

## MAKER: IL RITORNO DEI COSTRUTTORI

Una possibile transizione digitale per l'Architettura

## MAKER: THE RETURN OF THE BUILDERS

A possible digital transition for Architecture

Sergio Pone

### ABSTRACT

L'articolo che segue prova a rispondere alla domanda: come la rivoluzione digitale influenzerà l'architettura nel prossimo futuro? Per formulare una risposta convincente abbiamo a disposizione solo segnali molto esili che provengono da coraggiose sperimentazioni frutto più di lavoro di ricerca che degli stimoli proposti dal mercato. Alcuni studiosi in poche Università, armati di straordinarie abilità digitali e di strumentazioni tipo maker, creano nuove costruzioni sperimentali nelle quali si coniuga una progettazione molto complessa con una costruzione estremamente semplice, per le quali risultino ridondanti le abilità fabbrili e le costose attrezzature che popolano i cantieri tradizionali. Se si affermassero queste linee di sviluppo si potrebbe riportare l'architettura vicino alla gente e restituire al progettista un ruolo centrale nella realizzazione degli edifici.

This contribution attempts to answer the following question: how will the digital revolution affect architecture in the near future? To try to formulate a convincing answer, only very faint signals that come from courageous experiments are available, a result mainly of research work rather than market-proposed stimuli. A handful of researchers in a select number of Universities, armed with extraordinary digital skills and maker-type instrumentation, are creating new experimental constructions in which highly complex design is combined with extremely simple construction, which do not require the manufacturing skills and expensive equipment that populate traditional construction sites. By establishing these lines of development, it would be possible to bring architecture close to the people and restore a central role for the designer in the making of buildings.

### KEYWORDS

transizione digitale, transizione ecologica, fablab, fabbricazione digitale, il mestiere di architetto

digital transition, ecological transition, fablab, digital fabrication, the architect's profession



**Sergio Pone**, Architect and PhD in Architecture Technology, is a Full Professor at the Department of Architecture of the 'Federico II' University of Naples (Italy). He conducts research mainly in the area of innovative wooden structures and the dissemination of the digital revolution in the field of architecture. Email: pone@unina.it

Le macchine utensili guidate dal computer hanno fatto il loro ingresso nel mondo della produzione industriale già dagli ultimi decenni del secolo scorso: da allora si può parlare a pieno titolo di manifattura digitale. E da allora spesso il dibattito sull'architettura e sulla sua costruzione si è interrogato su quale potesse essere il portato culturale di questa modificazione e ha spesso posto l'accento sull'acquisita liberazione dal giogo della standardizzazione, della ripetizione identica degli elementi costruttivi. Il prodotto di serie, prodotto industriale fondato sull'unificazione, era più conveniente quanto più si ripeteva uguale a sé stesso senza modificazioni, variazioni, personalizzazioni; così l'Industria poteva assolvere bene alla sua missione originaria: portare la qualità nella quantità.

Invece la catena produttiva della manifattura digitale consente la differenziazione del prodotto: realizzare cento elementi perfettamente uguali o cento elementi simili ma con piccole differenze è praticamente indifferente: la variazione (ragionevole) non incide più di tanto sul costo dell'oggetto. In architettura, per esempio, progettare un edificio con finestre le cui dimensioni sono tutte diverse tra di loro non equivale più automaticamente a uno spreco di risorse e non implica necessariamente un aumento del costo della fornitura degli infissi, a condizione che la ditta produttrice sia dotata di una manifattura digitale, in particolare di una manifattura a controllo numerico, anche nota come sistema CAM (Computer-Aided Manufacturing).

Wikipedia definisce il CAM<sup>1</sup>: «[...] Computer-aided manufacturing (CAM) [...] is the use of software to control machine tools in the manufacturing of work pieces». Come spesso accade i primi sistemi per il CAM non nascono nel campo edilizio bensì nel settore aereospaziale o automobilistico. Fu Pierre Étienne Bézier, ingegnere e matematico francese noto ai più per essere il creatore con Paul de Casteljau delle celebri 'curve di Bézier', a mettere a punto tra il 1968 e il 1975 il sistema UNISURF CAD/CAM per la produzione di parti meccaniche della Renault. Qualche anno prima al MIT Servomechanisms Laboratory di Boston nasceva la prima versione del G-code che ancora oggi consente un'interfaccia ottimale tra computer e macchina utensile. La messa a regime del software (CAM), del linguaggio (G-code) e degli Utensili (CNC) consente alle industrie più tecnologicamente progredite di attivare linee manifatturiere digitali e ciò inizia a succedere negli anni '70-'80 del secolo scorso.

Le grandi macchine industriali, molto specializzate e spesso dotate di software proprietario, eserciteranno un cambiamento significativo ma non sostanziale sul mercato dell'edilizia che in definitiva non modificherà radicalmente i suoi meccanismi di funzionamento. Per assistere a fenomeni che porteranno alcuni analisti a parlare di una innovazione profonda, addirittura di una rivoluzione, bisognerà aspettare il primo decennio del secolo attuale. In questo periodo avverranno tre fenomeni che porteranno la manifattura digitale fuori dagli stabilimenti industriali e ne diffonderanno le pratiche: il primo è l'affermazione definitiva e la diffusione capillare della Grande Rete (Baricco, 2018) che consente di scambiare e condividere informazioni, dati, progetti; il secondo è la diffusione della stampa 3D che ha origine col progetto RepRap (la 'riproduzione' di stampanti 3D molto economiche) e si diffonde a macchia d'olio

dall'epicentro di Bath (UK) verso l'Europa e verso gli USA; il terzo è la creazione e la proliferazione dei FabLab a partire dal capostipite bostoniano (Center for Bits and Atoms) e da lì poi diffusisi in tutto il mondo.

**La pratica dello sharing** | Fiumi di parole sono state dette e scritte sulla storia e sull'affermazione di Internet prima e del World Wide Web poi. Qui ci limiteremo a porre rapidamente l'accento su un fenomeno che sicuramente ha suscitato l'interesse degli analisti, ma forse l'ha fatto in misura non proporzionale alla sua potenzialità di cambiamento su tutto ciò che ci circonda: lo sharing. Quando nel 1998 Larry Page e Sergey Brin fondano Google, la Rete (per come la conosciamo e la usiamo oggi) era uno smisurato contenitore di dati senza una vera ed efficace mappa che aiutasse a trovarli. Google e il suo prodigioso algoritmo creano quella mappa e l'umanità iniziò un percorso che la portò in breve tempo a condividere gratuitamente su Internet le informazioni a cui tutti avevano libero accesso.

Quasi contemporaneamente, nel 1999, Shawn Fanning e Sean Parker fondano Napster e iniziano un altro cammino molto più accidentato e controverso. Fanning e Parker si avvalgono del lavoro del gruppo MPEG (Moving Picture Experts Group) guidato dall'italiano Leonardo Chiariglione che, dopo alcuni anni di ricerca, mette a punto l'algoritmo MP3 (MPEG-1/2 Audio Layer 3) per la compressione audio, strumento in grado di ridurre, senza eccessive perdite di qualità, la quantità di dati necessari per memorizzare un suono; in sintesi con l'MP3 (insieme a una serie di ulteriori innovazioni hardware e software che lo hanno seguito) diventa possibile conservare e riprodurre la musica con il computer.

Chiariglione (cit. in Rossi, 2010) sostiene che «[...] ogni uomo è potenzialmente l'elemento di una rete che coinvolge miliardi di persone, gente che può diffondere e scambiare contenuti». E gli appassionati di tutto il mondo iniziano a costruire le loro personali banche dati e si attrezzano sempre meglio per riprodurre la musica con il computer o con piccoli dispositivi portatili che nascono di conseguenza. La rivoluzione di Napster consiste nel creare un grande archivio dove sono raccolti gli indici di tutte le banche dati personali insieme a un software che crea il contatto per il trasferimento del file: Fanning e Parker inventano il peer-to-peer. Ma Napster è un peer-to-peer imperfetto tanto che le principali case discografiche americane, intuendo il pericolo derivante dallo sharing dei file MP3 per il loro business, denunciano Napster e, in una memorabile udienza presso la U.S. Court of Appeals for the Ninth Circuit, ne ottengono la chiusura. L'avvocato difensore di Fanning e Parker chiude la sua arringa sostenendo che le Majors avrebbero potuto vincere una battaglia ma che la loro guerra era già persa.

