



# Università degli Studi di Ferrara

## DOTTORATO DI RICERCA IN Tecnologia dell'Architettura

CICLO XXII

COORDINATORE Prof. Graziano Trippa

Mutuazioni di Architettura  
Dall'informatizzazione del progetto alla digitalizzazione della fabbricazione

Settore Scientifico Disciplinare ICAR/12

**Dottorando**

Dott. Squarzoni Amedeo

**Tutore**

Prof. Mucelli Giovanni

Anni 2007/2009



# Università degli Studi di Ferrara

## DOTTORATO DI RICERCA IN Tecnologia dell'Architettura

CICLO XXII

COORDINATORE Prof. Graziano Trippa

Mutuazioni di Architettura  
Dall'informatizzazione del progetto alla digitalizzazione della fabbricazione

Settore Scientifico Disciplinare ICAR/12

**Dottorando**

Dott. Squarzony Amedeo

---

*(firma)*

**Tutore**

Prof. Mucelli Giovanni

---

*(firma)*

Anni 2007/2009

**Mutuazioni di Architettura**  
**Dalla informatizzazione del progetto alla digitalizzazione**  
**della fabbricazione**

**Indice**

<i>Premessa</i>	9
<b>1 - Industrializzazione edilizia: dalla serie al pezzo unico</b>	15
1.1 Dalla “moderna” arte del fabbricare all’emergenza della ricostruzione e del rinnovamento tecnologico	17
1.2 La monotonia della prefabbricazione e l’illusorietà di una progettazione libera	22
1.3 La rivoluzione informatica e il rinnovamento degli strumenti di progetto e di produzione	28
1.4 Virtualità e Realtà: Progetto e Costruzione	33
<b>2 - La rivoluzione informatica in architettura</b>	39
2.1 Il nuovo paradigma produttivo dell’industria: dalla produzione di massa alla mass customization	41
2.1.1 Personalizzazione dei materiali	46
2.1.2 Personalizzazione dell’assemblaggio dei componenti	46
2.1.2.a Modularità per ripetizione	47
2.1.2.b Modularità per sostituzione	47
2.1.2.c Modularità per adattamento su misura	48
2.1.2.d Modularità per applicazione	48
2.1.3 Personalizzazione dei processi produttivi	49
2.2 Mass-customization: un’indagine sul campo	53
2.2.1 Mercato	55
2.2.2 Produzione	59
2.2.3 Ricerca e Sviluppo	62
2.2.4 Servizi di supporto	64
2.3 Oltre il CAD	67
2.3 Verso una nuova cultura di processo, di progettazione e costruzione	73

2.5 Traferimento tecnologico: dalle navi e dagli aerei agli edifici	77
<b>3 - Il modello informatico ed il governo del progetto</b>	<b>83</b>
3.1 Architettura e computer	85
3.2 Dalle forme al controllo del progetto	90
3.3 Dalla rappresentazione dell'informazione all'in-formazione del modello informatico	99
3.4 Il modello informatico e l'interconnessione dell'informazione: modellazione parametrica e Building Information Modeling (BIM)	108
3.5 L'allargamento delle competenze e le nuove figure del processo e del progetto	118
<b>4 - Digital Fabrication</b>	<b>125</b>
4.1 Lo sviluppo delle tecnologie CAD/CAM	126
4.1.1 Macchine a controllo numerico tradizionali	128
4.1.2 Rapid Prototyping	135
4.1.3 Robot industriali	138
4.2 Tecniche di digital fabrication	140
4.2.1 Contouring	145
4.2.2 Forming	148
4.2.3 Folding	155
<b>5 - Dai paradigmi del Moderno all'informatizzazione in architettura: scenari per i progettisti del prossimo futuro</b>	<b>161</b>
5.1 L'evoluzione tecnologica	161
5.2 L'evoluzione delle forme	163

5.3 Nuovi motori dell'innovazione	166
5.4 Condizioni e indice di trasferibilità	169
5.5 L'evoluzione della professionalità: formazione e profilo del nuovo progettista	173
<b>6 - Allegati</b>	<b>179</b>
6.1 Casi-studio	180
Bubble - Bernhard Franken	182
Dynaform - Bernhard Franken	185
DRL TEN - Alan Dempsey e Alvin Huang	188
Nordpark Cable Railway - Zaha Hadid	191
BMW Welt - Coop Himmelb(l)au	196
ONL - Hessing Cockpit	199
Museo Guggenheim - Frank O'Gehry	203
Walt Disney Concert Hall - Frank O'Gehry	205
Ray and Maria Stata Centre - Frank O'Gehry	210
Barcelona Fish - Frank O'Gehry	213
Porter House - SHoP	216
290 Mulberry - SHoP	220
Son - O - House - NOX	224
Manilow Residence - Garofalo Architects	227
6.1 Questionario di indagine	230
<b>7 - Bibliografia</b>	<b>240</b>



## Premessa

*"In epoche finali in cui la sostanza storica è esaurita e incapace persino di garantire l'ordine geologico della specie, si è sempre visto ricollegare al mito un'attesa cupa e inespressiva. La teologia si insabbia, lascia il posto alla teognosi: non si vuole più sapere nulla degli déi. li si vuole vedere"*

Jünger, E., *Eumeswil*, Stuttgart, 1977 (trad. it. Mandalari, M.T., *Eumeswil*, Milano: Ugo Guanda Editore in Parma, 2001, p.174)

Se all'inizio del XX secolo gli architetti d'avanguardia riformulano i principi dell'architettura, seguendo i cambiamenti intervenuti nel settore industriale durante il lungo processo di affermazione del paradigma della produzione di massa, introdotto dall'industria manifatturiera e metallurgica durante la seconda metà del settecento, all'inizio del XXI secolo, l'avvento della "rivoluzione informatica" sta spingendo i progettisti a rivedere l'essenza dell'architettura.

Lo sviluppo delle tecnologie informatiche sta provocando veloci e sostanziali trasformazioni della società condizionano in modo profondo anche l'architettura.

Molti sono i progettisti impegnati nella ricerca esplorativa delle nuove possibilità espressive e tecniche offerte dall'impiego dei nuovi strumenti informatici.. L'involucro esterno, è oggi l'elemento attorno a cui viene concentrata l'attenzione da parte dei progettisti, e consistenti investimenti da parte dei committenti.

La materializzazione dei progetti sviluppati con l'ausilio del computer è oggi legittimata dall'evoluzione tecnologica dei settori scientifico, produttivo e commerciale dell'industria delle costruzioni di Terza Generazione, ovvero di *"una generazione che nasce in quelle comunità caratterizzate dall'aver ormai dato risposta alle loro necessità di base e nelle quali è diffusa, nella calma di un benessere appena disturbato da sussulti funzionali presto esorcizzati e sopiti, la cultura del possibile, che è andata a sostituire la cultura del necessario"*(1).

Gli strumenti informatici per la progettazione e la fabbricazione, trasferiti al settore delle costruzioni da altri settori più avanzati come quello meccanico,

Nella pagina accanto:  
Edward Peachtree,  
Unintentional Diagram,  
2005

navale e aerospaziale, hanno portato i progettisti a rivolgere nuovamente la propria attenzione ai processi e alle tecniche produttive industriali.

Parallelamente allo sviluppo delle nuove tecnologie, il cui utilizzo è ancora limitato a pochi, si sta assistendo ad un profondo cambiamento della produzione industriale, che, a fronte di un mercato frammentato che rifiuta la standardizzazione del prodotto e la generalità della risposta, per garantire la propria continuità, compie un "salto" di paradigma, passando dalla produzione di massa alla mass customization, ossia la personalizzazione "di massa" del prodotto industriale.

La nuova flessibilità produttiva raggiunta dall'industria segna un importante divario tra l'esperienza di industrializzazione edilizia del Novecento e quelle attuali: la rigidità delle linee di produzione e i macchinari specializzati impiegati nella produzione di massa per fabbricare componenti e sistemi in serie da immettere nel mercato, offrendo al progettista la sola scelta, da un catalogo, del prodotto che maggiormente incontra le esigenze del proprio progetto, sono oggi sostituiti da un'organizzazione flessibile della produzione e, anche se con minore frequenza, anche da macchine utensili versatili, che offrono al progettista la possibilità di realizzare prodotti su misura, rispondenti alle singole richieste del progettista.

L'innovazione dei materiali e dei prodotti, ma soprattutto delle tecniche e dei processi di produzione e progettazione stanno oggi provocando una progressiva scomparsa dal mercato di prodotti standardizzati e orientando le aziende verso la produzione di componenti e sistemi dotati di differenti gradi di complessità tecnologica, componibili e integrabili, e soprattutto personalizzabili.

La mass-customization assume nel contesto dell'architettura contemporanea un doppio risvolto: da una parte essa è espressione di un'industria matura capace di produrre prodotti differenziati, di qualità elevata, senza aumento dei costi, dall'altra essa contribuisce ad anticipare le scelte costruttive del progetto evitando così di relegarle a opera di cantiere.

La riorganizzazione dell'industria e lo sviluppo e l'applicazione delle tecnologie informatiche stanno avviando, a diversi livelli, importanti trasformazioni nel settore delle costruzioni.

Lo sviluppo di nuovi e avanzati software per la progettazione ha reso possibile



rappresentare, controllare, e realizzare edifici forme complesse per gli edifici, oltre che supportare il progettista nella gestione dell'intero processo edilizio e a migliorare la collaborazione tra i diversi soggetti coinvolti.

L'impiego integrato di macchine utensili automatizzate, fornite di controllo numerico, e di tecnologie CAD/CAM, consentono oggi di fabbricare prodotti molto diversi tra loro, con una elevata qualità, a tempi e costi competitivi con quelli della produzione di massa.

L'informatizzazione del progetto e la digitalizzazione della fabbricazione se da una parte contribuiscono a riaprire il dialogo tra progettisti e industria, interrotto dopo i risultati deludenti ottenuti durante quasi tutto il secolo scorso, dall'altra allargano il campo di competenze non solo dei progettisti, ma anche di tutti gli altri operatori del settore.

L'informatica entra quindi negli studi professionali e negli stabilimenti produttivi, richiedendo ai diversi soggetti di aggiornare le proprie conoscenze, avviando inoltre la formazione di nuove figure nel settore capaci di gestire, a diversi livelli, le procedure richieste dagli strumenti informatici.

Lo scenario delle costruzioni è oggi in una fase di equilibrio precario tra il mantenimento di una radicata cultura costruttiva e le spinte delle tecnologie innovative, le quali stanno provocando significativi mutamenti della pratica professionale.

Come afferma Rashid *"siamo ad un primissimo stadio di una rivoluzione digitale della cui direzione non siamo ancora certi, quasi allo stesso modo in cui gli architetti, i teologi e i pensatori dell'era illuminista non comprendevano abbastanza a fondo i profondi cambiamenti che avvenivano al loro tempo"*(2).

La ricerca indaga le trasformazioni in atto all'interno del settore delle costruzioni in seguito all'introduzione delle nuove tecnologie informatiche, con l'obiettivo generale di tracciare gli scenari possibili per gli attori e i processi del settore delle costruzioni nel prossimo futuro, in relazione alle nuove metodiche progettuali e tecnologiche.

La ricerca è stata condotta attraverso tre fasi procedurali: la prima fase rivolta alla definizione del quadro delle conoscenze relative allo "stato dell'arte" delle problematiche in esame e del loro contesto al fine di produrre un quadro informativo di base per lo svolgimento delle fasi successive; la seconda dedicata

a di definire il rapporto tra progetto e produzione attraverso la sistematizzazione delle principali modalità operative, in relazione all'utilizzo del software, dell'attività progettuale svolta dai soggetti partecipanti, evidenziandone le trasformazioni e le nuove figure emergenti, e infine attraverso la classificazione delle principali tecniche di fabbricazione digitale; attraverso i dati raccolti ed elaborati nelle fasi precedenti sulle mutazioni in atto nel settore delle costruzioni causate dall'introduzione dei nuovi strumenti informatici, si è proceduto ad una lettura critica del fenomeno di informatizzazione del progetto e di digitalizzazione della fabbricazione che ha permesso di raggiungere gli obiettivi prefissati.

#### **Note**

(1) Cetica, P.A., *L'edilizia di terza generazione: breviario di poetica per il progetto nella strategia del costruire*, Milano: Franco Angeli, 1993, p. 9.

(2) Rashid, M., *Architettura virtuale – Spazio reale*, in Sacchi, L., Unali, M. (a cura di), *Architettura e cultura digitale*, Skira Editore: Milano, 2003.





## Industrializzazione edilizia: dalla serie al pezzo unico

All'inizio del secolo scorso, si assiste all'ingresso nel settore delle costruzioni di una nuova figura: l'industria.

Anche se il connubio tra architettura e industria può essere collocato già a partire dal XIX, concretizzato nello straordinario evento della costruzione a Londra del Crystal Palace, è però solo a partire del XX secolo che la produzione industriale diviene un tema obbligato su cui gli architetti si devono confrontare.

In principio l'industria si limita principalmente a fornire i materiali da costruzione (acciaio, cemento, laterizi, etc.) e alcuni elementi costruttivi (piastrelle per pavimenti e rivestimenti, apparecchi igienici, etc.), senza provocare nessuno sconvolgimento nella pratica edilizia, e lasciando inalterati i ruoli dei principali attori del processo: progettisti e imprese di costruzione.

Dalla semplice fornitura dei materiali, l'industria passa alla produzione di componenti e sistemi portando, questa volta, grandi stravolgimenti all'interno del settore delle costruzioni: inizia così un lungo e articolato processo di trasformazione della tradizionale pratica, non solo costruttiva, ma anche progettuale.

A partire dai protagonisti del movimento moderno, il paradigma della produzione di massa scuote l'architettura, facendo cadere dalle pareti degli edifici tutti gli orpelli decorativi, legati ancora ad una pratica produttiva di tipo artigianale.

Dopo essere stata spogliata degli elementi estranei alla logica della produzione industriale imperante, l'architettura subisce uno smembramento necessario a renderla compatibile alla rigidità del flusso produttivo delle catene di montaggio delle fabbriche: l'edificio diviene un macro-sistema suddiviso in distinti sistemi tecnologici, i quali, a loro volta, sono composti da sub-sistemi costituiti, molto spesso, da numerosi elementi, prodotti separatamente e assemblati distintamente lungo le catene di montaggio o in cantiere.

Mentre le linee produttive assemblano questi elementi, senza mai fermarsi, lungo i percorsi labirintici dei nastri trasportatori all'interno degli stabilimenti industriali, le logiche della produzione di massa si materializzano negli edifici

che ricoprono le aree ancora vuote delle periferie delle città di tutto il mondo, sfumandone i confini all'interno di un'unica immagine.

La serialità della produzione di massa che caratterizza l'architettura di quasi tutto il XX secolo si manifesta soprattutto sulle facciate, prima tradizionalmente ripartite secondo diversi ordini architettonici che prendevano forma dal confronto tra le tecniche costruttive e l'idea progettuale, sono ora suddivise in moduli delle dimensioni dei pannelli prefabbricati, le cui regole sono dipendenti solamente dalle capacità produttive dell'industria.

I desideri personali di ogni singolo individuo e le specificità dei luoghi ove si interviene con nuove costruzioni sono deliberatamente ignorati: l'unica logica seguita è quella di mercato, teso a soddisfare i bisogni generalizzati di tutti, senza però riuscire ad accontentare nessuno.

Ma una volta che i bisogni di prima necessità vengono ampiamente soddisfatti, e l'emergenza casa rientra, la domanda cambia e da stabile che era, diviene instabile e imprevedibile, e il mercato prima omogeneo si frammenta. Le economie di scala perseguite dall'industria attraverso la produzione di massa, con il mutare delle condizioni al contorno, non sono più realizzabili, e le aziende, per non soccombere si vedono costrette ad abbandonare il vecchio paradigma produttivo della produzione seriale ricercando nuovi modelli produttivi.

Dopo lunghi anni è con la diffusione e l'applicazione delle nuove tecnologie informatiche e la definizione di nuovi metodi di management che le aziende raggiungono un nuovo paradigma fondato sulla *"differenziazione e la personalizzazione da ottenere attraverso la versatilità e la rapidità di risposta"*(1) .

Sfruttando i risultati di un progresso tecnologico che ha radicalmente cambiato, non solo il settore industriale, ma l'intera società, le aziende si riorganizzano per incontrare le esigenze di un mercato frammentato ed eterogeneo e corrispondere esattamente i bisogni di ciascuno.

Conseguentemente al passaggio ad un nuovo paradigma produttivo, le capacità dell'industria aumentano, e ciò che prima era considerato impossibile diviene ora necessario alla sopravvivenza stessa di ogni azienda: dalle grandi serie della produzione di massa che immetteva nel mercato un grande numero di prodotti identici, cercando di anticipare la domanda e rendendo il

bene accessibile a tutti attraverso una politica di ribasso dei prezzi, si passa alla produzione *just-in-time*, la quale a fronte di una domanda specifica è in grado produrre quanto richiesto, senza maggiorazione del prezzo del prodotto e senza legami con il numero di pezzi da produrre.

Se pur con il cronico ritardo, anche l'industria applicata al settore delle costruzioni sta oggi avvertendo la necessità di adottare il nuovo paradigma produttivo, e, gli effetti di questo passaggio sono già riscontrabili nel lavoro e nelle opere di molti architetti, soprattutto americani, i quali, per primi hanno recepito le possibilità offerte dalla produzione industriale così rinnovata.

Per comprendere il carattere innovativo dei contemporanei processi produttivi applicati all'architettura è necessario riportare sinteticamente quei fattori legati alla produzione edilizia e al dibattito culturale che hanno condizionato lo sviluppo dell'industrializzazione della produzione del settore delle costruzioni.

Non si intende in questa sede ricostruire una storia delle tecniche edilizie con ambizioni trattatistiche, quanto invece evidenziare i nodi principali dell'evoluzione delle trasformazioni intervenute nel settore delle costruzioni in seguito alla sua industrializzazione, cercando di mettere in luce i cambiamenti intervenuti nella pratica edilizia soprattutto rispetto a due operatori del settore edilizio, e delle relazioni tra loro: progettista e industria.

### **1.1 Dalla "moderna" arte del fabbricare all'emergenza della ricostruzione e del rinnovamento tecnologico**

*Crisi dell'artigianato – Standardizzazione e tipizzazione - Introduzione di nuovi materiali e tipologie strutturali – Intersezione della ricerca architettonica e delle ricerche sulle tecniche costruttive L'intervento statale per l'applicazione delle tecniche costruttive industriali – Introduzione di elementi modulari standardizzati all'interno degli edifici – Distinzione dei concetti di industrializzazione edilizia e prefabbricazione*

Quando l'industria si affaccia timidamente al settore edilizio, questo è governato solamente dalle figure del progettista e dell'impresa di costruzione.

Il suo ingresso apre un nuovo ed intenso dibattito tra i teorici del settore, i progettisti, e gli ambienti più avanzati delle forze produttive, i quali si pongono come obiettivi il miglioramento complessivo della qualità della produzione ed-

ilizia, e l'aumento della produttività del settore delle costruzioni.

