

Massimo Lauria

Professore Associato di Tecnologia dell'Architettura presso il Dipartimento dArTe dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria. Svolge attività di ricerca nel campo del *Building Construction* con applicazioni alla gestione del costruito. È Tesoriere SITdA - Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura, membro del *Board* della rivista *Techne* e direttore del Master di II livello in BIM. È responsabile scientifico dello *spin-off* BIG - *Building Innovative Governance*.

Elena Mussinelli

Professore Ordinario di Tecnologia dell'Architettura presso il Dipartimento ABC del Politecnico di Milano. Vicepresidente SITdA - Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura. Svolge attività di formazione, ricerca e consulenza sui temi del progetto ambientale negli interventi di rigenerazione urbana, con particolare attenzione alla qualità ecosistemica e fruitiva dello spazio pubblico.

Fabrizio Tucci

Professore Ordinario di Tecnologia dell'Architettura, Coordinatore del Dottorato in Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura presso il Dipartimento PDTA della Sapienza Università di Roma. Coordinatore del *Cluster Nearly Zero Energy Building* e Delegato ai Rapporti con le Istituzioni di SITdA - Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura. Coordinatore del Gruppo internazionale di Esperti del *Green City Network*, Stati Generali della *Green Economy*.

944

La Produzione del Progetto

a cura di Massimo Lauria, Elena Mussinelli, Fabrizio Tucci

La Produzione del Progetto

a cura di

MASSIMO LAURIA
ELENA MUSSINELLI
FABRIZIO TUCCI

Le trasformazioni indotte sull'attività progettuale dalle molteplici sfide poste dalla crisi economica, dai cambiamenti climatici e dalle emergenze ambientali, insieme con l'impatto del *Web* e delle ICT sui sistemi sociali e produttivi, evidenziano numerose criticità, ma anche significative prospettive di aggiornamento relativamente a luoghi, forme, contenuti e modalità operative del "fare architettura", a tutti i livelli e le scale di intervento.

Tali sfide segnalano la necessità di rivedere il portato culturale e tecnico del progettare, con un suo riposizionamento all'interno dei processi di trasformazione antropica dei territori e delle città.

La tradizione culturale e l'identità disciplinare della Tecnologia dell'Architettura offrono in questo contesto visioni ed efficaci prassi operative caratterizzate da nuove modalità di gestione e controllo del processo con la definizione di ruoli, competenze e contenuti rapportati alle filiere produttive dell'economia circolare/*green* e a simulazioni performative reali e virtuali: dai sistemi GIS/BIM alla *Industrial Mass Customization*, dalla *Off-site Manufacturing 2.0* alla robotica e Industria 4.0, fino alla *On-site Production* e al *3D Printing*.

Il volume raccoglie gli esiti delle riflessioni e del lavoro di ricerca e sperimentazione dei soci SITdA - Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura, delineando scenari di cambiamento utili a orientare il futuro della ricerca per l'innalzamento della qualità del progetto e delle opere costruite e per il ripensamento delle forme della conoscenza e degli statuti del progetto, in un confronto ampio e aperto nei diversi contesti istituzionali, politici e tecnici.

978-88-916-3602-7



9 788891 636027

€ 29,00

TECNOLOGIA
STUDI E PROGETTI
43

ARCHITETTURA
INGEGNERIA
SCIENZE



politecnica

MAGGIOLI
EDITORE

In copertina:

Rielaborazione da

Siemens digitalization tour, Siemens, 1996-2019

La Produzione del Progetto

a cura di

**Massimo Lauria
Elena Mussinelli
Fabrizio Tucci**


**MAGGIOLI
EDITORE**

Collana STUDI E PROGETTI

direttori *Fabrizio Schiaffonati, Elena Mussinelli*
comitato editoriale *Chiara Agosti, Giovanni Castaldo, Martino Mocchi, Raffaella Riva*
comitato scientifico *Philippe Daverio, Giulio Giorello, Francesco Karrer, Jan Rosvall*

a cura di
Massimo Lauria
Elena Mussinelli
Fabrizio Tucci

copertina e impaginato grafico
Daniele Boni
Alessia Caruso

Questo libro è stato sottoposto a *double blind peer review*.