E così fu: dopo alcuni mesi dalla chiusura di Napster, Gnutella propone agli appassionati di musica di installare sul proprio computer un piccolo software che possa ricevere la query di un altro utente e girarla ad altri tre clients che a loro volta la indirizzano ad altri tre e così via fino a trovare quello in grado di soddisfare la richiesta. Questo nuovo metodo rende tutti i clients un po' server e così scongiura la possibilità di essere intercettati: è il peer-to-peer perfetto. Dopo Gnutella con un

diverso successo, ma con lo stesso metodo, si succedono Kazaa, E-Mule, Torrent, ecc. e la profezia dell'avvocato americano puntualmente si avvera. La pratica dello share/download dura fino all'affermazione dei siti di streaming che rendono inutile il possesso del file sostituendolo con il suo utilizzo in rete. Napster e i suoi successori consentono di scaricare dalla Rete dei file che sostituiscono beni concreti (i vinili, i cd, le cassette) e ne rendono residuale la commercializzazione.

Quindi Google serve per condividere in rete le informazioni, Napster & Co. ci permettono di ottenere dalla Rete informazioni che sostituiscono oggetti concreti e infine Thingiverse ci consente di scaricare file che diventano direttamente oggetti. Questo ultimo passaggio dal virtuale al reale è descritto dalla prossima storia.

**La stampa 3D** | Un piccolo passo indietro. La storia della stampa 3D inizia nel 1986 quando Charles W. Hull deposita il suo brevetto relativo a un 'Apparato per la produzione di oggetti tridimensionali tramite la stereolitografia'. Il procedimento è basato sulla solidificazione di un polimero fluido foto-sensibile contenuto in una vasca e 'illuminato', per strati, da un raggio laser che ne induce la reazione. Al metodo della stereolitografia seguono altri procedimenti per la prototipazione rapida. In particolare nel 1989 S. Scott Crump brevetta il metodo FDM (Fused Deposition Modelling) basato in prima istanza sull'utilizzo di filamenti in polimeri termoplastici portati allo stato plastico da un ugello riscaldante che, muovendosi secondo gli assi 'X' e 'Y', depone uno strato di materia, prima di spostarsi lungo l'asse 'Z' per deporre un altro e un altro ancora. Crump fonda la Stratasys e sfrutta commercialmente la sua invenzione producendo grandi macchine per la prototipazione rapida molto costose e dotate di software proprietario (Grimm, 2004).

Sarà proprio l'FDM la tecnologia che aprirà al grande pubblico il mondo del 3D printing ma bisognerà aspettare gli anni tra il 2005 e il 2006 per assistere alla rivoluzione che porterà alla diffusione della nuova tecnologia e che, in qualche modo, aprirà l'era dei Makers (Anderson, 2013). Il progetto RepRap (Replicating Rapid Prototyper) avviato da Adrian Bowyer, Lecturer presso l'Università di Bath, consiste nel condividere in rete il progetto di una stampante fatta con l'assemblaggio di pezzi meccanici estremamente semplici e con alcuni pezzi a loro volta stampati da un'altra stampante 3D. In questo apparente paradosso si può leggere la volontà di disseminare nel mondo dei dispositivi che sono economici e prodotti artigianalmente, ma in parte anche in grado di riprodursi con il meccanismo tipico degli esseri viventi e in particolare dei virus.

E come un virus la cultura della fabbricazione digitale rapidamente 'infetterà' la tradizione del fai-da-te – il francese bricolage o l'anglosassone Do-it-yourself (Diy) – e 'infetterà' la (o sarà infettata dalla?) ormai consolidata pratica del file sharing, costruita a partire da Napster e Gnutella. Da questa contaminazione nascono il fenomeno dei Maker e il progetto di Bowyer «[...] has been called the invention that will bring down global capitalism, start a second industrial revolution and save the environment – and it might just put Santa out of a job too. The 'self-replicating rapid prototyper', or RepRap for short, is a machine that lit-



**Figg. 1, 2** | Landesgartenschau Exhibition Hall in Stuttgart, designed by Achim Menges and Jan Knippers, 2014 (source: dezeen.com; designboom.com).

erally prints 3D objects from a digital design. Its creators hope that in the future it will be a must-have mod for every home. Instead of queueing for this year's equivalent of Buzz Lightyear, Robosapiens or TMX Elmo, parents will simply download the sought-after design off the internet and print it out. 'If people can make anything for themselves what's the point in going to the shops?' said Adrian Bowyer at Bath University who started the project» (Randerson, 2006).

La domanda di Bowyer allude al profondo cambiamento che questo fenomeno potrebbe apportare ai meccanismi socio-economici sui quali si fonda il commercio (con particolare riguardo agli eccessi della periodica 'sbornia' natalizia); ma questi meccanismi sono in realtà alla base di equilibri e modelli ancora più profondi e strettamente legati all'essenza stessa delle nostre società occidentali: qualche anno dopo Jeremy Rifkin (cit. in Cofino, 2014) sosterrà, a proposito di quello che lui definisce i Collaborative Commons, che: «[...] this is the first new economic system since the advent of capitalism and socialism in the early 19th century so it's a remarkable historical event and it's going to transform our way of life fundamentally over the coming years [...]. It already is; we just haven't framed it».

Per far entrare in ogni casa la stampante 3D è necessario che anche l'utente non esperto possa ottenere facilmente i file-to-factory<sup>2</sup> necessari per far partire la stampa. Un'ampia offerta è fornita da Thingiverse un sito/blog/portale in cui si 'depositano' i files di molti oggetti scaricabili e immediatamente stampabili. Il trend 'dal virtuale al reale' – simmetrico di quello storico della fine del secolo scorso che dal reale ci ha condotti sempre più verso il virtuale – aperto da Google (ottenere dalla Rete informazioni) e continuato da Napster (ottenere dalla Rete informazioni che valgono come oggetti) si chiude quindi con Thingiverse (ot-

tenere dalla Rete informazioni che diventano direttamente oggetti).

**I Fab Lab** | Per descrivere compiutamente 'l'irresistibile ascesa' della fabbricazione digitale non si può ignorare il fenomeno dei FabLab che porta il ragionamento sulla rivoluzione digitale in territori più vicini a quelli storicamente presidiati dall'architettura. Non è un caso che il Center for Bits and Atoms (CBA) fondato nel 2001 da Neil Gershenfeld, il primo FabLab della storia, nasca nel MIT (Massachusetts Institute of Technology); la creatura di Gershenfeld, infatti, cresce e sboccia nel terreno reso fertile dalla quasi ventennale presenza del Media Lab fondato nel 1985 dall'architetto Nicolas Negroponte e si configura come un posto dove sono collocati computer, macchine utensili e macchine utensili a controllo numerico presidiate da utenti esperti che possono fornire assistenza a quelli inesperti (Sposito e Scalisi, 2017).

Nel giro di qualche anno il CBA stabilirà uno standard di dotazioni e di abilità necessarie che saranno riconosciute come la condizione minima per accedere al titolo di FabLab e questi laboratori inizieranno a diffondersi su tutto il pianeta. Iscrivere vuol dire avere accesso alle macchine (con costi contenuti) e poter contare (in linea di massima) sull'aiuto degli esperti; si tratta di una gestione elastica che generalmente include, da parte dei gestori, una certa quantità di attività gratuite come ad esempio quelle di supporto alle attività didattiche delle Scuole e delle Università che decidono di voler usare questi laboratori nei loro percorsi formativi.

In realtà così definiti i FabLab parrebbero destinati a un sicuro fallimento economico, data la necessità di includere una certa quantità di lavoro volontario e di erogare servizi gratuiti. Invece, animati dal nuovo spirito dello sharing, si diffondono rapidamente e nel 2013 Barak Obama, allora Presidente degli Stati Uniti d'America, comunicherà nel suo Discorso sullo stato dell'Unione che è stata realizzata «[...] our first manufacturing innovation Institute in Youngstown, Ohio. A once-shuttered warehouse is now a state-of-the-art lab where new workers are mastering the 3D printing that has the potential to revolutionize the way we make almost everything. There's no reason this can't happen in other towns» (Obama, 2013).

In Italia accade a Torino nel febbraio del 2012, quando su suggerimento di Riccardo Luna e grazie all'azione di Massimo Banzi nasce il FabLab Italia. Banzi proviene da una bella storia sul genio italiano iniziata nel 2005 con la creazione di Arduino che recentemente Luna (2022) definisce «[...] un piccolo computer delle dimensioni di una carta di credito che costa appena venti euro: lo colleghi al tuo personal computer con un cavetto USB, scrivi l'azione che vuoi che un certo oggetto faccia e magicamente quella scheda diventa il cuore di una serie di oggetti che possono interagire con noi».

