

Definizione di scenari materiali innovativi attraverso processi di digitalizzazione

Sara Codarin, Marco Medici,

Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara, Italia

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Ricerca avanzata (Under 35)

sara.codarin@unife.it

marco.medici@unife.it

Abstract. L'apertura ai nuovi scenari offerti dalla sinergia tra digitalizzazione del processo edilizio e nuovi paradigmi di realizzazione di manufatti architettonici, così come l'affermarsi di tecnologie di produzione capaci di leggere dati digitali e riprodurre le caratteristiche spaziali (Gershenfeld, 2012), pone la necessità di indagare la ripercussione sul linguaggio architettonico mediante sperimentazioni tecniche e verifiche di applicabilità (Willmann et al., 2013). La presente ricerca si focalizza sulla ancora irrisolta dicotomia tra i fenomeni di industrializzazione delle componenti edilizie e di digitalizzazione dei processi, al fine di definire scenari futuribili nei quali le filiere progettuali (innovazione di processo) e produttive (innovazione di prodotto) possano collimare.

Parole chiave: Digitalizzazione; Industrializzazione; Progettazione parametrica; Additive layer manufacturing.

Introduzione e approccio metodologico

Il rallentamento degli investimenti nel settore costruzioni italiano, iniziato nel 2007, è stato successivamente identificato come uno dei segni della crisi economica e finanziaria che, un anno dopo, avrebbe sconvolto il mercato globale. Ad oggi, gli investimenti nel settore della ristrutturazione ormai raggiungono e superano quelli per le nuove costruzioni. Nel 2015, la manutenzione straordinaria e la riqualificazione degli alloggi hanno rappresentato il 36,3% degli investimenti nel settore costruzioni, segnando così uno storico punto di svolta e diventando l'ambito di investimento trainante del settore¹. Tale scenario, creatosi in maniera inaspettata nel giro di un decennio, ancora fatica a trovare strumenti in risposta alle mutate esigenze del settore.

Da un lato, l'industrializzazione in ambito edilizio si è storicamente realizzata mediante la prefabbricazione dei componenti edilizi in risposta ad un mercato di nuova costruzione, mostrando oggi i propri limiti nell'adattabilità all'intervento caso per caso che il patrimonio esistente richiede.

Definition of innovative material scenarios through digitization processes

Abstract. The ongoing synergy between the digitization of the building process and new paradigms related to the production of architectural constructions and building elements, pave the way for the definition of new scenarios that are worth investigating. The recurring question, indeed, is how the most advanced digital techniques for material production can have a tangible impact on architecture and its morphological languages. In the field of building design, the chance to turn digital data into matter represents a key point to deal with, in order to demonstrate the possibility to transfer actual benefits from other sectors related to the construction industry.

Keywords: Digitization; Industrialization; Parametric design; Additive layer manufacturing.

Dall'altro lato, la quarta rivoluzione industriale è già stata delineata in molteplici settori, ponendo l'attenzione sui benefici che la digitalizzazione e l'IoT possono introdurre.

In ambito edilizio, tale digitalizzazione a livello di processo è più che mai espressa come una reale necessità dai professionisti della filiera al fine di interfacciarsi tramite un linguaggio comune, ridurre le incertezze e assicurare una maggiore consapevolezza nelle scelte progettuali. Il recente impegno normativo che ha portato al Nuovo Codice degli Appalti Pubblici² e alla ridefinizione della UNI 11337 – “Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni”³, dimostra una volontà di declinare una digitalizzazione dei processi edilizi di stampo anglosassone, in uno strumento capace di essere efficacemente applicato al panorama nazionale.

Dal punto di vista metodologico, si è scelto di approfondire dapprima entrambi gli aspetti, in maniera parallela, al fine di fornire uno stato dell'arte utile alla comprensione delle strategie e degli strumenti necessari ad innescare un tentativo di risoluzione, seppur parziale, della dicotomia descritta. Infatti, lo sforzo rivolto alla classificazione e messa a sistema sia delle possibilità tecnologiche (materiali e digitali) che delle variabili di approccio progettuale, ha permesso di ipotizzare alcuni esperimenti, ad oggi ancora a scala laboratoriale (TRL4).

In tal senso gioca un ruolo significativo la possibilità di far dialogare i sistemi più evoluti di rilievo e modellazione tridimensionale con le recenti tecnologie di produzione additiva, o *Additive Layer Manufacturing*, nel cantiere di recupero.

Introduction and methodological approach

The slowdown in investments within the Italian construction sector, which began in 2007, was identified as a sign of the economic and financial crisis that would have disrupted the global market only one year later.

Today, investments in the building renovation field now reach and exceed those for new constructions. In 2015, unscheduled maintenance interventions and housing refurbishment accounted for 36,3% of the investments in the construction sector, marking a historic turning point and becoming the leading area of investment in the sector itself.

This scenario, created unexpectedly in a decade, struggles to find proper tools in response to the changing needs of the sector.

On the one hand, the industrialization in the building sector has historically

been achieved through the prefabrication of construction components in response to a market based on new constructions, now showing its limits in the field of intervention on existing buildings, which require a case-by-case approach.

On the other hand, the fourth industrial revolution has already been outlined in many sectors, focusing on the benefit that digitization and the internet of things (IoT) can introduce.

In the construction sector, the digitization of the process represents a need for those professionals that want to work with a common language, reduce uncertainties and increase awareness of design choices. The recent update of the legislation has led to the new Public Procurement Code², and to the UNI 11337 modification “Digital management of information processes for constructions”³. This has signified



L'industrializzazione edilizia per il cantiere di recupero

Ad oggi, i progetti sull'esistente vengono effettuati tramite sequenzialità artigianali e secondo tecniche consolidate che tuttavia risultano carenti di processualità aggiornate in grado di fornire maggiore controllo preventivo, precisione, replicabilità, assicurazione di risultato e misurabilità delle prestazioni. Prendendo a riferimento le innovazioni sviluppate in Italia negli anni settanta, orientate alla costruzione su grande scala di nuovi organismi edilizi attraverso la produzione di elementi standard, con le attuali tecnologie digitali è possibile applicare alcuni aspetti di industrializzazione della produzione di componenti edilizi nei progetti di recupero, senza che ciò venga associato ad una produzione necessariamente seriale e dunque incompatibile con il patrimonio esistente.

