



di Gianandrea Mazzola con la collaborazione di Massimiliano Nastri

# Studio nuovo elemento di facciate **riciclabile in 3D**

Dall'additive manufacturing al miglioramento delle prestazioni energetiche di facciata.

L'obiettivo di questa ricerca oggetto di tesi è stato quello di studiare la possibilità d'integrazione della stampa 3D nella realizzazione di un elemento di facciata in materiale riciclabile e sostenibile per una nuova unità abitativa in modo che possa contribuire al funzionamento bioclimatico dell'edificio

**U**no degli aspetti principali delle tecnologie di fabbricazione additiva riguarda la quasi totale libertà di forma producibile. Peculiarità che, in contrapposizione alle tradizionali tecniche sottrattive (lavorazioni per asportazione di truciolo, taglio e foratura), ha permesso negli ultimi anni di avere un impatto sempre più significativo in diversi ambiti operativi, permettendo di realizzare elementi di dimensioni sempre più grandi in una vasta gamma di materiali, in modo molto rapido e con costi sempre più accessibili e competitivi.

Ambiti che coinvolgono anche il variegato mondo dell'architettura e dell'edilizia, da tempo divenuto og-



getto di approfondimento anche in campo universitario, grazie a tesi di laurea orientate ad analizzarne gli aspetti. Tesi quale quella che vi presentiamo sviluppata dall'arch. **Sofia Peviani**, della Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni al **Politecnico di Milano**, con relatore il prof. arch. Massimiliano Nastri del dipartimento Best del Politecnico di Milano.

«L'obiettivo che mi sono posta per lo sviluppo di questa tesi - spiega l'arch. Peviani - è stato quello di studiare a fondo tutte le peculiarità delle più diffuse tecniche di stampa 3D, verificare le loro specificità e lo stato dell'arte, tenuto conto della sempre più rapida evoluzione cui sono soggette, unitamente alla loro possibilità d'integrazione in ambito architettonico. Il passo successivo è stato infatti quello di studiarne l'applicabilità in un'unità abitativa attraverso la realizzazione di un elemento di facciata, analizzando in che modo potesse contribuire al funzionamento bioclimatico dell'edificio».

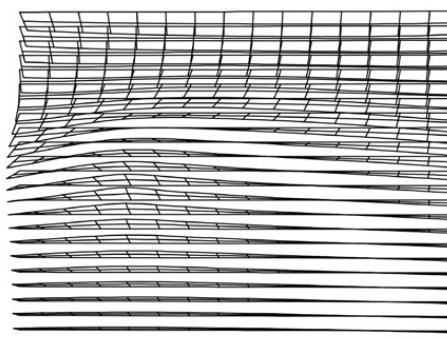
## Stampa 3D e applicazioni in architettura

Come già sottolineato, nella prima parte della ricerca effettuata dall'arch. Peviani, è stata approfondita un'analisi sullo stato dell'arte della produzione additiva nel campo industriale e in seguito in campo architettonico, evidenziando i molteplici vantaggi in termini di tempi, costi e qualità del prodotto finale di tale tecnologia emergente.

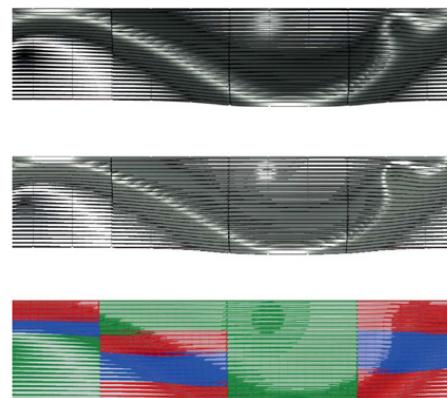
«La stampa 3D - prosegue Sofia Peviani - porta con sé significativi vantaggi, a partire dalla velocità di esecuzione, senza tralasciare il fatto che dal modello digitale, in una sola fase, si passa alla produzione, senza necessità di passaggi intermedi. Per intrinseche caratteristiche assicura poi la massima creatività progettuale e personalizzazione».

