

## CONCEZIONE DELLA FORMA ARCHITETTONICA E TECNOLOGIA DI STAMPA 3D A GRANDE SCALA. VERSO UN'ARCHITETTURA 'HIDDEN-TECH'?

**Giulio Paparella<sup>1</sup>**

Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale, Sapienza Università di Roma,  
Via Eudossiana 18, 00184 Roma RM (IT), giulio.paparella@uniroma1.it

**Maura Percoco**

Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale, Sapienza Università di Roma,  
Via Eudossiana 18, 00184 Roma RM (IT), maura.percoco@uniroma1.it

### ABSTRACT

Progresso tecnologico e concezione spaziale convivono come poli opposti di uno stesso sistema, si contaminano reciprocamente per generare il potenziale innovativo di cui si nutre l'architettura. Questo binomio è il motore di nuove idee, di utopie, più spesso di visioni, pronte ad offrire soluzioni sempre più aggiornate ai problemi urgenti della contemporaneità. La rivoluzione informatica che sta trasformando il nostro modo di vivere, a tale proposito, offre una grande opportunità di rinnovamento nel modo di percepire e rappresentare la realtà che ci circonda, e non solo. Le potenzialità di rilievo ed elaborazione dei dati nel 'mondo virtuale', infatti, trovano oggi un 'percorso di ritorno' nel mondo materiale grazie alle nuove tecnologie di fabbricazione digitale. In questo territorio di confine tra virtuale e reale operano i *FabLab* (Fabrication Laboratory), una rete di 'fabbricatori' (*makers*) che collaborano al fine di mettere a disposizione della comunità globale soluzioni *open source*, economiche ed eco-sostenibili volte a migliorare la vita delle persone. In tale contesto, il progetto, nella sua accezione parametrica, riveste un ruolo ancor più rilevante all'interno di ogni processo produttivo. Nello specifico, in quello edilizio, la tecnologia di stampa 3D offre nuove prospettive in termini di personalizzazione di massa, automazione delle lavorazioni, accuratezza della produzione, economicità e, non ultimo, lavorazione nel sito, difficili da raggiungere con le altre tecniche di fabbricazione digitale. Le diverse sperimentazioni condotte di recente sulla tecnologia di stampa 3D a grande scala applicata al settore delle costruzioni evidenziano l'importanza di metabolizzarne gli esiti per comprendere le opportunità applicative delle differenti strategie possibili in relazione all'approccio di stampa adottato, al tipo di materiale, alla macchina, alla complessità del processo edilizio. Il contributo proposto intende dedurre da una selezione di casi studio una lettura critica d'insieme sul tema al fine di individuare limiti e potenzialità di applicazione della stampa 3D al progetto per l'architettura.

**Keywords:** Architectural Design, Large Scale 3D Printing, Parametric Modeling

---

<sup>1</sup> Corresponding author.

## INTRODUZIONE

Il costante avanzamento tecnologico è un riflesso dell'incessante impulso di conoscenza dell'uomo; il progresso dello strumento tecnico ci accompagna, come il più fedele dei compagni, nelle nuove sfide, alimenta il desiderio di andare sempre 'oltre', al di là del fiume, verso nuovi continenti, fino all'esplorazione dello spazio. In tempi recenti, lo sviluppo dell'informatica ha indirizzato l'interesse di ricerca verso i territori poco esplorati dell'immateriale, aprendo la strada a nuovi percorsi densi di opportunità e al tempo stesso di affascinanti chimere. Nel settore delle costruzioni, progresso tecnologico e concezione spaziale da sempre convivono come poli opposti di uno stesso sistema, si contaminano reciprocamente per generare il potenziale innovativo di cui si nutre l'architettura. Questo binomio è il motore di idee, di utopie, più spesso di visioni, pronte ad offrire soluzioni aggiornate ai problemi urgenti della contemporaneità. In qualità di progettisti, l'attuale condizione di disagio ambientale, sociale ed economico ci obbliga ad intraprendere sentieri di ricerca alternativi basati sull'adozione di metodi e modelli propri della sfera del virtuale. A tal proposito, la tecnica di manifattura additiva, quale sistema in grado di restituire una materializzazione della realtà virtuale, assume un valore che va di là della sua natura strumentale proponendosi piuttosto come occasione nuova per orientare un possibile sviluppo della ricerca progettuale. Questa condizione apre prospettive inedite e pone numerosi interrogativi. L'applicazione della stampa 3D nel campo dell'architettura sarà in grado di indirizzare il progettista verso risposte concrete ed efficaci con cui tentare di arginare i disagi abitativi della contemporaneità? La sua carica innovativa potrà produrre nuove ipotesi ed idee, nella tecnica costruttiva così come nella concezione dello spazio, capaci di suggerire modi alternativi di interpretare il progetto di architettura? Su un piano più generale, la conclamata scissione tra progresso, inteso come visione a lungo termine, e sviluppo, inteso come atto concreto finalizzato al profitto (Pasolini, 1975), potrà essere colmata dalle attuali logiche sociali ed economiche, ispirate a principi di condivisione e partecipazione, suggerite anche dalle recenti opportunità di interconnessione tra reale e virtuale?