In copertina:
rielaborazione da
Siemens digitalization tour, Siemens, 1996-2019

ISBN 978-88-916-3602-7

© Copyright degli Autori
Pubblicato a cura di Maggioli Editore.
Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.
Azienda certificata con Sistema qualità Iso 9001:2000
47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8
e-mail: clienti.editore@maggioli.it

È vietata la riproduzione anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, anche a uso interno e didattico, non autorizzata. Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento, totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

Finito di stampare nel mese di dicembre 2019
da Digital Print Service s.r.l. – Segrate (Milano)

I NUOVI SCENARI DELLA PROGETTAZIONE TECNOLOGICA <i>Maria Teresa Lucarelli</i>	11
RIFLESSIONI SULLA RICERCA E IL PROGETTO NELLA PRATICA ARCHITETTONICA <i>Paolo Felli</i>	17
LA PRODUZIONE DEL PROGETTO	23
La ricerca per la qualità del progetto <i>Elena Mussinelli</i>	25
Cultura tecnica e statuti disciplinari <i>Massimo Lauria</i>	28
Requisiti, approcci, visioni, nelle prospettive di sviluppo della Progettazione Tecnologica <i>Fabrizio Tucci</i>	35
PARTE I. DOMANDA DI SERVIZI, OFFERTA DI COMPETENZE Valori, contenuti, attori del progetto nei nuovi modelli organizzativi del processo edilizio	45
1.1 Architetti, formazione e professione fra evidenze del mercato e argomenti del dibattito <i>Ernesto Antonini, Pietro Maria Davoli, Massimo Lauria</i>	47
1.2 L'offerta nel mercato della progettazione <i>Aldo Norsa</i>	54
1.3 La nostra professione di architetti nella società VUCA <i>Paolo Mezzalama</i>	61
<i>L'innovazione della domanda di servizi di progettazione: priorità, strategie, strumenti e pratiche della committenza, loro effetti sul mercato</i>	
1.4 La domanda di qualità dell'architettura: i concorsi di progettazione <i>Valeria Ciulla, Alberto De Capua</i>	69

1.5	L'impatto della domanda sociale sul progetto: l'esperienza della residenzialità inclusiva per persone fragili <i>Genny Cia, Marzia Morena, Ilaria Oberti, Angela Silvia Pavesi</i>	76
1.6	Circular and collaborative: due termini della cultura del progetto nell'era dell'industria 4.0 <i>Mariangela Bellomo, Antonella Falotico</i>	86
1.7	Progetto e crowdsourcing: mappatura del fenomeno e prospettive future <i>Timothy Daniel Brownlee, Valeria Melappioni</i>	93

L'evoluzione dell'organizzazione e della produzione del progetto: assetti e competenze nella progettazione, fra multidisciplinarietà e specializzazione

1.8	La trasformazione digitale del settore AEC: innovazione di processi e modelli organizzativi <i>Marcella Bonanomi, Cinzia Talamo, Giancarlo Paganin</i>	101
1.9	La sfida digitale per l'innovazione dei processi progettuali <i>Alessandro Claudi de Saint Mihiel</i>	109
1.10	Nuovi modelli operativi per la gestione del progetto e della costruzione: l'esperienza del Solar Decathlon ME 2018 <i>Antonio Basti, Michele Di Sivo, Adriano Remigio</i>	116
1.11	Per una manutenzione 4.0. Opportunità versus necessità <i>Maria Azzalin</i>	124
1.12	La complessità dell'attività progettuale in prospettiva ambientale <i>Anna Della Valle</i>	131
1.13	L'innovazione nei processi di progettazione e gestione del costruito <i>Valentina Frighi</i>	139
1.14	Rating system come strumento di progetto per governare la complessità <i>Lia Marchi</i>	146

Nuove professionalità: definizione, formazione e organizzazione di conoscenze, abilità e competenze

1.15	Green Procurement e architettura: nuove competenze professionali <i>Riccardo Pollo, Corrado Carbonaro</i>	153
1.16	Tendenze e nuove forme di associazionismo per il progetto partecipato <i>Giovanni Castaldo, Martino Mocchi</i>	161
1.17	Formare alla ricerca. Strategie per il riavvicinamento di università e imprese verso attività di ricerca congiunte <i>Massimo Rossetti</i>	168
1.18	Produzione del progetto e università: valori, contraddizioni e opportunità <i>Oscar Eugenio Bellini, Andrea Tartaglia</i>	175

1.19	Una nuova professione per l'architetto: il Project Manager <i>Maria Teresa Mandaglio, Katia Musarella</i>	184
1.20	Tecnologie digitali, edilizia 4.0 e fattore umano <i>Erminia Attaianese</i>	191
1.21	La geografia dell'automazione. Ridefinire il ruolo della prefabbricazione <i>Margherita Ferrari</i>	197