Altro aspetto positivo riguarda la sostenibilità e l'ottimizzazione d'uso della materia prima. Se infatti i più tradizionali metodi di produzione sottrattiva, come la tornitura o la fresatura, rimuovono una quantità anche molto significativa di materiale, le tecniche di

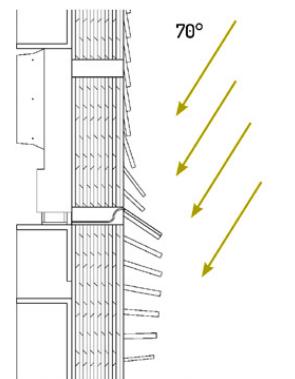
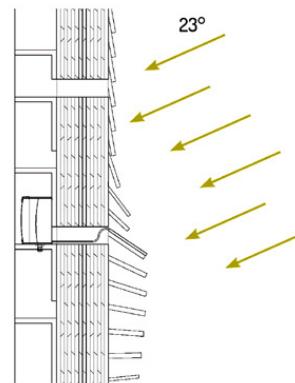
WINTER  
FAÇADE PHOTOVOLTAIC PANELS



SUMMER  
LOCALIZED SHADING LEAFS



**Il pattern della facciata realizzata in stampa 3D si presta non solo per agire da frangisole ma anche per divenire naturale e ottimizzato supporto per eventuali pannelli fotovoltaici flessibili**



## ESEMPIO APPLICATIVO SU NUOVA UNITÀ ABITATIVA

Nella seconda parte della tesi, Sofia Peviani ha sviluppato il progetto di un prototipo di facciata stampata in 3D e la sua applicazione in un'unità abitativa, nel contesto del concorso **Solar Decathlon**, competizione internazionale indirizzata alle università volta allo sviluppo di moduli abitativi innovativi ed energeticamente efficienti, utilizzando l'energia solare come unica risorsa.

«Il suo scopo - spiega l'arch. Peviani - è quello di promuovere nuove soluzioni architettoniche e tecnologiche di spicco carattere innovativo in termini di sostenibilità energetica.

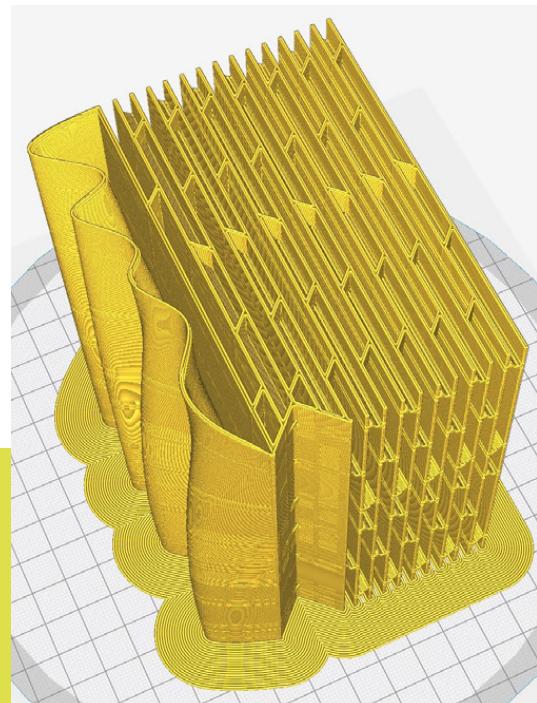
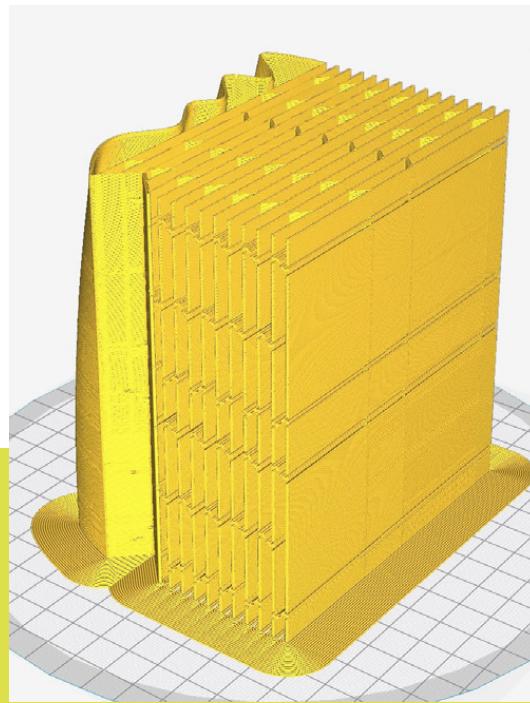
Intende inoltre diffondere una maggiore consapevolezza sull'uso delle risorse energetiche e su tecnologie e dispositivi presenti sul mercato basati sull'energia pulita».