Il processo di industrializzazione che caratterizza fortemente la produzione architettonica a partire dall'inizio del '900, attraversa, alla fine della prima guerra mondiale, una delle fasi più importanti della sua evoluzione, in cui vengono definiti a livello teorico i principi fondamentali di una nuova cultura architettonica che influenzerà profondamente la pratica progettuale e costruttiva fino ai giorni nostri.

L'affermazione dell'industria come principale struttura produttiva provoca una profonda crisi dell'artigianato, al quale viene relegato un ruolo secondario, legato ad una concezione d'arte di tipo accademico.

Il passaggio dal sistema artigianale a quello industriale avviene quando l'industria, attraverso la standardizzazione e la tipizzazione, riesce a scavalcare con i propri prodotti l'antica inconciliabilità tra qualità e quantità.

Così, mentre le pareti in muratura si assottigliano, e gli elementi in laterizio si svuotano e vengono impiegati a tamponamento degli spazi vuoti tra gli elementi costitutivi delle strutture a telaio realizzate in cemento armato o in acciaio, perdendo la propria originale resistenza meccanica, scompaiono le decorazioni dalle superfici esterne ed interne degli edifici, la cui produzione è storicamente legata alle abilità e alla professionalità degli artigiani, a dimostrazione della progressiva intersezione tra i contenuti della ricerca architettonica e le ricerche sulle tecniche costruttive legate alla produzione di tipo industriale.

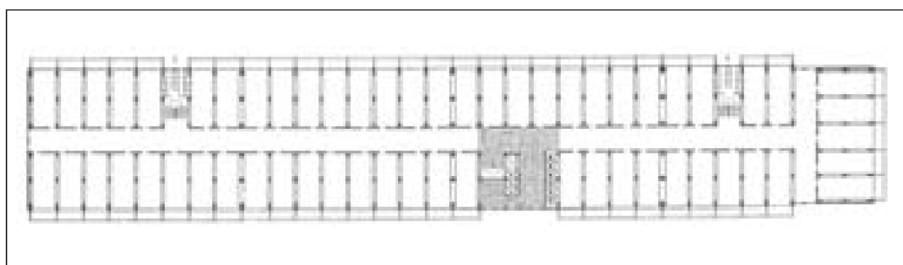
Tutti i maestri del movimento moderno, tra cui in particolare Walter Gropius e Le Corbusier (che hanno anticipato di quasi quarant'anni la definizione di due diversi modi di concepire la prefabbricazione, rispettivamente, quella aperta e quella chiusa), hanno avuto una grande importanza nel processo di rinnovamento dell'architettura contribuendo a gettare le basi per un profondo dialogo con l'industria con il fine di migliorare la qualità non solo dell'edilizia, ma anche della sua pratica, segnando una svolta decisiva verso l'industrializzazione del settore delle costruzioni, ponendo l'accento sugli aspetti tecnologici propri dell'architettura.

Nonostante infatti, gli edifici siano molto spesso realizzati attraverso tecniche tradizionali, il tentativo degli architetti del Movimento Moderno è di trasferire la

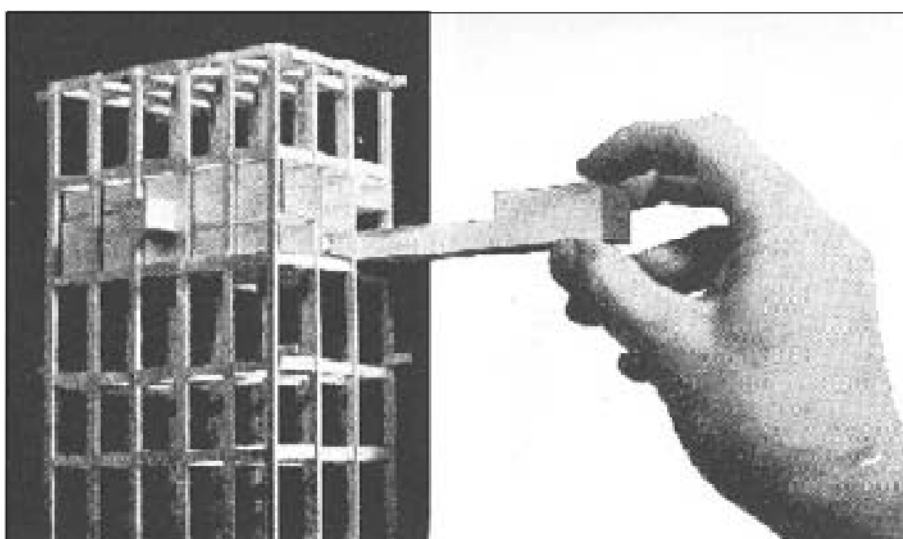


standardizzazione, la serialità, e la razionalità proprie della produzione industriale, nella loro architettura, come testimonia, ad esempio, l'Unité d'Habitation a Marsiglia ad opera di Le Corbusier, il quale, lascia volutamente cieca una delle facciate dei lati corti dell'edificio a pianta rettangolare, e fa continuare i corridoi di distribuzione al suo interno fino a incontrare la parete perimetrale esterne proprio in previsione di una possibile espansione dell'edificio, permettendo così di ripetere l'edificio all'infinito, mutuandone per intero tutte le proprie parti (2).

Anche l'ossessiva ripetizione del raffinato dettaglio di facciata sviluppato da Mies van Der Rohe per il Seagram Building di New York, poi riproposto in molti dei suoi edifici realizzati successivamente a Chicago, sta a rappresentare una volontà di avvicinarsi agli stessi principi della produzione industriale. Le ricerche relative alla prefabbricazione, alla standardizzazione e alla coordinazione modulare dei componenti condotte da questi maestri, saranno materia di studio e di approfondimento da parte degli architetti delle generazioni successive, a testimonianza dell'importanza del lavoro svolto in questa fase iniziale.



1.1 Le Corbusier  
Unité d'habitation,  
pianta del livello  
della strada  
interna,  
1946-52



1.2 Le Corbusier  
Unité d'habitation,  
Plastico  
1946-52

Dopo il pionieristico contributo dei protagonisti del movimento moderno, il lento processo di industrializzazione del settore delle costruzioni prosegue con le esperienze maturate durante la ricostruzione del dopoguerra avvenuta in tutta Europa.

La grave crisi di alloggi richiede interventi cospicui, da realizzare in tempi brevi, a cui si tenta di rispondere ricorrendo alle tecniche produttive industriali, soprattutto dove gli organi statali intervengono con politiche economiche specifiche che ne favoriscono l'adozione.

In Francia, dove l'apparato statale ha spinto fin da subito verso l'adozione di tecniche costruttive avanzate, investendo ingenti somme di denaro e promuovendo diversi programmi nazionali, si sono ottenuti i risultati più interessanti, poi assunti a modello da altri paesi europei.

Se da una parte però il contributo dello Stato ha consentito di realizzare interventi di edilizia sovvenzionata pari al 90% dell'edilizia residenziale, dall'altra ha portato ad arrestare la ricerca verso soluzioni alternative a quelle applicate nella costruzione di questi interventi, il sistema a pannelli portanti, che verrà poi applicato anche in altri paesi.

In Inghilterra lo Stato è invece intervenuto con finanziamenti rivolti alle autorità periferiche incaricate di gestire l'attività edilizia e attraverso la stesura di un primo programma indifferenziato per tutto il paese, utilizzato poi per la formulazione di quelli successivi, che se pur ha tenuto conto di fattori importanti come i costi, le dotazioni impiantistiche, i materiali ha completamente ignorato l'identità delle architetture locali.

Nell'Europa orientale, data l'entità della distruzione bellica, i governi, attraverso una rigida programmazione, hanno adottato soluzioni volte principalmente a risolvere il problema quantitativo di alloggi, adottando poche tecniche da produrre su larga scala, come i pannelli portanti in cemento armato o la cosiddetta prefabbricazione pesante.

Nel resto dell'Europa occidentale, dove invece i governi non sono intervenuti a promuovere, con programmi statali efficacemente strutturati, l'impiego di tecniche costruttive evolute per affrontare il problema della ricostruzione post-bellica degli alloggi, si assiste ad un sostanziale mantenimento delle tecniche costruttive tradizionali.



1.3 Sistema di prefabbricazione a pannelli "Balency & Schuhl", il cantiere in montaggio

1.4 Pouillet, edificio prefabbricato con elementi "Balency" a Mont St. Aignan

In Italia, nonostante la guerra abbia sfigurato il paese, si ricorre per la realizzazione degli alloggi alle tradizionali tecniche costruttive, utilizzando il cemento armato per realizzare le strutture e mattoni forati per i tamponamenti.

Nei rari casi in cui si sono realizzati interventi di edilizia industrializzata, si è direttamente attinto all'esperienza francese, adottando a scatola chiusa sistemi di prefabbricazione pesante a pannelli, come il "Camus", il "Balency" e il "Coignet".

È importante sottolineare che in questo periodo si assiste inoltre all'introduzione di elementi modulari standardizzati (infissi, pareti divisorie, piastre prefabbricate per solai e pannelli di tamponamento esterno) all'interno degli edifici, ma la mancanza di coordinamento tra i vari operatori, conduce essenzialmente ad una sempre più profonda parcellizzazione delle diverse fasi del processo produttivo, *"contraddicendo in tal modo i presupposti indispensabili per quella progettazione integrata tra il momento architettonico e quello scientifico-tecnico che in questo periodo si stava proclamando"*(3).

Inizia già quel fenomeno di scollamento tra il processo progettuale e quello produttivo, che condurrà, negli anni a venire, ad aumentare progressivamente la distanza tra i progettisti e l'industria, il cui rapporto conflittuale caratterizzerà il settore delle costruzioni fino ai giorni d'oggi.

Ad ogni modo, attraverso le diverse esperienze condotte nei vari paesi, si è giunti ad un importante traguardo: la distinzione dei concetti di prefabbricazi-

one e di industrializzazione edilizia.

Mentre il primo termine assume il significato *“di strumento di notevole efficacia per la produzione seriale di standard edilizi, che in effetti può costituire un aspetto del processo industrializzato, ma certamente non coincide con esso”*(4)

il secondo termine acquisisce il significato profondo di *“modo di concepire la produzione del bene edilizio come processo di progettazione, produzione ed utenza, cioè come sequenza di momenti operativi, organizzativi e gestionali, coerenti e coordinati in vista della ottimizzazione dei risultati conseguibili con determinate risorse e condizioni contestuali”*(5).

Questa distinzione è fondamentale poiché condurrà negli anni successivi ad affrontare la questione dell'industrializzazione edilizia attraverso una ricerca di modelli operativi, che non avessero come unico scopo quello dell'ottimizzazione del processo produttivo, ma che si proponessero come obiettivo quello di una maggiore integrazione tra i vari operatori del settore nelle diverse fasi del processo edilizio.

## **1.2 La monotonia della prefabbricazione e l'illusorietà di una progettazione libera**

*Prefabbricazione chiusa – Prefabbricazione aperta – Revisione dell'attività di progettazione e di impresa - Approccio sistemico – Progettazione per componenti – Nuove metodologie per la progettazione – Il caso italiano: normativa descrittiva e normativa esigenziale*

Nel decennio compreso tra gli anni '60 e '70 gli obiettivi del processo di industrializzazione dell'edilizia, avviatosi nei paesi europei sono il *“soddisfacimento del fabbisogno di case, che è stato sempre stimato così grande da non poter essere coperto con i mezzi produttivi propri della tradizione della costruzione, la riduzione dei costi dell'edilizia, attraverso la produzione in grandi serie degli elementi della costruzione, l'espansione della produzione industriale con profonde modificazioni delle condizioni di lavoro, appalto, etc., il miglioramento qualitativo delle costruzioni, attraverso il concetto di affidabilità industriale”*(6).

Con le opportune differenze tra i diversi paesi, il processo di industrializzazione dell'edilizia rimane fondamentalmente legato alle scelte operate nel



1.5 Povl, Ernst  
Hoff & Partners,  
complesso  
residenziale,  
1964-68

dopoguerra: si propende infatti verso una sua ottimizzazione piuttosto che puntare verso la ricerca di soluzioni efficaci a risolvere i problemi connessi alla produzione industriale, rinchiusa all'interno delle sue logiche, incapace di instaurare un dialogo con chiunque richieda di modificarne la sua organizzazione.

Gli edifici realizzati attraverso l'assemblaggio di elementi o sistemi tutti uguali tra di loro, prodotti dall'industria in ragione del paradigma abbracciato della produzione di massa, che prevede l'abbattimento dei costi mediante economie di scala (ovvero contenendo i costi unitari attraverso la produzione di uno stesso prodotto in grandi quantità) induce gli operatori più sensibili agli aspetti formali e semantici dell'architettura a formulare l'equazione: "*prefabbricazione-uguale-monotonia*"(7).

La realizzazione di diversi interventi di edilizia industrializzata ha portato allo sviluppo di diversi sistemi di prefabbricazione, che possono essere distinti secondo due grandi linee: chiusa e aperta.

La prefabbricazione chiusa, predisponendo anche l'assemblaggio dei prodotti, costringe la loro unione in sistemi poco flessibili, predeterminati dall'industria che li produce.

La prefabbricazione aperta invece, si limita a fornire i prodotti, e l'industria produttrice rimanda al progettista la definizione delle modalità del loro assemblaggio.

Nonostante lo sviluppo di diversi tipi di industrializzazione attraverso cui, in questi anni, si realizzano tipologie diverse di interventi e di edifici, si assiste

1.6 Angelo Mangiarotti, struttura prefabbricata pluriuso "Briona 72"

1.7 Angelo Mangiarotti, struttura industriale prefabbricata, Monza, 1965



ad un generale appiattimento delle soluzioni formali

Ciò è dovuto ad un'eccessiva limitazione della creatività del progettista, la quale viene costretta dalle nuove tecniche costruttive all'interno di un sistema di regole imposto dall'industria che riduce l'attività progettuale ad una mera selezione di prodotti da assemblare insieme.

Il Movimento Moderno, che con i propri principi aveva nei decenni precedenti bruscamente trasformato l'architettura, condiziona ancora fortemente le idee ed il lavoro dei progettisti, i quali sembrano riconoscere solamente Le Corbusier, Mies Van der Rohe, Gropius e Wright come propri maestri.

L'influenza dell'architettura razionalista conduce questi progettisti non solo a riproporre le forme stereometriche e le configurazioni spaziali moderniste (che se ben reinterpretate da architetti illustri come ad esempio James Stirling, Peter e Alison Smithson, Ralph Erskine, Angelo Mangiarotti, Marco Zanuso, vengono invece banalizzate e impoverite da quelli meno noti, le cui opere riempiono la maggioranza degli spazi vuoti delle periferie delle città) ma anche a mutuare i materiali e le tecniche costruttive che hanno reso quelle forme realizzabili.

Calcestruzzo e acciaio si sono imposti, dopo essere stati adottati dai Maestri, come protagonisti assoluti del costruire, dando l'avvio anche ad una trasformazione della figura del costruttore, accelerata dall'arrivo in cantiere degli elementi prefabbricati, che si sgretola in diversi specialismi, perdendo quella cultura artigianale da sempre legata alla pratica costruttiva.



1.8 Marco Zanuso, fabbrica Olivetti in Argentina, foto di cantiere con l'elemento trave/pilastro gettato in opera

1.9 Marco Zanuso, Casa Feal, Milano, 1961-63

L'affermarsi dell'industria tra gli attori principali del processo edilizio riduce inoltre il ruolo dell'impresa nella definizione tecnologica degli elementi costitutivi del progetto.

Prima dell'avvio del processo di industrializzazione dell'edilizia, il progettista, durante la fase progettuale, abbozzava solamente alcune ipotesi sulle tecnologie da impiegare, rimandando la loro definizione alla fase di cantiere, dove le ogni soluzione tecnica veniva concordata insieme all'impresa costruttrice.

Ora invece la definizione tecnologica degli elementi costitutivi del progetto viene specificata in dettaglio direttamente nei disegni esecutivi redatti dal progettista, il quale sostituisce come suo interlocutore principale, l'impresa con l'industria nelle scelte relative alle tecniche costruttive, ai materiali e agli elementi da impiegare.

Il consolidarsi del ruolo assunto dall'industria all'interno del processo edilizio, conduce verso una radicale trasformazione del settore che coinvolge tutti gli operatori, nonostante che nella normale pratica costruttiva dell'edilizia diffusa si continuano ad impiegare principalmente le tecniche tradizionali, mentre si ricorre a sistemi prefabbricati solo quando gli interventi sono di notevole dimensioni e richiedono la realizzazione in tempi brevi, oppure, come anticipato nel paragrafo precedente, laddove lo Stato interviene a favorire l'adozione di tecniche costruttive evolute attraverso la formulazione di politiche economiche specifiche.

Alla fine di questo decennio, nonostante l'acceso dibattito iniziato tra i diversi operatori del settore, i risultati ottenuti possono essere giudicati ancora insoddisfacenti, in quanto non si sono raggiunti gli obiettivi prestabiliti: l'aumento della qualità generale dell'edilizia, soprattutto per quanto riguarda l'aspetto formale, non si è verificato e inoltre non si assiste alla riduzione dei costi di produzione auspicata al momento della formulazione degli obiettivi.

A cavallo degli anni '70, le numerose realizzazioni fanno emergere i limiti della prefabbricazione chiusa, sulla quale si era fin dal principio investito poiché sembrava offrire le maggiori garanzie per una diminuzione dei costi di produzione, a fronte di una razionalizzazione dei sistemi costruttivi a cui avrebbe dovuto conseguire una riorganizzazione dell'industria.

La sostanziale omogeneità dei prodotti fabbricati dai diversi stabilimenti, e la predeterminazione del loro assemblaggio, portano ad una indifferenziazione anche a livello dell'organismo architettonico, dalla quale i progettisti tentano di sfuggire, preferendo la prefabbricazione aperta a quella chiusa.

Nel decennio compreso tra gli anni '70 e '80 l'industria concentra la propria produzione su una molteplicità di elementi standardizzati e unificati tra di loro secondo una coordinazione modulare che concede una maggiore libertà progettuale.

L'industria attraverso il controllo sistematico delle tolleranze di lavorazione, che segna un importante sviluppo tecnologico della produzione, acquisisce la capacità di fabbricare un'ampia serie di elementi tra loro diversi, che le consentono di compiere un importante passo verso le esigenze dei progettisti.

Ad ogni modo le difficoltà incontrate nell'assemblaggio di componenti differenti, progettati invece per essere intercambiabili, provocano un processo di semplificazione dei componenti originariamente complessi per facilitarne l'aggregazione.

Le aziende produttrici, organizzate secondo il paradigma della produzione di massa, come al momento del loro ingresso nel settore delle costruzioni, sono legate ad una continuità della produzione, ovvero a *"un impiego continuo ed economicamente conveniente di tutti i fattori produttivi"*(8).

Ciò comporta la realizzazione di economie di scala che si ottengono attraverso la produzione di un grande numero di elementi identici.



La traduzione formale dell'attuale paradigma produttivo costringe ancora l'architettura alla ripetitività delle soluzioni da adottare, che, se risulta essere compatibile con quegli elementi che non contribuiscono a dare espressività dell'edificio, come i pannelli prefabbricati di solaio, quelli di chiusura delle pareti esterne, le partizioni interne, etc., è difficilmente accettabile per i componenti caratterizzanti il progetto come ad esempio i pannelli di rivestimento delle pareti esterne.

