

Direzione Scientifica

Olimpia Niglio
Federica Visconti

Hokkaido University
Università degli Studi di Napoli Federico II

Comitato scientifico

Michele Caja
Ferruccio Canali
Renato Capozzi
Franco Defilippis
Damiano Iacobone
Giovanni Multari
Sergio Russo Ermolli
Michele Sbacchi

Politecnico di Milano
Università degli Studi di Firenze
Università degli Studi di Napoli Federico II
Politecnico di Bari
Politecnico di Milano
Università degli Studi di Napoli Federico II
Università degli Studi di Napoli Federico II
Università di Palermo

Comitato editoriale

Francesca Addario
Mirko Russo
Claudia Sansò

Sapienza – Università di Roma
Università degli Studi di Napoli Federico II
Università degli Studi di Napoli Federico II

I Quaderni di EdA. Collana internazionale con obbligo del *Peer review* (SSD A08 – Ingegneria Civile e Architettura) in ottemperanza alle direttive del Consiglio Universitario Nazionale (CUN), dell’Agenzia Nazionale del sistema Universitario e della Ricerca (ANVUR) e della Valutazione Qualità della Ricerca (VQR). *Peer Review* per conto della direzione o di un membro dei comitati o di un esperto esterno (*clear peer review*).

quaderni di edA

La Collana nasce per favorire un dialogo tra nuovi ambiti di ricerca dell'architettura che sempre più si stanno consolidando nei diversi ambienti culturali e nelle differenti discipline: dalla conservazione alla progettazione, dalla storia dell'architettura alla pianificazione urbana.

L'obiettivo è di documentare progetti di conservazione e valorizzazione del patrimonio architettonico e paesaggistico, di progettazione di nuove opere architettoniche e infrastrutturali che mirano alla trasformazione del territorio con lo scopo di contribuire alla conoscenza e alla diffusione dei percorsi progettuali che gli "operatori del progetto" affrontano quotidianamente per migliorare il nostro *habitat*.

In affiancamento al progetto della rivista internazionale EdA la collana amplia il suo campo di interesse anche ai lavori prodotti in ambito accademico; particolare attenzione è rivolta alle opere prodotte nelle occasioni conclusive dei percorsi formativi degli studenti (tesi di laurea, workshop, corsi di tirocinio curricolare) che costituiscono il momento di massimo avvicinamento al mondo reale della pratica del progetto. Tali opere possono costituire, se rispondenti a determinati requisiti, prodotti scientifici di ricerca nel campo dell'architettura e delle trasformazioni urbane.

Giuliano Galluccio

PROCESSI DIGITALI AVANZATI PER L'INDUSTRIA DELLE COSTRUZIONI 4.0

BIM, digital manufacturing e prefabbricazione nell'edilizia in Cold-Formed Steel

Saggio introduttivo di

Sergio Russo Ermolli



Aracne editrice

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

Copyright © MMXIX
Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

www.giacchinoonoratieditore.it
info@giacchinoonoratieditore.it

via Vittorio Veneto, 20
00020 Canterano (RM)
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-2575-5

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: dicembre 2019

Indice**Saggio introduttivo**

Architettura, Prefabbricazione, Industrializzazione: contrasti e prospettive 10
Sergio Russo Ermolli

Premessa 14

Lo stato della filiera dell'edilizia

Il grado di digitalizzazione nelle attività produttive 20
Le inefficienze della filiera delle costruzioni 24
Indirizzi strategici per il settore edilizio 34

Processi avanzati per la progettazione integrata

I paradigmi dell'innovazione 40
Dalla standardizzazione alla "customizzazione" di massa 46
Il Building Information Modeling 52
Le culture digitali in Architettura 58

Sistemi per la prefabbricazione leggera

I processi industriali per la progettazione integrata 66
La tecnologia dei sistemi costruttivi in Cold-Formed Steel 70
Progettazione file-to-factory nell'industria dei CFS 76