La conseguenza più evidente ed immediata sarebbe quella di una riduzione dei costi e di un aumento di efficacia ed affidabilità nel tempo del risultato costruttivo, in particolar modo di componenti speciali non standardizzati, le cui fase realizzative non sempre consentono una programmazione certa. Attualmente, gli aspetti legati all'industrializzazione in edilizia sono ancora legati alla produzione *fuori opera* (in stabilimento) di materiali, prodotti e tecnologie che risentono di un più elevato controllo di qualità e di prestazioni certificate. Ciò che ancora non si rileva, nel cantiere tradizionale, sono invece modelli perseguibili di *industrializzazione a pie' d'opera* e *in opera* per aumentare l'efficacia delle lavorazioni, che non facciano leva sulla replicabilità a larga scala, bensì sulla perfetta esecuzione di elementi discretizzati o pezzi unici (Calzolari et al., 2017).

the decision to adapt the Anglo-Saxon example of digitisation within building processes to an applicable tool in Italy. We have decided to analyse methodically both aspects in parallel in order to provide a comprehensive state of the art that can be useful for understanding the strategies and tools necessary to solve, even partially, the mentioned dichotomy. Indeed, our effort to classify and systematize both technological possibilities (material and digital) and the design approach variables, has allowed us to hypothesize some experiments, to date still at the lab environment (TRL4). To confirm this, the possibility to encourage a dialogue between three-dimensional survey and modelling systems with the most advanced Additive Layer Manufacturing machines, outlined by different technological and material alternatives, could play a significant role for further developments.

Industrialization of the restoration building site

Valorization and restoration interventions on the architectural Heritage refer to the so-called case-by-case approach. In accordance with its objectives and due to the lack of forecasting guidelines, architects make several decisions directly on site.

Today, projects on existing buildings are still realized through established techniques used by artisans, although these are not updated enough to provide a greater control in advance, precision, repeatability, guaranteed results, and performance measurability. Taking as an example the innovations developed in Italy in the 70s, focused on the large-scale construction of new standardized buildings, the most advanced digital technologies allow applying some aspects of the industrialization of building components pro-

La digitalizzazione del processo edilizio

Il flusso di lavoro digitale, soprattutto nel momento in cui prendiamo in esame rigenerazioni edilizie e progetti sul costruito, fino a toccare la scala urbana, si configura come una rappresentazione integrata, su tutta la filiera, in relazione alla necessità espressa dai diversi professionisti di interfacciarsi tramite un linguaggio comune (Medici, 2017). In particolar modo, prendendo in esame il ruolo della rappresentazione nell'analisi e nella documentazione degli *asset* edilizi esistenti, la dimensione digitale si pone come elemento di confronto con la realtà, intesa come sintesi di spazi, materiali e tecnologie, risultante da complessi processi di modificazione e stratificazione di un ambiente urbano.

Dal punto di vista della pratica professionale è possibile raggruppare la maggior parte degli strumenti digitali più avanzati disponibili sul mercato sotto il nome di Building Information Modelling (BIM). L'adozione di tali strumenti informativo-rappresentativi, infatti, non permette solo di condurre in modo trasparente le fasi progettuali al fine di realizzare elaborati tradizionali corretti dal punto di vista rappresentativo, ma si estende all'intero processo edilizio, mettendo in relazione elementi compositivi, tecnologici e strutturali con le fasi di costruzione e cantiere (BIM 4D), stima dei costi (BIM 5D), certificazione (BIM 6D) e gestione del ciclo di vita (BIM 7D + CAFM). Diviene così possibile effettuare ragionamenti sulla sostenibilità dell'opera ben più consapevoli ed approfonditi.

Il carattere informativo del modello diviene quindi preponderante rispetto all'aspetto geometrico, grazie alle possibilità offerte dalla standardizzazione delle componenti architettoniche. È infatti il dato informativo stesso che assume, in relazione alla

duction for restoration projects. This innovation effort must not be associated with a necessarily serial production, which would be incompatible with the existing constructions. The immediate consequence could be a reduction in costs and a greater reliability over time of the constructive result, especially of non-standardized components that do not allow a precise planning for their realization.

The aspects related to the industrialization in the building industry still refer to the off-site production (i.e. in a protected, safe and under controlled conditions environment) of materials, products and technologies that are subjected to a higher quality supervision. In the traditional building site, on site industrialisation is yet not evident, even though it could potentially help to increase the perfect execution of unique elements, not realizable

through mass production (Calzolari et al., 2017).

Digitization of the building process

Taking into account building renovations, architectural or urban interventions upon existing building stocks, the digital workflow can be described as an inclusive and integrated representation that meets the need of the professionals to communicate with a common language (Medici et al., 2017). In particular, if we consider the role of representation for the analysis of existing building stocks, the digital environment acts as an element of comparison with reality, which is intended as a synthesis of spaces, materials and technologies, resulting from complex modification and stratification processes of an urban fabric.

It is possible to group the most advanced digital tools (commercially

Diagram of the “size” of the building process that can be managed during the life cycle of a building through the implementation of BIM tools and methods - original graphic reworking. Credits: Marco Medici

dimensione nella quale è interpretato, il valore di parametro progettuale (Dore e Murphy, 2014).

Bridging the gap: l’impiego di soluzioni ALM

Benché le metodologie e le tecnologie BIM siano state sviluppate per soddisfare i requisiti per i nuovi edifici, la ricerca a livello nazionale sul tema BIM è incentrata su come rendere queste tecnologie conformi a un panorama diffuso di edifici esistenti. Trasformare il dato digitale in materia diviene infatti la principale sfida alla quale dare risposta al fine di dimostrare quali reali benefici sia possibile trasporre da settori affini. I più aggiornati processi di realizzazione e produzione di componenti, progressivamente in fase di messa a punto, ad oggi sono già in grado di leggere i dati digitali e riprodurne il layout geometrico nello spazio tridimensionale.

Esistono diverse soluzioni di automazioni innovative del cantiere contemporaneo (Bock e Thomas, 2016), tra cui bracci meccanici programmati per movimentare i materiali da costruzione (*brick layering*), componenti robotiche in grado di mettere in forma pannelli da adattare al volume dell’edificio (*forming robots*) o macchine che funzionano per fresatura (CNC) o taglio a filo (*wire-cutting*) e quindi per sottrazione di materiale dall’elemento monolitico di partenza.

Nel 2006, gli architetti e ricercatori F. Gramazio e M. Kohler (Wangler et al., 2016), presso l’ETH di Zurigo hanno applicato per la prima volta, secondo una procedura *fuori opera* ma che si prevede possa venire attuata direttamente *in opera*, la così definita tecnologia di *brick layering*, per la realizzazione dell’involucro di un edificio di nuova costruzione (ampliamento della cantina *Gantenbein*). Il braccio robotico utilizzato per la sperimenta-

available, intended for the design and management of the functionalities of a building), under the definition of Building Information Modelling (BIM).