## PERCHÉ LA STAMPA 3D?

L'avvento della Rete, già dal termine del secolo scorso, ha aperto la strada a molteplici forme di interazione, fornendo significati e visioni da associare alla nozione di globalità diversi dal consueto, orientati nel senso della cooperazione più che dell'annientamento delle differenti identità culturali (Dougherty, 2012). La recente diffusione delle tecnologie di fabbricazione digitale ha supportato tale obiettivo favorendo la nascita dei *FabLab*<sup>2</sup>, laboratori di fabbricazione in cui *makers* progettano e sviluppano soluzioni sostenibili ed autoprodotte. Tra le differenti tecniche di fabbricazione digitale quella di manifattura additiva offre un processo produttivo semplificato, sia in termini di volume di trasporto del materiale che per quanto riguarda gli aspetti logistici ed energetici. Il tratto distintivo della tecnologia di stampa 3D (ASTM, 2012) sta nella capacità di mettere in relazione il 'mondo virtuale' della modellazione parametrica (ovvero, il grado di personalizzazione del progetto) con il 'mondo reale' del prodotto in senso più ampio, secondo un approccio fortemente multiscalare. Il tema della

---

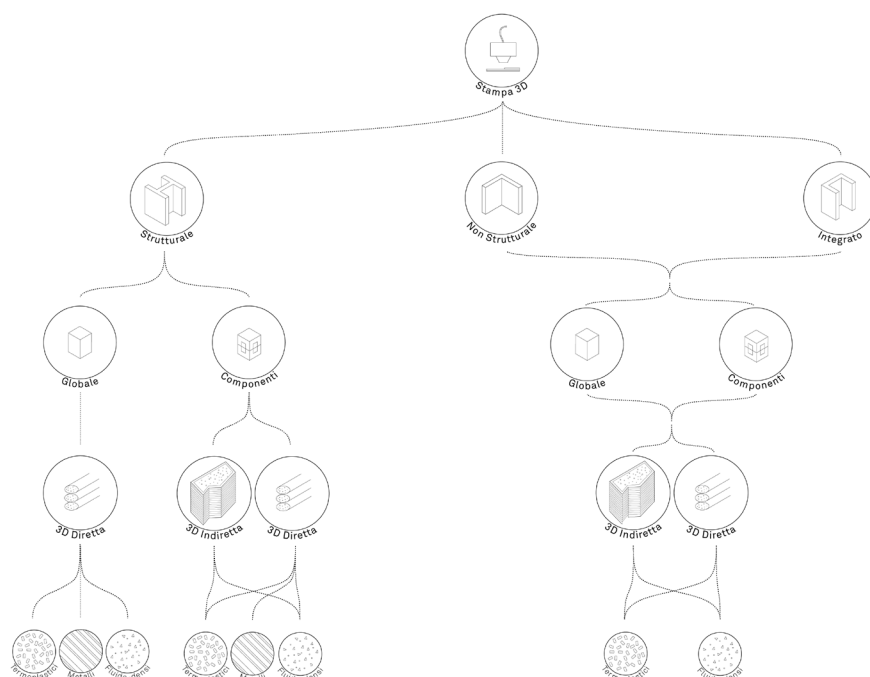
<sup>2</sup> Per maggiori approfondimenti: Accessed September 29, 2019. <https://www.media.mit.edu/projects/fab-labs/overview/>.

multiscalarità produttiva apre quello della multisetorialità di applicazione tecnologica che richiama alla memoria quell'approccio al progetto noto come 'dal cucchiaio alla città'.