Il caso studio: Volumetric Housing

Progettazione, simulazione, fabbricazione 84
Implementazione del BIM in azienda 88
Applicazione di processi digitali avanzati per la progettazione architettonica 94

Bibliografia 116

Saggio introduttivo

Architettura, Prefabbricazione, Industrializzazione: contrasti e prospettive

Sergio Russo Ermolli

Qualsiasi tecnologia costruttiva si configura come diretta espressione delle forze che sostengono una società in un determinato periodo di tempo. Se pensiamo, ad esempio, al sistema prefabbricato *Ballon Frame* in Nord America nel XIX secolo è possibile sostenere che la sua diffusione sia stata determinata dall'ampia disponibilità di materiale (il legno) e di energia per trasportarlo (i fiumi), dall'abbondanza di manodopera non-specializzata, dalla produzione in serie dei chiodi e dall'ampiezza della domanda per quel tipo di abitazione. La diffusione e il consolidamento di specifiche metodologie realizzative sono molto spesso quindi una risposta all'azione di forze eterogenee, esito dell'intersezione di spinte sociali, culturali, materiali, tecnologiche e, soprattutto, economiche. Per tali metodologie risulta centrale il rapporto con il concetto di industrializzazione, inteso come principio ripetitivo o di iterazione che si oppone all'idea di molteplice, tipica dell'approccio artigianale, finalizzato alla produzione di elementi standardizzati, seriali e a basso costo, ma capaci di ridurre le numerose criticità che si presentano nel passaggio dalla fase progettuale a quella realizzativa.

L'idea di ottimizzare l'efficienza dei processi costruttivi attraverso la prefabbricazione degli elementi non è recente. Fin dagli inizi degli anni Venti il dibattito sorto intorno a standard tipologici e tecnici, prototipi di produzione, caratteristiche degli elementi ripetibili e intercambiabili, dimostra la volontà di misurarsi con i problemi dell'industrializzazione edilizia, di cui si iniziarono a comprendere potenzialità e limiti. E' in quegli anni che i luoghi dell'ide-

azione e dell'elaborazione del progetto si allontanano da quelli della produzione, per collocarsi in nuovi spazi culturali, lontani dal mestiere e dalle conoscenze tramandate attraverso la tradizione materiale, per avvicinarsi al mondo della ricerca industriale.

Oramai riconosciuta la crisi della progettualità nelle sue tradizionali forme e rifiutata la separazione tra l'operare astratto e quello esecutivo, il Movimento moderno continua a ricercare il centro di una cultura integrata, nella quale progetto e tecnica potessero continuamente e reciprocamente arricchirsi, mediando le esigenze dell'atto inventivo con quelle dell'azione realizzativa. La cesura però, pur se lenta e graduale, non è stata più ricomposta. Nonostante ciò l'Architettura avvia, contemporaneamente al processo di industrializzazione, una progressiva riappropriazione del progetto nella sua interezza, provando ad assimilare all'interno della sua cultura i nuovi principi di una società "industrializzata". Pur se contraddistinti da interessanti riflessioni teoriche, gli esiti architettonici basati sulla prefabbricazione sono però incerti, se non fallimentari.

Già a partire dagli anni Settanta comincia a delinearsi una via inedita per l'industrializzazione edilizia, finalizzata, soprattutto, ad una maggior controllo delle prestazioni formali e tecnologiche di sistemi e componenti. La produzione *off-site* si trova infatti per la prima volta nella possibilità di utilizzare procedure versatili e adattabili basate su sistemi integrati di lavorazione, frutto di una combinazione efficiente di flessibilità e automazione. Anche se contraddistinta da costi elevati, la compar-

sa di frammenti di intelligenza artificiale all'interno del processo produttivo apre alla prefabbricazione nuove opportunità, capaci di ridurre molte delle criticità che la avevano caratterizzata nei decenni precedenti. Comincia pertanto ad emergere la possibilità, per l'Architettura e la Prefabbricazione, di avviare un processo di riunificazione, le cui strade seguono da tempo direzioni divergenti, alla ricerca di un comune spazio di lavoro in grado di conciliare cultura architettonica e cultura industriale.