Obiettivo della soluzione progettuale proposta è stato quello di proporre l'applicazione di un componente edilizio di produzione additiva in un contesto di miglioramento sia nel processo di costruzione edilizia, sia nelle prestazioni energetiche dell'unità abitativa finita. Si tenga presente che la geometria e il pattern scelto, in base a studi effettuati e confermati da ricercatori del **TU Delft**, la più importante università tecnica pubblica dei Paesi Bassi, hanno assicurato per un elemento modulare di 200 mm di spessore (200 x 200 x 100 mm), stampato in Petg con ugello da 0,4 mm, una conducibilità termica di 0,094 W/mK.

Valore molto soddisfacente se confrontato con lo 0,13 W/mK dello X-Lam (compensato multistrato composto da tre, cinque o sette strati sovrapposti di lamelle di legno strutturale con spessore variabile tra i 16 e i 35 mm), e comunque ulteriormente riducibile aggiungendo per esempio fibre aerogel nella miscela del processo additivo Fdm.



L'autore della tesi,  
l'architetto Sofia Peviani



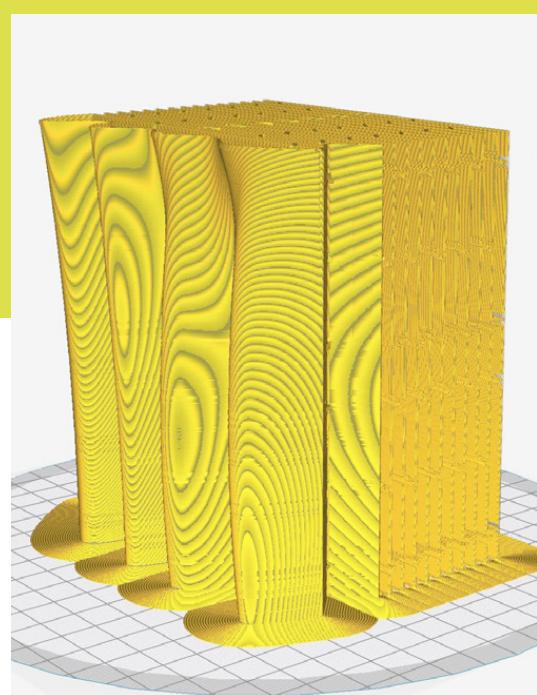
## IMPOSTAZIONI PRELIMINARI DI STAMPA

TIPO DI ESTRUSIONE E SPESSORE DI LAYER DETERMINANO VELOCITÀ DI PROCESSO E PRECISIONE DI DETTAGLIO

produzione additiva, generalmente, usano solo il necessario per costruire una parte. In aggiunta, la maggior parte dei processi impiega materie prime che possono essere riciclate e riutilizzate anche più volte riducendo al minimo la produzione di rifiuti.

«Tra le tecniche di stampa 3D più diffuse e comunemente utilizzate - continua Sofia Peviani - figura l'Fdm, modellazione a deposizione fusa. Essa funziona con l'estruzione di termoplastiche come l'Abs, il Pla o il Petg mediante un ugello riscaldato che fonde il materiale e lo deposita, strato dopo strato, su una base di stampa. Gli strati vengono depositati uno alla volta, fino a completamento della parte».