Progettisti e studiosi, operanti nel settore dell'architettura industrializzata, in seguito anche al processo di semplificazione avvenuto durante l'evolvere della produzione dei componenti per favorire una maggiore compatibilità tra serie diverse, concordano di adottare, per le facciate degli edifici, componenti il cui valore semantico sia di tipo neutrale, in modo tale da evitare che siano le aziende, attraverso i propri prodotti, a determinare, in modo aprioristico, la loro immagine.

Parallelamente ai cambiamenti intervenuti nell'industria, nell'ambito dell'architettura industrializzata si avvia un processo di revisione dell'attività di progettazione, nel tentativo di fornire un valido supporto teorico di riferimento.

I contributi più significativi provengono dagli Stati Uniti, e si diffondono anche in Europa grazie alla diffusione delle pubblicazioni di Christopher Alexander, S.A. Gregory, Abraham A. Moles, Christopher Jones, Morris Asimow.

*Essi, come riassume Nardi "propongono la razionalizzazione delle procedure di intervento, cioè la messa a punto di modelli di comportamento che avviano l'obiettivo di razionalizzare al meglio i passaggi di studio e i risultati. Il progetto viene affrontato sottoponendo il problema a una serie di scomposizioni successive, al fine di individuare sottoproblemi semplici; posizioni successive, al fine di individuare sottoproblemi semplici: si definiscono le variabili delle fasi e delle relazioni e si traduce la teoria in un linguaggio rigoroso mediante l'uso di strumenti matematici di classificazione e di rappresentazione. Si giunge infine a definire il sistema di controllo del risultato progettuale con la stima e la correzione degli errori"* che aggiunge *"la codifica del metodo appare al progettista una maggior garanzia per affrontare i problemi di una società tecnicizzata, senza che muti la sostanza del compito precipuo del progettista, che rimane,*

*in sintesi, quello di tradurre le esigenze degli uomini in termini di spazio tramite i codici della disciplina architettonica”(9).*

In Italia, ad esempio, con l'affermarsi della strategia per componenti si tenta di sviluppare una metodologia di supporto alla progettazione attraverso un importante processo di approfondimento normativo di tipo esigenziale, (che viene elaborato dagli studiosi allo scopo di sostituire la normativa descrittiva) nel quale si confida per stabilire un maggior controllo sul prodotto da parte del progettista e dell'utente.

Mentre le norme descrittive, fissando standards e indici numerici, e imponendo tecniche e materiali, tendono a scoraggiare lo sviluppo tecnologico da parte degli operatori del settore, stretti tra prescrizioni anche morfologicamente vincolanti, le norme esigenziali, esprimendo le prestazioni richieste dall'utenza attraverso la precisazione delle proprietà dei prodotti, in relazione alle esigenze specifiche che devono soddisfare, e senza alcuna indicazione riguardo materiali o metodi da adottare, lasciano la libertà alle aziende produttrici e ai progettisti di definire le soluzioni tecniche.

A chiusura di questo paragrafo è necessario anticipare che i tentativi di legare la progettazione insieme con una metodologia scientifica, negli anni successivi si riveleranno inutili, nonostante gli sforzi, l'interesse, e i dibattiti che queste teorie scateneranno tra gli operatori del settore, e soprattutto tra i progettisti e i teorici.

### **1.3 La rivoluzione informatica e il rinnovamento degli strumenti di progetto e di produzione**

*Limiti della prefabbricazione – Il disinteresse alla questione tecnologica – La nuova società della complessità e dell'informazione – I nuovi imperativi della industrializzazione edilizia – L'introduzione delle tecnologie CAD/CAM – La mass-customization – La globalizzazione dei mercati*

Nei primi anni 80, i risultati ottenuti nel settore dell'edilizia industrializzata possono ancora considerarsi scarsi, il dibattito tra gli operatori è ancora concentrato sul superamento dei limiti imposti dalla prefabbricazione chiusa attraverso il ricorso alla componentistica e gli interventi realizzati sollevano perplessità non solo tra i progettisti, ma anche l'utenza.

Se da una parte infatti i progettisti recriminano nei confronti dell'industria un'eccessiva costrizione all'interno delle regole fissate dalla produzione, dall'altra l'utenza lamenta l'inadeguatezza degli spazi entro cui svolgere le proprie attività.

Dopo oramai cinquant'anni dall'avvio ad opera degli architetti del Movimento Moderno del processo di industrializzazione dell'edilizia, la maggior parte degli interventi realizzati con componenti e sistemi prodotti dall'industria, presenta ancora molte delle problematiche iniziali: in qualsiasi ambito culturale, climatico, ambientale gli edifici vengono realizzati con le stesse caratteristiche costruttive e tipologiche e i quartieri assumono quella omogeneità che minaccia di cancellare le identità delle città e inoltre il ricorso a nuovi materiali e tecniche di assemblaggio non ha portato ad un contenimento dei costi.

La diversificazione dei componenti prodotti in serie dall'industria si rivela quindi non essere sufficiente a generare quella varietà invece conseguibile con le tecniche costruttive artigianali e i progettisti risultano possedere una scarsa conoscenza dei prodotti da assemblare e delle tecnologie, che li rende incapaci di governare efficacemente il processo progettuale.

L'ignoranza nei riguardi delle tecniche esecutive spinge il progettista ad affidare ad altri lo sviluppo degli aspetti tecnici, provocando uno scollamento tra l'attività ideativa e quella esecutiva, da cui si allarga la divaricazione tra tecnica e scelte formali e scelte tipologiche.

La complessità tecnologica introdotta dall'industria porta quindi ad allontanare il progettista dagli aspetti tecnici legati all'architettura.

Parallelamente allo sviluppo dell'industrializzazione dell'edilizia, a partire dagli anni '60, si assiste alla delineazione di una rivoluzione destinata a travolgere non solo il settore delle costruzioni e i suoi operatori, ma addirittura l'intera società.

Scrive a proposito Morabito nel 1990 *"l'attuale società (...), la cui struttura è derivata dalla profonda trasformazione prodottasi nel campo della conoscenza scientifica, può essere catalogata, senza il rischio di un'eccessiva schematizzazione, come la società della complessità e dell'informazione. Complessità legata alla caduta della certezza e all'accettazione del dubbio, ossia ad una visione aleatoria del dato scientifico in contrapposizione con l'universalità di*

*una concezione deterministica del sapere, come tradizionalmente inteso nel passato; informazione come elemento operativo fondamentale per una nuova conoscenza dei domini della cultura, legata alla complessità poiché consente una molteplicità di situazioni e di valenze del tutto originali rispetto ai meccanismi consolidati dalla società industriale.*

*Se, quindi, le nuove esperienze sul reale sono mediate attraverso la complessità e l'informazione, la tecnologia, che attiene ai processi di trasformazione della produzione culturale e materiale della società, assume un ruolo profondamente innovativo ed essa stessa si trasforma come apparato strumentale”(10).*

*Questa trasformazione conduce ad una crisi "che sta investendo gli imperativi dell'industrializzazione del costruire, così come essi erano stati intesi a partire dagli anni Sessanta: unificazione, standardizzazione e normalizzazione possono essere considerati i dogmi il cui fraintendimento ha condotto alla distruzione delle periferie urbane attraverso interventi privi di una propria identità culturale”(11).*

Nuovi imperativi sorgono nel processo di modificazione delle tecniche produttive e organizzative dell'industria: diversificazione, de-standardizzazione e de-regolazione.

La diversificazione è un effetto dovuto alle richieste di un mercato frammentario, articolato in un ampio ventaglio di richieste avanzate da gruppi di utenti sempre meno numerosi.

Con il termine de-standardizzazione si intende indicare il passaggio fondamentale dalla standardizzazione dei prodotti, offerti ad un mercato indifferenziato, alla loro personalizzazione, per incontrare le esigenze diversificate degli utenti.

La de-regolazione "è la versione del termine anglosassone de-regulation, che significa uscire dalle vecchie regole del gioco normativo, per adottarne di differenti (...). Essa non intende legalizzare l'arbitrio e la licenza, ma conciliare, attraverso il concetto di riforma, la nozione di norma, intesa come fatto artificiale obbligante a cambiamenti comportamentistici, con le necessarie risposte individuali”(12).

Questi sono, probabilmente, gli aspetti più profondi delle trasformazioni indotte

dalla “rivoluzione informatica” che attraversa in questi anni tutta la società.

Negli anni '90 si assiste ad un significativo avanzamento tecnologico dell'informatica in tutti i settori, incluso quello delle costruzioni.

Gli operatori del settore, ancora generalmente isolati all'interno dei propri specifici campi disciplinari, recepiscono e sviluppano isolatamente le potenzialità dei nuovi strumenti informatici a disposizione.

Mentre i progettisti iniziano a esplorare le possibilità offerte dall'applicazione di questi strumenti nella ricerca di nuove spazialità e inedite configurazioni formali, nello sforzo compulsivo di raffigurare architetture futuribili, l'industria produttrice impiega le nuove risorse informatiche per potenziare i propri sistemi produttivi.

Già a partire dagli anni '40 e '50 si inizia a concentrare l'attenzione verso sistemi automatizzati di produzione, apparsi nel settore manifatturiero già all'inizio del 1700, con i telai controllati mediante schede perforate inventate dal francese Joseph Marie Jacquard.

I nuovi strumenti per la produzione sono denominati macchine utensili a controllo numerico, o più semplicemente macchine a CNC (*Computer Numerical Control*) e si distinguono dalle macchine utensili tradizionali perché sono dotate di un computer interno che ne controlla i movimenti.

A ostacolare la diffusione di questi moderni sistemi all'interno dei vari settori produttivi, oltre al prezzo proibitivo per il loro acquisto, sono le difficoltà tecniche legate alla programmazione di questi macchinari.

Essa può richiedere tempi lunghi e un lavoro molto ripetitivo da parte dei tecnici addetti che può facilmente indurre loro a commettere errori che si ripercuotono direttamente sul processo produttivo comportando un aumento dei costi non trascurabile.

È grazie allo sviluppo e alla diffusione dell'informatica che si presenta la possibilità di ovviare, anche se non proprio completamente, a questo problema: l'introduzione di software CAM (*Computer Aided Manufacturing*) facilita di fatto la preparazione delle liste di istruzioni da comunicare alle varie macchine a controllo numerico, con la possibilità di prelevare i dati direttamente dai disegni precedentemente elaborati tramite software CAD (*Computer Aided Design*).

I software CAD incontrano in questo periodo una grande diffusione tra i progettisti, perché oltre a velocizzare la rappresentazione del progetto da presentare alla committenza, agli organi di controllo dell'attività edilizia, e ai costruttori, permettono un più veloce e agevole scambio delle informazioni tra gli operatori.

Se fino all'inizio anni '90, le macchine CNC sono impiegate solo per la produzione di pezzi per cui era richiesta una precisione assoluta, a cavallo del Duemila comincia la diffusione di questi macchinari in numerosi settori tra cui quello delle costruzioni.

Queste macchine automatiche vengono definite "versatili" perché è possibile predisporle per una diversa serie di movimenti in tempi brevi (dell'ordine di minuti se non addirittura di secondi).

La caratteristica fondamentale di queste attrezzature è la capacità di svolgere operazioni molto diverse tra loro, offrendo la possibilità di produrre pezzi differenti l'uno dall'altro, in tempi e costi paragonabili a quelli della produzione in serie.

*"La produzione industriale può essere allora liberata dal vincolo della ripetitività, cioè della necessità di banalizzare il prodotto per renderlo interessante al maggior numero possibile di acquirenti"*(13).

I limiti della produzione industriale di massa vengono superati dall'introduzione di un nuovo paradigma produttivo: la *mass customization* (14), ovvero la personalizzazione della produzione.

Essa consente per la prima volta di mettere in primo piano non le esigenze produttive dell'industria, ma quelle del cliente, e nel caso specifico del settore delle costruzioni, del progetto.

Alla produzione standardizzata di componenti e sistemi si aggiunge quella personalizzata che consente di realizzare prodotti su misura ad un prezzo contenuto.

Il progettista si libera finalmente dai vincoli imposti dalla produzione di massa che lo hanno estromesso dalle questioni tecnologiche contribuendo a separare in modo netto l'attività progettuale da quella produttiva

Un ulteriore importante fattore da rilevare è la globalizzazione dei mercati, tra cui quello edilizio, che influenzerà le scelte degli operatori del settore da qui

in avanti.

Se il settore delle costruzioni si è finora sempre riferito alle risorse e alle competenze delle imprese e dei fornitori limitrofi alle zone del cantiere, da oggi in poi, data la complessità delle soluzioni richieste per la costruzione del progetto, si rende necessario selezionare imprese e fornitori in funzione delle proprie specializzazioni, sia per quanto riguarda i prodotti che i servizi.

La concorrenza a livello internazionale spinge, quindi, tutti gli operatori del settore a rinnovare i propri interessi verso il settore dell'innovazione tecnologica.

#### 1.4 Virtualità e Realtà: Progetto e Costruzione

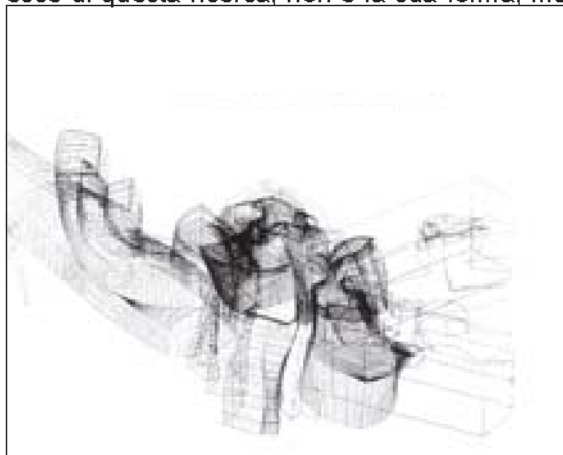
*Digital fabrication – La rinnovata fiducia di tutti gli operatori del settore edile nel progresso tecnologico – La ridefinizione delle relazioni tra i diversi operatori del settore delle costruzioni – Il rinnovato binomio progetto e costruzione*

Il 19 ottobre 1997 inaugura il museo Guggenheim di Bilbao di Frank O'Gehry.

In tutto il mondo, sulle riviste di architettura, e non solo, rimbalzano le immagini e gli articoli che riportano la sorprendente notizia dell'apertura dello spettacolare museo, un edificio unico nel suo genere.

È sulle forme spettacolari(15) delle superfici metalliche ondulate di questo edificio che si concentrano le attenzioni di numerosi critici, intellettuali, architetti, ingegneri, etc, di tutto il mondo.

Ma quello che è significativo riguardo a questo edificio, nell'ambito di interesse di questa ricerca, non è la sua forma, ma la sua realizzazione: essa è



1.10 Frank O'Gehry, Museo Guggenheim, modello informatico, Bilbao 1997

1.11 Gustave Eiffel, Torre Eiffel, Parigi, 1887

la dimostrazione che l'utilizzo del computer non permette soltanto la produzione di immagini spettacolari attraverso la modellazione digitale della realtà virtuale, ma anche la loro costruzione attraverso gli strumenti avanzati della digital fabrication.

Se il Crystal Palace prima, e la Tour Eiffel poi, sono stati gli emblemi che hanno inneggiato l'inizio della nuova era industriale sul finire del XIX secolo, il museo Guggenheim di Bilbao è l'edificio che cattura in sé lo zeitgeist della rivoluzione informatica avvenuta nella nuova era dell'informazione, al termine del XX secolo.

Come i due edifici dell'era industriale sopramenzionati, il museo Guggenheim di Bilbao non solo sovverte le comuni regole della progettazione di un edificio, ma anche quelle della produzione industriale dei suoi componenti e sistemi oltre che le tecniche costruttive del loro assemblaggio (4).

Tutti gli operatori del settore, rinnovano il proprio entusiasmo nei confronti del progresso tecnologico (smarrito dalle delusioni raccolte durante il lungo ed articolato processo di industrializzazione dell'edilizia) in seguito all'entusiasmo suscitato dai risultati raggiunti al termine del XX secolo: ogni città ora richiede il proprio Guggenheim, in grado di attirare su di sé le attenzioni del mondo intero.

Complessità formali e tecnologiche sono oggi l'oggetto di ricerche condotte da un numero in continua espansione di progettisti.

Ma dopo una prima generazione di progettisti che impiegano le tecniche della digital fabrication al fine di realizzare la complessità formale dei propri progetti, una seconda generazione di giovani progettisti (16) sfrutta invece queste stesse tecniche per ottimizzare i processi ideativi e di ingegnerizzazione del progetto, minimizzandone i tempi, lo spreco di materiale durante la fabbricazione dei componenti e i costi di realizzazione.

Ad ogni modo, entrambe le generazioni di architetti, attraverso l'impiego delle tecnologie digitali hanno radicalmente cambiato il modo di concepire, progettare e costruire i propri edifici, così come era successo durante gli anni venti del Novecento.

Così come successe allora, anche oggi, attraverso la diffusione delle tecniche digitali tra gli operatori dell'architettura contemporanea si rinnova il rapporto





1.12 Frank O'Gehry, Museo Guggenheim, Bilbao, 1997

tra progetto e costruzione.

Le nuove tecnologie digitali, infatti, stabiliscono una nuova correlazione tra ciò che può essere progettato e quello che può essere costruito, permettendo una diretta interconnessione tra il progetto (elaborato con l'ausilio dei software CAD), la produzione (in stabilimento), e l'assemblaggio delle varie parti (in cantiere).

Progettisti, industria e imprese si trovano quindi nuovamente a ridefinire le loro reciproche relazioni.

Gli elaborati generati dall'architetto per la definizione del progetto di architettura, vengono ora direttamente impiegati dall'industria per la programmazione delle macchine a controllo numerico a cui è affidata la produzione dei componenti e dei sistemi: *“uno degli aspetti più profondi dell'architettura contemporanea non è la riscoperta di forme curve complesse, quanto la nuova capacità di generare le informazioni per la costruzione direttamente dalle informazioni elaborate per la definizione del progetto architettonico attraverso le nuove*

*tecniche digitali di progettazione e produzione*"(17).

#### **Note**

(1) Pine, J., *Mass-Customization. The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press: Cambridge, 1992 (tr. It di Formaggio, M., *Mass-Customization: dal prodotto di massa all'industriale su misura. Il nuovo paradigma manageriale*, Franco Angeli, Milano.), p. 83.

(2) Intervento di Francesco Dal Co al seminario monografico Le Corbusier, Università IUAV di Venezia, A.A. 2007.

(3) Morabito, G., *Forme e tecniche dell'architettura moderna*, Roma: Officina, 1990, p. 101.

(4) *Ibidem*, p. 106.

(5) Koncz, T., Mazzocchi, M., Tealdi, E., *Prefabbricare. Architettura e industria delle costruzioni*, Hoepli: Milano, 1979, p. 15.

(6) Maggi, P.N., Turchini, G., Zambelli, E., *Dall'industrializzazione dell'edilizia alla produzione industriale per l'edilizia*, in A.A.V.V., *Edilizia, innovazione, crisi economica*, Bologna: Ente autonomo Fiera, 1983, p. 162.

(7) Nardi, G., *Le nuove radici antiche: saggio sulla questione delle tecniche esecutive in architettura*, Milano: Franco Angeli, 1986, p.56.

