tecnologica in atto nel rapporto tra progetto e tecnologia: l'architettura on demand, caratterizzata dall'accesso libero e condiviso a piattaforme cognitive, in cui sarà possibile raggiungere il più alto livello di personalizzazione delle realizzazioni.

in the architectural field still presents some technological limits, such as the stringent relationship of proportionality between the size of the machinery and the objects to produce.

This has so far restricted the field of application to the experimental production of offsite building components, referring to future developments the real possibility of fabricate an entire building in 3d in situ. The harmonization of industrial mass customization and construction 3d printing with the open-source approach offers the definition of a new interpretative paradigm of the technological innovation underway in the relationship between design and technology: the architecture on demand, characterized by free and shared access to cognitive platforms, in which it will be possible to achieve the highest level of personalization of realizations.

## NOTES

<sup>1</sup> The paper derive from the results of the research, conducted by Michele Conteduca and supervised by Eliana Cangelli, collected in the Ph.D thesis: Industrial Mass Customization. Innovative scenarios for the construction of the architectural project (2016), Environmental Design Doctor of Philosophy (PhD), XXVII Cycle, Sapienza Università di Roma, Department of Planning, Design, and Technology of Architecture (PDTA).

<sup>2</sup> The most famous applications of Open Building are the Molenvliet complex (Rotterdam, Netherlands, 1969), and NEXT21 residence building of Yositika Utida and Shu-Koh-Sha Architecture (Osaka, Japan, 1994).

<sup>3</sup> The ideas of lean production are based on three principles: just in time, according to which each component must reach the line at the precise mo-



## NOTE

<sup>1</sup> Il paper trae le sue mosse dagli esiti della ricerca portata avanti da Michele Conteduca, e supervisionata da Eliana Cangelli, confluita nella tesi di dottorato Industrial Mass Customization. Scenari innovativi per la costruzione del progetto di architettura (2016), Dottorato di Ricerca in Progettazione Ambientale, XXVII ciclo, Sapienza Università di Roma, Dipartimento PDTA - Pianificazione Design Tecnologia dell'Architettura.

<sup>2</sup> Le applicazioni più note dell'open building sono il complesso Molenvliet (Rotterdam, Paesi Bassi, 1969), e l'edificio NEXT21 di Yositika Utida e Shu-Koh-Sha Architecture (Osaka, Giappone, 1994).

<sup>3</sup> La lean production si basa su tre principi: il just in time, in base al quale ciascun componente deve arrivare alla linea nel preciso momento in cui ce n'è bisogno e nella quantità necessaria; l'autoattivazione dell'operaio in situazioni di anomalia della linea; il lavoro per squadre.

<sup>4</sup> Un esempio di onsite robotics è rappresentato dal sistema costruttivo del "Big Canopy", della giapponese Obayashi.

<sup>5</sup> Le principali tecniche di additive manufacturing sono la Stereolitografia, il Fused Deposition Modeling, il Selective Laser Sintering, il Laminated Object Manufacturing e la 3D Print.

<sup>6</sup> La 3D Printing Strategy (2016) mira a rendere Dubai la città leader nel settore: entro il 2030 il 25% di tutti gli edifici di nuova costruzione dovrebbero essere realizzati mediante la stampa 3d.

<sup>7</sup> Il sistema SMART della Shimizu si basa su una fabbrica automatizzata mobile, formata da robot, che sale gradualmente nel processo una volta completato un livello dell'edificio.

<sup>8</sup> Il sistema consente di ottenere la grande stampa 3d di componenti edili e interi edifici attraverso miscele a base cementizia e ceramica, integrando in un unico, continuo processo automatizzato la costruzione di rinforzi strutturali e la predisposizione per gli impianti idraulico ed elettrico.

<sup>9</sup> Tecniche che si basano sul Contour Crafting sono il Self-contained automated construction deposition system (2004); il sistema Freeform Con-

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

## REFERENCES

Anderson, C. (2012), *Makers: The new industrial revolution*, Crown Business, New York, USA.