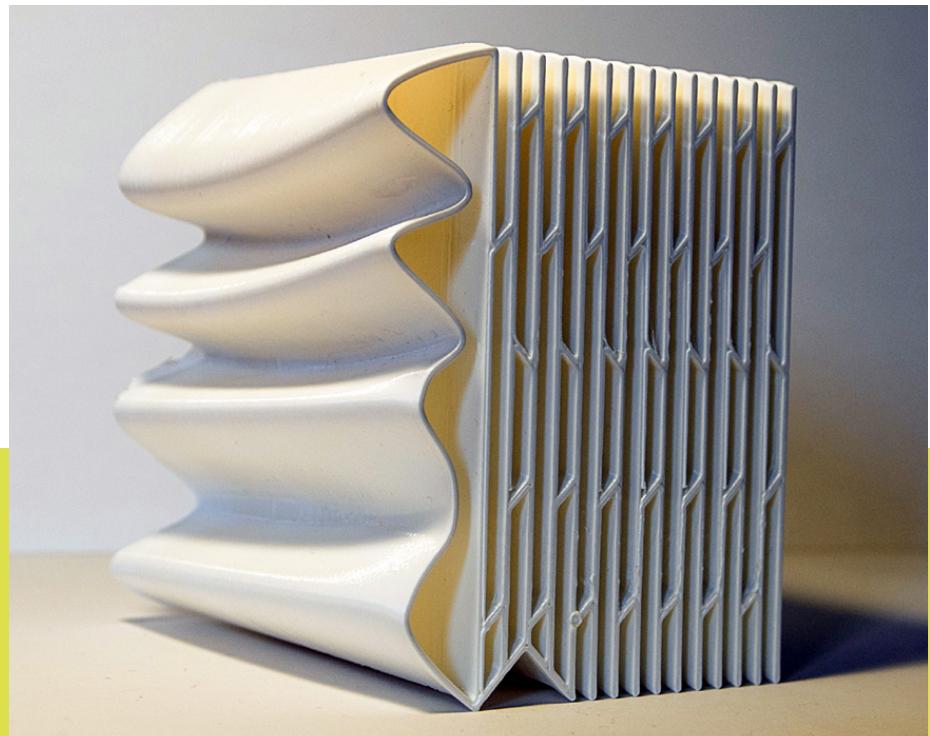
Interessante è stata la ricerca condotta su significativi casi di studio che hanno visto l'applicazione della stampa 3D in architettura: dalle 10 case monofamiliari stampate in cemento misto inchiostro, in sole 24 ore a Winsun, Suzhou (Cina) nel 2013, al progetto di stampa 3D di un mini-rifugio interamente realizzato con bio-plastiche riciclabili, promosso da Dus Architects di Amsterdam sempre nello stesso anno; dal progetto 3D Housing 05, prima casa stampata in opera con tecnologia 3D in Italia, in cemento alleg-



gerito, in sole 48 ore nel 2018 (ideata e progettata dall'arch. Massimiliano Locatelli dello studio milanese Cls Architetti insieme a Ital cementi, Arup e Cybe), alla mini-casa progettata da New Story, un'organizzazione benefica e Icon Robotics, società di robotica, realizzata con stampa 3D in cemento e completa in meno di 48 ore.

## Dall'elemento modulare, al miglioramento prestazionale di facciata

Per testare l'applicazione della stampa 3D come stru-



## STAMPA 3D

TRA LE TECNICHE DI STAMPA 3D PIÙ DIFFUSE E COMUNEMENTE UTILIZZATE FIGURA L'FDM, MODELLAZIONE A DEPOSIZIONE FUSA, UTILIZZATA ANCHE DALL'ARCH. SOFIA PEVIANI PER REALIZZARE UN MODELLO IN SCALA DI UNA PARTE DEL PROGETTO DI TESI

mento per soluzioni di risparmio energetico e architettura sostenibile, l'arch. Peviani ha così sviluppato un componente di facciata, studiato e progettato per interagire attivamente con gli scambi energetici e termici di un'unità abitativa, ai fini di contribuire alle soluzioni passive verso un migliore uso delle risorse. «Si tratta di un elemento modulare - precisa il neo architetto - facilmente trasportabile, viste le sue ridotte dimensioni».