Il successo è planetario e straordinario, anche perché Arduino è probabilmente un paradigma della nuova economia dei Collaborative Commons di cui parla Rifkin: la scheda costa pochissimo e la confezione contiene sensori, motori, led e un bel manuale (in lingua inglese) per iniziare a 'smanettare'. Si configura come un'efficace introduzione all'elettronica e ai procedimenti di automazione di cui bambini vanno pazzi. In tutto il

mondo le applicazioni del sistema si moltiplicano e Arduino si trasforma rapidamente in una community in cui i progetti sono condivisi, implementati, ottimizzati e poi di nuovo condivisi. A partire da questa nuova invidiabile condizione, Banzi (2012) racconta: «Ci è saltato in mente che Arduino poteva fungere ancora da 'incubatore' di idee nuove: le macchine ci sono come c'è la voglia di creare uno spazio dove raccogliere dei talenti per sviluppare nuovi prodotti. Fortunatamente abbiamo trovato sulla nostra strada il partner perfetto per chiudere il cerchio: il co-working Toolbox a Torino si è dato disponibile a darci uno spazio per 18 mesi e da lì sta nascendo Officine Arduino».

Officine Arduino sembra togliere il tappo a una bottiglia che non vedeva l'ora di spandere in tutta Italia le sue frizzanti bollicine. Solo otto mesi dopo Amleto Picerno Ceraso fonda a Cava dei Tirreni (in Provincia di Salerno) il Mediterranean FabLab che sarà il secondo d'Italia e rinnoverà l'asse Torino-Napoli già creato duecento anni orsono dalla prima rivoluzione industriale. Poi sarà un proliferare continuo di altre strutture simili in tutt'Italia che nel giro di pochi anni occuperà saldamente il terzo posto nella classifica mondiale dei Paesi con il maggior numero di FabLab del mondo dopo Stati Uniti e Francia. In questo podio un ruolo importante si può probabilmente attribuire anche alla grande Fiera dell'Artigianato Digitale che dal 2012 si tiene ogni anno a Roma; il numero di visitatori della Maker Faire romana ha da alcuni anni superato quello della sua omologa newyorkese e ne ha fatto un nuovo punto d'incontro e confronto dei makers europei.

**E l'architettura?** | Il 13 maggio del 2013 Alastair Parvin registra il suo Ted Talk 'Architecture for the people by the people' che sarà visualizzato da oltre 1,65 milioni di persone, cifra enorme data anche la singolarità dell'argomento trattato: il giovane architetto britannico descrive, tra l'altro, una piccola casetta che si può costruire scaricando gratuitamente i disegni dalla Rete. WikiHouse è un 'open source construction kit' che include i files-to-factory per la produzione dei pezzi – che è possibile realizzare attraverso il taglio digitale di una fresa a controllo numerico (CNC router) – e il relativo libretto di istruzioni basato su un progetto fatto a partire dal 2011 dallo stesso Parvin insieme a Nick Ierodiaconou. L'edificio che ne risulta è caratterizzato da una certa complessità degli elementi costruttivi che viene però bilanciata dalla estrema semplicità del montaggio.

Secondo Parvin (2013) per costruire WikiHouse non occorre nessuna competenza tecnica tradizionale poiché è così che si sono realizzati edifici per secoli prima della Rivoluzione Industriale nelle comunità contadine in cui tutti collaboravano alla costruzione dei granai. I contenuti di WikiHouse, pubblicati con licenza Creative Commons, sono diventati patrimonio di gruppi che nel tempo li hanno scaricati, usati, modificati e aggiustati. Si parla quindi di piccole costruzioni che rispondono perfettamente a quanto riportato nei paragrafi precedenti circa l'azione dei Maker: condivisione dei progetti e delle loro implementazioni, 'complessità progettuale vs semplicità esecutiva', utilizzo di macchine produttrici economiche e diffuse nei FabLab. Parrebbe quindi possibile un'architettura fatta dai Makers; si parla di progetti che girano il mondo tramite la Rete e si realizzano

puntualmente con materiali e manodopera locale secondo il vecchio slogan amato da Parvin e ancora presente sul sito di WikiHouse: 'Think global, manufacture local' con una esplicita e chiara attenzione anche alla transizione ecologica.

Sofia Colabella (2017 p. 60) sostiene che: «[...] una progettazione digitale sempre più raffinata al servizio di una costruzione molto semplificata per molti versi insensibile al tabù dell'imprecisione [...] è oggetto di diverse ricerche che hanno come fine l'insegnamento del crafting e la costruzione di architetture complesse in poco tempo o a costi ragionevoli. In questi casi le ottimizzazioni non mirano alla migliore prestazione in assoluto, ma a prestazioni 'ben temperate' e condizionate dalla quantità e qualità del materiale disponibile, dalla massima dimensione del semilavorato di partenza, dagli strumenti di cantiere o ancora dal peso che un dato numero di persone può sollevare senza fare uso di macchine di cantiere costose».

Una diversa assunzione di responsabilità in fase di progetto e un possibile coinvolgimento più profondo nella fase della costruzione riavvicinano l'architetto/maker alle figure dei progettisti pre-industriali. In una delle sue definizioni etimologiche più condivise, l'architetto come 'iniziatore delle arti' è il principale dei costruttori con la responsabilità di dirigere le opere e di definire forma e dimensioni degli elementi della fabbrica. In seguito, nel cantiere rinascimentale, e in particolare attraverso l'opera di Filippo Brunelleschi, l'architetto si affranca dal lavoro manuale per conservare il ruolo di organizzazione e coordinamento e l'architettura entra nel novero delle arti liberali dialogando con la geometria, la matematica, la storia e le altre arti figurative: assume un nuovo valore il progetto di architettura.

Ancora più recentemente, alle origini della Rivoluzione Industriale, con la nascita della figura dell'ingegnere formata nelle nuove Scuole Politecniche, l'architetto, progressivamente, abdica

anche al ruolo di progettista strutturale delegando questa mansione al suo neonato alter-ego tecnico. Ancora, nel secondo dopoguerra, con l'urgenza della ricostruzione in Europa ma soprattutto in Italia, si consolida la prassi di delegare la Direzione dei Lavori nel cantiere edile a figure professionali diverse da quella del progettista che, quindi, perde un altro segmento delle sue originarie mansioni. Il Direttore dei Lavori, nell'accettare l'incarico, è tenuto a verificare la completezza e la attendibilità del progetto e, ove questo risultasse lacunoso o sbagliato, a colmarne le mancanze o a correggerne gli errori. Infine nascono e si affermano le società di ingegneria che sempre più di frequente sono chiamate a elaborare la parte esecutiva del progetto di architettura, integrando o semplicemente completando l'opera dell'architetto il cui intervento si ferma prima; inoltre esse sono chiamate, in alternativa o insieme alle Imprese e ai Direttori dei Lavori, a definire la scelta dei materiali e dei componenti che devono essere utilizzati per la costruzione e che spesso includono una quota di progettazione estranea all'opera del progettista architettonico.

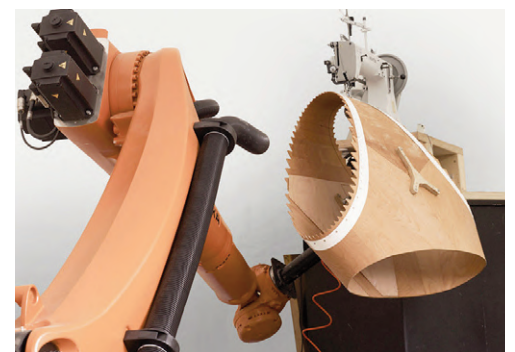
In sostanza, al di là delle inevitabili semplificazioni contenute in questo rapidissimo excursus, si può sostenere che l'architetto pre-rivoluzione digitale è responsabile di ciò che avviene nel cantiere edile in una misura decisamente contenuta e che nei vagiti appena emessi dalla neonata architettura digitale sia possibile una totale inversione di questo trend.