The adoption of these informative-representative tools allows:

- carrying out transparently the design phases in order to produce conventional graphic works that are correct in terms of representation;
- relating architectural composition, technology, and structure within the whole construction process (BIM 4D), estimation of costs (BIM 5D), certification (BIM 6D), and life-cycle management (BIM 7D + CAFM).

These possibilities allow evaluating in advance and more carefully the sustainability of the works.

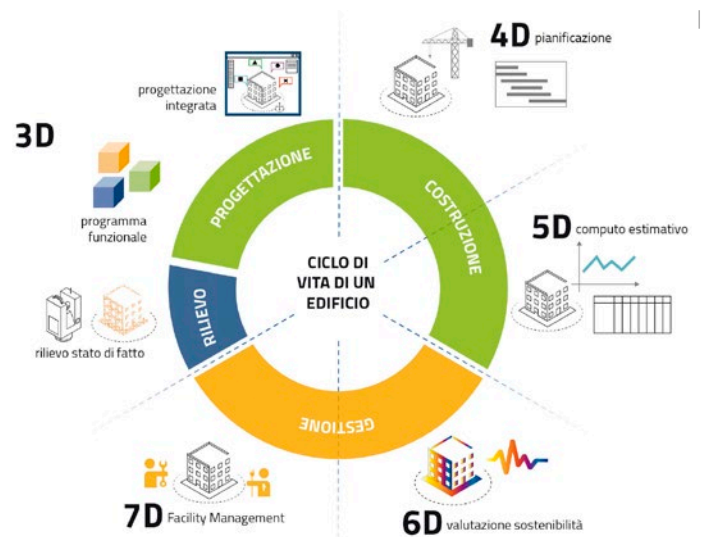
Thanks to the possibilities deriving from the standardization of architec-

tural components, the informative character of the digital model significantly outweighs the geometric aspect. The informative data itself, indeed, acquires the value of design parameter, based on the dimension in which it is interpreted (Dore and Murphy, 2014).

Bridging the gap: the use of ALM

Although BIM methodologies have been developed to meet the requirements for new constructions, the ongoing national research on the theme focuses on how to apply these technologies to a widespread panorama of existing buildings.

Turning digital data into matter becomes the main challenge to be undertaken in order to find possible benefits to be transferred from related sectors. The most advanced systems for the production of building elements, currently under development, are able to



zione è stato programmato per spostare e posare all’interno di un modulo prefabbricato singoli mattoni in posizione variabile rispetto alla verticale, generando una dinamica di facciata – funzionale ai fini del controllo solare interno – difficilmente realizzabile con tecniche tradizionali.

Fra i sistemi di automazione di cantiere, le ricerche fino ad oggi svolte nell’ambito di questi processi evoluti hanno approfondito il *large-scale Additive Layer Manufacturing*, ovvero una metodologia costruttiva in grado di sostenere il salto di scala dall’oggetto di design al componente edilizio (Lipson e Kurman, 2013) che consente di generare volumetrie tramite la sovrapposizione (addizione) di *layer* consecutivi di apposite miscele fino alla definizione del prototipo finale, precedentemente modellato in digitale. All’interno delle strumentazioni di ALM, il funzionamento si sviluppa per deposito (*powder bed deposition* o *3D printing*) o per estrusione a freddo (*cold extrusion* o *3D plotting*) a seconda della geometria finale che si intende definire.

I sistemi che funzionano per deposito consistono nel rilascio tramite ugelli di strati alternati di un materiale di base (general-

read digital data and reproduce the deriving geometric layout in the real three-dimensional space.

There are several innovative automation tools of the contemporary building site (Bock and Linner, 2016), including: mechanical arms programmed to move building materials (*brick layering*), robotic arms to re-shape metal panels (*forming robots*), milling machines (CNC) to subtract material from a monolithic element, and wire-cutting technologies.

In 2006, the architects and researchers F. Gramazio and M. Kohler (Wangler et al., 2016), founders of the Architectural Robotic Laboratory at the ETH in Zurich, applied off-site (but in the future, it is expected to be implemented directly on site) the so-called brick layering technology for the construction of a new building (expansion of the *Gantenbein* winery). The robotic

arm used for the experimentation was able to move and lay one brick at a time inside a prefabricated frame in apparently random positions -functional instead for internal the bioclimatic control in both summer and winter- generating a façade dynamism difficult to achieve by using traditional techniques.

Among the building site automation systems, the present study aims at deepening the large-scale Additive Layer Manufacturing, which is a construction technology able to create volumes at any scale, from the design object to the building component (Lipson and Kurman, 2013). These systems work through the consecutive overlapping (addition) of material layers up to the definition of the expected result, previously digitally modelled.

Often times, the term ALM is mistaken for 3D printing, which is instead a

mente sabbia o gesso) e un legante inorganico, ove si intende far solidificare l'inerte. Essi consentono di generare volumi monolitici in forme libere (Kestelier, 2011), su qualsiasi asse.

Attraverso l'uso di questa tecnologia, nel 2007 l'azienda italiana *D-shape*, in collaborazione con *Shiro Studio*, ha realizzato *Radiolaria* (Morgante, 2011), il primo prototipo di dimensione paragonabile a quella di un'opera edilizia, progettato attraverso la definizione di regole algoritmiche che si rifanno alle forme tipiche dei radiolari da cui trarre esempio per l'ottimizzazione morfologica e della performance statica della struttura unicellulare che li costituisce. L'osservazione a scala ravvicinata della natura ha portato, in questo caso, ad adottare come tecnologia costruttiva il procedimento di ALM in quanto consente di depositare strati di materiale in modo additivo solo dove indispensabile, a imitazione dei processi tipici di formazione degli elementi biologici (Menges, 2012).

Nel caso dell'estrusione, le stampanti sono dotate di un dispositivo progettato per depositare strati sovrapposti di impasto vi-