Partendo dalle dimensioni massime a oggi consentite dalle più diffuse stampanti 3D con tecnologia Fdm (peraltro realizzate dall'italiana Wasp) l'elemento modulare è stato pensato per essere leggero, facilmente trasportabile e garantire le prestazioni termiche delle più attuali esigenze di comfort interno. «Questa strategia - afferma l'arch. Peviani - si colloca in un'ottica di massimizzazione degli apporti passivi al comfort termico interno, abbassando i costi di impiantistica dedicata. Questo è possibile grazie a una specifica e complessa trama interna capace di garantire una bassa trasmittanza, trama facilmente stampabile, impossibile da replicare in altro modo, se non con costi molto elevati.

A parità di prestazioni, velocità di produzione e posa di un modulo o pacchetti tradizionali, si dispone dunque di un modulo capace di offrire prestazioni e un potenziale decisamente superiori».

Il modulo può essere ottimizzato in facciata infatti per integrare sistemi fotovoltaici, idroponici o, ancora, soluzioni dedicate al raccoglimento delle acque. Ciò che in precedenza sarebbe stato formalmente troppo complesso, preciso e specifico da realizzare in modo competitivo, ora può essere messo in opera con estrema rapidità.

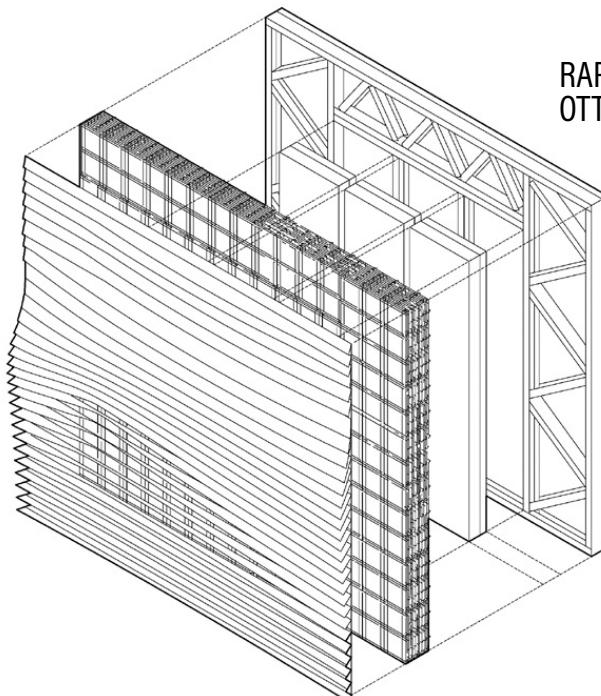
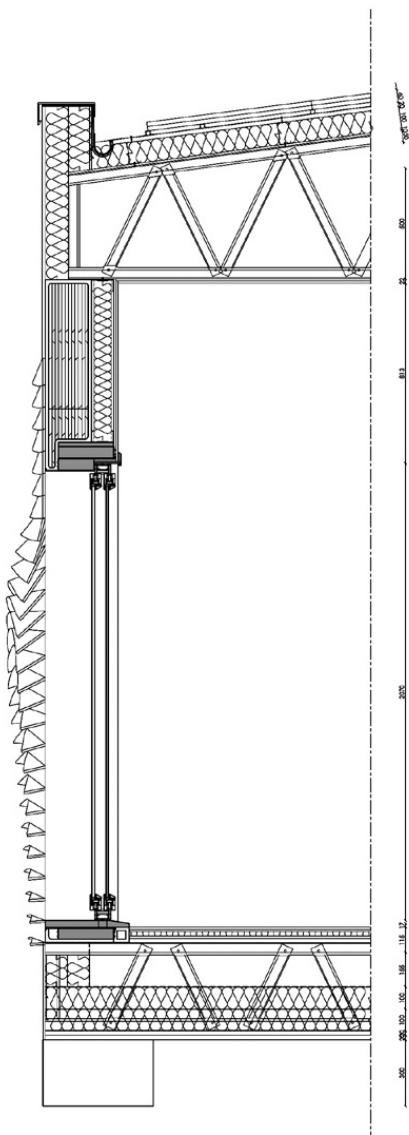
«Attraverso un montaggio a incastro - prosegue Sofia Peviani - realizzato a secco, i moduli vanno a comporre la facciata formalmente coesa, attraverso forme e conformazioni adattabili alle singole specifiche esigenze dell'edificio e del luogo».