PARTE 2. QUALITÀ DEL PROGETTO, QUALITÀ DELLA COSTRUZIONE

Innovazione tecnologica e ICT per il processo edilizio 205

2.1	Innovazione digitale e complessità del progetto <i>Eliana Cangelli, Valeria D'Ambrosio</i>	207
2.2	Produrre il progetto nell'era digitale <i>Mario Losasso</i>	213
2.3	Il BIM è innovazione? <i>Daniel Hurtubise</i>	219

Informazioni e Big Data per il management avanzato e i processi di decision making

2.4	Innovazione tecnologica e GIS per la qualificazione dei processi di recupero <i>Giovanna Franco, Simonetta Acacia</i>	223
2.5	Quale tecnologia invisibile? I metadati per il processo di recupero degli edifici storici <i>Marta Calzolari</i>	230
2.6	Carte di identità per quartieri multi-layer. Strumenti BIM/GIS per il design della città smart <i>Saveria Olga Murielle Boulanger, Rossella Roversi</i>	237
2.7	Metodo di analisi multicriterio per la progettazione preliminare di una struttura ospedaliera <i>Salvatore Viscuso, Milan Dragoljevic, Alessandra Zanelli</i>	245
2.8	Gestione trasparente e circolarità: la tecnologia blockchain e la produzione del progetto <i>Cristina Fiore, Daniele Iori, Giuseppina Vespa</i>	252
2.9	Ventilazione naturale e computazione fluidodinamica nello spazio della città storica: la qualità del progetto urbano <i>Gaia Turchetti</i>	259
2.10	Il decision making nel progetto dei circular building: informazioni sui materiali nei tool BIM <i>Paola Altamura</i>	266

Collaborazione e coordinamento delle competenze nella condivisione e gestione dei dati per la produzione del progetto

- 2.11 Metodologie trans-disciplinari e condivisibili per il progetto: individuazione di dati di input
Lucia Martincigh, Gabriele Bellingeri, Chiara Tonelli, Lucia Fontana, Marina Di Guida 274
- 2.12 Il GIS per la valorizzazione dell'architettura del '900: dalla scala territoriale all'edificio
Marta Casanova, Elena Marchioni, Camilla Repetti, Francesca Segantini 281
- 2.13 Heritage-BIM per la gestione integrata dei centri storici. Il caso studio di Artena (Roma)
Filippo Calcerano, Elena Cigliarelli, Raffaele Potrandolfi 290
- 2.14 Approcci di light resource building per l'eco-innovazione dei processi costruttivi
Martino Milardi 298
- 2.15 Nuove tecnologie e progetto: strumenti innovativi per il co-design
Grazia Giulia Cocina, Gabriella Peretti, Francesca Thiebat 305
- 2.16 Migliorare la qualità degli edifici attraverso la riduzione del gap di rendimento energetico
Emanuele Piaia 312

Integrazione di metodologie, strumentazioni e tecnologie innovative per la produzione off-site e on-site, in tutte le fasi del processo edilizio

- 2.17 Produzione industriale, nuovi strumenti e tecnologie per il progetto di residenze prefabbricate customizzate: opportunità e limiti
Spartaco Paris, Roberto Bianchi, Jlenia Beatrice Pesce 320
- 2.18 Ibridazione tra BIM e VPL e sviluppo di un software per l'embodied energy degli edifici
Roberto Giordano, Massimiliano Lo Turco, Yoseph Pagliero 327
- 2.19 L'innovazione dei calcestruzzi tra dematerializzazione e industria 4.0
Jenine Principe 334
- 2.20 Nuovi strumenti per la progettazione ambientale. Un modello parametrico per l'involucro
Paola De Joanna, Antonio Passaro, Rossella Siani 340
- 2.21 Possibili approcci di integrazione del life cycle assessment in ambiente BIM
Elisabetta Palumbo, Stefano Politi 347

PARTE 3. PROGETTARE IL PROGETTO, INVENTARE IL FUTURO

Innovazione delle forme della conoscenza e statuti cognitivi del progetto 355

- 3.1 La ricerca progettuale: dalla cultura tecnologica della progettazione per l'innovazione sociale alla funzione anticipante e creativa del progetto
Fabrizio Tucci, Laura Daglio 357
- 3.2 Per una nuova centralità della figura dell'architetto
Fabrizio Schiaffonati 366
- 3.3 Innovating Projects in the Wisdom Economy
Luigi Ferrara, Caitlin Plewes, Graeme Kondruss 372