### STRATEGIE DI STAMPA 3D PER LE COSTRUZIONI. NUOVI FONEMI PER IL PROGETTO

Il progetto di architettura richiede capacità di visione e al tempo stesso aderenza alla realtà, esige l'attitudine a leggere, oltre il vincolo, l'opportunità, a sintetizzare una forma che soddisfi molto più della sola funzione. In un tempo in cui la macchina può eseguire con estrema precisione tutte le indicazioni di progetto contenute in una sorgente in formato digitale, il progettista torna ad essere la figura chiave dell'intero processo edilizio. Tradotto in un codice informatico, il progetto può acquisire sempre più un carattere evolutivo, aperto e flessibile; interpretare le variazioni nel tempo e nello spazio; includere l'eccezione; promuovere il valore delle differenze; rivolgersi all'individuo piuttosto che all'utente tipo'. In questo senso, possiamo riconoscere che si è avviata una nuova stagione per il progetto inteso ora, secondo un'accezione fortemente inclusiva, come processo. Le sue differenti iterazioni producono non più una sola soluzione, ma una corallità di risposte (Ratti & Claudel, 2015), favorita a monte dall'adozione dei recenti modelli micro-finanziari (Mollick, 2014) e a valle da rinnovate logiche di esecuzione partecipata<sup>3</sup>. Per i progettisti appare quindi fondamentale acquisire piena consapevolezza sui metodi e strumenti digitali affinché possano essere controllati e non subiti passivamente. Nella maggior parte dei settori produttivi, già da diversi decenni, la stampa 3D ha aperto la strada a nuove ricerche, differentemente è accaduto per il settore delle costruzioni nel quale è stato avviato un percorso di indagine solo negli ultimi 10 anni. In questo campo, la tecnologia di stampa 3D si pone quale strumento fortemente innovativo considerata la rilevante flessibilità esecutiva che offre in termini di personalizzazione di massa, automazione delle lavorazioni, accuratezza della produzione, economicità e, non ultimo, lavorazione in sito, prerogative difficili da conseguire con le altre tecniche di fabbricazione digitale. Il passaggio dalla piccola-media scala di stampa a quella propria dell'architettura è avvenuto e sta proseguendo con una certa disinvoltura, a ribadire l'effettiva multiscalarità tecnologica nei vari *range* dimensionali e tematici di applicazione. Seppure differenti per scala e ambito tematico, le sperimentazioni in corso sulla stampa 3D si fondano sull'applicazione di un principio costruttivo unico e semplice, che non ha origini recenti e non nasce in ambito industriale: la deposizione e stratificazione del materiale secondo una logica di ottimizzazione. Nelle leggi della natura possiamo identificare i modelli di riferimento. Gli anelli concentrici della sezione di un albero si formano anno per anno per poi alleggerirsi verso la chioma e dividersi nei molteplici rami; lo scheletro osseo è costituito da una struttura a cellule chiuse aggregate con densità differenti in relazione alle diverse sollecitazioni; una vespa vasaia costruisce il proprio ricovero apportando del fango misto a fibre che vengono disposte, ricorso dopo ricorso, fino a definirne lo spazio. La stretta analogia tra l'opera della vespa vasaia e quella applicata dall'uomo per costruire la capanna, riparo primordiale in cui fibre e fango cooperano alla tenuta di un involucro globale, testimoniano la validità e l'evoluzione di questa semplice nozione costruttiva. L'applicazione della tecnica di stampa 3D nell'edilizia rappresenta oggi una ricerca di frontiera tra le meno esplorate. Alcune considerazioni sulle potenzialità che offre e sui limiti ancora da superare si possono trarre dall'analisi comparativa di una selezione di casi studio. Sotto l'aspetto del processo realizzativo, emergono due principali strategie applicative: quella 'diretta', il cui prodotto ha un carattere finito e può