Già nel concetto di file-to-factory, connotato alla pratica della manifattura digitale, il progettista assume la responsabilità completa sulla produzione di elementi della costruzione che, di sovente, contengono al loro interno anche i sistemi di giunzione con gli elementi contigui. Se il progetto dell'incastro tra gli elementi della struttura portante di una WikiHouse presenta degli errori, questi saranno visibili solo all'atto dell'assemblaggio delle parti e saranno interamente 'sulle spalle' del

progettista. Questo possibile aumento della responsabilità e, si può aggiungere, delle competenze necessarie per portare a conclusione il futuro cantiere edile, potrebbe restituire al mestiere di architetto una dignità e una centralità che, nel corso della sommaria evoluzione tracciata in precedenza, si erano progressivamente perse.

Certo, oggi come oggi questa tendenza si applica a un modulo abitativo di pochi metri quadri come WikiHouse, ma in alcuni laboratori (attrezzati come dei FabLab) di alcune Università sono in corso sperimentazioni di tipologie strutturali e di tematiche progettuali ben più impegnative. In questi esperimenti sono quasi sempre coinvolti gli studenti che a diverso titolo collaborano alla complessa produzione del progetto e sono coinvolti fino alla fase della costruzione che, ancora una volta, è curata con grande attenzione e ottimizzata fino allo spasimo per essere compatibile con ridotte capacità fabbrili e con scarsa attrezzatura.

Solo per fare qualche esempio funzionale a questa narrazione sono di grande interesse molti degli esperimenti, su costruzioni in pannelli derivati dal legno tagliati con macchine a controllo numerico, condotti dalla coppia formata da Achim Menges, Direttore dell'Institute for Computational Design, e Jan Knippers, Direttore dell'Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE), presso l'Università di Stoccarda. Una delle prime sperimentazioni è stata la struttura a guscio del Landesgartenschau Exhibition Hall realizzata a Stoccarda nel 2014 (Figg. 1, 2). Il padiglione prevede una tassellazione, con esagoni piani di una superficie composta da due calotte sferoidali raccordate da una sella, effettuata con un complesso procedimento di progettazione computazionale: il guscio è realizzato tramite l'assemblaggio di pannelli esagonali, sagomati con un taglio praticato da un braccio robotico Kuka e con un sistema di incastri ottimizzati per il migliore trasferimento delle sollecitazioni da un pannello all'altro.



Figg. 3, 4 | ICD/ITKE Research Pavilion in Stuttgart, designed by Achim Menges and Jan Knippers, 2015-16 (source: dezeen.com).



**Fig. 5, 6** | Buga Wood Pavilion in Heilbronn, designed by Achim Menges and Jan Knippers, 2019 (source: archdaily.com; swedishwood.com).



**Fig. 7** | SG2012 Gridshell in Troy (USA), designed by Marc Cabrinha, Andrew Kudless and David Shook, 2012 (source: matsys.design).

Nel 2016, sempre presso l'Università di Stoccarda, Menges e Knippers costruiscono il ICD/ITKE Research Pavilion 2015-16 (Figg. 3, 4); in questo caso la sperimentazione prevede la formazione di un complesso componente fatto con un multistrato molto sottile e formato tramite un'applicazione locale dell'active bending. Questi elementi convessi presentano alcuni bordi seghettati in corrispondenza dei quali sono assemblati agli elementi vicini tramite una vera e propria cucitura. Tra i più notevoli esempi della ricerca della coppia tedesca si può citare infine il Buga Wood Pavilion del 2019 (Figg. 5, 6), una interessante variazione della tipologia strutturale a 'boxes': in questa costruzione i pannelli tagliati con CNC sono pre-assemblati a formare elementi tridimensionali che formano i conci della volta come nel passato si usava la pietra; le connessioni tra le boxes sono completamente a secco e non si fa uso di elementi metallici.

Il primo esperimento del duo tedesco utilizza un sistema a elementi bi-dimensionali (panels) mentre gli ultimi due sono fondati su componenti tri-dimensionali (boxes); in effetti tra le sperimentazioni

che utilizzano la digital fabrication esistono anche varianti fondate sull'uso di elementi monodimensionali (strips); ad esempio sono significative le sperimentazioni sulle gridshell geodetiche da active bending fatte dall'americano Marc Cabrinha (Fig. 7) del California Polytechnic State University e dalla coppia italiana Carlo De Regibus e Silvia Sgarbossa del Politecnico di Torino. La tipologia strutturale prevede il taglio in lunghe strisce sottili di elementi lignei giuntati in punti preordinati in modo da imporre una curvatura agli elementi che si vanno a disporre su una superficie assegnata.

Ancora nel campo dei 'panel' è molto interessante la ricerca di Yves Weinand, con il suo Laboratory for Timber Construction, Ibois all'EPFL di Losanna che parte dall'Università, con la sperimentazione di tipologie strutturali e dei tool digitali necessari a progettarle, per approdare al mondo dell'edilizia con veri edifici. È nel campo delle superfici piegate che l'Ibois dà il contributo più importante partendo dalla riproposizione dei principali patterns degli origami. Nel 2017 vede la luce il Timber Pavilion of the Vidy-Lausanne Theatre (Figg. 8, 9), un edificio in pannelli di legno, fondato sul principio strutturale delle folded surfaces cioè sulla maggiore resistenza che la piegatura è in grado di attribuire alle superfici sottili. Nel campo delle boxes Weinand costruisce, in associazione con lo studio Valentiny hvp architects, lo Annen Head Office a Manternach<sup>3</sup> (Figg. 10, 11) di Luxembourg, dove sperimenta una costruzione realizzata con una serie di volte in cui «Each arch is a double-curved shell structure with a design inspired by Eladio Dieste's Gaussian masonry vaults. The shell is made of two interconnected layers of timber plates assembled with through-tenon joints» (Prévost, 2020). Una successione lineare di boxes (pre-assemblate da un robot assemblatore) è aggregata a disegnare una serie di archi adiacenti in cui l'intradosso configura ancora una superficie piegata.

Se le sperimentazioni degli Istituti di ricerca tedeschi e svizzeri alludono a metodi produttivi molto costosi, l'esperienza portoghese conclusa nel 2012 dal Prof. José Pedro Sousa, coordinatore del DFL (Digital Fabrication Laboratory) presso la Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, è invece di tutt'altra natura. L'azione collettiva di una classe di studenti porta alla progettazione del Constructive Geometry Pavilion costruito in cartone nel cortile dell'Università: «A total of 185 hexagonal cells and 185 perforated panels were organized in 21 parts for pre-fabrication. Each part was assigned to a group of 2 students, who became responsible for the digital flattening fabrication of the individual pieces, and their assembly» (Sousa, n.d.); elementi caratterizzanti sono quindi la coralità dell'azione e il materiale povero, ideale per la digital fabrication ma, in questo caso, usato in modo tradizionale.

Un caso a parte è quello del giapponese Hiroto Kobayashi della Keio University di Tokyo e delle sue ricerche sui moduli abitativi prefabbricati, realizzati con l'assemblaggio di elementi prodotti grazie alla manifattura digitale. Esempio il caso del sistema Veneer House, nato per gli insediamenti di emergenza dopo il terribile terremoto del 2011, che consente al gruppo di Kobayashi di costruire l'esempio di Maeamihama con l'aiuto della comunità locale di pescatori: «The entire

construction process was diagrammatically illustrated in a construction manual, so that the process could be easily understood without design drawings. This reduced errors during construction and ensured that all personnel were able to understand the sequence of construction. In addition to the manual, the construction progress was shared in detail among all persons involved through the internet».<sup>4</sup>

Pochi pannelli di multistrato, piani costruttivi fondati sulla semplicità di assemblaggio e una comunità locale di non addetti ai lavori: «Since plywood is an accessible material around the world, the building components can be produced anywhere. The data used for the production of these components can be processed by any CNC router, so the production and supply of a Veneer House is not centralized. Whoever wants to use the systems can produce Veneer Houses whenever and wherever they want»<sup>5</sup>. Grazie all'incontro con alcuni studiosi del Politecnico di Torino, Kobayashi potrà sperimentare una versione italiana del sistema Veneer House: il centro sociale Accupoli, costruito ad Accumoli (RI) uno dei Comuni più colpiti dal terremoto del 2016.