Cultura del progetto e innovazione sociale

- 3.4 Progettazione tecnologica e innovazione sociale
Tiziana Ferrante 381
- 3.5 La condizione contemporanea del progetto. Rapporto sul matema digitale
Giuseppe Ridolfi 388
- 3.6 Cultura del progetto e partecipazione
Alessandra Battisti 396
- 3.7 Ri-connessione sociale, ambientale e funzionale degli spazi per l'accoglienza a Castel Volturno
Claudia De Biase, Rossella Franchino, Caterina Frettoloso 404
- 3.8 Città e bisogno di città
Francesco Bagnato, Daniela Giusto 412
- 3.9 Progettare la conoscenza per il recupero: tra approcci collaborativi e scenari di adattabilità
Katia Fabbicatti, Serena Viola 419
- 3.10 Un approccio inclusivo per le strategie di recupero
Martina Bosone, Francesca Ciampa 427

La ricerca e la funzione predittiva e anticipante del progetto

- 3.11 Le tecnologie per i sistemi liminali urbani fra eredità ed evoluzioni transdisciplinari
Filippo Angelucci 433
- 3.12 Il progetto valorizzativo: da trama a vettore dell'architettura
Elisabetta Ginelli, Gianluca Pozzi 441
- 3.13 La contaminazione disciplinare. "Recherche patiente" nella cultura tecnologica del progetto
Serena Baiani 449
- 3.14 Il progetto tecnologico come processo cognitivo. Teorie, modelli, invenzioni
Marilisa Cellurale, Carola Clemente 458

3.15	Nuovi modelli cognitivi nella fase di pre-progettazione dei sistemi di involucro complessi <i>Paola Gallo, Rosa Romano</i>	466
3.16	Building performance simulation, BIM e Parametric design: potenzialità per il progetto <i>Valeria Cecafofso</i>	473
3.17	Plasmare la città di domani attraverso un “Network Urbanism” <i>Irina Rotaru</i>	480
<i>Quale creatività per il progetto di architettura</i>		
3.18	La responsabilità e i tre ruoli della tecnologia nel progetto verso la “collaborative city” <i>Rossella Maspoli</i>	487
3.19	Tecnologie digitali e produzione dello spazio abitato nell’era dell’antropocene <i>Marina Rigillo</i>	495
3.20	Tecnologie abilitanti per la progettazione continua ed interdipendente <i>Flaviano Celaschi, Daniele Fanzini, Elena Maria Formia</i>	501
3.21	Progettare la complessità: dall’incertezza allo scambio di conoscenza <i>Daniele Bucci, Ottavia Starace</i>	509
3.22	Verso un’epistemologia della pratica: ricerca e attivismo di progetto <i>Renata Valente</i>	515
3.23	Design tecnologico rigenerativo per nutrire gli scenari urbani del futuro <i>Antonella Violano</i>	522
3.24	Principi della Green Economy e strategie progettuali per l’adattamento climatico <i>Marina Block</i>	530

PROSPETTIVE. RIFLESSIONI SUL PROGETTARE

<i>Elena Mussinelli</i>	539
-------------------------	-----

1.21 LA GEOGRAFIA DELL’AUTOMAZIONE. RIDEFINIRE IL RUOLO DELLA PREFABBRICAZIONE

*Margherita Ferrari**

Abstract

Industrializzazione e prefabbricazione si riferiscono oggi a una filiera produttiva differente dal contesto in cui questi concetti si sono delineati: una filiera tuttora in trasformazione e sempre più capace di rispondere puntualmente ai bisogni della società.

In architettura questo cambiamento contribuisce a trasformare nuovi linguaggi strutturali e, attraverso l’impiego delle macchine nella produzione di componenti edili, ridefinisce concetti fondamentali come la materia e la flessibilità. Automazione e robotica sono strumenti di innovazione, che potrà essere definita tale solo se questi saranno impiegati con la padronanza e la consapevolezza propria della cultura materiale.

Parole chiave: Prefabbricazione, Automazione, Struttura, Montaggio

Introduzione

Nuove costruzioni, nuove riqualificazioni, nuovi sistemi costruttivi: tale aggettivazione non indica necessariamente ed esclusivamente una pratica edilizia, differente da quella di prassi adottata o storicamente affermata, purché vi sia un ragionamento in merito al senso di ciò che viene costruito, in termini di relazione con le dimensioni culturali. Indagare “il nuovo” significa indagare la storia della sua produzione, delle macchine utilizzate, delle innovazioni e dei fallimenti. Individuare scopi e obiettivi di innovatori può rafforzare la consapevolezza che, nella disciplina della tecnologia dell’architettura, vi siano i fondamenti per la crescita di un sistema che si muove tra passato, inteso come insieme di beni e saperi condivisi, e ricerca dell’innovazione futura.