(8) Cetica, P.A., *Continuità della produzione*, in Spadolini, P. (a cura di), *Design e tecnologia. Un approccio progettuale all'edilizia industrializzata*, Bologna: Edizioni Luigi Parma, 1974, p.15

(9) Nardi, G., *Le nuove radici antiche: saggio sulla questione delle tecniche esecutive in architettura*, Milano: Franco Angeli, 1986, p.55.

(10) Morabito, G., *Forme e tecniche dell'architettura moderna*, Roma: Officina, 1990, p. 186.

(11) Campioli, A., *Il contesto del progetto: il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali*, Milano: F. Angeli, 1993, p. 15.

(12) Ciribini, G. (a cura di), *Tecnologie della costruzione*, Roma: La Nuova Italia scientifica, 1991, pp. 80-81.

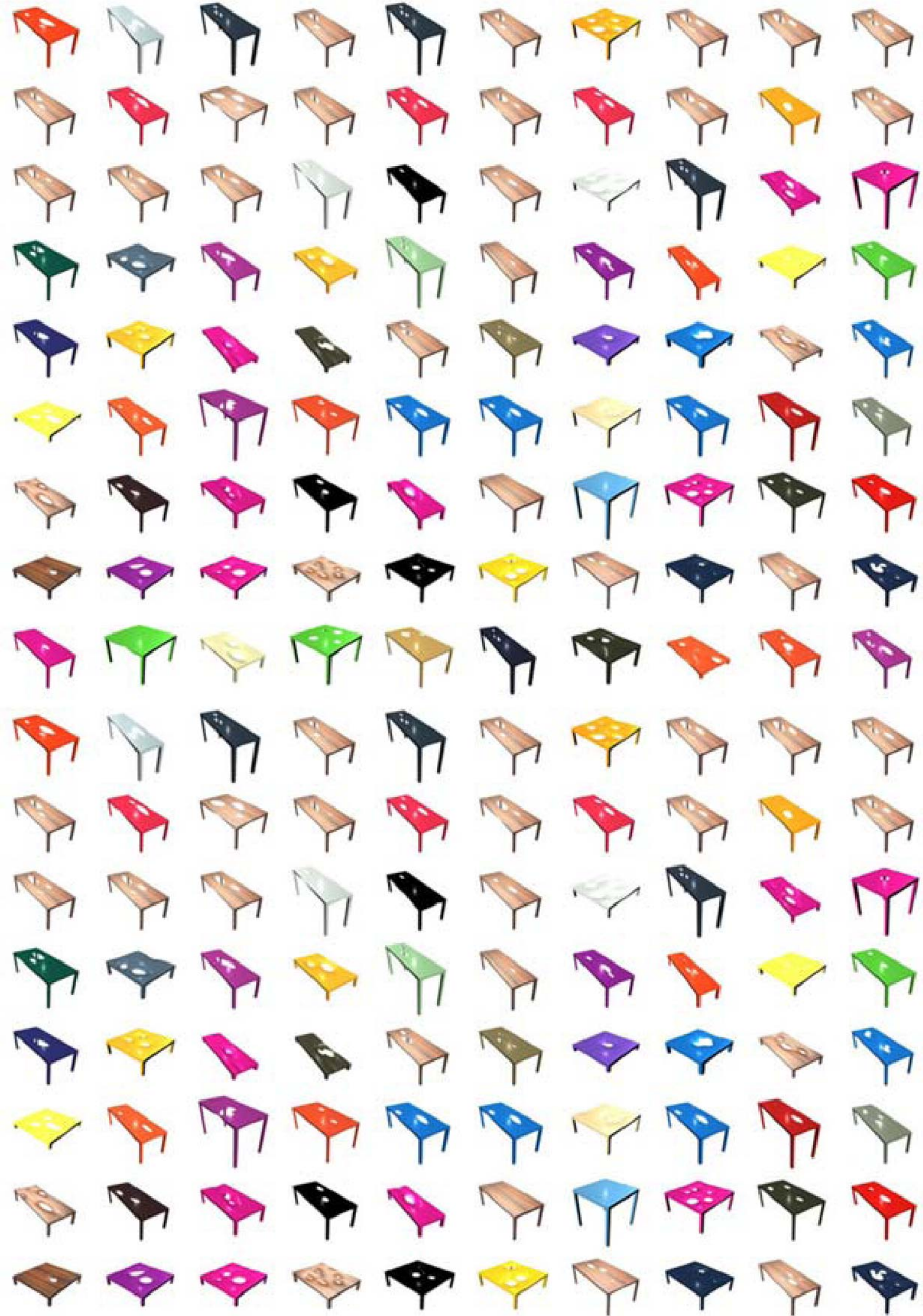
(13) *Ibidem*, p. 132.

(14) Il termine, da attribuire a Stan Davis, è comparso per la prima volta nel suo saggio *Future Perfect*, Massachusset: Addison-Wesley Reading, 1987.

(15) Per un'analisi degli effetti della costruzione del museo Guggenheim di Bilbao si rimanda agli articolo di Ockman, J., Adams, N., *Forme dello spettacolo* e Rajchman, J., *Effetto Bilbao*, in Casabella numero doppio 673-674, dicembre 1999, rispettivamente pp. 4-7 e pp. 10-11.

(16) Per la distinzione tra le due generazioni di architetti digitali si rimanda alla consultazione di Scanlon, J., Frank Gehry for the rest of us, WRED 12.11, Scanlon 04, Novembre 2004.

(17) T. d. A. Kolarevich, B. (a cura di), *Architecture in the digital age: design and manufacturing*, New York – Londra: Taylor & Francis, 2003



## La rivoluzione informatica in architettura

Nel capitolo precedente sono state descritte, seppur sinteticamente, le fasi che hanno caratterizzato il lungo e faticoso passaggio, ancora in atto, tra l'architettura ispirata ai paradigmi che si sono andati formando durante l'epoca della rivoluzione industriale e l'architettura della nuova era digitale, ispirata ai paradigmi della rivoluzione informatica.

A partire dagli anni '20 del XX secolo infatti i maestri dell'architettura moderna *"ebbero la capacità di riformulare "completamente" l'architettura sulla spinta del nuovo mondo meccanico e industriale. Fu una rivoluzione perché l'architettura modificò allora tutti i parametri del proprio operare, assorbendo i processi seriali, razionali, standardizzabili e tipizzabili della produzione industriale. L'architettura fece propri questi processi sia interiorizzandoli come metodo di lavoro sia assumendoli come parametri oggettivi per valutare o meno il raggiungimento di una nuova qualità"*(1).

Con l'avvento dell'era digitale *"le parole chiave degli architetti sono cambiate: si pensa in termini di "personalizzazione" e non più di "standardizzazione", non più attraverso processi "di divisione in cicli" o di "catena di montaggio", ma di "unità tra diversi"; [...] non si pensa più all'idea di "modello ripetibile" (la Ford Nera per tutti o l'Unité d'habitation), ma in termini di adattabilità e di individualizzazione. La Rete, i sistemi informativi per l'ideazione e la progettazione degli edifici, i materiali e i modi stessi della costruzione stanno cambiando l'essenza dell'architettura"*(2).

L'avanzamento delle tecnologie informatiche che stanno provocando veloci e sostanziali trasformazioni della società stanno anche condizionando in modo profondo l'architettura: *"il nostro rapporto con l'informatica è ad un tempo strutturale, culturale e formale. Strutturale perché è l'intera società che ruota attorno al valore delle informazioni, culturale perché orientarsi in questo nuovo scenario è fondamentale e formale perché le procedure messe in atto nel pensiero informatico possono influenzare il modo di concepire la forma architettonica"*(3).

Tra gli operatori del settore si contano ancora molti scettici riguardo all'applicazione dei nuovi strumenti informatici, soprattutto quando questi

2.1 Gramazio & Kolher, mTable, 2002. Serie di tavoli personalizzabili

sono impiegati durante la fase ideativa dell'elaborazione progettuale, oppure quando l'utilizzo è previsto durante le fasi di cantiere.

Se risultano essere comprensibili le resistenze opposte dalle imprese all'innovazione tecnologica perché le costringe ad aggiornare le conoscenze del personale e le strumentazioni e ad investire quindi tempo e denaro, meno evidenti appaiono le ragioni sottese al rifiuto di teorici e progettisti.

Questa diffidenza nei confronti dei nuovi strumenti informatici, fatte salve le dovute eccezioni, si è andata sviluppando soprattutto dove i paradigmi progettuali del movimento moderno pervadono ancora oggi la cultura architettonica, mentre, laddove questi paradigmi non sono così radicati, come negli Stati Uniti, in Inghilterra, Australia o addirittura Asia, si assiste ad un fenomeno di grande, e a volte cieco, entusiasmo intorno all'applicazione delle nuove tecnologie in architettura.

Le ricerche correlate all'impiego degli strumenti informatici interessano i vari campi disciplinari dell'architettura: dall'urbanistica alla tecnologia, dalla composizione al restauro, a dimostrazione che l'informatica si sta imponendo come il paradigma centrale per una nuova fase di tutta l'architettura.

Mentre tra progettisti, teorici, e imprese, esiste ancora una numerosa schiera di oppositori alle trasformazioni che sta introducendo nel settore la rivoluzione informatica, gli operatori dell'industria sembrano invece avere raccolto la sfida lasciando indietro perplessità e timori.

Le ragioni del consenso, quasi unanime, sono da ricercarsi nel fenomeno di turbolenza che ha scosso il mercato già a partire dagli anni '60 e che si è poi aggravato nei decenni successivi, costringendo l'intero settore a rivedere i propri paradigmi.

Sono le capacità manageriali della classe dirigente e la decisione di sfruttare le nuove opportunità offerte dal progresso tecnologico, a favorire la costituzione del nuovo paradigma produttivo della mass customization in grado di rispondere in modo efficace alla domanda rivolta al mercato, ora segmentato, andando incontro direttamente alle richieste del consumatore.

Le aziende che si ostinano a mantenere unicamente il modello della produzione di massa risultano molto spesso inadeguate a soddisfare le richieste di differenziazione e personalizzazione dei propri prodotti da parte dei consuma-

tori, perdendo importanti quote di mercato.

Il settore delle costruzioni, è quindi immerso in un contesto in continua evoluzione, sollecitato da un apparentemente inarrestabile progresso tecnologico che investe, tra gli altri, tutti gli operatori impegnati nei diversi aspetti del progetto, dall'ideazione alla sua realizzazione.

La pratica progettuale, le tecniche produttive e costruttive dell'edilizia, in bilico costante tra tradizione e avanzamenti tecnologici e organizzativi, hanno oggi la possibilità, grazie all'applicazione dei nuovi strumenti informatici di essere rinnovate nel tentativo di colmare quel divario che ha diviso, durante il secolo scorso, il momento progettuale da quello produttivo, progettisti e industria.

I prossimi paragrafi saranno quindi dedicati all'analisi delle trasformazioni che hanno caratterizzato la pratica progettuale e produttiva al fine di offrire una descrizione del contesto di riferimento di questa ricerca.

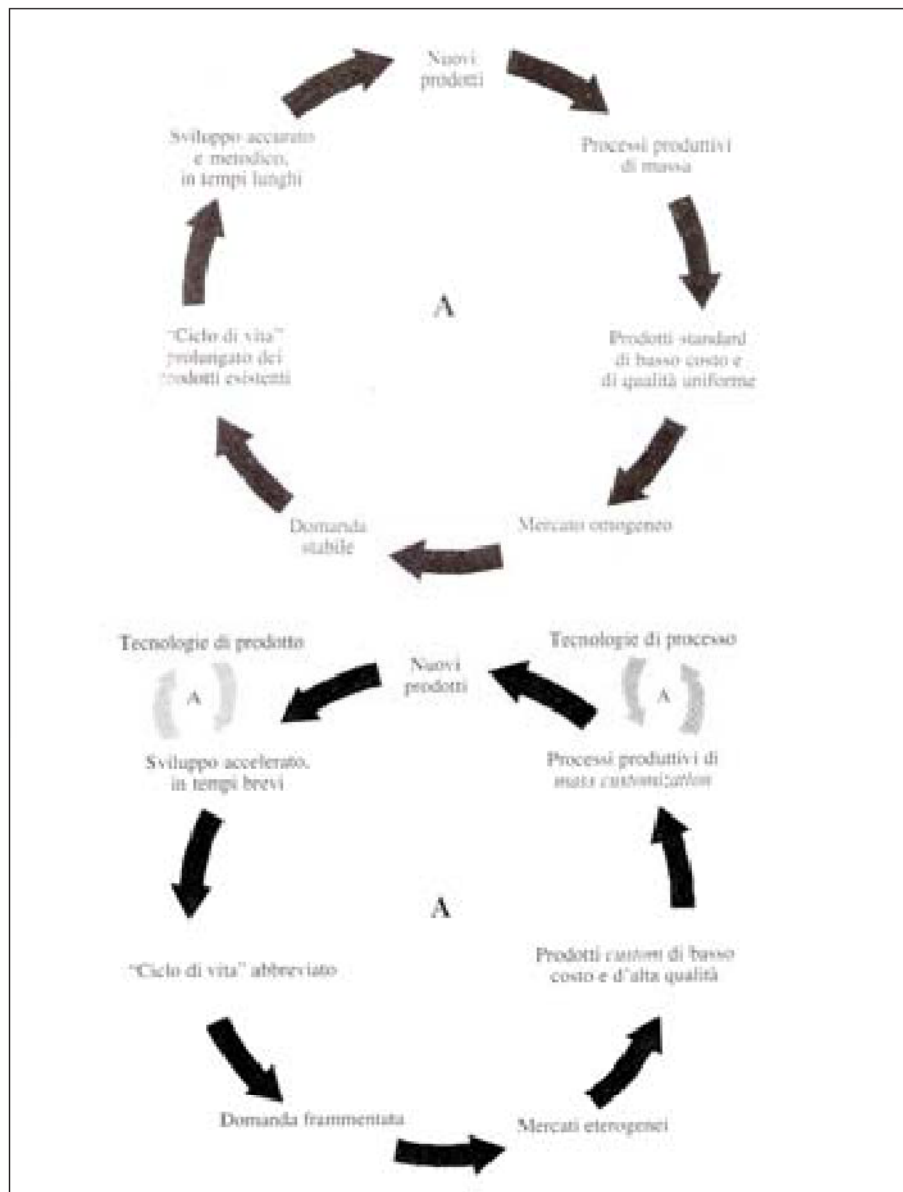
## **2.1 Il nuovo paradigma produttivo dell'industria: dalla produzione di massa alla mass customization**

*Produzione di massa - Mass-customization – L'applicazione della mass customization dalle aziende di prodotti per l'edilizia – Le ragioni della diffusione del nuovo modello produttivo nel settore delle costruzioni – Classificazione delle modalità di personalizzazione di componenti e sistemi per l'edilizia*

A partire dalla fine degli anni '60, come anticipato precedentemente, i modelli della produzione industriale di massa sono messi in crisi dal mutare delle condizioni di mercato: *"il processo di disgregazione dei grandi mercati di massa, la crisi del prodotto ecumenico stanno sviluppandosi a ritmi esponenziali. La regola aurea della serialità per produrre a costi decrescenti appare ormai superata. La nuova frontiera per la produzione industriale è quella che viene definita mass customization: una sorta di ossimoro che unisce appunto concetti tra loro opposti. Come massa e individualizzazione, produzione seriale e personalizzazione. Potremmo definirla produzione industriale su misura"*(4).

La crescente turbolenza dei mercati sta spingendo le aziende, in diversi settori, ad effettuare il passaggio dal paradigma della produzione di massa, la cui efficienza si basa sulla ripetitività in serie del prodotto, sulla omologazione tecnica e sulla quantità elevata, a quello della mass customization, ossia della

2.2 Il paradigma della produzione di massa come anello di regolazione amplificante (sopra) e il paradigma della mass customization come anello di regolazione amplificante con anelli di regolazione secondari



personalizzazione di massa, "che si fonda sulla differenziazione e la personalizzazione da ottenere attraverso la versatilità e la rapidità di risposta"(5), che consente di rispondere meglio a tale turbolenza.

Soddisfatti i bisogni primari, i prodotti standardizzati non sono più sufficienti a rispondere alle esigenze di un mercato frammentato, dove la domanda si differenzia per corrispondere esattamente ai bisogni di ciascuno o quasi.

Se la produzione di massa mette al centro le esigenze produttive dettate dall'organizzazione interna della fabbrica, al fine di produrre un bene standardizzato per venderlo al prezzo più basso, ricercando nella quantità dei pezzi prodotti il proprio guadagno, le aziende che adottano la mass custom-



ization spostano il proprio centro sulle esigenze della committenza, diversificando la produzione al fine di soddisfare le specifiche richieste di ogni singola nicchia di mercato o addirittura del singolo cliente, fabbricando un prodotto su misura, a costi contenuti, ricercando nella qualità il fattore attrattivo.

La nascita del nuovo paradigma è legata quindi alle trasformazioni del mercato, e nello schema riportato in figura 2.2 è illustrato come, per rispondere alla frammentazione della domanda, si sia intervenuto sui processi produttivi rendendoli più flessibili, ribaltando così le logiche della produzione di massa. La flessibilità della produzione, ottenuta mediante l'applicazione di nuove tecnologie e nuovi metodi di management, è necessaria per aumentare la differenziazione dei prodotti, il cui ciclo di vita si è abbreviato, imponendo la riduzione drastica dei tempi di sviluppo.

L'innovazione tecnologica nel sistema di mass customization gioca un ruolo fondamentale, come mostrato ancora in figura 2.2, dove i due anelli secondari delle tecnologie di prodotto e di processo interferiscono con l'anello principale di amplificazione del valore.

In questo sistema, a differenza di quello della produzione di massa, l'attenzione è soprattutto rivolta alle nuove tecnologie di processo, poiché esse contribuiscono ad aumentare la flessibilità della produzione e ad ottenere una maggiore differenziazione dei prodotti, a costi vicini a quelli della produzione di massa, o persino inferiori.

Mentre nella produzione di massa l'abbattimento dei costi dipende dalle economie di scala, in cui si perviene al contenimento dei costi attraverso l'aumento della produzione del medesimo prodotto o servizio per sfruttare al massimo gli impianti, nella mass customization esso dipende invece dalle economie di gamma, dove invece si applica un medesimo processo per realizzare prodotti o servizi differenti al minor costo e nel tempo più breve.

Anche il progresso nei sistemi di direzione aziendale contribuisce all'abbattimento dei costi di produzione dei prodotti customized.

Molte innovazioni logistiche e organizzative hanno infatti incrementato la flessibilità e la reattività delle aziende, rendendole maggiormente capaci di aumentare la varietà e la personalizzazione della loro offerta, senza incrementare i costi.