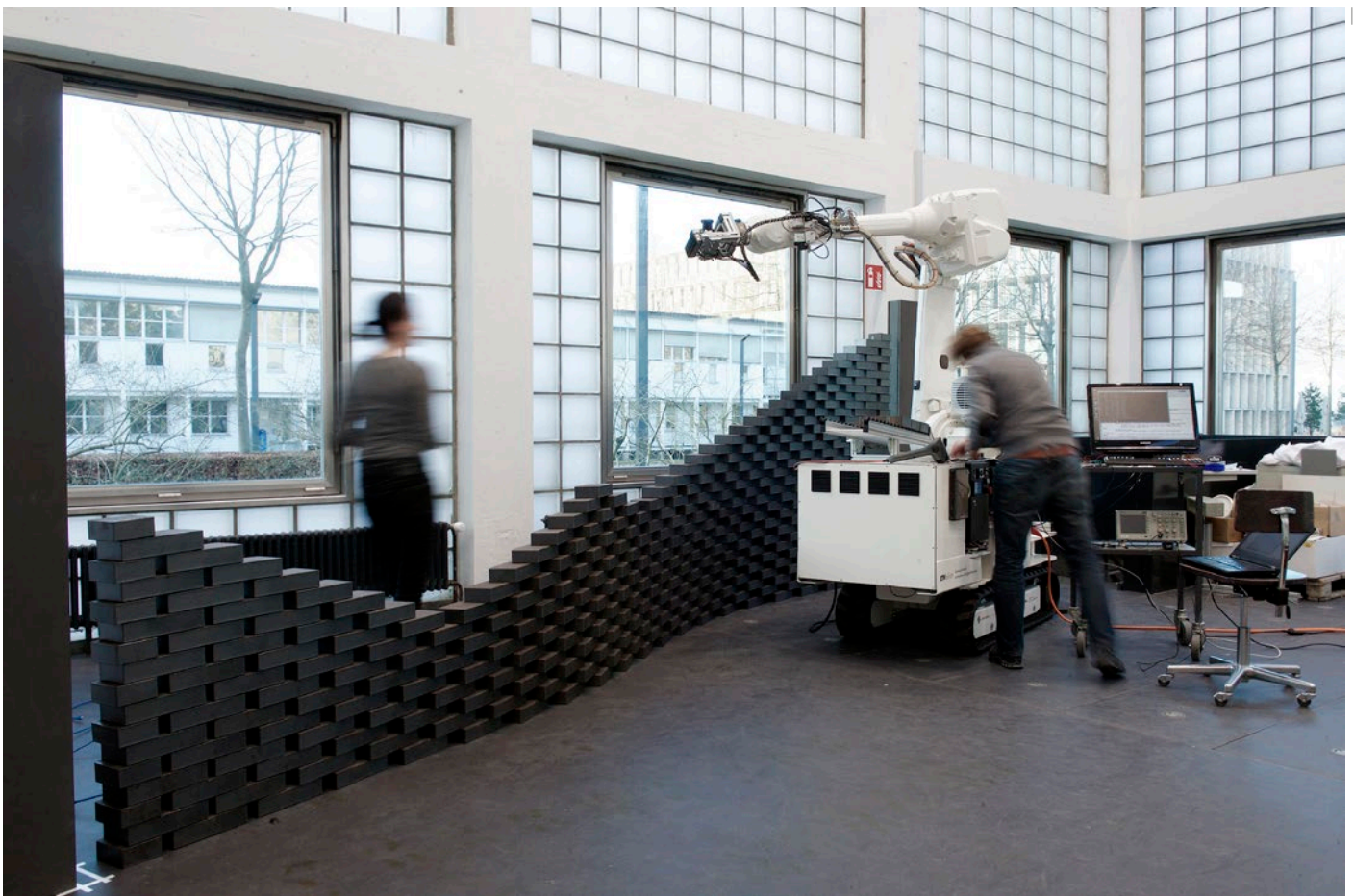
soso (spesso a base di terra cruda o conglomerati cementizi) in grado di solidificare in tempi rapidi, riservando tuttavia delle limitazioni volumetriche sull'output di stampa, che deve essere generato seguendo l'asse verticale.

In questo caso, la tecnologia di ALM permette di elaborare, tramite procedimento a umido, prodotti di stampa con una semplificazione delle logistiche di cantiere che prevede l'eliminazione di casseri per il getto e di lunghi tempi di presa e maturazione.

Un esempio di realizzazione si è ottenuto presso i laboratori dell'*Institute of Advanced Architecture of Catalonia (IAAC)*, con il progetto *Pylos*, per il quale si è prevista la realizzazione di moduli di parete in terra cruda progettati per resistere a sforzi di compressione consistenti (Dubor et al., 2018).

Gli impasti adatti per essere estrusi, a seconda delle ambizioni progettuali, possono essere a base di terra cruda (*Shamballa Village*, Wasproject)⁴, polimeri plastici (*Mataerial*, IAAC)⁵, o calcestruzzo (*Yhnova*, Università di Nantes)⁶.

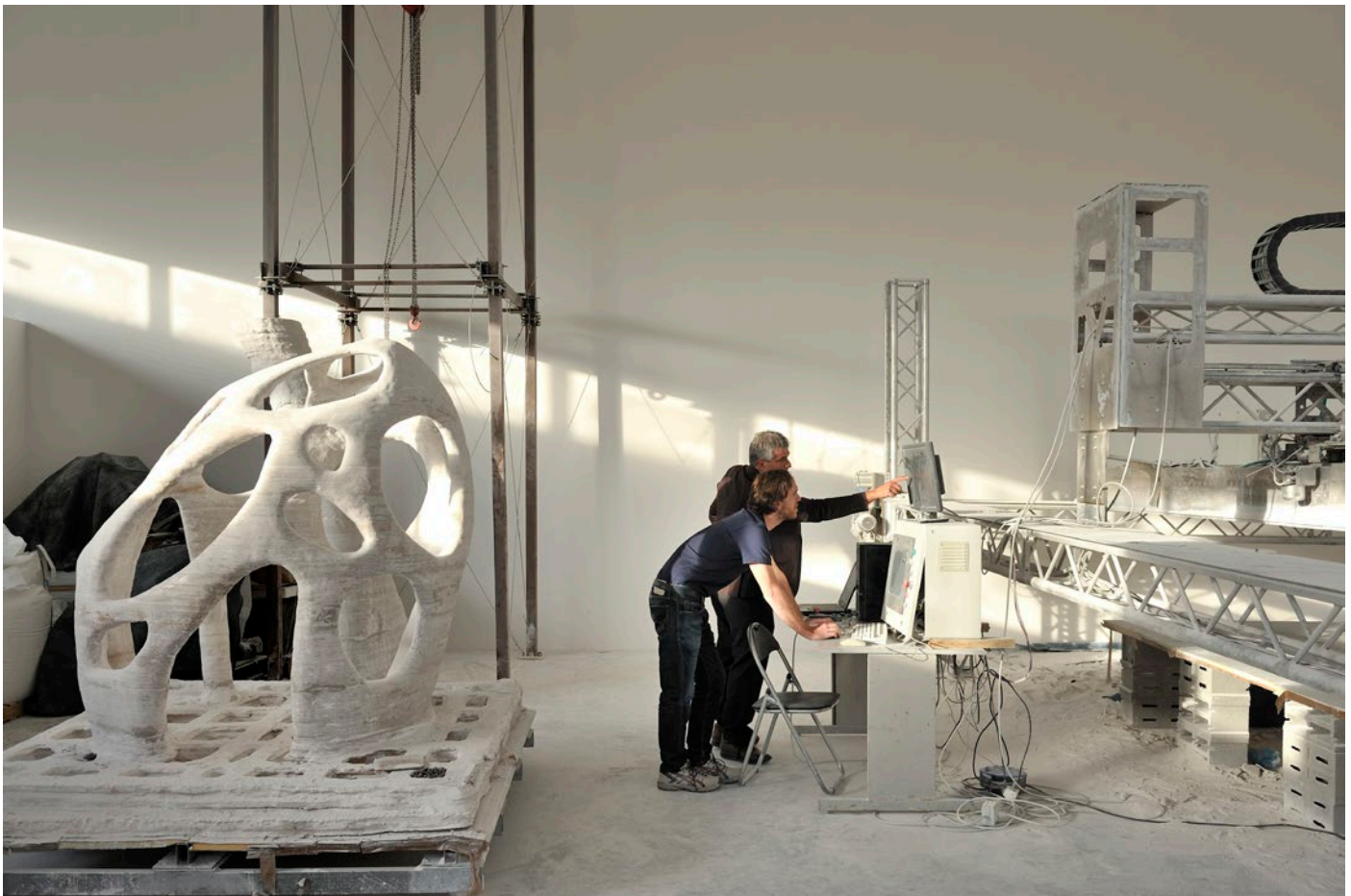
Questa tecnologia, in particolare, concordemente ai modelli di