**Conclusioni** | Gli esempi svizzeri e tedeschi alludono a produzioni 'capital intensive', molto costose, fatte con macchine utensili raffinate e performanti, e questo parrebbe contrastare con le logiche della filosofia Maker. Il padiglione portoghese e le case giapponesi ci raccontano un'altra storia impostata su una sperimentazione 'labour intensive' con la valorizzazione della manodopera e del lavoro collettivo. In effetti tutte possono aspirare allo status di 'architettura maker' perché tutte sono fondate sul principio della semplificazione delle operazioni di montaggio. Ciò che avviene in officina o nel laboratorio di progettazione e produzione dei componenti può attingere a tecnologie sofisticate, grazie al principio della condivisione dei mezzi di produzione e può presentare grandi complessità geometriche e strutturali a condizione di utilizzare parte di questa intelligenza per rendere semplice, definito, chiaro, ancora labour intensive il cantiere.

I nuovi paradigmi progettuali imposti dalla digital manufacturing sembrano quindi implicitamente alludere al recupero di un atteggiamento diverso da parte del progettista: si lavora con il progetto, non solo, ma anche per semplificare e rendere poco rischiosa economicamente la fase della costruzione. Semplificare la costruzione, come sostiene Parvin, serve a molte cose: a tornare a un modo di costruire più controllato che non richieda il concorso di numerose professionalità ma una nuova, più estesa competenza del progettista; consentire all'utente di appropriarsi del bene costruito da persone come lui (non super-specialisti), di cui capisce le logiche semplici e trasparenti; obbligare l'architetto a scegliere gli strumenti della progettazione che più naturalmente dialogano con la manifattura digitale (il computational design); restituire centralità nel cantiere a colui che ha pensato l'oggetto della costruzione e che quindi ne possiede approfonditamente le logiche, fino al punto che, quasi quasi, potrebbe costruirlo lui.

Confluenza dei saperi, cultura digitale, intelligenza connettiva, economia circolare, eco-compatibilità, valorizzazione del 'comune', inclusione:

sembra che lungo la strada dei Nuovi Costruttori siano allineate tutte queste parole, come a completare la famosa espressione ‘anche le parole sono pietre’ che Rogers scrisse nella Casabella della ricostruzione post-bellica; nell’epoca dell’An-tropocene e nell’era della comunicazione anche le ‘pietre’ possono dire parole importanti.

Computer-driven machine tools have been entering the world of industrial production since the final decades of the last century: from then on, we can rightfully speak of digital manufacturing. Thereafter, the debate on architecture and its construction has often discussed the cultural bearing of this modification and has frequently emphasized the acquired freedom from the shackles of standardization, of the identical repetition of building elements. The mass-produced product, an industrial product based on unification, was more cost-effective in its continuous identical repetition without modification, variation, and customization; thus the Industry could successfully fulfil its original mission: to bring quality into quantity.

On the other hand, the production chain of digital manufacturing allows for product differentiation, i.e., it is practically indifferent to make one hundred perfectly identical elements or one hundred similar elements with small differences. A (reasonable) variation does not significantly affect the cost of the object. In architecture, for example, designing a building with windows whose dimensions are all different from each other no longer automatically equates to a waste of resources, and does not necessarily imply an increase in the supply cost of fixtures, provided that the manufacturing company is equipped with a digital manufacturing system, and in particular a numerical control manufacturing system, also known as a CAM system (Computer-Aided Manufacturing).

As defined by Wikipedia<sup>1</sup>, «[...] Computer-aided manufacturing (CAM) [...] is the use of software to control machine tools in the manufactur-

ing of work pieces». As is often the case, the first CAM systems did not originate in the construction field but rather in the aerospace or automotive sectors. It was Pierre Étienne Bézier, a French engineer and mathematician best known to most as the creator, together with Paul de Casteljaou, of the famous ‘Bézier curves’, who between 1968 and 1975 developed the UNISURF CAD/CAM system for the production of mechanical parts for Renault. A few years earlier, the first version of the G-code was born at MIT Servomechanisms Laboratory Boston in Boston, which still allows for an optimal interface between computer and machine tool. The establishment of software (CAM), language (G-code) and Tooling (CNC) made it possible for the most technologically advanced industries to activate digital manufacturing lines, starting from the 1970s-80s.

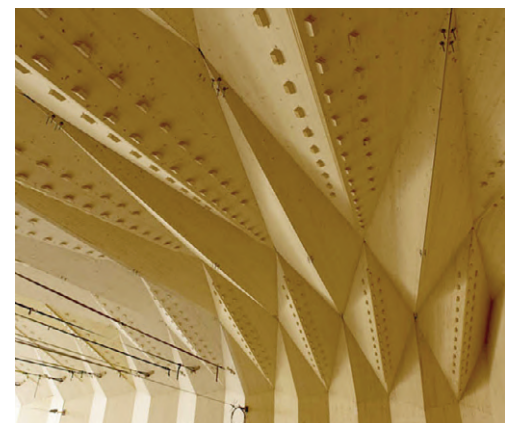
Large industrial machines, highly specialized and often equipped with proprietary software, will exert a significant but not substantial change on the construction market that ultimately will not fundamentally alter its operating mechanisms. In order to witness phenomena that will lead analysts to speak of a profound innovation, even a revolution, it will be necessary to wait until the first decade of the current century. Three phenomena occur during this period that will lead digital manufacturing out of industrial plants and spread its practices: the first is the definitive establishment and widespread diffusion of the World Wide Web (Baricco, 2018) that allows for the exchange and sharing of information, data, and projects; the second is the diffusion of 3D printing that originates with the RepRap project (the ‘reproduction’ of very inexpensive 3D printers) and spreads like wildfire from the epicentre of Bath (UK) to Europe and the U.S.; the third is the creation and proliferation of FabLabs beginning with the Bostonian forefather (Center for Bits and Atoms) and subsequently spreading around the world.

**The practice of sharing** | Countless words have been said and written regarding the history and

establishment of the Internet and subsequently the World Wide Web. In this instance, the focus will be limited to a quick emphasis on a phenomenon that has certainly piqued the interest of analysts, but perhaps has done so to an extent that is not commensurate with its potential to change everything around us: sharing. When Larry Page and Sergey Brin founded Google in 1998, the Web (as we know and use it today) was an immense container of data with no real and effective map to help find its contents. Google and its prodigious algorithm created that map, and mankind began a journey that quickly resulted in the free sharing of information on the Internet, information to which everyone had access.

Almost simultaneously, in 1999, Shawn Fanning and Sean Parker founded Napster and began another, much rougher and more controversial journey. Fanning and Parker drew on the work of the MPEG group (Moving Picture Experts Group), led by Italian Leonardo Chiariglione, who, after several years of research, developed the MP3 (MPEG-1/2 Audio Layer 3) algorithm for audio compression, a tool capable of reducing, without excessive loss of quality, the amount of data required to memorize a sound; in short, MP3 (along with a series of further hardware and software innovations that followed) made it possible to store and play music using a computer.

Chiariglione (cit. in Rossi, 2010) states that every human being is potentially the element of a network that involves billions of people, people who can disseminate and exchange content. Thus music lovers all over the world began to build their databases and become better and better equipped to play music with computers or small portable devices that develop as a result. The Napster revolution created a large repository where the indexes of all personal databases were collected, along with software that created the contact for file transfer: so Fanning and Parker invented peer-to-peer. But Napster was an imperfect peer-to-peer, and the major American record companies, sensing the danger of sharing MP3



**Figg. 8, 9** | Vidy-Lausanne Theatre Timber Pavilion in Lausanne, designed by Yves Weinand, Valentiny hvp architects, 2017 (source: archdaily.com).



Fig. 10, 11 | Annen Head Office in Manternach, designed by Yves Weinand, 2020 (source: dfab.ch).

files for their business, sued Napster and, in a memorable hearing at the U.S. Ninth Circuit Court of Appeals, managed to shut it down. Fanning and Parker's defence attorney, in his closing argument, claimed that the Major record labels may succeed in winning a battle, but they had already lost their war.

And so it was: a few months after Napster's termination, Gnutella offered music fans a small software program that could be installed on their own computers to receive another user's query and turn it over to three other clients, who in turn would direct it to three others and so on, until they found the one that could satisfy the request. This new method made all clients a bit server, thus avoiding the possibility of being intercepted and creating the perfect peer-to-peer. Following Gnutella, other platforms such as Kazaa, E-mule, Torrent, etc. obtained varying levels of success by employing the same method, validating the prophecy of the American lawyer. The practice of share/download endured until the advent of streaming services that eliminated the need for file ownership by replacing it with its use on the Web. Napster and its successors allowed for the download of files from the Web that replaced concrete goods (vinyl records, CDs, cassettes), thereby making their commercialization residual.