Come fa notare Pine "si possono distinguere quattro innovazioni fondamentali per la conciliazione della produzione di massa e della customization:

- *fornitura e lavorazione just in time, grazie a cui ridurre i costi delle scorte e ad eliminare molti inconvenienti del processo;*
- *riduzione dei tempi di approntamento, grazie alla quale si ha la possibilità di poter ridurre i lotti di lavorazione e abbattere i costi di produzione delle varianti di prodotto, compressione;*
- *compressione dei tempi in tutti i processi che intervengono nella "catena di valore", grazie alla quale si riducono gli sprechi e si aumenta la flessibilità e la reattività del processo produttivo, abbattendone anche i costi;*
- *produzione su ordinazione, anziché su previsione di vendita, grazie alla quale ridurre i costi delle scorte, eliminare le offerte speciali e i costi dell'inventario, raccogliendo nel contempo informazione molto utili, sui gusti e le preferenze del cliente"(6).*

La mass customization definisce, quindi, un nuovo modo di produrre, che riunisce in sé le caratteristiche del sistema artigianale e altre del sistema di produzione di massa, associando la qualità, la versatilità e la lavorazione su commessa del primo, ai bassi costi, ai grandi lotti e all'automazione del secondo.

Nonostante la cronica lentezza del settore delle costruzioni a recepire le innovazioni nate in altri settori più avanzati, si sta assistendo oggi, al "salto di paradigma" anche tra le aziende di prodotti per l'edilizia.

La produzione personalizzata permette ai progettisti, finora costretti a scegliere da un catalogo i prodotti che meglio si adattano al proprio progetto, di richiedere direttamente all'industria ciò che il progetto esige.

La odierna diffusione dei componenti industriali è prova del ritrovato interesse da parte dei progettisti verso l'industrializzazione edilizia e dei suoi prodotti, dovuto sia alla nuova flessibilità della produzione e alla sua capacità di rispondere alle esigenze di complessità tecnologica, sia all'ottimizzazione delle prestazioni e al controllo della qualità dei prodotti, incentivati dall'apertura dei mercati dovuta all'economia globalizzata.

La diffusione di componenti e sistemi industriali è inoltre favorita dall'applicazione

delle tecniche di assemblaggio a secco, dovuta alla nuova attenzione da parte della committenza ai livelli prestazionali degli edifici, (soprattutto in relazione al contenimento dei consumi energetici), oltre che ad una generale contrazione dei tempi di consegna.

Le aziende produttrici di semilavorati, componenti e sistemi per l'edilizia, per rispondere alla crescente domanda dei progettisti di prodotti customized, hanno perciò iniziato a riorganizzarsi, affiancando alla produzione standardizzata quella personalizzata, al fine di conquistare nuove quote all'interno di un mercato sempre più frammentato.

Ad accelerare la riorganizzazione delle aziende è, inoltre, il processo di globalizzazione che sta interessando, già da qualche decennio, anche il settore delle costruzioni.

L'allargamento dei mercati amplifica la concorrenza, offrendo, grazie anche alle nuove tecnologie informatiche e telematiche, la possibilità di interazione tra diversi operatori collocati in qualsiasi punto del globo.

In questo contesto caratterizzato da un flusso in continua espansione di nuovi prodotti che vengono immessi nel mercato, e la loro rapidità di obsolescenza, è l'attenzione al cliente, non la risorsa fisica, l'elemento su cui le aziende stanno investendo per distinguersi dalla massiccia concorrenza.

I servizi di supporto al prodotto, anch'essi personalizzabili, sono infatti parte di una strategia di fidelizzazione del cliente che permette di raccogliere rapidamente informazioni sugli orientamenti del mercato.

Il supporto delle aziende consente anche progettisti con limitate conoscenze tecniche e tecnologiche di poter impiegare componenti e sistemi customized. Ciò evidenzia, come il mercato dei prodotti edilizi oggi abbia allargato la disponibilità della produzione personalizzata anche ai progettisti che non hanno raggiunto l'ambito "titolo" di "Archistar"<sup>(7)</sup>

I prodotti personalizzati, quindi, non sono esclusivamente legati alla realizzazione di interventi complessi, con budget astronomici a disposizione, ma possono essere invece utilizzati per la costruzione di opere con risorse più limitate, dato che, come entro certi margini, la differenziazione non comporta nessun costo aggiuntivo.

Componenti e sistemi customized per l'edilizia possono essere realizzati

modificando prodotti industriali seriali già presenti sul mercato, oppure fabbricandoli ex novo direttamente sulle richieste del progettista, tuttavia, empiricamente, essi possono essere ottenuti attraverso la personalizzazione:

1. dei materiali;
2. dell'assemblaggio dei componenti;
3. del processo produttivo.

#### *2.1.1 Personalizzazione dei materiali*

La personalizzazione dei materiali del prodotto viene applicata per differenziare i prodotti industriali seriali.

Essa permette di modificare su richiesta sia l'aspetto, che le proprietà chimico-fisiche e le caratteristiche tecniche di un prodotto, rendendo per questo necessario, a volte, modificarne anche l'originale processo produttivo.

Questo modo di realizzare prodotti customized non è molto diffuso tra le aziende produttrici di componenti e sistemi per l'edilizia, poiché prevede tempi di ricerca e sviluppo anche molto lunghi per la loro realizzazione, che gravano ovviamente sui costi che deve sostenere l'azienda stessa, aumentando i fattori di rischio in caso di uno scarso successo commerciale del prodotto stesso una volta immesso nel mercato.

Un esempio eloquente è quello relativo agli elementi in laterizio: i materiali dell'impasto infatti possono essere selezionati al fine di ottenere una determinata colorazione o prestazione.

La variazione delle materie prime può comportare la modifica di alcuni parametri del processo produttivo dell'elemento originario, come, in questo caso, i tempi di stagionatura o di cottura.

#### *2.1.2 Personalizzazione dell'assemblaggio dei componenti*

La personalizzazione del prodotto attraverso l'assemblaggio differenziato dei suoi componenti offre la possibilità di una maggiore diversificazione rispetto alla modalità precedente.

Esso può essere considerato come il modo più efficace per le aziende produttrici di realizzare la mass customization, e consiste nel produrre componenti modulari con cui configurare ampie gamme di prodotti, consentendo di ridurre

al minimo i costi e permettendo di personalizzare il prodotto a scala individuale, realizzando economie di gamma sui prodotti ottenuti ed economie di scala sui componenti.

Per i prodotti edilizi è possibile distinguere quattro specie di modularità diverse:

- a) per ripetizione;
- b) per sostituzione;
- c) per adattamento su misura;
- d) per applicazione.

#### *2.1.2.a Modularità per ripetizione*

Con la modularità per ripetizione la personalizzazione avviene quando si impiegano i medesimi componenti per realizzare prodotti differenziati.

In questo caso, i componenti possono essere fabbricati seguendo ancora il paradigma della produzione di massa e la personalizzazione si realizza solamente durante assemblando semplicemente in modo differente gli stessi elementi, per realizzando così prodotti diversi.

Ad esempio, la personalizzazione di un sistema di rivestimento esterno di facciata composto da due distinti sub-sistemi, uno strutturale, costituito a sua volta da diversi elementi metallici, e uno di rivestimento formato da una piastra in cotto e dagli accessori necessari al suo fissaggio, può essere compiuta semplicemente variando il posizionamento degli elementi in laterizio, senza mutare invece la disposizione del sub-sistema strutturale, ottenendo configurazioni completamente diverse, dalla facciata continua allo schermo frangisole.

#### *2.1.2.b Modularità per sostituzione*

Con la modularità per sostituzione la personalizzazione del sistema avviene appunto sostituendo alcuni suoi elementi all'interno di una stessa gamma di prodotti per la realizzazione delle sue varianti.

Prendendo ad esempio il sistema di rivestimento di facciata sopradescritto, la personalizzazione può essere ottenuta scegliendo all'interno della gamma delle piastre in laterizio, che potrebbero differenziarsi in base al trattamento

della loro superficie: liscia, rigata, o bugnata.

#### *2.1.2.c Modularità per adattamento su misura*

Con questa la modularità per adattamento su misura la personalizzazione del sistema avviene sostituendo alcuni componenti con altri non appartenenti alla stessa gamma di prodotti.

È evidente che gli elementi, in questo caso, devono avere la possibilità di poter essere regolati tra loro durante le fasi di assemblaggio.

L'interscambiabilità per adattamento su misura di un sistema come quello già descritto avviene quando, ad esempio, si sostituisce il sub-sistema di rivestimento delle piastre in laterizio con un altro diverso per dimensioni e sistema di fissaggio.

In questo caso, il sub-sistema strutturale (che si considera compatibile con le nuove condizioni statiche di esercizio) e il sistema del nuovo sub-sistema di fissaggio del rivestimento devono essere regolabili per permetterne l'assemblaggio.

Anche se questa modalità di personalizzazione dei prodotti industriali presenti nel mercato edilizio offre scenari molto suggestivi per il progettista, nella pratica è però difficile riscontrare questa flessibilità nell'assemblaggio tra componenti o sistemi, soprattutto se sono fabbricati da aziende diverse.

#### *2.1.2.d Modularità per applicazione*

L'interscambiabilità per applicazione, infine, avviene quando ad un prodotto standard è possibile accoppiare elementi diversi.

Il prodotto può così essere fabbricato in serie e la sua personalizzazione avviene aggiungendo, gli elementi richiesti durante l'assemblaggio.

In questo caso, a differenza della precedenti modularità, in cui i componenti si regolano tra loro per realizzare configurazione sempre nuove, il prodotto finale è costituito da un componente o sub-sistema predeterminato, non variabile né regolabile, accoppiato ad altri, invece interscambiabili.

Un esempio è quello di un sistema di ancoraggio per elementi di rivestimento di facciata esterna. Esso è il sub-sistema predeterminato della facciata, mentre gli elementi di rivestimento sono variabili all'interno delle condizioni im-

poste dal sistema di ancoraggio.

### *2.1.3 Personalizzazione dei processi produttivi*

La flessibilità del processo produttivo consente ad un'azienda di poter fabbricare direttamente il prodotto sulle richieste della committenza e superare così quella che può essere considerata una semplice diversificazione di un prodotto realizzato, del tutto o in parte, (come nei casi precedentemente illustrati) in serie, e di trarre il risultato più importante offerto dall'applicazione del paradigma della mass customization: la fabbricazione del pezzo unico.

È quindi evidente come, il sistema della mass customization, spinga le aziende produttrici ad assegnare al prodotto una sempre minore importanza e di spostare invece la propria attenzione sui processi.

Il numero alto di prodotti presenti nel mercato ha infatti accorciato la loro vita, rendendoli economicamente poco sfruttabili (molti di essi, infatti vengono realizzati e venduti in pochi esemplari o addirittura in esemplare unico), mentre i processi, grazie alla acquisita flessibilità, hanno permesso di ridurre il time-to-market dei prodotti, e aumentarne il grado di personalizzazione mantenendo allo stesso tempo contenuti i costi.

Così quelle aziende che passano alla mass customization, abbandonando o affiancando il vecchio paradigma della produzione di massa, investono in processi produttivi meno specializzati, più versatili, facilmente e velocemente modificabili, adattandoli per la realizzazione di prodotti anche molto diversi tra loro.

Un contributo fondamentale alla flessibilità del processo produttivo è dato dal livello tecnologico delle macchine utensili, che possono essere distinte in:

- tradizionali;
- CNC (Computer Numeric Control).

Le macchine utensili tradizionali (ad azionamento manuale o elettromeccanico) sono manovrate manualmente dall'operatore, il quale traduce e trasmette, mediante comandi meccanici, le informazioni rilevate da un disegno o da un campione del pezzo da fabbricare.

Ogni dimensione deve essere valutata, riportata e controllata nel limite delle tolleranze perché il pezzo possa essere realizzato nel migliore dei modi.

L'informazione riportata nei disegni è quindi tradotta dall'uomo in operazioni che la macchina deve eseguire, pertanto la fabbricazione è dipendente dall'interpretazione dei dati da parte dell'operatore e anche dall'errore umano.

Inoltre il flusso produttivo di un sistema macchina-operatore non può certo essere considerato costante nel tempo, poiché dipende da molti fattori legati alla persona che manovra la macchina: dal tempo di fissaggio e scarico del pezzo fino al suo umore durante le fasi di lavoro.

Le macchine utensili tradizionali, laddove è possibile, sono ancora quelle maggiormente impiegate negli stabilimenti produttivi delle aziende di componenti e sistemi per l'edilizia, poiché richiedono un investimento di capitale per l'acquisto notevolmente inferiore rispetto a quello necessario per macchine CNC.

Chi impiega macchinari tradizionali conserva ancora una certa rigidità dei processi produttivi, dovuta soprattutto al tempo necessario per l'attrezzaggio e la lavorazione, e spesso l'applicazione del paradigma della mass customization non esclude quello di produzione di massa: la possibilità di personalizzare i prodotti che viene offerta alla committenza, infatti, è spesso per l'azienda, un'occasione per indagare gli orientamenti della domanda di mercato ai quali rispondere ancora con i sistemi di produzione di massa che impiegano proprio questo tipo di macchinari.

Un caso esemplificativo, anche se avulso dal settore delle costruzioni, è quello della famosa azienda americana di abbigliamento e accessori sportivi Nike che, attraverso il proprio sito internet, offre la possibilità ai suoi utenti di personalizzare le proprie scarpe scegliendo la colorazione, all'interno di una gamma precisa, delle sue diverse parti (lacci, suola, marchio, etc.), e di condividere le proprie preferenze con tutta la community.

In questo modo Nike monitora gli orientamenti di mercato, disegnando le nuove collezioni, dirette agli scaffali dei negozi, seguendo le preferenze esplicitate dagli utenti del proprio sito web.

La personalizzazione del prodotto realizzato con l'ausilio delle macchine utensili tradizionali risulta perciò essere vincolata ai processi adottati per la parallela produzione seriale svolta dall'azienda stessa.





2.3 Il sito internet Nike, mette a disposizione dei propri clienti la possibilità di personalizzare sul web le proprie calzature

Essa viene effettuata variando:

- gli accessori delle macchine utensili (ad esempio nel processo di estrusione dell'alluminio o del laterizio, i diversi profili vengono ottenuti sostituendo semplicemente la matrice, che può venire realizzata appositamente per realizzare un pezzo specifico);
- regolando alcuni parametri della produzione (come l'intervallo tra un taglio e un altro di una macchina sezionatrice per variare la misura di un pannello, o i tempi di stagionatura e la temperatura di cottura degli elementi in laterizio);
- aggiungendo od eliminando alcune lavorazioni (un caso esemplare è quello della colorazione, fase della fabbricazione che può facilmente essere aggiunta o eliminata).

Tutte queste operazioni, possono essere compiute, generalmente in un tempo abbastanza breve (la sostituzione e la calibratura della matrice per l'estrusione, ad esempio, richiede un tempo inferiore ai dieci minuti) ed evitando di alterare in modo consistente la filiera produttiva per ridurre il rischio di interrompere la continuità del flusso di produzione della fabbrica che provocherebbe considerevoli perdite in termini economici per l'azienda.

La personalizzazione risulta essere così vincolata ai processi di produzione seriale dell'azienda.

Tuttavia, la produzione di prodotti customized, nelle aziende che impiegano macchine utensili tradizionali, richiede alcuni costi aggiuntivi (come ad esempio la fase di ricerca e sviluppo che anticipa la realizzazione del componente e/o sistema o la realizzazione di accessori speciali per la fabbricazione) che

2.4 Macchina CNC da taglio al plasma.

2.5 Macchina CNC da taglio con getto d'acqua



possono essere non addebitati al cliente a fronte di una quantità minima di pezzi da produrre (come rilevato nell'indagine presentata nel paragrafo successivo).

Con l'introduzione delle macchine CNC, nate dal connubio tra meccanica ed elettronica, questi limiti sembrano potere essere facilmente superati.

Queste macchine sono "controllate" dal computer, attraverso software specifici: l'operatore si trasforma così da manovratore a programmatore.

I dati per la fabbricazione vengono immessi nel computer e trasferite poi direttamente alla macchina utensile, senza che l'operatore debba occuparsi di rilevarli o interpretarli, poiché, in questi sistemi è il software a fare da tramite tra il dato e la sua "realizzazione", istruendo automaticamente la macchina che eseguirà tutte le lavorazioni.

I dati elaborati attraverso i softwares CAD (Computer Aided Design), vengono così trasmessi ai macchinari da un computer centrale attraverso softwares CAM (Computer Aided Manufacturing).

Esse permettono di impiegare direttamente le informazioni generate dall'architetto durante l'elaborazione del progetto, sviluppato utilizzando i software CAD, per programmare le macchine a controllo numerico impiegate per la fabbricazione dei pezzi.

L'utilizzo del software CAD, in questo caso, non è più limitato alla visualizzazione di immagini o a velocizzare la redazione di elaborati grafici, ma è esteso alla generazione delle informazioni necessarie per la costruzione del progetto stesso.

Le nuove possibilità consentite dallo sviluppo delle tecnologie informatiche per la progettazione e la fabbricazione offrono l'opportunità di rinnovare il rap-

porto tra il progettista e l'industria di componenti e sistemi per l'edilizia, e tra il progetto e la sua costruzione.

La produzione che avviene per mezzo delle tecnologie informatiche per la produzione è denominata Digital Fabrication (letteralmente fabbricazione digitale).

## **2.2 Mass-customization: un'indagine sul campo**

*Criteria per la selezione delle aziende parte del campione significativo di indagine – La struttura del questionario rivolto alle aziende – Obiettivi prefissati dalle aziende per il salto di paradigma e le strategie di marketing applicate per l'ottenimento di nuove quote di mercato – Individuazione dei processi impiegati per la produzione di prodotti customized per l'edilizia – Gli orientamenti futuri della produzione mass customized – I servizi di supporto al progettista messi a disposizione dalle aziende*

Allo scopo di eseguire un approfondimento riguardo all'applicazione del paradigma della mass customization nelle industrie produttrici di componenti e sistemi di involucro edilizio è stata svolta un'indagine, sulla base di un questionario a risposta multipla, specificamente elaborato, da rivolgere ai rappresentanti di un campione rappresentativo di aziende operanti sul territorio italiano, relativa agli obiettivi e le strategie che hanno spinto queste aziende al passaggio dalla produzione di massa alla mass customization e alla loro conseguente riorganizzazione.

Le aziende del campione rappresentativo dell'indagine sono state selezionate sulla base di tre criteri:

- la presenza sul mercato antecedente agli anni '80, per includere tra le aziende selezionate solo quelle con almeno trent'anni di attività, un tempo sufficientemente lungo che garantisce la loro capacità di decifrare gli orientamenti del mercato e di rispondere compiutamente alle sue richieste;
- il compimento del passaggio dalla produzione di massa alla mass customization, poiché uno degli obiettivi dell'indagine è quello di individuare le ragioni di questo cambiamento all'interno del settore edilizio;
- la collaborazione, per la realizzazione di almeno un intervento, con progettisti di livello internazionale che assicura il prestigio e la qualità

dei prodotti dell'azienda.

È da premettere che, nel realizzare questa indagine, sono state incontrate diverse difficoltà, dovute alla crisi che sta investendo oggi il settore edile e non solo: le misure adottate per contrastarne gli effetti hanno, purtroppo, costretto in molti casi le aziende alla riduzione dell'organico, impegnando fortemente il personale rimasto nelle attività interne alle aziende, riducendo la disponibilità a collaborare a ricerche come questa, pur non mancando di manifestare il proprio vivo interesse rispetto alle tematiche trattate.

Il campione significativo è costituito da otto aziende tra cui: Schüco Italia, Metra, Sannini Impruneta, Terreal Italia, Metalsigma Tunesi, Halfen-Deha, Teleya e Focchi.