04 | Radiolaria, il primo prototipo di dimensione paragonabile a quella di un manufatto edilizio, stampato in 3D da Dshape in collaborazione con Shiro Studio. Crediti: Shiro Studio
Radiolaria, the first large-scale 3D printed prototype, designed by Shiro Studio and realized with Dshape technology. Credits: Shiro Studio

05 | Stampante 3D sperimentata allo IAAC per l'estrusione di layer sovrapposti di terra cruda. Crediti: Sofoklis Giannakopoulos
Experimentation performed at IAAC for the realization of building elements made of raw soil through a 3D plotting process. Credits: Sofoklis Giannakopoulos

04 |



05 |



subset. The ALM tools are mainly two: powder-bed deposition (3D printing), and cold extrusion (3D plotting), to be used differently according to design requirements. 3D printing systems use nozzles to deposit alternating layers of a base material (usually a thin inert, such as sand or gypsum) and an inorganic binder, used to solidify the inert. This technology is

able to create free-form monolithic volumes, without geometrical limitations on any axis (Kestelier, 2011). A tangible outcome realized, in 2007, through powder-bed deposition can be identified in Radiolaria, the first large-scale prototype resulting from a shared work of the Italian company D-shape and the design firm Shiro Studio (Morgante, 2011). The shapes of radiolaria inspired

the volume. They provide, indeed, an example of morphological and structural optimization, whose biological principles were systematized through the definition of digital mathematical algorithms. The close observation of nature, in this case, is in complete accordance with ALM construction processes, which consist of the deposition of material only if indispensable,

by replicating artificially the typical formation processes of biological elements (Menges, 2012). 3D plotting consists of an extruder programmed to deposit overlapping layers of a viscous mixture (raw soil or concrete) that solidifies rapidly. However, the mechanism can produce a limited range of shapes, as long as every output must be generated fol-

Synoptic overview of the different intervention models in relation to the technical complexities solved in the traditional project that require a preliminary analysis for the implementation of ALM technologies. Credits: Sara Codarin

business circolari, permette di sperimentare l'impiego di materiali di recupero attraverso la macinazione degli scarti di cantiere.

Risultati preliminari raggiunti: come sperimentare l'ALM sul cantiere di recupero

Gli esempi fin qui portati hanno messo in luce come sia necessario indirizzare le ricerche future verso la dimostrazione che tali approcci tecnologici necessitano di essere declinati nell'ambito del cantiere di recupero.

Grazie al confronto su tavoli di ricerca internazionali e con particolare riferimento alla comunità scientifica nord-europea, è stato possibile dimostrare come i temi dell'automazione di cantiere sulla base del progetto digitale rappresentino una delle più importanti frontiere di questo ambito disciplinare⁷. Le tecniche avanzate di posizionamento in esterno o interno, così come le logiche di controllo automatico dei macchinari di cantiere, necessitano di un adeguamento procedurale in funzione del rapporto con la preesistenza. Si pone quindi la necessità di comprendere come le tecnologie di ALM siano declinabili al fine di garantire il rispetto del manufatto esistente e la possibilità del progettista di rispondere in maniera coerente rispetto al linguaggio architettonico. A tal fine, all'interno della presente ricerca, sono stati analizzati ed elaborati differenti approcci di intervento attraverso i quali è stato possibile dedurre aspetti tecnologici irrisolti, come mostrato nel seguente schema.

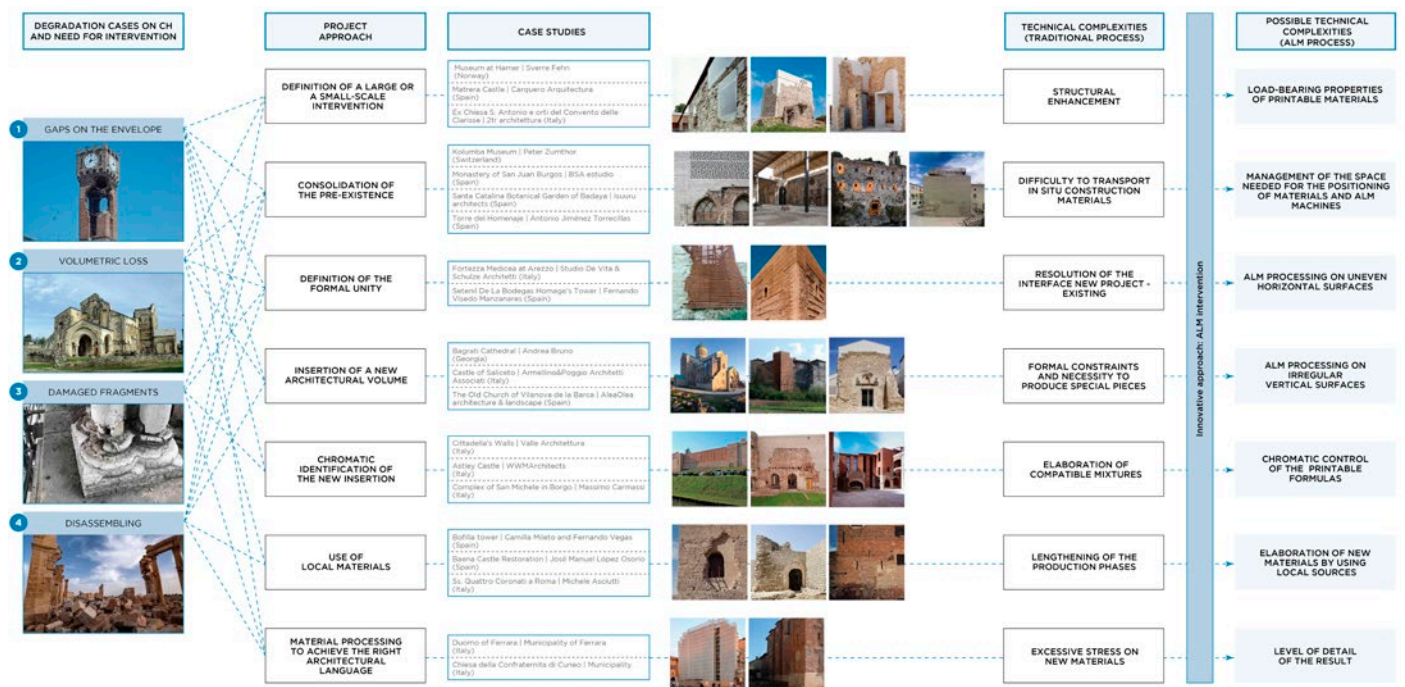
Primo fra tutti, emerge il limite che, indipendentemente dalla