So Google is necessary to share information on the Web, Napster & Co. allow for the retrieval of information from the Web that replaces concrete objects and, finally, Thingiverse allows us to download files that directly become objects. This last step from virtual to real is described in the next story.

**3D printing** | A small step back. The history of 3D printing began in 1986 when Charles W. Hull filed his patent relating to an 'Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography'. The procedure is based on the solidification of a photo-sensitive fluid polymer contained in a tank and 'illuminated', by layers, by a laser beam that induces a reaction. The stereolithography method is followed by other processes for rapid prototyping. In particular, in 1989, S. Scott Crump patented the FDM method (Fused Deposition Modeling), initially based on the use of thermoplastic polymer filaments brought to the plastic state

by a heating nozzle that, moving along axes 'X' and 'Y', deposits a layer of matter, before moving along the 'Z' axis to deposit more additional layers. Crump founded Stratasys and commercially capitalised on his invention by producing large, very expensive rapid prototyping machines equipped with proprietary software (Grimm, 2004).

FDM represents the technology that will open the world of 3D printing to the general public, but it will be necessary to wait for 2005-2006 to witness the revolution that will lead to the spread of new technology and that will somehow open the era of Makers (Anderson, 2013). The RepRap project (Replicating Rapid Prototyper) initiated by Adrian Bowyer, Lecturer at the University of Bath, consists in sharing, on the network, the project of a printer made by assembling extremely simple mechanical parts, with some parts in turn printed by another 3D printer. In this apparent paradox, it is possible to see the desire to populate the world with cheap and hand-crafted devices, in part able to reproduce through the typical mechanism of living beings such as viruses.

And, like a virus, the culture of digital fabrication will quickly 'infect' the do-it-yourself tradition – the French bricolage or the English Do-it-yourself (Diy) – and 'infect' (or perhaps will be infected by?) the now established practice of file sharing, stemming from Napster and Gnutella. This contamination resulted in the Maker phenomenon, and Bowyer's project «[...] has been called the invention that will bring down global capitalism, start a second industrial revolution and save the environment – and it might just put Santa out of a job too. The 'self-replicating rapid prototyper', or RepRap for short, is a machine that prints 3D objects from a digital design. Its creators hope that in the future it will be a must-have mod for every home. Instead of queueing for this year's equivalent of Buzz Lightyear, Robosapiens or TMX Elmo, parents will simply download the sought-after design off the internet and print it out. 'If people can make anything for themselves what's the point in going to the shops?' said Adrian Bowyer at Bath University who started the project» (Randerson, 2006).

Bowyer's question alludes to the profound change that this phenomenon could bring to the socio-economic mechanisms on which commerce

is based (with particular regard to the excesses of the recurrent Christmas 'binge'); but these mechanisms actually are at the root of even deeper balances and models that are closely linked to the very essence of our Western societies: a few years later Jeremy Rifkin (cit. in Cofino, 2014) will argue, regarding what he calls the Collaborative Commons that: «[...] this is the first new economic system since the advent of capitalism and socialism in the early 19th century so it's a remarkable historical event and it's going to transform our way of life fundamentally over the coming years [...]. It already is; we just haven't framed it».

To bring the 3D printer into every home, it is necessary to ensure that even the non-expert user can easily obtain the files-to-factory<sup>2</sup> needed to initiate printing. Thingiverse, a site/blog/portal where the files of many downloadable and immediately printable items are 'deposited', provides an extensive offering. The 'from virtual to reality' trend – symmetrical to the historical one at the end of the last century that led us increasingly from real to virtual – initiated by Google (obtaining information from the Web) and continued by Napster (obtaining information from the Web that is equivalent to objects) thus comes to a close with Thingiverse (obtaining information from the Web that directly becomes objects).

**The FabLabs** | To fully describe the 'irresistible rise' of digital fabrication, it is necessary to consider the FabLabs phenomenon, which leads the discussion on the digital revolution into territories closer to those historically presided over by architecture. It is no coincidence that the Center for Bits and Atoms (CBA) founded in 2001 by Neil Gershenfeld, the first FabLab in history, was born at MIT (Massachusetts Institute of Technology); Gershenfeld's brainchild, in fact, grows and blossoms in the fertile soil of the Media Lab, founded in 1985 by architect Nicolas Negroponte, and is configured as a place where computers, machine tools and numerically controlled machine tools are housed, overseen by expert users who can assist the inexperienced (Sposito and Scalisi, 2017).

Within a few years, the CBA establishes the minimum standard of equipment and necessary skills to obtain the title of FabLab, and these laboratories thus begin to spread throughout the plan-

et. Signing up means having access to the machines (at low cost) and being able to count (in general) on the help of experts; this is an elastic management system that generally includes, on behalf of the managers, a certain amount of free activities, such as those supporting educational activities of the Schools and Universities that choose to use these labs to support their curricula.

In truth, following this definition, FabLabs would appear doomed to inevitable economic failure, given the need to include a certain amount of volunteer labour and the provision of free services. Instead, animated by the new spirit of sharing, they spread rapidly, and in 2013 Barack Obama, then President of the United States of America, in his State of the Union Address, announces the opening of «[...] our first manufacturing innovation Institute in Youngstown, Ohio. A once-shuttered warehouse is now a state-of-the-art lab where new workers are mastering the 3D printing that has the potential to revolutionize the way we make almost everything. There's no reason this can't happen in other towns» (Obama, 2013).

The same happens in Turin, Italy, in February 2012, with the foundation of FabLab Italia following the suggestion of Riccardo Luna and thanks to the efforts of Massimo Banzi. Banzi comes from a beautiful story of Italian genius that began in 2005 with the creation of Arduino, which recently Luna (2022) defined as a small computer the size of a credit card that costs just twenty euros: the user connects it to a personal computer with a USB cable, writes the action they want a certain object to perform, and magically that board becomes the heart of a series of objects that can interact with us.

Success is global and extraordinary, not least because Arduino is arguably a paradigm of the new Collaborative Commons economy discussed by Rifkin: the board costs very little, and the package contains sensors, motors, LEDs, and a handy manual (in English) to start 'playing around'. It serves as an effective introduction to electronics and automation processes that children are crazy about. Worldwide, system applications multiply and Arduino quickly becomes a community where projects are shared, implemented, optimized, and then shared again. From this new enviable condition, Banzi (2012) states that Arduino could serve as an 'incubator' for new ideas, since the machines are available, as is the desire to create a space where talents can gather to develop new products. The Toolbox co-working in Turin proved to be the perfect partner, willing to provide a space for 18 months, resulting in the foundation of Officine Arduino.

Officine Arduino seems to remove the cap from a bottle that could not wait to spread its sparkling bubbles throughout Italy. Only eight months later Amleto Picerno Ceraso founded the Mediterranean FabLab in Cava dei Tirreni (Province of Salerno), the second in Italy, renewing the Turin-Naples axis already created two centuries before by the first industrial revolution. Subsequently, Italy will experience a continuous proliferation of other similar structures throughout its territory and, in a few years, will firmly occupy third place in the world ranking of the countries with the highest number of FabLabs in the world, after the United States and France. In this podium, an important role can probably also be attributed to the

great Digital Craftsmanship Fair that has been held annually in Rome since 2012; the number of visitors to the Roman Maker Faire has for some years now surpassed that of its New York counterpart, making it a new meeting and comparison point for European makers.

**What about architecture?** | On May 13, 2013, Alastair Parvin recorded his Ted Talk 'Architecture for the people by the people', viewed by over 1.65 million people, a huge figure given the singularity of the topic: the young British architect describes, among other things, a small house that can be built by downloading free plans from the Web. WikiHouse is an 'open source construction kit' that includes the files-to-factory for the production of the parts – which can be made through digital cutting on a CNC router – and the accompanying instruction booklet based on a project undertaken in 2011 by Parvin himself together with Nick Ierodiaconou. The resulting building is characterized by a certain complexity of construction elements that is, however, balanced by the extreme simplicity of assembly.

