

Abstract

Questa tesi esplora l'uso della Stampa 3D in Calcestruzzo (S3DC) nella prefabbricazione da una scala più piccola, con lo studio di una trave, ad una più grande con l'ideazione di un nuovo sistema per la realizzazione di piccole unità residenziali.

La tesi è il risultato di un periodo di 10 mesi come Research Assistant all'University of Southern Denmark nel gruppo di ricerca CREATE.

Uno dei problemi che questa tesi cerca di affrontare è la riduzione dell'uso di calcestruzzo: è infatti il materiale più usato nelle costruzioni e contribuisce per il 5-7% delle emissioni totali di CO₂ nel mondo.

Un altro problema che questa tesi vuole affrontare è la distanza che ad oggi intercorre tra il settore della ricerca e le poche applicazioni commerciali della S3DC che ad oggi esistono: l'industria è focalizzata sulla realizzazione di abitazioni mentre nei centri di ricerca il focus è su componenti come colonne, travi e lastre.

Nella prima parte della tesi il focus è mostrare e illustrare la Stampa 3D in Calcestruzzo e il contesto nel quale si colloca.

Ci sono diversi tipi di S3DC ma quello che è trattato in questa tesi è il processo di manifattura additiva dove calcestruzzo, con aggregati molto piccoli, è estruso in strati uno sopra l'altro finché l'oggetto in stampa è ultimato.

Uno dei vantaggi della S3DC è la possibilità di ridurre l'uso di calcestruzzo dato che componenti standard possono essere sostituiti da elementi dal design complesso stampati in 3D che sono stati ottimizzati.

Altri vantaggi includono la riduzione dei rifiuti delle costruzioni, dato che le casseforme non sarebbero più necessarie, riduzione del numero di operai, riduzione del tempo di realizzazione di un edificio fino al 50/70% e finalmente, tutte le ragioni qui elencate permettono di realizzare costruzioni che sarebbero più economiche rispetto a quelle ottenute tramite metodi standard.

Per comprendere al meglio questa tecnologia e il suo stato di sviluppo è stata fatta una raccolta di 104 progetti da 36 diversi centri di ricerca e compagnie.

La ricerca ha reso chiaro che c'è un interesse crescente verso il settore dato il crescente numero di progetti annunciati negli anni. La maggior parte delle realizzazioni riguarda edifici (52 progetti) oppure componenti di edificio (45) come colonne, travi e lastre.

Nella maggior parte dei casi (66%) l'obiettivo del settore è quello di evitare l'integrazione di sistema di armatura standard (sbarre di metallo) dato che sarebbero troppo complicati da integrare durante il processo di stampa.

Oltre a ciò, è comune che la maggior parte degli edifici ad uno o più piani vengano realizzati tramite l'estrusione verticale della pianta generando gli spazi interni. Questo sistema minimizza i rischi (dato che non vi sono forti inclinazioni) ma non permette grande libertà di design e altre parti quali le fondazioni, le scale e i solai sono realizzati tramite dei metodi convenzionali.

L'ultima fase di apprendimento è l'esperienza nel laboratorio CREATE all'SDU dato che ha permesso la comprensione del processo che portava alla realizzazione di una trave ottimizzata stampata in 3D, il focus del lavoro di ricerca a CREATE.

Il laboratorio di CREATE presenta un mixer, dove viene preparato il materiale, il quale viene poi spinto da una pompa tramite un tubo verso l'ugello mosso da un braccio robotico. Il materiale viene quindi estruso in un pallet fintantoché non si raggiunge il design desiderato. Durante questa fase, come parte di questa tesi, è stata analizzata l'influenza della temperatura del materiale sul processo di stampa per migliorare l'efficienza del tempo speso in laboratorio. È stato notato che la velocità con la quale il materiale cambiava temperature poteva predire la possibilità che il materiale diventasse secco troppo velocemente e che quindi rimanesse incastrato, bloccando la stampa.

La seconda parte della tesi si focalizza sull'ottimizzazione e simulazione di alcuni elementi prefabbricati.

Per primo è stato sviluppato un sistema per la simulazione FEM del comportamento di alcune travi che erano in studio durante il periodo trascorso a CREATE. In particolare, è stato possibile eseguire la simulazione non lineare, tramite il programma Sofistik, di alcune delle travi stampate. Tale analisi con gli strumenti più diffusi non è possibile ma risulta essere una parte essenziale nel caso di strutture in calcestruzzo armato. In questo caso la forma della trave è stata ottenuta tramite una superficie e le armature sono state considerate come linee strutturali sovrapposte alla superficie. Le analisi hanno reso chiaro la debole risposta al taglio della struttura, il che verrà poi verificato anche dall'esito dei test eseguiti in laboratorio.

Successivamente è proposto un approccio per l'ottimizzazione di una trave di 300 mm. Si è ipotizzato di sfruttare le possibilità date dalla trave a T (che già permette un consistente risparmio di materiale) e combinare ciò con le leggi di dimensionamento delle travi (NTC18). Tramite Grasshopper, un linguaggio di programmazione a blocchi, è stato possibile calcolare in ogni punto della trave la sezione minima necessaria. Ciò ha permesso generare un risparmio di 30 Kg di calcestruzzo.

Spostandosi verso una scala più grande è stato pensato un sistema per stampare una casa che avvicinasse l'approccio della ricerca esposto con quello presente nel mercato. Il design della casa è generato tramite una serie di sezioni estruse e poste una a fianco all'altra. Per l'ottimizzazione di queste sezioni si è pensato ad un sistema diverso: ogni sezione è stata ottimizzata tramite l'uso di Octopus, un plug-in per Grasshopper, che utilizza un algoritmo evolutivo.

In questo tipo di ottimizzazioni ci sono dei geni che sono valori numerici che possono essere usati per diverse combinazioni e i valori fitness che Octopus cerca di minimizzare. I geni erano il modulo dei vettori di traslazione dei punti di controllo delle linee che definiscono la sezione. I valori fitness erano i valori di tensione e compressione massimi e l'area della sezione. In generale si è ottenuto una riduzione delle sollecitazioni di oltre il 40% e una riduzione dell'area del 7,8%.

Finalmente è stato teorizzato un processo di fabbricazione dei diversi componenti nei quali ogni sezione viene divisa per essere appunto prodotta. Sono state individuate 3 fasi:

1. Produzione in fabbrica: La produzione dei componenti avviene in una fabbrica dove è presente una sezione in cui viene preparato il materiale, una cella robotica dove avviene la stampa dell'oggetto e infine uno spazio di maturazione dove il materiale raggiunge le proprietà necessarie.
2. Trasporto: Una parte fondamentale nella fabbricazione dove i componenti sono caricati in un trailer per poi essere portati al cantiere.
3. Cantiere: Lo spazio dove i componenti sono consegnati e poi assemblati per realizzare il sistema strutturale

Questo sistema fornisce la possibilità di stampare qualsiasi componente per la creazione di un ambiente con una forte libertà di design che apre nuove possibilità di ottimizzazione.

Questa tesi è parte di un'ampia discussione attorno alla Stampa 3D in Calcestruzzo che, grazie al fatto che si trovi nelle fasi iniziali, dà forti libertà in quello che può essere teorizzato. La speranza è che questo lavoro permetterà di superare alcune delle sfide che la S3DC sta affrontando per una diffusione più ampia che potrebbe avere un impatto notevole sulla società rendendo il settore delle costruzioni più sostenibile.