<sup>3</sup> Per maggiori approfondimenti: Accessed September 29, 2019. <https://www.wikihouse.cc>



**Figura 1: Strategie di impiego della tecnologia di stampa 3D per l'architettura - (©G. Paparella)**

essere direttamente utilizzato per la finalità per cui è stato richiesto, e quella 'indiretta', il cui prodotto è parziale ed in assenza di ulteriori lavorazioni o della combinazione con materiali aggiunti, non raggiungerebbe le prestazioni prefigurate. Queste due strategie realizzative alla scala architettonica sono applicate per finalità strutturali, non strutturali, oppure in modo combinato (**Fig. 1**). Tale versatilità d'impiego della stampa 3D introduce un ulteriore e più interessante criterio di confronto tra le sperimentazioni in corso che prende in considerazione la coerenza tra spazio, forma e struttura.

### TRA FORMA E STRUTTURA. L'IBRIDAZIONE QUALE COMPROMESSO.

La realizzazione delle parti strutturali è sicuramente un tema centrale nella ricerca sull'applicazione della stampa 3D al settore delle costruzioni (**Fig. 2**). Un caso studio paradigmatico è quello dello *Smart Node*, un nodo in acciaio di collegamento tra aste secondo un sistema a configurazione variabile, 'stampato' con un approccio diretto mediante la tecnologia *Powder Bed Fusion*, proposto da *Arup* dal 2014 all'interno di una serie di



**Figura 2: Stampa 3D per la struttura - lo *Smart Node* in acciaio (©Arup), il *MX3D Bridge* (©MX3D), *3Dhousing05* CSL Architetti (©CSL Architetti)**

sperimentazioni incentrate sulla realizzazione di strutture complesse. Il dato di interesse sta nella verifica delle possibilità di ottimizzazione topologica offerte dal virtuale attraverso l'impiego delle nuove tecniche esecutive. A valle di una serie di iterazioni, è stata ottenuta, a parità di resistenza strutturale, una riduzione del materiale impiegato pari al 75% ed una conseguente diminuzione del peso totale della struttura del 40% (Galjaard et al., 2015). La sperimentazione sulla stampa di elementi strutturali in acciaio si sviluppa, per complessità e dimensione del prodotto, con il caso studio del ponte *MX3D*, un elemento continuo di 12,50 m x 6,30 m, realizzato secondo la tecnologia del *Direct Metal Printing* grazie all'impiego di un braccio robotico collocato su binari. Se l'acciaio (Buchanan & Gardner, 2019) è sicuramente un materiale ad alte prestazioni di resistenza, a fronte però di un consistente onere economico e di un eccessivo impegno di risorse energetiche necessarie per la sua deposizione, il calcestruzzo (Duballet et al., 2017) sembra trovare nelle nuove possibilità di applicazione della stampa 3D diretta ed indiretta un filone di indagine promettente. In questa direzione di ricerca, il progetto *3DHousing05* di Massimo Locatelli (con CLS Architetti, Arup, CyBe ed Italcementi) intende interpretare al meglio i vantaggi di velocità realizzativa e basso costo che possono derivare dall'impiego di bracci robotici a stampa diretta di calcestruzzo, associando questa tecnica all'ideazione di un sistema modulare per abitazioni temporanee prodotte in sito. I moduli base, costruiti per parti con giunti a secco, soddisfano i requisiti di flessibilità aggregativa e reversibilità del sistema rispetto alla superficie occupata nonostante l'impiego di un materiale massivo quale è il calcestruzzo. Resta valida la considerazione che la natura lapidea del calcestruzzo ne limita l'impiego alle sole parti della costruzione interessate da prevalenti sforzi di compressione. Ciò comporta la necessità di dover introdurre delle strutture orizzontali complementari in legno o acciaio a sostegno della copertura, ricorrendo quindi ad una condizione di ibridazione tecnologica. Un tema centrale è dunque quello legato alla resistenza a trazione. Dal confronto tra i casi studio selezionati risulta che l'armatura può essere di tipo 'continuo', come le barre già adottate per il calcestruzzo armato tradizionale, o di tipo 'diffuso', nelle varianti in fibre, piccole barre e maglie. In questi casi, considerate le opportunità di dialogo della stampa 3D con il mondo virtuale delle ottimizzazioni strutturali, le forme rispondono organicamente all'eco della fluidità di trasmissione delle tensioni.