Essa presuppone di riconoscere un cambiamento nel paradigma della progettazione, che non si limita alla trasformazione degli strumenti della produzione ma alle sue ripercussioni sulla progettazione e, soprattutto, alla ridefinizione di concetti come “industrializzazione” e “prefabbricazione”.

L’automazione in questo processo non rappresenta solo la sostituzione di una macchina al lavoro dell’uomo, si tratta invece di una vera e propria tra-

* Margherita Ferrari è Dottore di Ricerca presso il laboratorio ArTec della Università IUAV di Venezia, margheritaf@iuav.it.

sformazione logica, in cui l'intero processo di fabbricazione è ricostruito su basi completamente nuove (Lilley, 1957), costituite oggi da strumenti flessibili capaci di estendere le abilità operative dell'uomo. Gli obiettivi della progettazione si sono adattati alle esigenze del costruire contemporaneo: la produzione è sempre più customizzata e rivolta alle esigenze del cliente; il progettista, più ancora che in passato, si confronta con l'esigenza di aggiornamento continuo.

In questo contesto, lo sviluppo di sistemi produttivi e macchinari sempre più sofisticati contribuisce a ridefinire i limiti stessi dei materiali storicamente impiegati nell'edilizia e sta generando uno stato di indeterminatezza in cui si confonde il confine tra competenza umana e strumentale.

Robot e costruzione

I robot, emblema dell'automazione, possono riprodurre lavorazioni fino a oggi svolte dall'uomo e dalle macchine utensili: l'automazione velocizza il processo produttivo e, nel corso del tempo, lo rende sempre più flessibile tramite l'impiego di macchine adatte a utilizzare più utensili in funzione dell'attività da svolgere. L'industria comincia a rispondere in maniera puntuale e diversificata, creando prodotti specifici in funzione delle richieste del cliente: è quella che Stanley M. Davis nel 1989 definisce come *mass customization*. Oggi è ormai praticabile oltre i confini definiti dalla letteratura e determina una serie di innovazioni tra produzione e progettazione, anche nel settore architettonico.

La produzione industriale associata al concetto di "standardizzazione" e quindi ai grandi quantitativi di prodotti seriali, si sposta sempre più verso la "customizzazione" del prodotto fatto su misura, richiamando una dimensione produttiva artigianale. Tale dimensione non va strettamente intesa in riferimento alla lavorazione manuale, quanto invece alla capacità di dominare il dialogo fra azione e riflessione (Micelli, 2011), valorizzando l'idea del progetto attraverso la ricerca e lo sviluppo degli stessi strumenti da lavoro. La stessa ricerca scientifica per l'impiego dell'automazione nel settore produttivo, non è rivolta solamente alle grandi industrie, ma a tutte le tipologie di produttori. Il cambiamento di connotazione legato al concetto di automazione è evoluto in funzione delle macchine: se infatti prima l'automazione era legata a una produzione di grandi quantitativi, la cui vendita rappresentava un metodo per ammortizzare le spese per l'acquisto dei macchinari, ora è svincolata dal numero dei prodotti finali, poiché le macchine sono flessibili e il loro costo può essere ammortizzato con un minor numero di prodotti anche diversi tra loro. Tale condizione è avvantaggiata anche dalla possibilità di accedere a finanziamenti, statali ed europei, per l'acquisto di macchine, *software* e strumenti volti a implementare l'attività aziendale, snellire i processi, promuovere attività di formazione del personale.

Il miglioramento non va inteso in termini di quantità, bensì di qualità, e cioè nella capacità di rispondere direttamente alle richieste dei clienti e quindi ai bisogni di una società: saper accompagnare un cliente è fattore determinante nello sviluppo di un'azienda, indipendentemente dalla sua dimensione. Così gli "eterni duellanti", artigianato e industria, possono trovare strade comuni esaltando le reciproche peculiarità e superando un'opposizione che è più ideologica che reale (Micelli, 2011). La si potrebbe considerare come una manifattura ibrida, ovvero una produzione capace di utilizzare le competenze artigianali su larga scala e replicarle ove necessario, andando a costituire una nuova forma manifatturiera¹. Utilizzare l'automazione e la robotica in architettura consente di accrescere le capacità di modellazione degli elementi e delle conformazioni strutturali migliorandone le tecniche di assemblaggio. La materia è potenziata dalle informazioni digitali: «la materia è arricchita dalle leggi del mondo immateriale della logica digitale, la materia è digitale» (Gramazio, Kohler, 2008).