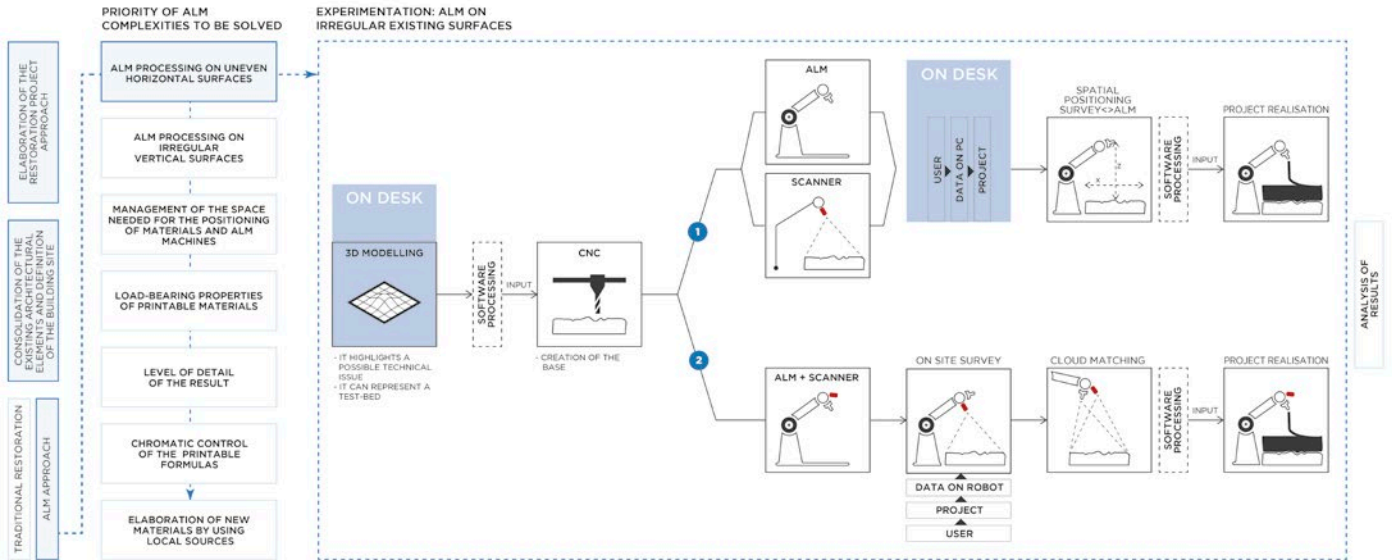
tecnologia di produzione additiva impiegata, il deposito di materiale avviene su un piano orizzontale livellato. Lavorare sull'esistente richiede invece maggiori gradi di libertà, sia in termini di superfici di partenza irregolari e con differenti inclinazioni, che di adeguamento del progetto durante le fasi di cantiere. Al fine di raggiungere la dimostrazione di applicabilità in laboratorio, è attualmente in fase di progettazione uno specifico strumento (TRL3), composto da un braccio robotico sul quale saranno installati differenti sistemi di estrusori congiuntamente ai quali si prevede l'inserimento di un sensore LiDAR⁸, fornendo così la possibilità simultanea di deposito materiale e acquisizione geometrica tridimensionale. Tale strumento potrà permettere da un lato di verificare in ambiente controllato (TRL4) procedure e metodi per il deposito di materiale su superfici non livellate, così come contribuire ad incrementare il livello di documentazione digitale dell'intervento sull'esistente, garantendo la possibilità di adeguamento progettuale in cantiere e aprendo a possibili scenari di industrializzazione a *pie' d'opera* e *in opera*.

Conclusioni e sviluppi futuri: la definizione di un nuovo linguaggio architettonico

Nell'apertura ai nuovi scenari offerti dalla sinergia tra digitalizzazione del processo edilizio e nuovi paradigmi di produzione di manufatti architettonici e

componenti edilizi, la scelta delle logiche di intervento, della materia impiegata e della strumentazione con cui generarla ed ap-





picarla diviene pertanto diretta dipendenza del linguaggio espressivo adottato, nel superamento di due aspetti cardine che hanno da sempre caratterizzato progettazione edilizia.

Da un lato si assiste al superamento del concetto tradizionale di rappresentazione tridimensionale per modelli intesa come semplificazione ed astrazione del reale. Il modello digitale del costruito fino ad oggi concepito come una rappresentazione fisica, una simulazione, effettuata tramite software, viene superato. Il modello diviene qui invece un contributo di conoscenza

lowing tightly the vertical axis. In this particular case, cold-extrusion systems can create three-dimensional volumes through a “wet” process with a simplification of the building site logistics. Casting formworks, indeed, are no longer required. To make an example, Pylos project, developed at the laboratories of the Institute of Advanced Architecture of Catalonia (IAAC), has led to the realization of raw soil wall modules, designed to support consistent compressive stresses (Dubor et al., 2018). Depending on the design language to be achieved, the mixtures suitable to be extruded by using a 3D plotter can be based on raw soil (Shamballa Village, Wasproject)⁴, plastic polymers (Mataerial, IAAC)⁵, or concrete (Yhnova, University of Nantes)⁶. In particular, Additive Layer Manufacturing, in accordance with circular business models aimed at re-

ducing resources consumption and introducing recycled components into new commercial products, opens the door to the use of construction waste, grinded in controlled percentages inside the mixtures.