### LA FORMA QUALE INVOLUCRO 'SU MISURA' DELLO SPAZIO

Il tema dell'ottimizzazione è centrale anche con riferimento a soluzioni non propriamente strutturali, in cui la flessibilità della macchina può rivelarsi particolarmente utile a migliorare le prestazioni dell'involucro, elemento di fondamentale importanza in quanto limite e interfaccia tra il fuori e il dentro (**Fig. 3**). Il caso del progetto *Gaia* realizzato nel 2018 da WASP, esprime il suo valore sperimentale, oltre che nella possibilità di realizzare un elemento continuo di tamponatura in relazione alle specifiche condizioni climatiche del sito (secondo



Figura 3: Stampa 3D per l'involucro - Gaia (© WASP), Sistema costruttivo a blocchi IAAC (©G.Paparella, ©Pylos, a project of IAAC, developed within the OTF program, by Sofoklis Giannakopoulos)

un principio di modellazione parametrica del pacchetto parete), nella dimostrazione della possibile, anzi auspicabile, coesistenza tra un materiale 'low-tech' come la terra e uno strumento fortemente 'high-tech' come la stampa 3D. La tecnica, in questo caso-studio, plasma nuove forme utilizzando i materiali della tradizione. Su questa linea di ricerca, l'*Institute for Advanced Architecture of Catalonia* nel 2018 ha proposto un sistema costruttivo per la realizzazione in sito di blocchi in terra altamente performanti, ogni volta differenti in funzione del sito e dell'orientamento della costruzione. Le sperimentazioni finora eseguite in tal senso hanno quindi preferito un utilizzo della tecnologia in modo diretto-indiretto, impiegando i materiali fluido-densi (calcestruzzo, argilla), in polvere (polveri cementizie) ed i termoplastici (PLA, PETG). La natura meticolosa, quasi sartoriale, degli interventi proposti restituisce una concezione di involucro che possiamo definire 'su disegno', incentrata sui temi della sostenibilità ambientale ed economica per il tipo di materiali impiegati e per le volumetrie ottimizzate grazie alla stampa 3D.

## FORMA-SPAZIO-STRUTTURA

Il tema del guscio in architettura ha radici antiche, si pone sempre in risonanza con il processo realizzativo, come nel caso della formatura industriale della plastica avviata già dai primi anni '60. Lungo questo processo evolutivo, la stampa 3D, considerata la grande flessibilità in termini di variazione delle densità di materiale depositato, offre una nuova strada di sviluppo che consente di includere ulteriori materiali come i fluido-densi o l'acciaio. La sperimentazione condotta nel 2015 da *3D Printed Canal House* con il progetto *Urban Cabin* dimostra la possibilità di realizzare una cellula spaziale minima mediante l'impiego della stampa 3D indiretta, con tecnologia *Fused Filament Fabrication (FFF)*, per produrre le casseforme in cui gettare poi il calcestruzzo. Una delle prime sperimentazioni che vede l'impiego della tecnologia di stampa *Powder Bed* risale al 2010 ed è il modulo abitativo *unacasatuttadiunpezzo* progettato da Marco Ferreri e prodotta da D-Shape. Questa casa dalla forma archetipa prodotta per stampa diretta di calcestruzzo si presenta come un monoblocco lapideo che ingloba anche gli elementi di arredo ed ospita in sezione la predisposizione per il passaggio degli impianti. Elemento caratterizzante dei casi selezionati è la continuità solaio di base-parete-copertura che evidenzia e suggerisce nuovi modi di intendere lo spazio (Fig. 4). I materiali impiegati sono i fluido-densi (calcestruzzo, argilla), le polveri (polveri cementizie) ed i termoplastici (PLA, PETG).-Si delinea così l'opportunità di poter ripensare un riallineamento della triade spazio-forma-struttura dal quale possono scaturire nuovi scenari per un'architettura sempre più in grado di rispondere alle differenti forme che l'abitare contemporaneo, nella sua spiccata anticonvenzionalità, richiede.