La fabbricazione robotica costituisce lo strumento principale attraverso il quale estendere questa potenzialità digitale: andando oltre il potenziale intrinseco della materia e allo stesso tempo riconducendo il progettista a riscoprirne il valore dimenticato negli ultimi decenni con l'industrializzazione e la produzione di massa. Questo significa anche riappropriarsi della cultura materiale² e cioè del «patrimonio di idee, di tecniche e di costumi che si trasmettono quale espressione collettiva» (Nardi, 1994). Una cultura che è propria di una società e nel caso più specifico di un mestiere. La cultura materiale incorpora la tacita conoscenza³, cioè quel sapere frutto dell'esperienza tramandata, basata su tecniche e attenzioni che si sono consolidate nel corso della storia. Essa caratterizza il lavoro artigianale: robotica e digitalizzazione possono dunque riportare il processo della produzione a una forma artigianale, più precisamente alla visione della materia propria di un artigiano, ma con nuovi strumenti con cui sperimentare le proprietà dei materiali e soprattutto impiegarli con consapevolezza.

Riappropriarsi di tali capacità nella dimensione dell'architettura, significa anche recuperare l'ingegno della progettazione strutturale, che implica una forma di elegante parsimonia nell'impiego di risorse naturali e umane: più che una questione di virtuosismo o orgoglio per i progettisti e produttori, è anche una questione di responsabilità sociale per tutti gli utenti (Carpo, 2011).

¹ Questa manifattura ibrida di è oggi indicata con differenti termini, spesso di origine straniera, come *Smart manufacturing* o *Post-industrial manufacturing*, oppure in riferimento ai piani di riferimento nazionali, come *Industria 4.0*.

² In antropologia culturale, si riferisce al legame tra l'azione della tecnica e il contesto culturale in cui esso si sviluppa, quindi agli aspetti cognitivi: questi studi afferiscono alla sfera della antropologia delle tecniche.

³ Il concetto di tacita conoscenza è stato utilizzato per la prima volta nel 1966 dal filosofo Michael Polanyi in *The Tacit Dimension*; nel 1995 si è diffuso con la pubblicazione di Ikujiro Nonaka e Hirotaka Takeuchi, *The Knowledge Creating Company*. È stato ripreso recentemente anche Richard Sennet in *The Craftsman*, 2008.

Oltre la flessibilità industrializzata

Il robot rappresenta a oggi lo strumento più adatto per leggere e interpretare i comandi digitali e le complessità dei progetti elaborati con sistemi di *design* computazionale. Il robot è infatti capace di rispondere simultaneamente a variazioni in corso d'opera e di adattarsi alle modifiche costruttive: se un singolo elemento viene spostato «un infinito numero di relazioni nella logica complementare tra geometria e tettonica, tra l'elemento individuale e l'intera struttura, sono cambiate» (Gramazio, Kohler, 2014).

Lo sviluppo e l'impiego dei sensori ha permesso ai robot di muoversi in maniera più precisa e sicura, sia nel piano che nello spazio tridimensionale, da solo o in collaborazione con altri robot. Sebbene il robot più impiegato sia quello su base fissa⁴, le sperimentazioni oggi spaziano anche nell'impiego di robot che si possono muovere su binari a terra o a cielo. Questi sistemi permettono di impiegare macchinari pesanti e di grandi dimensioni, ampliando così il raggio d'azione del braccio robotico. Sono molto impiegati nella produzione di elementi prefabbricati, permettono di disporre in maniera esatta le aste di un telaio complesso e in alcuni casi anche di eseguire le forature per la predisposizione dei connettori, come nel caso di *Gradual Assemblies - Gramazio Kohler Research*⁵, un padiglione estivo installato presso l'Istituto Svizzero a Roma.