Il numero di aziende comprese nel campione per l'indagine è stato ritenuto sufficiente per l'omogeneità generale delle risposte fornite alle domande del questionario, nonostante i prodotti delle aziende siano molto diversi tra loro, e spazino da semilavorati, componenti e sistemi realizzati in diversi materiali, da quelli tradizionali a quelli più innovativi.

L'indagine è stata estesa all'intero processo realizzativo del componente e del sistema, che va dalla fase di sviluppo del prodotto alla sua realizzazione, coinvolgendo quindi sia aziende produttrici che fornitrici.

Il questionario elaborato per lo svolgimento dell'indagine, è stato suddiviso in quattro parti distinte:

1. mercato;
2. produzione;
3. ricerca e sviluppo;
4. servizi di supporto.

La prima è rivolta a determinare gli obiettivi prefissati dalle aziende nel passaggio dal paradigma della produzione di massa a quello della mass customization e le strategie di marketing utilizzate per l'ottenimento di una propria quota di mercato; la seconda, invece, diretta a individuare i componenti e i sistemi, per cui è più diffusamente richiesta la personalizzazione, definendo inoltre le modalità attraverso cui essa viene realizzata; la terza parte è dedicata a definire gli orientamenti futuri della produzione che applica il paradigma della mass customization attraverso l'analisi degli obiettivi dell'attività di ri-

cerca e sviluppo e le modalità in cui viene condotta all'interno dell'azienda; la quarta ed ultima parte è invece rivolta ad indagare i servizi di supporto al progettista messi a disposizione dalle aziende.

Le domande del questionario sono state personalmente rivolte ai rappresentanti delle diverse aziende incontrati all'interno delle proprie sedi, cogliendo così l'occasione, laddove è stato possibile, per visitare i vari reparti degli stabilimenti, e visionare le diverse fasi di della produzione e dello sviluppo dei prodotti personalizzati.

Di seguito sono riportati i risultati complessivi del questionario (allegato alla ricerca) organizzati nelle quattro parti in cui è stato suddiviso.

### *2.2.1 Mercato*

Le risposte fornite alla prima parte del questionario, riferita agli obiettivi prefissati dalle aziende nel passaggio dalla produzione di massa alla mass customization e le strategie di marketing utilizzate per l'ottenimento di una propria quota di mercato, hanno evidenziato che il salto di paradigma è stato una necessità, a cui, le aziende che non hanno saputo dare risposte adeguate, sono state costrette a cessare la propria attività.

Questo significa che le aziende produttrici di componenti e sistemi per l'involucro edilizio si trovano oramai costrette a cambiare il paradigma produttivo al solo scopo di adeguarsi ai mutamenti della domanda di mercato, per "garantirsi il loro stesso illimitato ciclo di vita, cioè un'illimitata continuità di produzione"(8).

Per far questo le aziende hanno provveduto a massimizzare la propria flessibilità produttiva, per fabbricare prodotti sempre più personalizzabili al fine di soddisfare le richieste specifiche di ogni cliente.

Emerge quindi che il rinnovamento delle capacità dell'industria è stato indotto direttamente dai progettisti, e non da necessità interne alla produzione.

Questo fenomeno è iniziato fornendo ai progettisti servizi di supporto per la definizione delle soluzioni tecniche del progetto: l'industria ha così provveduto a fornire direttamente (attraverso gli incontri e i colloqui) o indirettamente (mediante pubblicità, pubblicazioni, articoli su riviste specializzate, siti internet, newsletter) al progettista i know-how necessari per la definizione tecno-

logica dei propri progetti, contribuendo ad incrementare le sue conoscenze tecniche, che gli hanno permesso, con il tempo di definire compiutamente le proprie necessità; il progettista, dal canto suo, sottoponendo i propri progetti all'attenzione dell'industria, ha invece informato l'industria sulle proprie preferenze ed esigenze, indirizzandola a risolvere, al proprio interno, quelle questioni che avevano provocato il fallimento del processo di industrializzazione dell'edilizia fino agli anni '90.

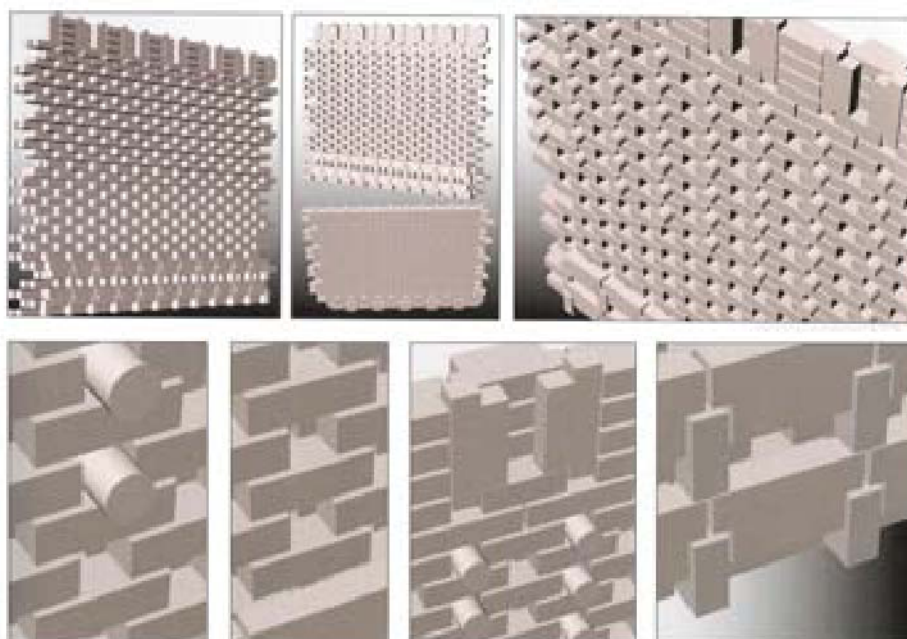
In questo modo l'industria ha iniziato una campagna di fidelizzazione dei progettisti, affidata ai propri tecnici, i quali, sviluppando insieme agli autori del progetto le soluzioni tecnologiche dei componenti e dei sistemi previsiti, hanno contribuito ad un cambiamento importante: *"la questione più rilevante all'interno delle diverse interferenze tra gli operatori nel processo di costruzione di impronta industriale è costituito dal ruolo sempre meno decisivo che è chiamata a giocare l'impresa di costruzioni tradizionalmente intesa, mentre occorre sottolineare la tendenza ad attivare una struttura di gestione che si colloca tra progettista e fornitori e, in alcuni casi, un rapporto diretto tra progettista e fornitore. Si delinea quindi una nuova struttura produttiva in cui il fornitore non è più solamente il produttore ma la figura del processo che è in grado di fornire sia il prodotto che il know how per la risoluzione di problemi progettuali inediti"*(9).

Il paradigma della mass customization viene quindi innescato dalla nuova capacità del progettista di formulare richieste precise all'industria, alle quali, essa è oggi in grado di dare risposte articolate senza dover procedere ad una riduzione delle loro complessità: *"il binomio progettista industria rappresenta un veicolo di diffusione dell'innovazione incentrata sulla produzione o sul miglioramento di sistemi e prodotti, ma non va sottovalutato il ruolo di stimolo per l'industria svolto dai progettisti che fanno della sperimentazione il tema di base della propria ricerca progettuale"*(10).

Questo concetto sembra essere stato ben compreso dall'industria, la quale, al fine di migliorare la propria produzione, aumentando i propri know-how e la qualità dei prodotti, e nella ricerca di fidelizzare il numero più alto di progettisti, esorta loro alla sperimentazione e la creazione di nuovi prodotti attraverso diverse strategie: dalla bandizione di concorsi alla promozione di ricerche af-

fidate a professionisti esterni all'azienda, dalla pubblicizzazione nelle riviste di settore dei progetti realizzati alla loro presentazione all'interno di pubblicazioni a cura dell'azienda stessa, dal riconoscimento delle royalties sui prodotti ideati all'applicazione di forti sconti sulle forniture per la realizzazione di edifici di grande rilievo mediatico.

Solo per citare alcuni tra i tantissimi esempi che sono stati elencati dai rappresentanti delle diverse aziende durante gli incontri, è possibile qui riportare la ricerca "diciottoarchitettiperdiecimattoni" coordinata dall'architetto Pietro Carlo Pellegrini, promossa dalla San Marco, azienda produttrice di mattoni a faccia vista e laterizi per le coperture di tetti, acquisita dal gruppo Terreal Italia, che ha coinvolto diciotto progettisti italiani di livello nazionale e internazionale (5+1, Archea, Alessandro Bucci, Fabrizio Carloncelli, Marco Ciarlo, Cristofani & Lelli, Raffaele Cutillo & Thorsen Kirchoff, Cherubino Gambardella, Ipostudio architetti associati, Netti Architetti, Fabio Nonis, Rendinassociati, Mauro Saito, Luca Scacchetti, Beniamino Servino, Alfredo Vacca, Giovanni Vaccarini insieme ad ESA studio, Davide Vargas) per la realizzazione di diciotto diversi tipologie di mattone a pasta molle, poi pubblicata in un omonimo testo; la Sanini Impruneta ha ultimamente pubblicato il volume "Involuci in cotto. Sistemi innovativi per il rivestimento in architettura"(11) a cura del prof. Alfonso Accella e dell'arch. Guido Giacomo Bondielli, che attraverso una rassegna di progetti realizzati dall'azienda, valorizza il suo rapporto con i progettisti e offre



2.6 Il mattone progettato da Fabrizio Carloncelli per la ricerca promossa dalla San Marco "diciottoarchitetti perdiecimatttoni"

una riflessione sui risultati raggiunti durante le preziose collaborazioni.

Nonostante l'entusiasmo delle aziende intervistate riguardo la personalizzazione del prodotto e la loro disponibilità ad offrire la propria collaborazione ai progettisti nella fase di sviluppo delle soluzioni tecniche per il progetto di componenti e sistemi originali, e, naturalmente, nella loro produzione, esse dispongono di una limitata flessibilità produttiva, dovuta soprattutto alla scarsa dotazione di macchinari versatili per la produzione, costringendo così spesso ad un'organizzazione rigida dell'intero processo di fabbricazione.

La personalizzazione dei prodotti, infatti, viene realizzata, nella maggior parte dei casi, variando i materiali oppure l'assemblaggio dei componenti fabbricati in serie, evitando per quanto possibile la modificazione dei processi produttivi.

Una volta sviluppati e realizzati i componenti e i sistemi personalizzati sulle richieste dei progettisti per un progetto specifico, non sempre essi vengono successivamente distribuiti sul mercato.

Ciò è dovuto a motivi differenti legati sia alle caratteristiche del prodotto, che potrebbero essere così specifiche da non poter essere impiegato in contesti diversi da quello per cui è stato realizzato, o non essere considerato commercialmente valido dall'azienda stessa, sia alle richieste esplicite da parte del progettista o del suo committente, i quali, potrebbero essere interessati a riservarsi l'uso esclusivo.

Anche quando il prodotto così sviluppato non viene diffuso sul mercato, l'azienda entra in possesso di un nuovo capitale, prima di oggi differentemente considerato, il know-how.

Come afferma Rifkin: *"se l'era industriale si caratterizzava per l'accumulazione di capitale fisico e di proprietà, la nuova era privilegia forme intangibili di potere, raccolte in pacchetti di informazione e di capitale intellettuale. I beni materiali, ormai è un fatto assodato, si stanno progressivamente smaterializzando. La produzione non acquisisce più le idee per congelarle in prodotti da distribuire sul mercato. La produzione sfrutta un'opportunità, attraverso la realizzazione del progetto, di acquisire nuovi know-how, nuove informazioni per poter rinnovare ogni volta il proprio sapere, e poter accedere a realizzazioni sempre più complesse"* (12).



L'accumulazione di know-how diviene perciò il nuovo capitale dell'azienda, e il soddisfacimento delle singole richieste del mercato il modo per incrementarlo.

Ciò comunque non esclude che, quando possibile, le aziende cerchino di sfruttare commercialmente i prodotti già sviluppati: alcune aziende, addirittura, incoraggiano i progettisti d'eccellenza a ricorrere nei loro progetti a componenti e sistemi inediti, riconoscendo in cambio poi le royalties, per incrementare il numero di prodotti inclusi nei propri cataloghi.

Si conclude dalle risposte fornite alla prima parte del questionario da parte dei rappresentanti delle aziende coinvolte in questa indagine che l'industria, anche se ha abbracciato il nuovo paradigma della mass customization, non ha definitivamente abbandonato quello della produzione di massa, poiché si rileva ancora, anche se in quantità continuamente decrescente, la presenza della domanda di prodotti seriali.

### *2.2.2 Produzione*

La seconda parte del questionario è rivolta ad individuare quei componenti e sistemi per cui viene richiesta la personalizzazione e a definire i processi attraverso cui essa viene realizzata.

Premettendo che cinque delle aziende selezionate, a fronte di una domanda ancora quantitativamente importante, praticano ancora la produzione seriale di componenti e sistemi, la cui percentuale varia dall'80% al 30% del totale, e che le altre tre, Focchi, Metalsigma Tunesi e Teleya, impegnate nella realizzazione di sistemi di facciata, sono invece in pratica state costrette ad applicare esclusivamente la produzione personalizzata dei propri prodotti, risulta evidente che le richieste di personalizzazione dei prodotti riguardino per lo più componenti e sistemi per l'involucro estemo degli edifici.

Su di esso sono infatti indirizzate le ricerche più interessanti dei progettisti impegnati nelle sperimentazioni di nuove forme e materialità ed è proprio sull'involucro che si concentra la parte più consistente degli investimenti della committenza che delega ad esso la propria rappresentatività.

È per questa ultima ragione che componenti e sistemi personalizzati di facciata vengono impiegati soprattutto per la realizzazione di edifici per uffici.

Naturalmente, a queste motivazioni si aggiungono quelle di ordine prestazionale: l'attenzione crescente per la qualità ambientale si concretizza infatti nell'impiego di dispositivi tecnologici volti alla riduzione dello sfruttamento di risorse energetiche non rinnovabili, da valutare caso per caso, in relazione al contesto, che vengono applicati anche all'involucro stesso.

Il processo di complessificazione formale e prestazionale che caratterizza l'architettura contemporanea ha spinto l'industria ad innovare i propri paradigmi produttivi a cui però non è sempre corrisposto un'innovazione delle tecnologie, soprattutto di processo.

Le macchine utensili impiegate più diffusamente infatti sono quelle di tipo tradizionale, la cui versatilità, come è noto, è piuttosto ridotta, mentre l'utilizzo di macchine utensili a controllo numerico è ancora limitato, e, quando necessario, è affidato ad aziende specializzate che svolgono l'intero lavoro.

La personalizzazione del prodotto avviene quindi variando principalmente i materiali e l'assemblaggio dei componenti, originando comunque una grande varietà di nuovi elementi e sistemi.

La ridotta diffusione dei macchinari a CNC all'interno dell'azienda impegnate nel settore edile, almeno in Italia, è dovuta oltre che all'investimento considerevole di capitale necessario per il loro acquisto, che comunque in questi anni si sta progressivamente abbassando, anche allo scarso interesse ad un loro appropriato utilizzo da parte dei progettisti, i quali spesso neppure sono a conoscenza dell'esistenza di questi macchinari.

Il ricorso a queste tecnologie, per la realizzazione di un basso numero di componenti su misura, diviene economicamente sostenibile, solo quando il progettista partecipa al processo produttivo fornendo le informazioni, nel formato digitale opportuno, necessarie a programmare direttamente i macchinari.

Quando ciò non avviene, l'impiego diviene molto oneroso, poiché è l'azienda stessa, o i suoi fornitori, che deve occuparsi di generare tutte le informazioni necessarie per la loro programmazione.

Questa operazione è piuttosto delicata, poiché, oltre a richiedere tempistiche anche molto lunghe, può originare l'interruzione della produzione dovuta ad errori commessi durante la compilazione delle istruzioni per la programmazione dei macchinari.

L'aggiornamento tecnologico degli strumenti della produzione è quindi interconnesso a quello degli strumenti della progettazione: per la diffusione della digital fabrication, in Italia, bisognerà quindi attendere l'instaurarsi di una cultura digitale che consapevolizzi tutti gli operatori del settore riguardo alle reali potenzialità degli strumenti informatici.

Intanto si registra che in alcune di queste aziende la personalizzazione del prodotto avviene addirittura mediante la lavorazione manuale: all'interno di questi stabilimenti, infatti, la produzione segue ancora il vecchio paradigma della produzione di massa, e la sua interruzione provocherebbe più perdite che guadagni in termini economici.

All'interno della San Marco, ad esempio, la produzione di mattoni personalizzati viene realizzata da artigiani (la cui formazione avviene all'interno dello stabilimento stesso, affiancando per circa due anni il personale più esperto) che si occupano esclusivamente della loro formatura, lasciando le altre fasi del processo di realizzazione (composizione dell'impasto, stagionatura, cottura) agli addetti specializzati.

Prodotti su misura, comunque, vengono realizzati personalizzando il processo produttivo anche in quelle aziende non dotate di macchinari a controllo numerico: nonostante la rigidità delle macchine utensili tradizionali è possibile diversificare i prodotti sostituendo alcuni degli accessori (per esempio, la personalizzazione dei profili estrusi in alluminio avviene, negli stabilimenti della Metra, per semplice sostituzione della matrice all'interno delle presse, similmente a quanto accade per gli elementi in cotto realizzati per estrusione, questa volta all'interno di mattoniere, da Sannini Impruneta) oppure aggiungendo o diminuendo le lavorazioni a cui il prodotto deve essere prodotto (un esempio banale è quello della colorazione del prodotto, che, anche se prevista, può essere richiesto di non eseguirla e viceversa, oppure di utilizzare tonalità non previste in catalogo).

Non di rado inoltre le aziende, per aumentare le proprie capacità produttive ed incontrare il favore di un numero sempre più ampio di nicchie di mercato, si associano insieme ad altre aziende per realizzare nuovi prodotti che combinano i know-how specifici di ognuna.

Il prodotto su misura realizzato attraverso la variazione di materiali, di as-

semblaggio o mediante la personalizzazione del processo produttivo, o dalla combinazione di queste differenti modalità, richiede comunque dei costi aggiuntivi per le aziende, che possono essere determinati da fattori diversi, dalle risorse impiegate per lo sviluppo del prodotto stesso all'acquisto di accessori specifici dei macchinari.

I costi aggiuntivi vengono sostenuti dalle aziende selezionate solo quando l'ordine supera un quantitativo medio di 1000 mq di superficie, e vengono accollati al cliente per quantità inferiori.

Questo dato è piuttosto significativo, poiché limita l'applicazione della produzione personalizzata realizzata attraverso le tre modalità sopraelencate a interventi di grandi dimensioni, escludendo così gli edifici medio-piccoli che compongono gran parte del tessuto urbano del territorio italiano.

Si spiega in questo modo la grande richiesta presente ancora sul mercato edilizio di prodotti standardizzati.

Questa parte del questionario oltre alle capacità produttive dell'industria impegnata nella fabbricazione di componenti e sistemi ha evidenziato i limiti del nuovo sistema produttivo della mass-customization e della sua applicazione, denunciando la mancanza di una cultura digitale diffusa tra gli operatori del settore che promuova l'impiego delle nuove e avanzate tecnologie informatiche per la progettazione e la produzione.