Già dalla metà degli anni Ottanta, l'emergere del Digitale, del Parametrico e dell'Informativo trasforma in profondità il modo di progettare e produrre architettura. I cambiamenti epistemologici che affrontano i domini del sapere progettuale, derivanti dalle potenzialità computazionali degli strumenti digitali in tutte le fasi del processo, dischiudono indubbiamente grandi opportunità di sviluppo soprattutto per il settore della produzione industriale. Nuovi processi, soluzioni, strumenti e tecniche trasformano la stessa natura della produzione in fabbrica, a cui si richiede di riformulare i concetti fondamentali del manufacturing allo scopo di verificarne la appropriatezza rispetto al "rivoluzionario" campo di ricerca emergente. Le tecnologie digitali applicate all'industria permettono di organizzare non solo i progetti in sistemi parametrici basati su logiche di relazione tra parti, offrendo la possibilità di alterare la configurazione complessiva del sistema agendo sulle variabili poste

alla base del processo progettuale, ma soprattutto di introdurre nelle modalità produttive di sistemi e componenti radicali innovazioni di processo e di prodotto. In tale ambito è chiaramente individuabile l'emergere di strumenti di digital fabrication per la realizzazione di prodotti non standardizzati ad elevata "customizzazione", svincolati oramai dai limiti produttivi degli scorsi decenni. La diretta corrispondenza che si crea tra modellazione virtuale e produzione reale, si avvale infatti di tecnologie a controllo numerico (CNC – *Computer Numerical Control*) capaci di "aprire" a illimitate modificazioni formali e prestazionali, guidando la trasposizione da virtuale a reale attraverso un percorso protetto che tende a limitare i rischi di perdita di informazioni secondo un flusso di lavoro *File-To-Factory* (dal file alla fabbrica), cioè traducendo con macchine di derivazione industriale dei modelli digitali direttamente in produzione.

Oggi siamo nel pieno di questo inarrestabile e, secondo alcuni, inevitabile fenomeno, potenzialmente destinato a modificare profondamente il rapporto tra Architettura e Produzione Industriale, grazie alla combinazione di parametrico, visualizzazione *real-time* e tecnologie di *data-management*. Il volume di Giuliano Galluccio racconta, con passione e competenza, questa avvincente trasformazione, portatrice, come tutte le "rivoluzioni", di esaltanti e inedite prospettive di sviluppo, ma allo stesso tempo di incognite, inquietudini e dubbi.

Premessa

Il seguente volume nasce dal lavoro di tesi di Laurea Magistrale a Ciclo Unico in Architettura dal titolo “*BIM TO FABRICATION - Progettazione integrata con il Building Information Modeling e Advanced Manufacturing per l’ottimizzazione dei processi produttivi nell’industria delle costruzioni (AEC)*”, discusso nel gennaio 2017 presso il Dipartimento di Architettura dell’Università degli studi di Napoli “Federico II”, che ha visto come relatore il Prof. Arch. Sergio Russo Ermolli. Scopo del lavoro è stato quello di investigare le possibilità offerte dai nuovi paradigmi di progettazione e produzione dell’Industria 4.0 nel settore delle costruzioni, con particolare attenzione alle tecnologie orientate al controllo delle prestazioni dei sistemi edilizi e all’ottimizzazione dei tempi e dei costi di realizzazione delle opere di architettura, attraverso il coordinamento tra strumenti per la gestione integrata del processo progettuale (*Building Information Modeling*) e per la prototipazione rapida (*Computer Aided Manufacturing*). Successivamente, è stato possibile approfondire lo studio, oggetto del seguente testo, rivolto alle nuove soluzioni atte a garantire l’efficienza dei processi industriali nel settore delle costruzioni, in relazione alla crescente complessità che le opere presentano, sia in termini di prestazioni richieste che di rispetto delle normative. Il contesto economico globale di riferimento, caratterizzato dalla persistente eredità di una profonda crisi finanziaria che ha impattato soprattutto il settore *Architecture, Engineering and Construction*, suggerisce la necessità di allineare il comparto delle costruzioni, tradizionalmente ricalibrante nei confronti delle innovazioni, agli altri settori produttivi, attraverso una trasformazione in senso industriale. Sebbene tale aspirazione non sia recente, l’attuale disponibilità di tecnologie sempre più avanzate individua una nuova opportunità