Preliminary achieved results: how to test ALM technologies on the restoration building site

The examples so far brought in support of this dissertation have highlighted the need to point future research towards the demonstration that should be declined within the frame of the restoration building site. The ongoing debate among international research groups (in particular within the North-European scientific community), came across the idea that the automation of the building site based on a digital project represents one of the most important frontiers in this field⁷.

sull'edificio. Tale processo arricchisce la nostra esperienza, fino a «fornirci più esperienza di quella che noi avremmo potuto raccogliere, senza la mediazione dell'immaginale, in un rapporto, diciamo, empirico con la realtà» (Maldonado, 1992). Il modello di costruzione dell'edificio, nel trasferimento direttamente in cantiere della produzione materica su base digitale, diviene esso stesso materia.

Dall'altro lato, si assiste al superamento del concetto di standardizzazione, derivante da una produzione *off-site*. Nell'accorciamento

The relation with the pre-existence requires understanding how ALM technologies can be used to guarantee on the one hand the respect of the existing building and on the other the possibility for the designer to respond coherently to the architectural language. For this purpose, within the present research, we have analyzed and elaborated different intervention models that allowed us to deduce unresolved technological aspects, as shown in the diagram. First, independently of the additive manufacturing technology used, the limit that the deposit of material takes place on a flat horizontal surface emerges. Working on existing buildings requires instead a greater degree of freedom, in terms of irregular surface and various slopes to which interface the project during construction phases. In order to demonstrate the lab applicability, a specific tool (TRL3) is

currently being designed, composed of a robotic arm on which different extruders will be installed, together with the insertion of a LiDAR sensor⁸, thus providing the simultaneous possibility of material deposit and three-dimensional geometric acquisition. This tool will allow to verify in a controlled environment (TRL4) procedures and methods for the deposit of material on uneven surfaces, as well as contributing to increase the level of digital documentation of the intervention on the pre-existence, ensuring the possibility of on site design adaptation opening possible scenarios of on-site industrialization.

Conclusions and future developments: the definition of a new architectural language

The definition of new scenarios as a result of the synergy between the digiti-

della filiera del cantiere, la necessità di produrre componentistica fuori opera in maniera industrializzata perde in parte di significato nella misura in cui i vantaggi offerti dalla produzione *in opera* rendono possibile andare oltre le logiche di approvvigionamento del cantiere. Allo stesso tempo rimane la coerenza di poter garantire gli standard qualitativi e prestazionali introdotti negli ultimi anni, capaci di innalzare la qualità media delle nuove costruzioni. La riproposizione di sistemi di certificazione in questo scenario risponde inoltre alla richiesta di soluzione del divario tra prestazioni dei singoli componenti e dalla loro posa in opera. In tale ambito, è necessario introdurre il concetto di progettazione algoritmica (Tedeschi, 2014), che va oltre la progettazione parametrica aprendo inesplorati scenari di gestione della forma. Dal dato informativo come parametro progettuale computabile inserito in un ambiente digitale controllato e predefinito, si passa alla progettazione delle logiche con le quali le variabili stesse del progetto possono diventare materia. Sebbene oggi parlare di progettazione parametrica sembri essere sinonimo di Building Information Modeling, la volontà di trasporre in forma le relazioni tra differenti parametri emergeva già negli anni '60 grazie agli studi di Luigi Moretti (Mulazzani e Bucci, 2000) o si concretizzava nell'opera di Sergio Musmeci (Nicoletti, 1999). L'esplorazione di tali forme, raggiunte senza l'aiuto di un computer, può essere considerata il presupposto alla progettazione algoritmica odierna, nella quale l'attenzione è posta sulla progettazione dell'algoritmo capace di rispondere in maniera più corretta ai requisiti di progetto. La definizione di forme libere come risultato di tale processo (Gershenfeld, 1999) nell'esplorazione di linguaggi nuovi, diviene quindi attuabile nell'immediato grazie alla traduzione del dato digitale in materia.

zation of the building process and new paradigms for the production of building components needs to be widely investigated in the near future, to prevent the technique from prevailing over the critical approach.

The awareness of different aspects such as the most appropriate methodologies of intervention, the proper use of matter, and the suitable tools to create and install it, is a direct consequence of the adopted architectural language, which contribute to go beyond two key concepts that have always characterized building design.

On the one hand, we are witnessing the overcoming of the traditional concept of three-dimensional representation intended as simplification and abstraction of reality. The idea of a digital model of the built environment used to study certain situations is now obsolete. It can no longer be considered

simply a physical representation, a simulation, or a software output.

This discussion, instead, wants to define the three-dimensional model as a critical result of a creative-interpretive processing, which means a contribution of knowledge on a building. This process of knowledge enriches our experience, in order to «provide us with more experience of what we could collect, without the mediation of the imaginal, in a relation, let's say, empirical with reality» (Maldonado, 2005). The moment we assist to the transfer, directly on the building-site, of the material production on a digital basis, the three-dimensional construction model of a building becomes matter itself.

On the other hand, we are observing an update on the concept of standardization, typical of off-site production. If we are able to shorten the "building-site supply-chain", the need to produce

La rivoluzione portata dalla digitalizzazione si configura infatti come la leva per il superamento degli assetti procedurali che oggi ancora afferiscono a metodologie tradizionali ma che necessitano di una risposta coerente con le attuali innovazioni a livello sistemico.

NOTE

⁰ L'articolo, i cui proponenti sono dei ricercatori under 35, dopo aver superato la fase di accettazione dell'abstract e il successivo referaggio effettuato con modalità "double blind", ha ottenuto, da parte del Board di Techne, una valutazione meritevole per la pubblicazione con la logica No-Pay.

¹ Si veda: Osservatorio del Mercato Immobiliare, Agenzia delle Entrate, 2015.

² Si vedano la Legge n.11 del 28 gennaio 2016 e il Decreto Legislativo n.50 del 18 aprile 2016.

³ La norma UNI 11337:2017 tratta di gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni e, nello specifico, si occupa di evoluzione e sviluppo informativo rispettivamente di modelli, elaborati, oggetti e flussi informativi per prodotti e processi digitalizzati.

⁴ Si veda: <http://www.wasproject.it/> (sito visitato in data 9 Aprile 2018).

⁵ Si veda: <https://iaac.net/> (sito visitato in data 9 Aprile 2018).

⁶ Si veda: <http://batiprint3d.fr/> (sito visitato in data 9 Aprile 2018).