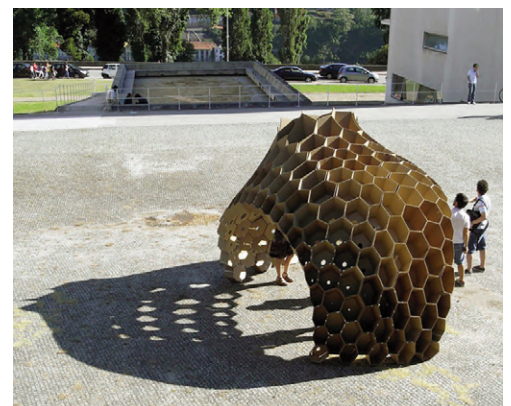
According to Parvin (2013), no traditional technical skills are necessary to build WikiHouse, as this is how buildings were made for centuries before the Industrial Revolution, in peasant communities where everyone collaborated in the construction of barns. The contents of WikiHouse, published under a Creative Commons license, have become the heritage of groups that over time have downloaded, used, modified and adjusted them. These are therefore small constructions that respond perfectly to what has been described in the preceding paragraphs regarding the action of Makers: the sharing of projects and their implementations, 'design complexity vs. executive simplicity,' and the use of inexpensive and widespread manufacturing machines in FabLabs. An architecture made by Makers would therefore seem possible. These are projects that travel the world via the Web and are punctually realized with local materials and labour in accordance with the old slogan beloved by Parvin and still featured on the WikiHouse website: 'Think global, manufacture local' with an explicit and clear focus also on the ecological transition.

Sophia Colabella (2017 p. 60) argues that increasingly refined digital design in the service of highly simplified construction, in many ways insensitive to the taboo of inaccuracy, is the subject of several studies that aim to teach crafting and the construction of complex architectures in little time or at a reasonable cost. In these cases, the optimizations do not aim for the very best performance, but for a 'well-tempered' performance, conditioned by the quantity and quality of the available material, the maximum size of the initial semi-finished product, the construction tools or even the weight that a given number of people can lift without making use of expensive construction machinery.

A different undertaking of responsibility in the design phase and a possible deeper involvement in the construction phase bring the architect/maker closer to the roles of pre-industrial designers. In one of the most shared etymological definitions, the architect as 'initiator of the arts' is the leader of the builders, with the responsibility for directing the work and defining the shape and size of the

factory elements. Later, in the Renaissance construction sites, and particularly through the work of Filippo Brunelleschi, the architect breaks free from manual labour to retain an organization and coordination role, and architecture enters the ranks of the liberal arts by dialoguing with geometry, mathematics, history, and the other figurative arts: the architectural project, therefore, takes on a new value.

Even more recently, at the origins of the Industrial Revolution, which saw the establishment of the engineer trained in the new Polytechnic Schools, the architect gradually abdicated even the role of structural designer, delegating this task to his fledgling technical alter-ego. Again, following World War II, with the urgency of reconstruction in Europe but especially in Italy, there was a consolidation of the practice of delegating on-site Construction Management to professionals other than the designer who, therefore, lost another segment of their original duties. The Construction Manager, in accepting the assignment, is required to verify the completeness and reliability of the project and, if this is lacking or flawed, to fill the shortcomings or correct any errors. Finally, engineering companies emerge and establish themselves, increasingly called upon to elaborate the construction phase of the architectural project, supplementing or simply completing the work of the architect, whose involvement ends previously; they are also involved, alternatively or together with the Contractors and Construction Managers, in the selection of materials and components to be used in construction, often including a projec-



**Figgs. 12, 13** | Constructive Geometry Pavilion in Porto, designed by José Pedro Sousa, coordinator of the DFL (Digital Fabrication Laboratory) at the Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, 2012 (source: dfl.arq.up.pt).





**Fig. 14, 15** | Housing in Emergency for Life and People (H.E.L.P.) 6.5 – Social Center in Accumoli; designed by Lorenna Alessio, it is based on Hiroto Kobayashi's project, 2018 (source: teknoring. com).

tual dimension foreign to the work of the architectural designer.

In essence, beyond the inevitable simplifications contained in this very brief excursus, it can be argued that the pre-digital revolution architect is responsible to a decidedly small extent for what happens on the construction site. It can equally be argued that in the newly uttered wails of the fledgling digital architecture, a total reversal of this trend is possible.

Already in the concept of file-to-factory, inherent in the practice of digital manufacturing, the designer assumes complete responsibility over the production of building elements that, oftentimes, also contain the joining systems with contiguous elements. Any errors relating to the design of interlocking elements of the supporting structure of a WikiHouse will be visible only when the parts are assembled and will be entirely 'on the shoulders'

of the designer. This possible increase in responsibility and, one may add, in the skills needed to complete the future construction site, could restore dignity and centrality to the architectural profession, gradually lost in the course of the evolution previously traced.

Admittedly, nowadays this trend applies to a housing module of a few square meters such as the WikiHouse, but in some University laboratories (equipped much like FabLabs), experiments with far more challenging structural types and design themes are underway. These experiments almost always involve students, who collaborate in various capacities in the complex production of the project and are involved up to the construction phase, which, once again, is painstakingly curated and optimized to the extreme so as to be compatible with reduced fabrication capabilities and scarce equipment.

To name just a few examples functional to this narrative, many of the experiments on wood-derived panel constructions cut with numerically controlled machines are of great interest, conducted by the duo formed by Achim Menges, Director of the Institute for Computational Design, and Jan Knippers, Director of the Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE), at the University of Stuttgart. One of the first experiments was the shell structure of the Landesgartenschau Exhibition Hall, built in Stuttgart in 2014. The pavilion features tessellation, with flat hexagons of a surface composed of two spheroidal caps connected by a saddle, carried out using a complex computational design procedure. The shell is made by assembling hexagonal panels, cut into a specific shape by a Kuka robotic arm and featuring an optimized interlocking system for optimal stress transfer from one panel to another.

In 2016, once again at the University of Stuttgart, Menges and Knippers built the 2015-16 ICD/ITKE Research Pavilion. In this case, the experimentation involves the formation of a complex component made from a very thin multilayer and formed by the local application of active bending. These convex elements feature some serrated edges by which they are assembled to neighbouring elements through an actual seam. Among the most notable examples of the research of the German duo is the 2019 Buga Wood Pavilion, an interesting variation of the 'boxes' structural typology. In this construction, CNC-cut panels are pre-assembled to form three-dimensional elements that form the vault ashlars just as stone was used in the past. The connections between the boxes are completely dry and no metal elements are used.

The German duo's first experiment uses a two-dimensional element system (panels) while the other two are based on three-dimensional components (boxes); in fact, among the experiments that use digital fabrication, there are also variants based on the use of one-dimensional elements (strips); for example, the experiments on geodesic gridshells from active bending conducted by American Marc Cabrinha of California Polytechnic State University and Italian pair Carlo De Regibus and Silvia Sgarbossa from the Politecnico di Torino. The structural typology involves cutting wooden elements spliced in pre-ordered points into long thin strips, in order to impose a curvature on the elements that are to be placed on an assigned surface.

Yves Weinand's research, also in the field of 'panels', is very interesting; his Laboratory for Timber Construction, Ibois at EPFL Lausanne, begins in the University, with experimentation on structural typologies and the digital tools needed to design them, and then advances to the construction world involving actual buildings. It is in the field of folded surfaces that Ibois makes the most important contribution, starting from the repurposing of the main patterns of origami. 2017 saw the creation of the Timber Pavilion of the Vidy-Lausanne Theatre, a building made of wood panels, based on the structural principle of folded surfaces i.e., the increased strength that folding is able to impart to thin surfaces. In the field of boxes, Weinand built, in association with the firm Valentiny hyp architects, the Annen Head Office in Manternach<sup>3</sup>,

Luxembourg, where he experimented with a construction made of a series of vaults in which «Each arch is a double-curved shell structure with a design inspired by Eladio Dieste's Gaussian masonry vaults. The shell is made of two interconnected layers of timber plates assembled with through-tenon joints» (Prévost, 2020). A linear succession of boxes (pre-assembled by an assembler robot) is aggregated to draw a series of adjacent arcs in which the soffit still configures a folded surface.

If the experiments of the German and Swiss research institutes hint at very expensive production methods, the Portuguese experience conducted in 2012 by Prof. José Pedro Sousa, coordinator of the DFL (Digital Fabrication Laboratory) at the Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, on the other hand, is evidence of a completely different nature. The collective action of a class of students led to the design of the Constructive Geometric Pavilion built in cardboard in the courtyard of the University: «A total of 185 hexagonal cells and 185 perforated panels were organized in 21 parts for pre-fabrication. Each part was assigned to a group of 2 students, who became responsible for the digital flattening fabrication of the individual pieces, and their assembly» (Sousa, n.d.), placing great emphasis on group activities and poor materials, ideal for digital fabrication but, in this case, used traditionally.