In particolare, il progetto di tesi sviluppato i (prototipo di facciata stampata in 3D e la sua applicazione in un'unità abitativa) è stato pensato nel contesto del concorso Solar Decathlon, competizione internazionale indirizzata alle università volta allo sviluppo di moduli abitativi innovativi ed energeticamente efficienti, utilizzando l'energia solare come unica risorsa.



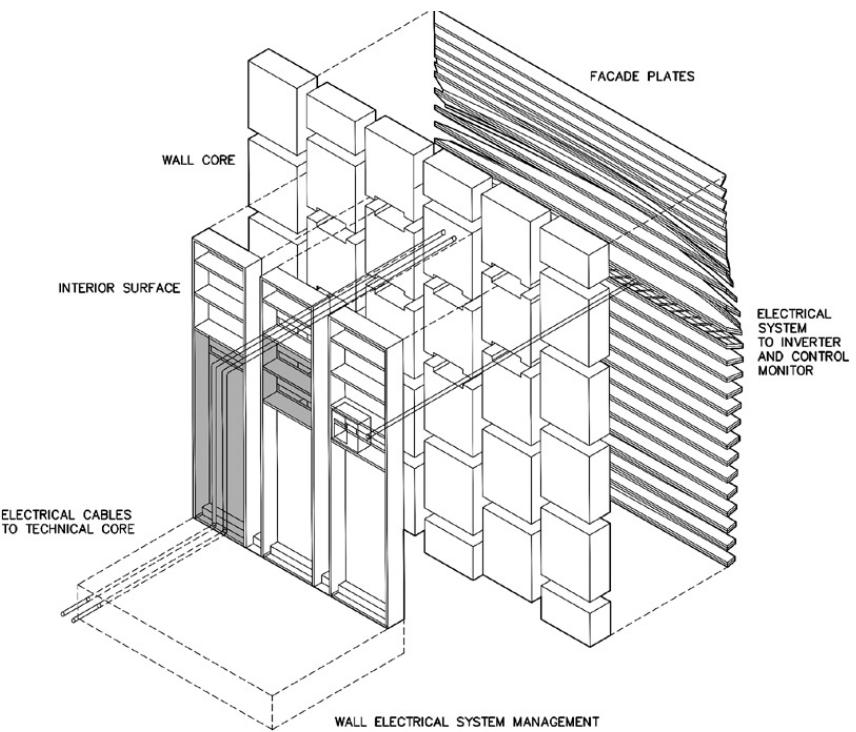
## RAPPRESENTAZIONE IN 3D

DETTAGLIO SEZIONE VERTICALE IN CORRISPONDENZA DEL SERRAMENTO



RAPPRESENTAZIONE FACCIA OTTENUTA STAMPANDO IN 3D

ASSEMBLAGGIO DI ELEMENTI MODULARI IN PETG OTTIMIZZATI NEL PATTERN MORFOLOGICO COMPLESSIVO



Pare chiaro come fosse centrale e determinante il tema dello sfruttamento della luce solare. «Motivo per cui – sottolinea l'arch. Peviani – la facciata, nella sua versione finale, è composta da lamelle aventi diverse inclinazioni la cui disposizione e angolatura sono state determinate per sfruttare al meglio l'irraggiamento solare, garantendo al tempo stesso un buon ombreggiamento estivo».

### Petg, ovvero un termopolimero performante e riciclabile

La stampa 3D permette attualmente di processare elementi con i più tradizionali materiali edili quali cemento e laterizi. Tuttavia, viste le necessità di leggerezza e versatilità richieste nel contesto Solar Decathlon, è stato individuato e scelto un polimero che fosse in grado di generare un componente non fragi-

le, facilmente trasportabile e montabile. «Tra i diversi termopolimeri attualmente disponibili sul mercato - spiega l'arch. Peviani - è stato scelto il Petg, un materiale green in grado di essere riciclato e riutilizzato. Capoliestere di polietilene tereftalato trasparente, derivato dal più comune Pet ma con migliori caratteristiche, è un materiale molto resistente, capace di produrre stampe solide e durevoli. Ha una densità di 1,27 g/cm<sup>3</sup>, può garantire una buona resistenza chimica ed è malleabile termicamente. Peculiarità che lo rendono un materiale perfettamente adatto per la stampa 3D».