La sensoristica nel corso degli anni ha contribuito a migliorare l'autonomia dei robot nel riconoscimento del materiale da modellare e dell'ambiente circostante. Sono numerosi oggi i progetti di ricerca che indagano la progettazione e produzione di componenti edili attraverso la mobilità dei robot. I più comuni sono i bracci robotici installati su base mobile, in genere operativi in uno specifico ambito, quindi per la deposizione di materiale plastico come calcestruzzo o argilla fibrorinforzati, o anche per l'assemblaggio a secco di materiali granulari aggregati. La sperimentazione sulla mobilità utilizza i *wall climbing robots*, capaci di muoversi su superfici verticali senza l'ausilio di carrucole automatiche poste sulla sommità delle pareti. Essi consentono attività varie, dal monitoraggio fino all'assemblaggio di elementi. Di recente sperimentazione anche l'assemblaggio di elementi finiti e standardizzati tramite i droni.

Per quest'ultimi, sebbene precisione e controllo non siano ancora paragonabili a quello di un braccio robotico, le prospettive di impiego sono varie, soprattutto per le attività in situ, come il monitoraggio e lo spostamento di materiali.

La robotica consente di intervenire direttamente sul montaggio e quindi anche sulla lavorazione morfologica dell'elemento, accrescendo le modalità di impiego dei materiali tradizionali e superando le tipologie costruttive consolidate tramite l'utilizzo di materiali innovativi e performanti.

⁴ Con robot a base fissa si intende un braccio robotico che durante le operazioni è incastrato sul piano e dispone dei gradi di libertà propri della struttura del braccio.

⁵ La progettazione e produzione delle aste e il montaggio dei telai parziali sono stati eseguiti presso il Robotic Fabrication Laboratory (ETH Zurigo, 2018).

L'automazione sta quindi contribuendo a riscrivere il linguaggio costruttivo in architettura: «attraverso il robot, il digitale rivela la sua nascosta *natura costruttiva* e così porta a una vitale continuazione della tradizione costruttiva in architettura nell'era dell'informazione» (Gramazio, Kohler, 2008).

Mentre la macchina utensile e il processo di meccanizzazione hanno allontanato la produzione industriale da quella artigianale ora l'automazione, attraverso la robotica, rappresenta un processo capace di riavvicinarli.

La flessibilità degli strumenti di lavoro contemporanei “destandardizza” (Ciribini, 1984) la produzione, i componenti strutturali sono realizzati per specifici impieghi e non sono più intercambiabili. Muta così la *cultura dei prodotti assemblati nelle relazioni*⁶ ovvero la ricerca di progettazione del giunto. La progettazione di elementi standardizzati e componibili tra loro tendeva infatti a una *flessibilità industrializzata*, cioè una capacità di adattamento riproducibile in forma seriale. Konrad Wachsmann, durante gli anni di collaborazione con Walter Gropius per il progetto della Panel Corporation, aveva a lungo lavorato proprio sul sistema di connessione utile a garantire l'intercambiabilità delle aste strutturali per la realizzazione delle unità abitative. L'obiettivo era di realizzare un connettore universale capace di rendere flessibile, quindi trasformabile, l'impiego dell'elemento strutturale. In questo modo sia il connettore che l'asta potevano essere prodotti in base a standard e nell'ambito di processi industriali.

Dal giunto multiforme e adattabile, per collocare elementi costruttivi con maggiore flessibilità all'interno di un sistema, si passa al giunto puntuale realizzato esclusivamente per uno specifico impiego, proprio perché oggi la flessibilità è strumentale e la produzione è adattabile. Questa trasformazione⁷ si rivolge a lavorazioni più complesse, come quelle per componenti strutturali: «in termini tecnologici il prodotto post-industriale tende a personalizzarsi in funzione dell'uso e non già in virtù di valorizzazioni differenziali destrutturate e inessenziali» (Ciribini, 1984). La robotica per le linee di produzione potrebbe quindi contribuire a configurare una “nuova” forma di prefabbricazione, o per lo meno a superare la sua connotazione attuale, assimilata cioè all'idea di standard e alla possibilità di ridurre i costi di messa in opera di un manufatto edilizio. È invece il carattere stesso di “flessibilità” a essere standardizzato, non tanto nella configurazione dell'elemento, bensì in quella dello strumento, potenzialmente programmabile e adattabile alle necessità produttive⁸.

⁶ Guido Nardi (1994) distingue la cultura del prodotto interno e dei prodotti assemblati nelle relazioni, che riguardano rispettivamente tecniche di produzione e tecniche di assemblaggio.