L'applicazione della digital fabrication, il cui costo non è legato al numero di pezzi da produrre, permetterebbe di estendere anche ad interventi di dimensioni ridotte i vantaggi portati nel settore delle costruzioni dalla mass customization: la realizzazione di componenti e sistemi che soddisfino le specifiche richieste dei progettisti con il controllo qualitativo permesso dalla produzione industriale.

### *2.2.3 Ricerca e Sviluppo*

La terza parte del questionario è rivolta ad indagare proprio gli orientamenti futuri della produzione industriale in relazione all'applicazione del paradigma della mass customization, pertanto le domande sono indirizzate ad analizzare le attività di ricerca e sviluppo condotte dalle aziende selezionate.

Esse sono principalmente svolte dagli uffici tecnici il cui ruolo è quello di me-

diare tra le richieste dei progettisti e le capacità produttive dell'azienda, provvedendo alla definizione delle soluzioni tecniche.

Il lavoro svolto dall'ufficio tecnico è considerato di fondamentale importanza all'interno delle aziende che hanno adottato i paradigmi della mass customization, in quanto, non di rado, esse assumono incarichi senza ancora possedere i know-how necessari per la realizzazione della commessa ed è compito del personale di questo ufficio di svilupparle.

La ricerca è quindi per la maggior parte dei casi orientata a risolvere gli aspetti tecnici di uno specifico progetto piuttosto che ad individuare possibili scenari relativi al sistema della mass customization o a sperimentare determinate tecnologie produttive.

In questo contesto si rileva che l'innovazione non emerge da un'attività di ricerca condotta all'interno dei laboratori dall'azienda per allargare gli orizzonti tecnologici (research push), ma piuttosto essa nasce dalle esigenze espresse dai progettisti che le aziende si impegnano a realizzare (demand pull).

Le ricerche di carattere generale, i cui risultati richiedono un livello di cultura tecnologica molto elevato e non riferito ad un unico settore per essere raggiunti, e che spesso non trovano un'applicazione immediata, sono infatti affidate dalle aziende alle università, e sono generalmente dirette a reperire indicazioni riguardo allo sviluppo di un nuovo prodotto piuttosto che all'individuazione di nuovi processi produttivi.

Questo dato rivela un grande interesse da parte delle aziende allo sviluppo verso prodotti da poter produrre in serie in ragione della loro richiesta sul mercato, e conferma come il settore delle costruzioni sia oggi ancora in una fase di transizione tra il sistema della produzione di massa e quello della mass customization.

Mentre chi lavora secondo il primo sistema impegna le proprie risorse alla ricerca dell'innovazione di grande portata da cui originare un nuovo prodotto da produrre in serie e lanciare verso ad un vasto e non identificato numero di consumatori, chi passa alla mass customization, generalmente, rivolge invece l'attività di ricerca verso affinamenti gradualmente dei prodotti e soprattutto dei processi, con l'obiettivo di conseguire l'innalzamento del proprio livello tecnologico per raggiungere una maggiore flessibilità produttiva acquisendo

la capacità di fabbricare un'alta varietà di pezzi rivolti a soddisfare le esigenze di precise nicchie di mercato.

Le aziende selezionate, ciascuna impegnata nella produzione di prodotti personalizzati, sono invece alla ricerca di un nuovo prodotto che possa garantirgli una quota sempre più alta di mercato.

L'abbreviazione del ciclo di vita dei prodotti, inoltre dovrebbe scoraggiarle a perseguire questo obiettivo e spostare la loro attenzione verso i processi produttivi, che invece si sforzano di mantenere inalterati, in ragione del capitale di investimento che il loro rinnovamento richiede.

L'attività di ricerca condotta dalle aziende selezionate risulta quindi essere indirizzato verso la soluzione di questioni contingenti, a cui risponde solo parzialmente attraverso modalità costruttive innovative.

Questo è dimostrato dalla tendenza di limitare la personalizzazione del prodotto all'assemblaggio di elementi prodotti in serie, o nella semplice variazione di questi, applicando o diminuendo le lavorazioni programmate al fine di innalzare il livello prestazionale e migliorare l'espressività dei prodotti.

Aziende impegnate fin dall'inizio della propria attività nella realizzazione di progetti complessi, come Permasteelisa, hanno da sempre orientato la ricerca allo sviluppo di tecnologie evolute, ma come afferma Marc Zobec, direttore del reparto R&D dell'azienda veneta sopracitata, *"l'alta tecnologia paga in termini commerciali nel momento in cui soddisfa le esigenze del cliente, non paga quando le richieste del committente sono inferiori a ciò che noi proponiamo"*(13).

Si conclude che il processo di rinnovamento dell'industria edilizia iniziato oggi, potrà compiersi soltanto quando tutti gli operatori del settore edilizio prenderanno parte alla sua trasformazione sospinta dall'evoluzione delle tecnologie informatiche.

#### *2.2.4 Servizi di supporto*

L'ultima parte del questionario è invece rivolta ad indagare il rapporto delle aziende con i progettisti, analizzando i servizi di supporto tecnico alla progettazione.

Rifkin sostiene che il termine *"servizi"* sia una definizione imprecisa, sfuggente

*e aperta alle interpretazioni più disparate, generalmente include le attività economiche che non comportano la produzione o la costruzione di qualcosa di materiale, che sono transitorie e consumate nel momento stesso in cui vengono prodotte, fornendo un valore intangibile"*(14).

Nonostante la vaghezza della definizione del termine, il suo valore sembra essere stato ben compreso da tutte le aziende selezionate, offrendo ciascuna "servizi" dedicati alla soluzione degli aspetti tecnici del progetto: dallo sviluppo tecnologico del dettaglio alla verifica prestazionale del sistema.

Questi servizi sono erogati dalle aziende sotto forma di consulenze gratuite, fornite durante gli incontri con i progettisti, che avvengono indifferentemente all'interno di uno o dell'altra sede, e generalmente non prevedono alcun impegno da parte di ciascuna delle parti coinvolte.

L'offerta di questi servizi fa parte di una strategia, comune a tutte le aziende, di fidelizzazione del progettista stesso, il quale, ricevendo il supporto tecnico necessario allo sviluppo del progetto da un determinato produttore, tenderà poi a favorirlo al momento dell'affidamento di incarico per la sua realizzazione: la condivisione quindi di risorse intangibili, come informazioni e conoscenze permette a ciascuno di ottimizzare i propri risultati.

Allo stesso tempo questo costituisce un rischio per l'azienda stessa, poiché investe le proprie risorse, mettendo a disposizione know-how e personale, per lo sviluppo di un progetto, la cui realizzazione può successivamente essere affidata ad un'altra azienda, che presenta alla committenza un'offerta semplicemente più economica, con ricadute anche disastrose sul progetto stesso, dato che nella stragrande maggioranza dei casi ciò comporta modifiche anche sostanziali.

Ad ogni modo, mentre il ciclo di vita dei prodotti è sempre più breve a causa dell'accelerazione dell'innovazione tecnologica è proprio sull'attenzione al cliente e sull'efficienza dei servizi che le aziende sembrano orientarsi per stringere relazioni durature e per distinguersi nel mercato sempre più saturo.

La moltiplicazione di figure specialistiche chiamate a fornire il proprio contributo tecnico durante la fase progettuale non ha infatti ostacolato l'industria a stringere un legame di interdipendenza con i progettisti.

Questi ultimi si rivolgono alle aziende produttrici per verificarne la fattibilità ed

esplorare le soluzioni tecnologiche, vecchie e nuove, per realizzare il proprio progetto, valutando sin dalla fase euristica l'opportunità di ricorrere a soluzioni personalizzate.

La sovrapposizione della fase ideativa alla ricerca delle soluzioni tecnologiche congruenti, dimostra un rinnovato interesse per gli aspetti costruttivi da parte dei progettisti, alimentato anche dalla disponibilità del personale delle aziende di fornire servizi di supporto tecnico ancora prima di sapere di avere ricevuto, o meno, la commessa.

Le aziende registrano un continuo aumento della richiesta di componenti e sistemi personalizzati da parte dei progettisti, anche da coloro i quali dimostrano limitate conoscenze tecnologiche.

L'accesso allargato a questi prodotti è consentito proprio dai servizi offerti dalle aziende, le quali possiedono anche le capacità e le conoscenze per sostituirsi interamente al progettista nella definizione stessa dei componenti.

Il contributo del progettista si limita infatti in alcuni casi alla sola produzione di un'immagine generale del progetto da realizzare, mentre l'industria si occupa del suo sviluppo.

Al contrario, di consuetudine, la definizione del progetto e dei suoi componenti e sistemi viene svolta all'interno di una stretta collaborazione tra il progettista e l'industria, attraverso uno scambio continuo di informazioni e disegni, solitamente via internet.

I disegni scambiati sono generalmente digitali, sviluppati con software CAD e dalle risposte alle domande del questionario si rileva che i software sono impiegati esclusivamente nella rappresentazione del progetto disgiuntamente dalle informazioni necessarie alla sua costruzione, la cui elaborazione rimane compito delle aziende produttrici.

Nonostante il riavvicinamento dei progettisti all'industria il rapporto non si è ancora oggi completamente rinnovato, poiché queste due figure, anche se in stretto contatto, operano separatamente all'interno del proprio specifico repertorio di competenze.

Mentre infatti l'industria si occupa di trovare nuove soluzioni tecnologiche per la fabbricazione dei componenti e dei sistemi sulle indicazioni del progettista, quest'ultimo si occupa solamente di valutare le proposte fino a quando una di



queste soddisfa pienamente le sue richieste, e viene adottata all'interno del progetto, rimanendo spesso estraneo ai processi produttivi attraverso cui i prodotti vengono poi realizzati.

In conclusione le risposte fornite al questionario dai rappresentati del campione significativo di aziende ha rivelato che le aziende stanno tutte più o meno lentamente adottando il paradigma della mass customization, e riorganizzando la produzione per cercare di aumentarne la flessibilità, aspettando, laddove i prodotti non posseggono un alto livello tecnologico, a sostituire i propri macchinari.

I limiti quantitativi imposti dai costi aggiuntivi della produzione personalizzata svolta con le macchine utensili tradizionali impediscono l'utilizzo dei prodotti customized anche per interventi di piccole dimensioni.

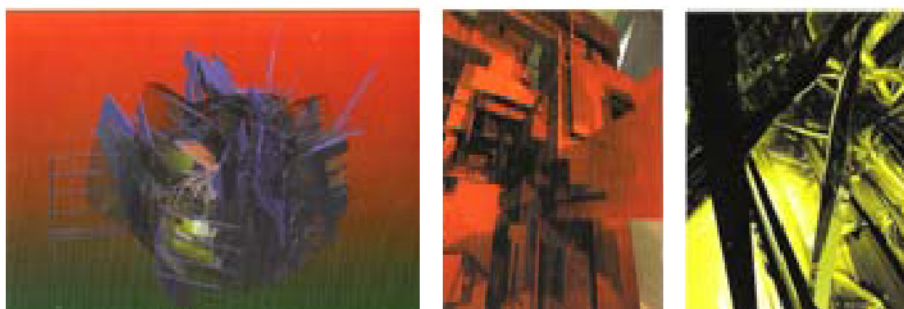
Questi limiti potrebbero essere superati se, all'interno delle aziende di prodotti edilizi, si sostituissero le macchine utensili tradizionali con quelle a controllo numerico, e i progettisti intervenissero direttamente all'interno del processo produttivo utilizzando in modo appropriato le nuove tecnologie informatiche.

Il rinnovamento del rapporto tra progetto e costruzione, nonostante un'adozione diffusa dei paradigmi della mass customization, non è quindi ancora realmente avvenuto, a causa delle limitazioni produttive dovute ad uno scarso sfruttamento delle potenzialità delle nuove tecnologie informatiche, le quali, opportunamente sfruttate, potrebbero già oggi rivoluzionare l'intero settore delle costruzioni.

### **2.3 Oltre il CAD**

*L'introduzione del software per la progettazione – L'evoluzione del software e la sottovalutazione delle sue reali potenzialità da parte dei progettisti – Frank O'Gehry e le tecnologie informatiche  
La digitalizzazione dell'informazione – Il ritrovato interesse dei progettisti verso le tecniche e le tecnologie produttive industriali*

Mentre si assiste ad una generale riorganizzazione delle aziende produttrici di sistemi e componenti per l'edilizia, come rilevato dall'indagine svolta sul campo, aggiornando il proprio paradigma produttivo, la maggior parte dei progettisti sembrano invece ignorare lo sviluppo che in questi anni ha interessato



il settore dei software per la progettazione assistita.

L'utilizzo del computer a supporto della progettazione non è un fenomeno recente, difatti già a partire dagli anni '70, i primi elaboratori elettronici hanno fatto la loro comparsa negli studi professionali.

A partire da quegli anni, ha inizio il lento e faticoso processo di informatizzazione del progetto, che vede in primo luogo il trasferimento della fase di elaborazione grafica del progetto dal tavolo da disegno al computer.

Nonostante che siano quindi oramai quarant'anni dall'introduzione del computer nel settore dell'architettura, il loro utilizzo nella pratica diffusa (almeno in Italia) non è cambiato molto, mentre invece i software anno dopo anno, hanno aggiunto nuove funzionalità e potenziato quelle già presenti.

I software CAD sono oggi, come alla loro apparizione sulle scrivanie dei progettisti, usati semplicemente per velocizzare le operazioni di disegno, aumentare il controllo delle geometrie e facilitare, attraverso specifici comandi, le loro modifiche.

L'applicazione degli strumenti informatici, in questo modo, non modifica inizialmente la pratica progettuale, ma si limita a ridurre il tempo necessario per la redazione degli elaborati grafici.

È con l'introduzione e lo sviluppo dei software di modellazione tridimensionale che invece si assiste ad un cambiamento anche della pratica progettuale.

La modellazione tridimensionale (o semplicemente 3D) è un processo di definizione geometrica di una forma, descritta per tutti e tre gli assi cartesiani, all'interno dello spazio virtuale generato dal software.

Eseguire una sequenza di operazioni per definire la forma tridimensionale di un qualsiasi oggetto è comunemente detto "modellare" e il suo prodotto "modello".

Come verrà analizzato in dettaglio nel prossimo capitolo questi software hanno avviato nuove ricerche formali e spaziali, facendo presto dimenticare ai progettisti la pesante eredità lasciata dai maestri Movimento Moderno, che ha caratterizzato, o almeno condizionato, l'architettura e l'edilizia di tutto, o quasi, il Novecento.

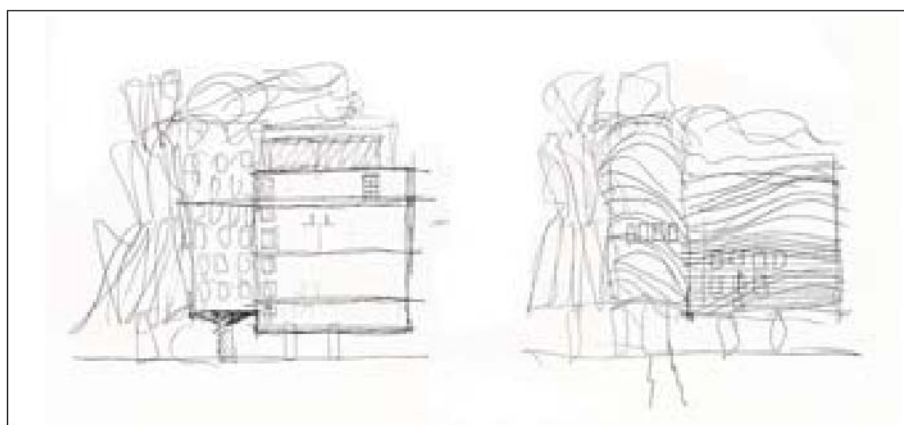
Proprio queste ricerche, che hanno sollevato non poche critiche tra le fila soprattutto di critici e intellettuali, se da una parte hanno contribuito a mostrare alcune potenzialità dei software, attraverso la creazione di forme mai viste prima, al meno in architettura, dall'altra hanno portato i progettisti a sottovalutare le loro possibilità.

I software di modellazione tridimensionale vengono associati fin da subito alla generazione di forme complesse, alimentando una certa diffidenza riguardo il loro utilizzo da parte di quei progettisti non interessati alle morfologie emergenti.

Non sembra essere quindi un caso che un architetto come Frank O'Gehry, che ancora crea le forme sinuose delle proprie architetture tracciando evocativi schizzi con la penna ad inchiostro sulla carta e realizzando numerosi plastici per materializzare i propri pensieri, abbia invece mostrato, forse per primo, le possibilità offerte da questi software.

A tal fine, si ritiene fondamentale, analizzare sinteticamente il processo, sviluppato lungo trent'anni di appassionata pratica professionale, adottato da Gehry per sviluppare il progetto e per costruirlo, utilizzando le tecnologie informatiche per la progettazione e la fabbricazione.

Dopo aver fatto correre sulla carta la propria penna, l'architetto di origini canadesi passa i propri schizzi ai collaboratori, i quali si occupano di tradurli tri-



2.10 Frank O'Gehry,  
Fred & Ginger,  
Praga, 1992-95  
schizzi di studio

2.11 Frank O'Gehry,  
Casa Lewis, modelli di  
studio



dimensionalmente in modelli reali, e non informatici, per eliminare l'astrazione propria del disegno.

Durante la fase euristica del progetto il computer è impiegato esclusivamente per disegnare piante e sezioni funzionali solo alla verifica dimensionale del programma e ad una prima stima dei costi dell'intervento.

Una volta che il progetto viene definito attraverso un processo reiterativo che alterna disegni su carta e modelli solitamente di cartone, si procede alla realizzazione di un plastico finale.

Una volta completato il modello finale si passa alla sua digitalizzazione: tramite un convertitore analogico-digitale FARO, utilizzato originariamente nel settore medico chirurgico per esaminare le vertebre della spina dorsale prima di un intervento chirurgico, le geometrie della maquette vengono trasferite, seguendo diverse tecniche, all'interno di un software, mediante un sistema di punti e rette.

Una volta acquisiti tutti i punti necessari in un modello informatico, vengono generate le superfici coincidenti ad essi, e poi opportunamente risistamate dagli operatori utilizzando il software CATIA.

Completata la conversione del modello reale a quello informatico si generano tre modelli: uno della superficie dell'involucro esterno, uno per la griglia strutturale, e uno per la superficie interna.



2.12 Frank O'Gehry,  
Museo Guggenheim di  
Bilbao, modelli di studio

Dal modello della griglia strutturale si ottiene il modello mastro, ovvero l'unica fonte di informazione del progetto, e insieme al suo sviluppo si dà l'avvio al processo di "razionalizzazione" del progetto, così definito da Glymph, partner dello studio californiano di Gehry, in cui la nota complessità formale delle loro architetture viene controllata numericamente attraverso il software, introducendo regole di fattibilità delle forme.

È proprio la capacità, acquisita impiegando i software di modellazione tridimensionali, di controllare numericamente la complessità che, all'inizio degli anni '90, contraddistingue il lavoro di Gehry e dei suoi partners da quello di altri architetti impegnati ad esplorare le potenzialità dei software nella generazione di forma complesse.