per cui l’intero sistema possa essere riconfigurato attraverso l’impiego di processualità innovative, con lo scopo, in generale, di offrire un maggiore controllo delle caratteristiche prestazionali dei componenti costruttivi e dei processi di produzione e di assemblaggio, sia in azienda che in cantiere, in modo da incidere sulla distanza esistente tra fase produttiva, progettuale e realizzativa.

Come evidenziato dal McKinsey Global Institute, uno dei maggiori osservatori internazionali sul settore delle costruzioni, in un report pubblicato nel 2016 dal titolo *Imagining construction’s digital future*¹, il comparto AEC, nonostante il ruolo di punta che riveste in termini di impatto sull’economia e sull’occupazione, non ha ancora perfezionato, come invece altri settori industriali e manifatturieri, una strategia matura verso la cosiddetta “Industria 4.0”.

Dalla classifica riportata all’interno dello studio (Fig.1), emerge come il comparto delle costruzioni presenti un livello minimo di digitalizzazione, superiore solo a quello del settore della caccia e dell’agricoltura, in termini di gestione e organizzazione, marketing e business, produzione di beni e metodologia di lavoro. Tale condizione incide negativamente sull’efficienza complessiva di tutta la filiera, i cui processi di progettazione, produzione, realizzazione e gestione, oramai inadeguati, sono causa di asimmetrie tra gli operatori, da cui una maggiore probabilità di difetti nei prodotti, e aumenti dei costi, spesso dovuti ad un’insufficiente programmazione delle fasi di lavorazione.

L’elevato grado di complessità delle opere di architettura e ingegneria, oltre alla quantità e eterogeneità degli attori che partecipano alla filiera (committenti, tecnici, consulenti, aziende, appaltatori, fornitori, esecutori, ecc.), richiederebbe infatti una organizzazione del lavoro che faciliti innan-

zitutto il controllo della qualità del prodotto, nel rispetto dei requisiti prestazionali forniti dalla committenza e dalle normative. Ma affinché ciò avvenga, è necessaria una radicale evoluzione dell'approccio al progetto, in un modo simile a quanto già avvenuto nell'industria automobilistica o aerospaziale e navale, mediata dall'utilizzo di strumenti software avanzati (*Computer Aided Design*), che permettono di guidare le scelte progettuali tramite processi avanzati *data-driven*. Seppur graduale, la disponibilità in edilizia di tali metodologie e strumenti di natura digitale è il risultato della congiunzione di fattori eterogenei: sul piano tecnologico, l'evoluzione di hardware più performanti per la diffusione di soluzioni software, già presenti dagli anni '70, ha ridestato il dibattito sull'innovazione delle tecniche di progettazione e produzione; sul piano economico, la crisi finanziaria, impattando il settore delle costruzioni e della manifattura, ha costretto il mercato ad un profondo ripensamento dei paradigmi di scala, che richiede di riallineare l'AEC agli altri comparti industriali.

Se le recenti innovazioni in termini di processo, legate alla diffusione delle tecnologie di fabbricazione digitale, hanno permesso la concezione di componenti e sistemi costruttivi ad elevata complessità, l'introduzione del *Building Information Modeling e Management*, nella pratica progettuale, potrebbe guidare l'efficiente sviluppo della filiera. Il BIM infatti consente, tramite la condivisione di un unico modello virtuale tra i vari attori del progetto, di possedere simultaneamente, per ogni singolo elemento, tutte le informazioni legate alle *performance* (ambientali, tecnologiche, strutturali, economiche, costruttive) e disporre della possibilità di confrontarle e aggiornarle, grazie alla caratteristica di interoperabilità tra software specialistici, intrinseca del BIM stesso².