Caratterizzato da un'elevata resistenza all'impatto mentre è vulnerabile allo scratching, il Petg è impermeabile e capace di isolamento acustico oltre a essere sterile e riciclabile.

Già ampiamente impiegato nella produzione di squalistica, nel campo medico e in quello legato al comparto alimentare (sebbene la sua massima temperatura di utilizzo sia di poco inferiore agli 80° C), permette di raggiungere una velocità di stampa di circa 40-60 mm/s. «La decisione di scegliere un polimero - continua l'arch. Peviani - è stata dettata dal fatto che si tratta di materiali già da tempo sul mercato, già soggetti anche a sperimentazioni legate alla miscela, con l'aggiunta di diversi additivi in grado di migliorare certe prestazioni: da resistenza strutturale e densità fino al colore e trasparenza. A questo proposito esistono in particolare alcuni additivi che agiscono chimicamente con le particelle dell'aria e sono in grado di assorbire il CO<sub>2</sub> e "pulirla"

Queste caratteristiche rendono il componente utile sia come elemento finito sia in una logica di Lca, minimizzando il suo impatto in tutte le sue fasi di vita: produzione, messa in opera, vita utile e smaltimento». La stampa 3D in architettura si giustifica dunque nel momento in cui permetta di dare soluzioni reali a problemi reali. L'implementazione di tale tecnologia nella costruzione di una abitazione potrebbe portare buoni risultati, in termini di comfort interno e risparmio energetico. La sua specifica capacità di combinare alta precisione di dettaglio e larga scala può offrire soluzioni specifiche per determinate situazioni, in un unico step di produzione.

Futuri sviluppi possono riguardare la diminuzione del peso del componente, lo studio delle geometrie del pattern per diverse funzionalità e per velocizzare la stampa. «In conclusione - afferma l'arch. Peviani - ritengo che la stampa 3D rappresenti un interessante campo di studi e di approfondimento per l'architettura e per tutta la filiera della costruzione, presentando migliorie e ottimizzazioni nell'attuale processo costruttivo. E, soprattutto, fornendo un uti-

## PUNTI DI FORZA E BENEFICI APPLICATIVI NELLA RIQUALIFICA DEL TERZIARIO

La strutturata tesi di Sofia Peviani, oltre ad analizzarne gli aspetti legati all'applicazione della stampa 3D in una nuova unità abitativa, ne ha valutato il potenziale esprimibile nell'ambito della riqualifica, soprattutto del settore terziario. L'approccio modulare per la realizzazione del sistema di facciata, partendo da uno studio puramente digitalizzato, porta con sé i seguenti punti di forza e benefici delocalizzabili a livello globale. Individuato infatti il luogo geografico, definiti i requisiti prestazionali da soddisfare, il modello digitale può essere realizzato e pronto per essere stampato in 3D. Ciò significa:

- possibilità di stampa 3D vicina al sito di installazione, minimizzando i trasporti;
- rapidità di stampa 3D a scarto ridotto al minimo;
- elevata rapidità di messa in opera e senza la necessità di manodopera specializzata;
- facile manutenzione ed eventuale sostituzione;
- riqualificazione energetica dell'edificio ottimizzata su condizioni climatiche locali;
- personalizzazione forma, densità ombreggiamenti e opacità per specifiche esigenze interne;
- rinnovamento immagine edificio.



le strumento per costruire edifici che siano caratterizzati tanto da una morfologia "accattivante", quanto efficienti e sostenibili».

Da segnalare che a partire dal sistema di involucro sviluppato in questa tesi, l'arch. Peviani ha presentato un progetto per il concorso **Design Competition Expo Dubai 2020**, rientrando tra i 20 vincitori di questa iniziativa. ■