A somewhat distinct case is that of Japanese Hiroto Kobayashi of Keio University in Tokyo and his research on prefabricated housing modules made by assembling elements produced through digital manufacturing. Exemplary is the case of the Veneer House system, created for emergency housing after the devastating 2011 earthquake, enabling Kobayashi's group to build the Maeami-hama example with the help of the local fishing community: «The entire construction process was

diagrammatically illustrated in a construction manual, so that the process could be easily understood without design drawings. This reduced errors during construction and ensured that all personnel were able to understand the sequence of construction. In addition to the manual, the construction progress was shared in detail among all persons involved through the internet».<sup>4</sup>

A few plywood panels, construction plans founded on the simplicity of assembly, and a local untrained community: «Since plywood is an accessible material around the world, the building components can be produced anywhere. The data used for the production of these components can be processed by any CNC router, so the production and supply of a Veneer House are not centralized. Whoever wants to use the systems can produce Veneer Houses whenever and wherever they want»<sup>5</sup>. Thanks to a collaboration with researchers at the Politecnico di Torino, Kobayashi will be able to experiment with an Italian version of the Veneer House system: the Accupoli community centre, built in Accumoli (RI, Italy) one of the municipalities most affected by the 2016 earthquake.

**Conclusions** | The Swiss and German examples allude to 'capital intensive' productions, very expensive and made with refined and high-performance machine tools, and this would seem in contrast with the logic of the Maker philosophy. The Portuguese pavilion and the Japanese houses tell us another story, set on 'labour-intensive' experimentation with an emphasis on labour and collective work. In truth, all of them can aspire to the status of 'maker architecture' because they are all founded on the principle of simplifying assembly operations. What takes place in the workshop or component design and production labo-

ratory can draw on sophisticated technologies, through the principle of shared means of production, and can present great geometric and structural complexities under the condition of using some of this intelligence to make the construction site simple, defined, clear, and labour intensive.

The new design paradigms imposed by digital manufacturing, therefore, seem to implicitly allude to the recovery of a different attitude on behalf of the designer: work is done with the project, not only but also to simplify the construction phase and make it financially low-risk. Simplifying construction, as Parvin argues, serves many purposes: to return to a more controlled way of building that does not require the participation of numerous professionals but a new, more extensive expertise of the designer; to enable the user to take ownership of the object built not by super-specialists but by people like him, whose simple and transparent logic he understands; to compel the architect to choose the design tools that most naturally converse with digital manufacturing (computational design); to return centrality on the construction site to the individual who designed the object of construction and thus thoroughly possesses its logic, to the extent that he could almost build it himself.

The confluence of knowledge, digital culture, connective intelligence, circular economy, eco-compatibility, enhancement of the 'common', and inclusion: it seems that all these words are lined up along the path for New Builders as if to complement the famous concept that even words are stones, which Rogers wrote in the Casabella of post-war reconstruction: in the age of the Anthropocene and the era of communication, even 'stones' can speak important words.

## Notes

1) For more details see the webpage: [en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided-manufacturing](https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided-manufacturing); [it.wikipedia.org/wiki/Computer-aided-manufacturing](https://it.wikipedia.org/wiki/Computer-aided-manufacturing) [Accessed 10 November 2022].

2) File-to-factory is the electronic process by which information is transmitted from the computer to the CNC machine tools.

3) For more details see the webpage: [weinand.be/project/annen-head-office](https://weinand.be/project/annen-head-office) [Accessed 10 November 2022].

4) For more details see the webpage: [kmdw.com/maeamihama-en](https://kmdw.com/maeamihama-en) [Accessed 10 November 2022].

5) For more details see the webpage: [veneerhouse.com](https://veneerhouse.com) [Accessed 10 November 2022].

## References

- Anderson, C. (2013), *Makers – The New Industrial Revolution*, Random House Business Books, London.
- Banzi, M. (2012), «Aprono le Officine Arduino», in *blog Arduino*, 12/01/2012. [Online] Available at: [blog.arduino.cc/2012/01/25/aprono-le-officine-arduino](https://blog.arduino.cc/2012/01/25/aprono-le-officine-arduino) [Accessed 10 November 2022].
- Baricco, A. (2018), *The Game*, Einaudi, Torino.
- Cofino, J. (2014), «Radical new economic system will emerge from collapse of capitalism», in *The Guardian*, 07/11/2014. [Online] Available at: [theguardian.com/sustainable-business/2014/nov/07/radical-new-economic-sys-](https://theguardian.com/sustainable-business/2014/nov/07/radical-new-economic-sys-tem-will-emerge-from-collapse-of-capitalism)

[tem-will-emerge-from-collapse-of-capitalism](https://theguardian.com/sustainable-business/2014/nov/07/radical-new-economic-sys-tem-will-emerge-from-collapse-of-capitalism) [Accessed 10 November 2022].

Colabella, S. (2017), «Il legno al tempo del digitale», in Pone, S. and Colabella, S. (eds), *Maker – La fabbricazione digitale per l'architettura e il design*, Progedit, Bari, pp. 55-67.

Grimm, T. (2004), *User's Guide to Rapid Prototyping*, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn.

Luna, R. (2022), «Massimo Banzi con due amici fonda Arduino per consentire a tutti di fare cose meravigliose», in *la Repubblica*, 17/03/2022. [Online] Available at: [repubblica.it/tecnologia/2022/03/17/news/banzi\\_fonda\\_arduino-341669852](https://repubblica.it/tecnologia/2022/03/17/news/banzi_fonda_arduino-341669852) [Accessed 10 November 2022].

Obama, B. H. (2013), «Il testo integrale del discorso di Barack Obama sullo stato dell'Unione», in *Il Sole 24 Ore*, 13/03/2013. [Online] Available at: [st.ilssole24ore.com/art/notizie/2013-02-13/testo-integrale-discorso-barack-075743.shtml?uuid=Ab7zquTH&p=4](https://st.ilssole24ore.com/art/notizie/2013-02-13/testo-integrale-discorso-barack-075743.shtml?uuid=Ab7zquTH&p=4) [Accessed 10 November 2022].

Parvin, A. (2013), «Architecture for the people by the people», in *TED | Ideas worth spreading*. [Online] Available at: [ted.com/talks/alastair\\_parvin\\_architecture\\_for\\_the\\_people\\_by\\_the\\_people](https://ted.com/talks/alastair_parvin_architecture_for_the_people_by_the_people) [Accessed 10 November 2022].

Prévost, V. (2020), «The Annen Head Office Project is on Tracés!», in *EPFL*, 12/05/2020. [Online] Available at: [actu.epfl.ch/news/the-annen-head-office-project-is-on-traces/](https://actu.epfl.ch/news/the-annen-head-office-project-is-on-traces/) [Accessed 10 November 2022].

Randerson, J. (2006), «Put your feet up, Santa, the Christmas machine has arrived», in *The Guardian*, 25/11/2006. [Online] Available at: [theguardian.com/science/2006/nov/](https://theguardian.com/science/2006/nov/25/frontpagenews.christmas2006)

[25/frontpagenews.christmas2006](https://theguardian.com/science/2006/nov/25/frontpagenews.christmas2006) [Accessed 10 November 2022].

Rossi, A. (2010), «Così abbiamo abbattuto le barriere tra i mondi – Chiariglione – I contenuti oggi circolano senza limiti», in *La Stampa*, 01/04/2010. [Online] Available at: [lastampa.it/torino/2010/04/01/news/cosi-abbiamo-abbattuto-br-le-barriere-tra-i-mondi-1.37016088/](https://lastampa.it/torino/2010/04/01/news/cosi-abbiamo-abbattuto-br-le-barriere-tra-i-mondi-1.37016088/) [Accessed 10 November 2022].

Sousa, J. P. (n.d.), «Constructive Geometry Pavilion 2011/12», in *Digital Fabrication Laboratory*. [Online] Available at: [dfl.arq.up.pt/portfolio/constructive-geometry-pavilion-201112/](https://dfl.arq.up.pt/portfolio/constructive-geometry-pavilion-201112/) [Accessed 10 November 2022].

Sposito, C. and Scalisi, F. (2017), «Strumenti e materiali per la fabbricazione digitale in architettura | Instruments and materials for digital manufacturing in architecture», in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 1, pp. 143-151. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/1222017](https://doi.org/10.19229/2464-9309/1222017) [Accessed 14 November 2022].