Figura 4: Stampa 3D integrata - *Urban Cabin* 3D Print Canal House (© AECTUAL, © Sophia van den Hoek), *Casatuttadiunpezzo* Marco Ferreri e D-Shape (© Miro Zagnoli, ©Dinitech)

## CONCLUSIONI

Le nuove opportunità concesse dalla tecnologia di stampa 3D suggeriscono una riflessione rispetto ai temi della serialità e della forma. Ora che i processi produttivi ammettono la riproduzione di 'infiniti' moduli e il controllo di geometrie non lineari, quali potranno essere le ripercussioni in termini di linguaggio dell'architettura? Ha senso parlare di una forma nuova di ornamento, per così dire 'informato', che deriva da una restituzione materica di simulazioni virtuali volte all'efficientamento delle prestazioni bioclimatiche dell'involucro più che da una volontà solo estetica? La 'libertà esecutiva' della macchina, troppo spesso traslata senza una vera e propria attività critica in 'libertà espressiva', si rileva essere una chimera, un abbaglio che può facilmente indurre alla fascinazione della forma e far smarrire il valore etico dell'azione di progetto. A differenza degli anni dell'*high-tech* in cui la presenza della tecnologia doveva essere tanto esplicita da elevarsi a "cifra espressiva", questi sono gli anni di una fase contraria di '*hidden-tech*' e del minimalismo digitale in cui la tecnologia è integrata ma sottesa, presente ma nascosta, quasi ad esprimere, o voler dichiarare, una piena assimilazione e perfetto dualismo uomo-macchina. In contrapposizione ad un presupposto rigore 'infallibile' della macchina, il tema dell'imperfezione come valore, dell'iterazione dei processi in un progredire per acquisizione e superamento dei fallimenti, dell'errare quale imprescindibile attività esplorativa, del mondo e di noi stessi, trova oggi nuovi significati, forse può guidarci in questa fase di transizione verso un'architettura 'stampata'.

## REFERENCES

- ASTM International (2012). *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*. ASTM F2792-12a.
- Pasolini, P. P., & Berardinelli, A. (1975). *Scritti corsari* (Vol. 593). Milano: Garzanti.
- Ratti, C., & Claudel, M. (2015). *Open source architecture*. London: Thames & Hudson.
- Duballet, R., Baverel, O., & Dirrenberger, J. (2017). "Classification of building systems for concrete 3D printing". *Automation in Construction*, 83, 247-258.
- Buchanan, C., & Gardner, L. (2019). "Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges". *Engineering Structures*, 180, 332-348.
- Galjaard, S., Hofman, S., Perry, N., & Ren, S. (2015, August). "Optimizing structural building elements in metal by using additive manufacturing". In *Proceedings of IASS Annual Symposia* (Vol. 2015, No. 2, pp. 1-12). International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)
- Turrin, M., Von Buelow, P., & Stouffs, R. (2011). "Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms". *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 656-675.
- Mollick, E. (2014). "The dynamics of crowdfunding: An exploratory study". *Journal of business venturing*, 29(1), 1-16.
- Dougherty, D. (2012). "The maker movement". *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 7(3), 11-14.

WIKIHOUSE (2019). Accessed September 29, 2019. <https://www.wikihouse.cc>

MIT (2019). Accessed September 29, 2019. <https://www.media.mit.edu/projects/fab-labs/overview/>

WASP (2019). Accessed September 29, 2019. <https://www.3dwasp.com/casa-stampata-in-3d-gaia/>

DSHAPE (2019). Accessed September 29, 2019. <https://d-shape.com/portfolio-item/casa-ferreri/>

3DHOUSING05 (2019). Accessed September 29, 2019. <https://www.3dhousing05.com>

ARUP (2019). Accessed September 29, 2019. <https://www.arup.com/projects/additive-manufacturing>

MX3D (2019). Accessed September 29, 2019. <https://mx3d.com/projects/mx3d-bridge/>

DUS ARCHITECTS (2019). Accessed September 29, 2019. <https://houseofdus.com/project/urban-cabin/>

IAAC (2019). Accessed September 29, 2019. <http://pylos.iaac.net>