⁷ Giuseppe Ciribini (1965) descrive la trasformazione delle macchine impiegate per la produzione di componenti edili in relazione al grado di autonomia dall'uomo in 10 classi (da A0 a A9), che si possono riassumere in 3 macro categorie: macchine utensili e macchine semiautomatiche (A0, A1, A2); macchine con capacità ripetere cicli produttivi, come macchine transfer e CNC (A3, A4 A5, A6); macchine capaci di “ideare” e sostituire l'intelletto dell'uomo (A7, A8, A9).

⁸ La programmazione digitale utilizza standard definiti “soft standard”: caratteri puramente digitali legati ai processi, non riconoscibili nel prodotto finale (Gramazio, Kohler, 2014, p. 189).

La flessibilità degli strumenti diviene nel corso del tempo un campo ideale di ricerca, attraverso il quale investigare la relazione tra materia e costruzione: dai primi anni del Duemila cresce il numero delle unità di ricerca universitarie che indagano la manifattura digitale in architettura, additiva e sottrattiva, e relative sperimentazioni legate al montaggio. È cresciuto anche l'impiego di bracci robotici per sperimentare attività di lavorazione e assemblaggio in campo edile e accanto a questi, grazie anche ai programmi di finanziamento internazionali, sono stati creati nel territorio laboratori di sperimentazione macchine, come i FABLAB.

Sebbene in alcuni casi sia difficile definire chiaramente il settore di ricerca, è possibile delineare per ciascun centro una propria tendenza di ricerca, legata alle tecnologie e ai materiali da lavorazione. Si costruisce così una geografia dell'automazione, richiamando un concetto che ha preceduto la produzione di massa, quello cioè della *geografia delle macchine* (Marchis, 1994): strumenti diversi in funzione della società e del luogo, macchine create *ad hoc* per rispondere a bisogni specifici, macchine che rispecchiano un'identità culturale.

Conclusioni

In uno scenario in cui industria e artigianato trovano nei nuovi sistemi di produzione automatizzati un comune denominatore, il progettista riassume un ruolo primario quale attore fondamentale dello stesso dialogo multidisciplinare che lo ha da sempre contraddistinto, ma oggi effettuato con altri mezzi.

Questo processo, allo stesso tempo, comporta una prefabbricazione puntuale a monte, in cui elementi e collegamenti sono progettati e determinati, con la flessibilità nella disposizione che era stata promossa dall'industrializzazione e dal *componenting* degli anni Sessanta⁹, che viene superata.

Ora il progettista deve trovare il modo di riappropriarsi di tecniche e strumenti della fabbricazione che non gli sono più propri.

La produzione si definisce realmente innovativa solo quando l'uso di strumenti digitali è nuovamente affiancata da quella cultura materiale propria dell'architetto, capace di trasformare un gesto meccanico in un atto d'ingegno.

L'automazione contribuisce a ridefinire l'interazione con la materia, e in questa trasformazione il progettista deve mantenere prioritaria la propria sensibilità, la cura per la progettazione materiale, senza cedere ciecamente all'innovazione strumentale. Solo così la materia potrà tornare a rispondere alle esigenze del progetto architettonico, prima che a quelle della produzione automatizzata, slegando così la prefabbricazione dalle prospettive di mercato e adattandola ai bisogni della società.

⁹ In occasione della quarta edizione del SAIE di Bologna, nel 1968 viene organizzata la mostra "Il componenting" a cura di Franco Faccio, Enzo Fratelli, Pietro N. Maggi, Giuseppe Turchini, Mario Zaffagnini (Edizioni E.A. Fiere di Bologna).

References

- Carpó, M. (2011), *The alphabet and the algorithm*, The MIT Press, Cambridge, MA.
- Ciribini, G. (1965), "Dal concetto di industria alla produzione industrializzata di beni edilizi", in Blachère, G. (Ed.), *Industrializzazione dell'edilizia*, Dedalo Libri, Bari, pp. 17-39.
- Ciribini, G. (1984), *Tecnologia e progetto: argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, CELID, Torino.
- Gramazio, F., Kohler, M. (2008), *Digital materiality in Architecture*, Lars Müller Publishers, Baden.
- Gramazio, F., Kohler, M. (2014), *Robotic Touch. How robots change architecture*, Park Books, Zurigo.
- Lilley, S. (1957), *Automation and social progress*, Lawrence & Wishart, Londra.
- Marchis, V. (1994), *Storia delle macchine. Tre millenni di cultura tecnologica*, Editori Laterza, Roma.
- Micelli, S. (2011), *Futuro artigiano*, Marsilio, Venezia.
- Nardi, G. (1994), *Le nuove radici antiche*, Franco Angeli, Milano.