⁷ Si faccia riferimento al progetto Erasmus+BIM4PLACEMENT (2016-1-IT01-KA202-005399) all'interno del quale è stato possibile stabilire sinergie di sviluppo con le Università di Oulu (Finlandia) e Stavanger (Norvegia) volte al trasferimento di competenze per la digitalizzazione e l'automazione di cantiere.

⁸ Lo strumento in fase di progettazione è composto da un braccio robotico KUKA® sul quale è previsto l'inserimento di un sensore Velodyne LiDAR® VLP-16. Tale realizzazione sarà resa possibile grazie all'avvio di una collaborazione con il makeLab™ della Lawrence Technological University di Southfield (MI).

off-site industrialized components automatically fades, as long as the benefits offered by in-situ production allow us to go beyond the hitherto known building-site supply methods. At the same time, the importance of ensuring the high-performance standards introduced in recent years and capable of raising the average quality of new buildings, remains. In this scenario, the proposition of certification systems also responds to the need for a solution regarding the gap between the performance of individual components and their on-site installation.

Given the mentioned premises, it is necessary to introduce the concept of algorithmic design (Tedeschi, 2014), which goes beyond parametric design by opening unexplored scenarios for the management of architectural shapes. From informative data, as computable design parameters inte-

grated in a controlled and predefined digital environment, we move on to the elaboration of the variables that drive the project to become matter. Although today parametric design seems to be synonymous with Building Information Modelling, the attempt to turn the relation between different parameters into a shape emerged in the '60s thanks to the studies of Luigi Moretti (Mulazzani and Bucci, 2002) and the works of Sergio Musmeci (Nicoletti, 1999). The exploration of these shapes, achieved without any IT support, can be considered as the precursor of today's algorithmic design that focuses primarily on the definition of the algorithm rule capable of responding as well as possible to the project requirements, once given the input design variables. The elaboration of free-form shapes as a result of this process to explore new languages, in mimesis with

REFERENCES

- Bock, T. and Thomas, L. (2016), *Site Automation*, Cambridge University Press, Cambridge, MA, USA.
- Calzolari, M., Codarin, S. and Davoli, P. (2017), “Innovative technologies for the recovery of the architectural heritage by 3D printing processes”, *Scienza e Beni Culturali*, Vol. 33, pp. 669-680.
- Dore, C. and Murphy, M. (2014), “Semi-automatic generation of as-built BIM facade geometry from laser and image data”, *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Vol. 19, pp. 20-46.
- Dubor, A., Cabay, E. and Chronis, A. (2018), “Energy Efficient Design for 3D Printed Earth Architecture”, in de Rycke, K. et al. (eds.), *Humanizing Digital Reality*, Springer, pp. 383-393.
- Gershenfeld, N.A. (1999), *The nature of mathematical modeling*, Cambridge University Press, Cambridge, MA, USA.
- Gershenfeld, N. (2012), “How to make almost anything: the digital fabrication revolution”, *Foreign Affairs*, Vol. 91, No. 6, pp. 43-57.
- Kestelier, X. (2011), “Design potential for large-scale additive fabrication”, in Glynn, R. and Sheil, B. (eds.), *Fabricate: Making Digital Architecture*, UCL press, London, UK, pp. 244-249.
- Lipson, H. and Kurman, M. (2013), *Fabricated: The new world of 3D printing*, John Wiley & Sons.
- Maldonado, T. (1992), *Reale e virtuale*, Feltrinelli Editore.
- Medici, M. (2017), “The digital workflow of the Smart Swap Building: validation of information-representation methods and tools for the housing renewal process innovation”, in Medici, M., Modugno, V. & Pracucci, A. (eds.), *How to face the scientific communication today. International challenge and digital technology impact on research outputs dissemination*, Vol. 42, Firenze University Press, Florence, pp. 179-192.
- Menges, A. (2012), “Biomimetic design processes in architecture: morphogenetic and evolutionary computational design”, *Bioinspiration & biomimetics*, Vol. 7.
- Morgante, A. (2011), “Radiolaria Pavilion”, in Glynn, R. and Sheil, B. (eds.), *Fabricate: Making Digital Architecture*, UCL press, London, UK, pp. 234-235.
- Mulazzani, M. and Bucci, F. (2000), *Luigi Moretti: opera e scritti*, Princeton Architectural Press, Princeton, USA.
- Nicoletti, M. (1999), *Sergio Musmeci: organicità di forme e forze nello spazio*, Testo & immagine.
- Tedeschi, A. (2014), *AAD, Algorithms-aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper*, Le penseur publisher.
- Wangler, T. et al. (2016), “Digital concrete: opportunities and challenges”, *RILEM Technical Letters*, Vol. 1, pp. 67-75.
- Willmann, J., Gramazio, F., Kohler, M. and Langenberg, S. (2013), “Digital by Material”, in Brell-Çokcan S., Braumann J. (Eds.), *Rob | Arch 2012*, Springer.

natural processes (Gershenfeld, 1999), can therefore be implemented immediately thanks to the possibility to translate digital data into matter.

The examples used to support the present discussion, as well as the critical investigation on possible developments, highlight how it is necessary to direct future researches towards this field.

The revolution brought by digitization is in fact configured as the incentive for overcoming the procedures that still depend on traditional methods. They require, indeed, a response which is consistent with current systemic innovations.

NOTES

⁰ The paper, proposed by an under 35 researcher, has passed the acceptance phase of the abstract and consequently the “double blind review”, obtained, on

the part of the Techne Board, a positive evaluation for the publication with the No-Pay logic.

¹ For further information see: Osservatorio del Mercato Immobiliare, Agenzia delle Entrate, 2015

² See the Law (Delegation Law) No. 11 (28 January 2016) and the Legislative Decree No. 50 (18 April 2016).

³ The UNI 11337: 2017 standard (which modifies the previous 11337: 2009) focus on the digital management of data within the construction sector and, specifically, deals with the information aspect in the development of models, products, objects, and data flows for digitized processes.

⁴ For further information see: <http://www.wasproject.it/> (accessed: 9 April 2018).

⁵ For further information see: <https://iaac.net/> (accessed: 9 April 2018).

⁶ For further information see: <http://batiprint3d.fr/> (accessed: 9 April 2018).

⁷ For further information see the Erasmus+ BIM4PLACEMENT project (2016-1-IT01- KA202-005399), which allowed to create a synergy between the University of Oulu (Finland) and the University of Stavanger (Norway) aimed at the transfer of skills for the digitization and automation of construction sites.

⁸ The tool, which is currently at the design phase, consists of a KUKA® robotic arm equipped with a Velodyne LiDAR® VLP-16 sensor. This, is made possible thanks to a collaboration with the makeLab™ of the Lawrence Technological University in Southfield (MI).