Nei casi esaminati nel presente lavoro, la trasformazione in senso industriale del settore AEC parte dalla ridefinizione dei suoi *workflow*, in un flusso che dalla progettazione in ambiente BIM giunga alla fase di lavorazione con macchinari *Computer Numerical Control*, il trasporto, fino alla stesura del kit di montaggio in cantiere di elementi pre-lavorati e prefabbricati. I principali benefici attestati dall'integrazione tra progettazione BIM e tecnologie di fabbricazione digitale riguardano infatti la maggiore efficienza nello scambio di informazioni tra progettisti, produttori e costruttori: tradizionalmente, le fasi di disegno e prototipazione si susseguono attraverso la redazione di documentazioni "statiche", secondo un flusso di lavoro "a cascata", che non consentono approfondimenti ricorsivi tra le diverse fasi.

In tal senso, si propone un'interpretazione del significato che una trasformazione industriale del settore delle costruzioni ha per il progetto di Architettura, attraverso una simulazione dell'applicazione della metodologia BIM alla progettazione di edifici ad uso residenziale in *Cold-Formed Steel*. Sfruttando le potenzialità della fabbricazione digitale e degli strumenti informatici avanzati per il design computazionale e parametrico, emerge uno scenario in cui sia possibile ottenere elementi ad elevate prestazioni ambientali e strutturali riducendo al minimo gli scarti di lavorazione e ottimizzando le fasi di assemblaggio in cantiere.

La scelta del sistema costruttivo in CFS, maturo seppure ancora ad impiego limitato nel nostro Paese, fornisce uno stimolo di sperimentazione per differenti ragioni: intrinseche, per le proprietà stesse del sistema materiale in termini di *lean production*, riciclabilità, velocità di assemblaggio; potenziali, in termini di digitalizzazione e personalizzazione degli elementi, otti-

mizzazione dell'utilizzo del materiale e delle *performance* strutturali, integrazione con sistemi per la realizzazione di pacchetti di chiusura a secco. A ciò è dovuto il crescente interesse per tali tecnologie, il cui progresso, in concomitanza con le istanze descritte, ne lascia intravedere ampi margini di diffusione nell'ecosistema dei sistemi costruttivi³.

La riconfigurazione del processo edilizio dovuta alla digitalizzazione sta determinando, profondi ripensamenti su ruoli e competenze dei differenti protagonisti, soprattutto nella rivisitazione del concetto stesso dei luoghi all'interno dei quali vengono "prodotti"

le architetture. Lo studio di progettazione, l'industria, il cantiere, stanno assumendo definitivamente paradigmi industriali di natura digitale che li rendono radicalmente differenti rispetto solo al decennio trascorso. Competitività internazionale e rimodellazione dei metodi di progettazione e di gestione delle attività delineano scenari della *off-site production* all'interno dei quali l'industria dei profili in CFS, pur nella sua marginalità sul mercato domestico, sembra poter assumere il modello di una nuova filiera produttiva.

1. MC KINSEY GLOBAL INSTITUTE, *Imagining construction's digital future*, 2016 [Online] Available at: www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future [Accessed 10 April 2019].

2. «Il Building Information Modeling è una rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un edificio e in quanto tale funge da sorgente di conoscenza condivisa e una base affidabile per le informazioni riguardo la creazione di un edificio e una base affidabile per le decisioni durante il suo ciclo di vita, partendo dall'idea che l'ha originata in poi. Il BIM è una rappresentazione digitale comune basata sull'interoperabilità.»

NATIONAL BIM STANDARDS PROJECT COMMITTEE.