Berman, B. (2012), "3-D printing: The new industrial revolution", *Business Horizons*, Vol. 55, n. 2, Kelley School of Business, Indiana University, Bloomington, IN, USA, pp. 155-162.

Bock, T. and Linner, T. (2011), *Advanced Construction and Building Technology*, Master Course held at Technische Universität München on A.Y. 2011-2012, Munich, DE.

Braidotti, R. (2010), *Il Postumano: La vita oltre il sé, oltre la specie, oltre la morte*, DeriveApprodi, Rome.

Butt, N.T. (2012), "Mass Customization in Home Industry", in *Proceedings of the CIB - IAARC W119 CIC 2012, Workshop: Advanced Construction and Building Technology for Society, Laboratory of Building Realization and Robotics*, Technische Universität, München, Munich, DE, pp. 27-32.

Camera dei Deputati, X Commissione Permanente (2016), *Indagine conoscitiva su "Industria 4.0"*.

Ciribini, G. (1984), *Tecnologia e progetto: argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, Celid, Turin.

Gardiner, J.B. (2011), *Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing*, Ph.D Thesis, RMIT, Royal Melbourne Institute of Technology, Melbourne, A.

Habraken, N.J. (1976), *Variations, the Systematic Design of Supports*, MIT Laboratory for Architecture and Planning, MIT press, Cambridge, MA, USA.

Kendall, S.H., (2004), "Open Building Strategy for Balancing Production Efficiency and Consumer Choice in Housing", *NSF/PATH Housing Research Agenda Workshop Proceedings and Recommendations*, Vol I and II, Michigan State University, East Lansing, MI, USA, pp. 60-71.

Lampel, J. and Mintzberg, H. (1996), *Customizing Customization*, MIT Sloan: Management Review, Cambridge, MA, USA.

Levy, P. (1994), *L'intelligenza collettiva: Per un'antropologia del cyberspazio*, Feltrinelli, Milano, IT.

Naim, M., Barlow, J. (2003), "An innovative supply chain strategy for customized housing", *Construction Management and Economics*, Vol. 21, pp. 593-602.

Paoletti, I. (2006), *Costruire Le Forme Complesse. Innovazione, industrializzazione e trasferimento per il progetto di architettura*, Libreria CLUP, Milan.

Pine, B.J. (1993), *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business Press, Cambridge, MA, USA.

Roger, B.R. (2007), "A Generic Classification of Industrialised Building Systems", in Kazi, A.S., Hannus, M., Boudjabeur, S., Malone A. (Ed.), *Open Building Manufacturing. Core Concepts and Industrial Requirements*, Manu-build in collaborazione con VTT - Technical Research Centre of Finland, pp. 35-48.

Toninelli, P.A. (2006), *Storia d'impresa*, Il Mulino, Bologna.

ment in which it is needed and in the necessary quantity; worker's self-activation for situations of line anomaly; work teams.

<sup>4</sup> Onsite robotics examples can be found in Big Canopy, the construction system developed by the Obayashi Corporation (Japan).

<sup>5</sup> The main additive manufacturing are: Stereolithography, Fused Deposition Modeling, Selective Laser Sintering, Laminated Object Manufacturing and 3D Print.

<sup>6</sup> The 3D Printing Strategy (2016) will make Dubai the leader city in the sector. 25% of new Dubai's buildings should be 3D printed by 2030.

<sup>7</sup> The SMART system of Shimizu is based on a movable robotic factory who automatically raise in the process each time a new building level was completed.

<sup>8</sup> The system allow to obtain the large

3d printing of building components and of entire buildings through concrete-based and ceramic mixtures, integrating in a unique and continuous automated process the construction of structural reinforcements and the configuration for the hydraulic and electrical systems.

<sup>9</sup> Techniques based on Contour Crafting are: Self-contained automated construction deposition system (2004), Freeform Construction system (2007), D-Shape (2008), Italian method, used for the construction of prototypes with free and complex shapes through a biocompatible blend of sand and fibers similar to sedimentary rocks.