3. Cfr. R. LANDOLFO, S. RUSSO ERMOLLI, *Acciaio e sostenibilità. Progetto, ricerca e sperimentazione per l'housing in cold-formed steel*, Alinea, Firenze 2012.

Fig. 1. Il grado di digitalizzazione nei settori produttivi. Fonte: Mc Kinsey Global Institute, *Imagining construction's digital future*, 2016.



Lo stato della filiera edilizia

Il grado di digitalizzazione nelle attività produttive

I dati forniti dal Mc Kinsey Global Institute, uno dei principali osservatori internazionali sull'industria delle costruzioni, pubblicati all'interno del report *Imagining construction's digital future* del 2016, descrivono il comparto AEC come quello caratterizzato da uno dei più bassi indici di digitalizzazione tra tutti i settori produttivi. Il grado di maturità, in termini di investimenti in tecnologie, soluzioni e sistemi innovativi, è stato misurato attraverso la comparazione di tre parametri:

- *assets* (risorse), in cui si tiene conto del livello generale di digitalizzazione dell'impresa, della percentuale di capitale investito per implementare nuove risorse innovative e dunque, in definitiva, della misura dell'importanza che le nuove tecnologie rivestono nelle strategie aziendali;
- *usage* (utilizzo), distinto in transazioni, interazioni, processi relativi al business o alle campagne e le strategie di marketing;
- *labor* (lavoro), che valuta l'impatto delle nuove tecnologie sulla digitalizzazione del lavoro, oltre che l'investimento dell'azienda nell'aggiornamento delle proprie risorse umane.

Tale disavanzo costituisce una problematica dagli esiti profondi poiché, a causa della loro natura sistemica, i processi nel settore delle costruzioni richiedono il contributo di numerosi operatori, di dimensione generalmente medio-piccola, lungo una catena di fasi tra loro spesso non coordinate. Il mancato aggiornamento dei flussi di lavoro, perciò, incide in relazione alla maggiore probabilità di presenza di difetti nei prodotti, causati da errori dovuti ad asimmetrie informative e comunicative tra operatori diversi o tra reparti all'interno di uno stesso operatore. D'altronde, l'ineadeguatezza degli strumenti di pianificazio-

ne nei confronti della domanda genera un problema di sotto/sovrapproduzione, ovvero produzione insufficiente/eccedente la richiesta reale, dovuta essenzialmente ad una scarsa capacità di previsione delle esigenze del mercato o errori nella quantificazione dei bisogni. Ciò, a sua volta, può comportare l'accumulo di giacenze di materiale in magazzino, giacché in sovrannumero rispetto alla richiesta effettiva o che, a causa dei ritardi o della mancata sincronizzazione delle fasi, resta immobilizzato, intralciando il proseguimento dell'attività e aggravando le spese di gestione. Inoltre, un'insufficiente programmazione delle fasi del processo produttivo genera attese non necessarie nel susseguirsi delle attività. Questa inefficiente gestione delle fasi determina flussi non coordinati di lavoratori e macchine, che si intralciano l'un l'altro e rallentano l'efficiente svolgimento delle operazioni.

Nel rapporto pubblicato dall'Associazione Nazionale Costruttori Edili il 21 giugno 2016, dal titolo *Una politica industriale per il settore delle costruzioni - Le proposte dell'ANCE*¹, si evidenzia la gravità e le cause dei ritardi del settore. Confrontando il numero di imprese in base al numero di addetti, emerge una struttura del tessuto produttivo caratterizzata da una generalizzata ed elevata frammentazione, con un numero medio di 3,7 addetti per impresa. Per le costruzioni, la dimensione media è addirittura inferiore (2,6 addetti per impresa), con il 96,2% delle imprese con meno di 10 addetti; il 60% delle imprese, pari a circa 330mila unità, risulta avere un solo addetto, mentre nella fascia con 2-9 addetti si concentra il 36,2% delle imprese del settore (completano il quadro quella con 10-49 addetti e quella con più di 50