Attraverso il controllo numerico delle geometrie delle superfici, Gehry, acquisisce la possibilità di verificare e gestire la costruzione dei propri progetti, che le imprese costruttrici definivano irrealizzabili (anche solo per le cifre astronomiche che la loro realizzazione sembrava comportare) prima dell'adozione degli strumenti informatici all'interno dello studio.

Il processo di razionalizzazione sviluppato da Glymph permette di controllare ora il progetto non solo dal punto di vista dimensionale, ma anche economico e costruttivo, offrendo la possibilità di modificare le forme in relazione ai diversi aspetti relativi alla costruzione.

Gehry, utilizzando il modello informatico come unica fonte di informazione del progetto, indispensabile per la sua costruzione, dimostra che le funzionalità dei software avanzati, possono andare ben oltre la generazione di geometrie articolate.

L'informazione, in questo processo, diviene quindi esclusivamente digitale, e come tale è malleabile e può essere impiegata per diversi scopi: dalla simulazione grafica alla gestione economica, dalla definizione dei dettagli alla fabbricazione digitale dei pezzi.

È proprio quest'ultimo l'uso più radicale dell'informazione digitale, che permette una rivoluzionaria continuità tra il progetto definito attraverso il modello informatico e la sua fabbricazione digitale.

Grazie al successo ottenuto dal lavoro pionieristico e straordinario di Gehry e la diffusione dei risultati delle sperimentazioni condotte da un numero sempre crescente di giovani progettisti impegnati nell'applicazione dei nuovi strumenti informatici, si assiste, in questi ultimi anni, ad una lenta ma progressiva diffusione dei software avanzati negli studi di progettazione.

Se Gehry e una prima generazione di progettisti "nati con il computer" adottano le tecnologie informatiche allo scopo di realizzare forme complesse e scultoree, una nuova generazione di progettisti applica questi strumenti al fine di ottimizzare l'intero processo costruttivo con l'obiettivo di ridurre i costi e rendere quindi economicamente competitivo il loro utilizzo.

La continuità stabilita tra le informazioni contenute nel modello informatico impiegato durante le fasi di progettazione e le informazioni necessarie per la fabbricazione digitale dei pezzi per la sua realizzazione ha rinnovato non solo il rapporto tra progetto e costruzione, ma anche tra il progettista e l'industria.

Prima dell'adozione dei paradigmi della mass customization da parte delle industrie impegnate nel settore delle costruzioni, la produzione in serie e la standardizzazione, avevano ridotto la pratica progettuale ad una semplice selezione e sistemazione dei componenti stessi, la cui ripetizione indefinita negli edifici aveva creato una monotonia tale da esortare i progettisti ad abbandonare le tecniche industriali ritornando alle tecniche costruttive tradizionali, che garantivano, almeno una maggiore libertà progettuale.

Oggi lo sviluppo delle tecnologie informatiche per la progettazione e la fab-

bricazione riavvicina il progettista all'industria, aprendo nuovi orizzonti tutti da esplorare.

### **2.3 Verso una nuova cultura di processo, di progettazione e costruzione**

*La riorganizzazione del processo edilizio – La cultura artigianale – La cultura industriale – La cultura artigianale high-tech – La cultura globalizzata*

Il rinnovato rapporto tra la progettazione e la produzione industriale, l'alto contenuto tecnologico di sistemi e componenti per l'architettura e la conseguente moltiplicazione delle figure chiamate a dare il proprio contributo tecnico riguardo agli aspetti specifici del progetto (termico, strutturale, ambientale, etc.) concorrono alla riorganizzazione delle tradizionali fasi del processo edilizio (programmazione, progettazione, costruzione e gestione).

La sua sequenzialità si perde in seguito alle strette relazioni che intercorrono tra i diversi operatori coinvolti, chiamati, in tutte le fasi, a partecipare fornendo i propri know-how a supporto di decisioni progettuali e scelte tecniche: *"la prassi del progetto contemporaneo non è infatti più riconducibile a pochi ben identificati modelli organizzativi. Al contrario, essa si caratterizza per una molteplicità di assetti processuali, all'interno dei quali gli operatori assumono ruoli e responsabilità i cui confini risultano spesso sfumati. Si tratta di una situazione di frammentarietà che porta di volta in volta a gestire in modo assai differente il rapporto tra dettaglio e architettura e tra architettura e costruzione e alla quale corrispondono diverse culture del processo e di progettazione e costruzione: dalla cultura artigianale del progetto, dove il ruolo del progettista coincide ancora oggi con quello del mastro costruttore che raccoglie in sé tutte le competenze per potere progettare e costruire, alla cultura industriale del progetto, dove le diverse competenze, riferite spesso a figure professionali con differente formazione, intervengono sequenzialmente sul progetto risolvendo in modo separato e isolato problemi particolari; dalla cultura artigianale high-tech, dove le diverse competenze sono chiamate a lavorare sul progetto con un atteggiamento di collaborazione, alla cultura globalizzata del progetto, dove i problemi vengono definiti e le soluzioni delineate all'interno di una co-*

*munità tecnico-scientifica allargata, sia dal punto di vista del campo di azione di ogni singola disciplina, sia dal punto di vista del numero di competenze disciplinari interessate"*(15).

La cultura artigianale del progetto fa riferimento ad una pratica progettuale e costruttiva di tipo ancora tradizionale, in cui è il progettista che, attraverso un procedimento di elaborazione ricorsiva, individua la soluzione opportuna ricorrendo alle proprie conoscenze tecniche, per risolvere le problematiche progettuali e costruttive.

La cultura industriale del progetto, invece, prevede che la figura del progettista venga sostituita da una serie di figure specializzate appartenenti a settori differenti che collaborano insieme nella elaborazione del progetto.

Questo modello è ad esempio impiegato in alcune società di ingegneria, in cui le diverse figure competenti impiegano le proprie conoscenze specifiche per risolvere le problematiche progettuali e costruttive riguardanti il proprio ambito disciplinare.

L'approccio con cui sono affrontate le diverse questioni è ancora di tipo sequenziale: il rischio in cui si incorre, in questo caso, è che la soluzione progettuale venga raggiunta nel compromesso tra i diversi contributi specialistici e non nella sua autenticità.

La cultura artigianale high-tech assume il progetto come il risultato di un'attività interdisciplinare svolta dalla collaborazione tra diverse figure con competenze specialistiche, in cui il progettista coordina l'intero processo garantendo la coerenza delle singole scelte operate dalle diverse figure rispetto agli obiettivi iniziali.

Ad essa corrisponde la struttura dei maggiori studi di progettazione di oggi: gli specialisti dei diversi settori lavorano insieme sin dall'inizio indagando il campo delle soluzioni possibili in modo da indirizzare da subito il progetto verso la sua la soluzione finale, la cui autenticità è garantita dal progettista che coordina l'intero processo.

Si sta oggi lentamente affermando, inoltre, la cultura globalizzata del progetto, che vede strutture più o meno articolate fronteggiare progetti di dimensioni e complessità elevate, in tempi anche molto ridotti.

La soluzione progettuale è qui ricercata attraverso il confronto in tempo re-



ale delle diverse competenze, il cui punto di forza, come fa notare Andrea Campioli, è ciò che nella ricerca sociologica e antropologica è definita come "intelligenza collettiva", locuzione impiegata da Pierre Levy per indicare *"un'intelligenza distribuita ovunque, continuamente valorizzata, coordinata in tempo reale, che porta a una mobilitazione delle competenze"*(16).

L'intelligenza collettiva necessita, per poter essere attivata, di strumenti che permettano agevolmente l'interrelazione tra i numerosi operatori coinvolti nel processo progettuale e la condivisione delle conoscenze specifiche: Fadini sottolinea l'importanza dell'Information Technology come strumento fondamentale per l'attivazione dell'intelligenza collettiva.

Solo facendo ricorso ad essa è quindi possibile fornire soluzioni alle problematiche progettuali così complesse, senza dover procedere ad una riduzione della loro complessità.

Le soluzioni, dato il grande numero di operatori coinvolti, non possono essere ricercate attraverso aggiustamenti successivi, ma l'insieme dei soggetti che appartengono all'intelligenza collettiva sono chiamati a sviluppare il progetto verificandone parallelamente la sua fattibilità costruttiva, coerentemente alle potenzialità del mondo della produzione, parte integrante di questa intelligenza.

La nuova cultura globalizzata, sovrapponendo la fase progettuale a quella di verifica della sua costruibilità, grazie allo sviluppo delle tecnologie informatiche, dissolve definitivamente la sequenzialità del processo edilizio tradizionale strutturandolo in modo reticolare, e avvicina il progetto alla sua costruzione, e il progettista all'industria.

Uno degli aspetti più innovativi della nuova cultura del progettare riguarda l'assunzione degli aspetti costruttivi già durante al fase euristica del progetto: *"l'esaltazione del momento costruttivo, e non solo della sua prefigurazione, viene pertanto recepito e assunto a rango di input per una nuova progettualità, o meglio, per un nuovo e più intimo rapporto progettualità-costruttività, che assurge definitivamente a strumento per il progetto, di cui appropriarsi e utilizzare non solo con finalità pratiche ma anche espressive"*(17).

L'abbandono dell'industria delle costruzioni dei paradigmi della produzione di massa libera la produzione dalle regole imposte dalla serializzazione e dalla

standardizzazione dei suoi prodotti, rivolte alla massimizzazione delle quantità da fabbricare che, per la loro scarsa adattabilità alle esigenze specifiche del progetto e per la monotonia dei risultati formali ottenuti, hanno deluso le aspettative dei progettisti per quasi tutto il secolo scorso..

L'adozione dei nuovi paradigmi della mass customization avvicina nuovamente i progettisti all'industria, capace ora di produrre seguendo nuove logiche qualitative legate alle esigenze dei singoli progetti.

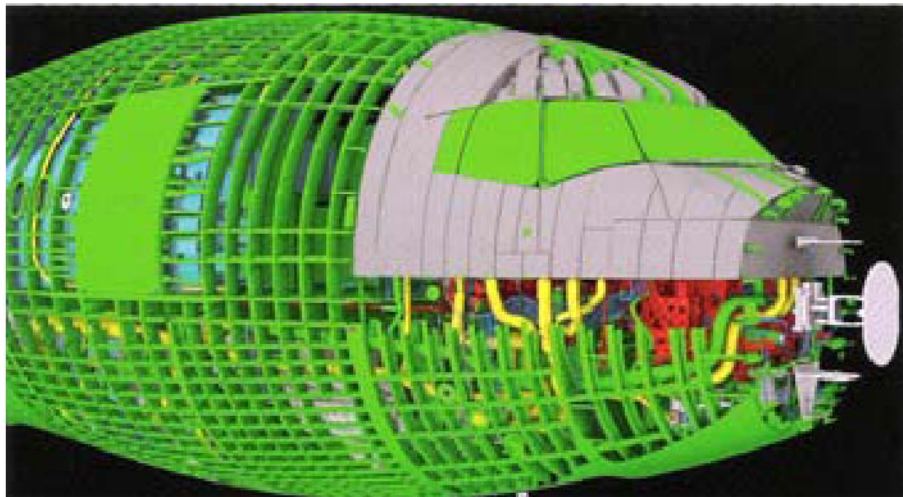
La personalizzazione della produzione, quindi, apre nuovi scenari da esplorare per i progettisti, condotti per mano dall'industria stessa.

## 2.5 Trasferimento tecnologico: dall'industria aeronautica e navale al settore edilizio

*La diffusione delle tecnologie informatiche nell'industria navale e aeronautica – Aspetti comuni di navi, aerei ed edifici – Possibilità di un trasferimento tecnologico a diversi livelli degli strumenti informatici per la progettazione e la fabbricazione nel settore edilizio*

Il trasferimento tecnologico, ossia la trasposizione di soluzioni innovative da un settore ad un altro, è un fenomeno molto diffuso in edilizia: esso si presenta come uno dei modi più efficaci per sfruttare le potenzialità della scienza e dello sviluppo tecnologico e consentire di accelerare la commercializzazione dei prodotti e tecnologie.

Le tecnologie informatiche per la progettazione e la produzione, ed il loro uso integrato, se nell'ambito del settore delle costruzioni sono ancora strumenti utilizzati da un numero ristretto di eletti sperimentatori, anche se in continua



2.13 Il modello informatico della fusoliera del Boeing 777  
76

espansione, sono invece oramai piuttosto diffuse nell'industria navale e aeronautica.

Navi e aerei presentano diversi elementi comuni con gli edifici, e certamente altrettante differenze, che comunque non contraddicono le reciproche similitudini.

Tutti ad esempio, ospitano al loro interno spazi interconnessi tra loro con destinazioni funzionali diverse fruiti da persone.

Questi spazi sono dotati di numerose attrezzature impiantistiche, e sono circoscritti da involucri costituiti da componenti e sistemi uniti tra loro e realizzati con materiali diversi.

Le dimensioni ragguardevoli rappresentano un ulteriore aspetto comune.

Le differenze più rilevanti, invece, riguardano le prestazioni, che per aerei e navi sono molto più elevate: i carichi che devono sopportare, ad esempio, sono superiori a quelli di esercizio degli edifici, sollecitati come sono rispettivamente dall'aria e dall'acqua durante i loro spostamenti.

La loro mobilità, inoltre, è la causa di notevoli stress a cui l'involucro e la struttura di un edificio non sono sottoposti.

Gli aspetti che accomunano navi, aerei e edifici legittimano la possibilità di trasferimento tecnologico degli strumenti e delle tecniche impiegati per la loro progettazione e fabbricazione.

Si può quindi ritenere plausibile che l'impiego delle tecnologie CAD/CAM, oggi già largamente diffuso nell'industria navale e aeronautica, in un futuro poco lontano non possano più essere ignorate dagli operatori dell'industria delle costruzioni.

Da circa ormai due decenni l'applicazione di queste tecnologie ha completamente trasformato la pratica progettuale e produttiva di navi e aerei.

I software informatici di modellazione vengono qui impiegati per la progettazione di tutti i componenti che, una volta assemblati in un modello informatico complessivo, vengono sottoposti a numerosi test e simulazioni condotte al computer, per verificarne il funzionamento, senza dover realizzare per ogni ipotesi progettuale nuovi costosi prototipi.

Il Boeing 767, composto da più di un milione di elementi, è stato il primo aereo ad essere stato progettato attraverso lo sviluppo di un modello informatico



contenente tutti gli elementi, anche i più piccoli, dell'intero aeromobile.

Gli avanzati software informatici utilizzati hanno permesso agli ingegneri e ai progettisti di volare virtualmente all'interno della sua cabina di pilotaggio, ancora prima che l'aereo fosse costruito.

Lo sviluppo che ha investito il settore informatico consente di utilizzare software avanzati e installarli su computer la cui capacità di calcolo è sempre maggiore, offrendo la possibilità di generare in tempi sempre più ristretti diverse soluzioni progettuali offrendo inoltre la possibilità di verificare, sotto diversi aspetti (da quello prestazionale a quello economico, da quello formale a quello costruttivo), la validità delle scelte operate.

Tutto ciò ha decretato la fine dei tradizionali strumenti di progettazione resi obsolete dalla possibilità offerta dal modello di essere interrogato istantaneamente riguardo a vari aspetti.

Lo sfruttamento delle possibilità offerte dai software informatici ha facilitato la collaborazione tra i diversi operatori coinvolti nel processo costruttivo di navi e aerei, causando il definitivo passaggio dal processo costruttivo sequenziale, tradizionalmente applicato anche nell'industria navale e aeronautica, a quello reticolare.

Nel caso dell'industria navale, ad esempio, ciò ha consentito la costruzione

delle navi attraverso l'assemblaggio di sistemi e componenti realizzati su richiesta in luoghi e da aziende differenti tra loro, la cui fabbricazione è stata possibile solamente grazie ad un intenso scambio di informazioni e know-how tra i progettisti e i produttori.

In questi ultimi quindici anni, si sono già verificati diversi casi di trasferimento tecnologico dalle industrie tecnologicamente avanzate a quella delle costruzioni.

Il software CATIA, ad esempio, sviluppato da Dessault per la progettazione del caccia da guerra Mirage, è stato acquistato dal celebre architetto F.O'Gehry per modellare la superficie metallica del Barcelona Fish e poi adottato nella progettazione di tutti gli edifici successivi, e recentemente è stato adottato anche da altri studi professionali.

Molte inoltre sono le collaborazioni che sono avvenute durante questi anni tra progettisti e l'industria navale: il NatWest Media Centre la Lord's Cricket Ground di Londra, progettato da Future Systems, ad esempio, è stato fabbricato all'interno di un cantiere navale in Cornovaglia, trasportato a pezzi nella capitale britannica, e poi montato; così anche le lastre di rivestimento in acciaio inossidabile della sala riunioni della DG Bank a Berlino progettata da Gehry & Partners, sono state fabbricate e poi montate da abili costruttori di navi.

L'applicazione delle tecnologie informatiche hanno rivoluzionato l'industria navale e quella aeronautica: oggi il lavoro di alcuni architetti sembra avere



2.15 F. O'Gehry, DG Bank, Berlino, 2000

dato avvio a questa rivoluzione anche nel settore edilizio.

### Note

(1) De Luca, F., Nardini, M., *Dietro le quinte. Tecniche d'avanguardia nella progettazione contemporanea*, Torino: Testo&Immagine, 2003, pp. 6-7.

(2) *Ibidem*.

(3) Saggio, A., *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, Roma: Carocci, 2007, p 11.

(4) Fabris, G., *Introduzione all'edizione italiana*, in Pine, J., *Mass-Customization. The New Frontier in Business Competition*, Cambridge: Harvard Business School Press, 1992 (tr. It di Formaggio, M., *Mass-Customization: dal prodotto di massa all'industriale su misura. Il nuovo paradigma manageriale*, Milano: Franco Angeli, 1997, p. 11).

(5) Pine, J., *Mass-Customization. The New Frontier in Business Competition*, Cambridge: Harvard Business School Press, 1992 (tr. It di Formaggio, M., *Mass-Customization: dal prodotto di massa all'industriale su misura. Il nuovo paradigma manageriale*, Milano: Franco Angeli, 1997, p. 83).

(6) *Ibidem*, p. 89.

(7) Per un approfondimento sulla definizione del termine si rimanda alla pubblicazione di Lo Ricco, G., Micheli, S., *Lo spettacolo dell'architettura. Profilo dell'archistar*, Milano: Mondadori, 2003.

(8) Cetica, P.A., *L'edilizia di terza generazione: breviario di poetica per il progetto nella strategia del costruire*, Milano: Franco Angeli, 1993, p. 75.

(9) Campioli, A., *Il contesto del progetto: il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali*, Milano: F. Angeli, 1993, pp. 44-45

(10) Losasso, M. (a cura di), *Progetto e Innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Napoli: CLEAN, 2005, p.21.

(11) Acocella, A., *Involucri in cotto. Sistemi innovativi per il rivestimento in architettura*, Impruneta (FI): Sannini Impruneta, 2008.

(12) Rifkin, J., *The age of access*, New York: Penguin Putman, 2000 (tr. It. Di Canton, P., *L'era dell'accesso. La rivoluzione della new economy*, Milano:

Mondadori, 2002, p. 41).

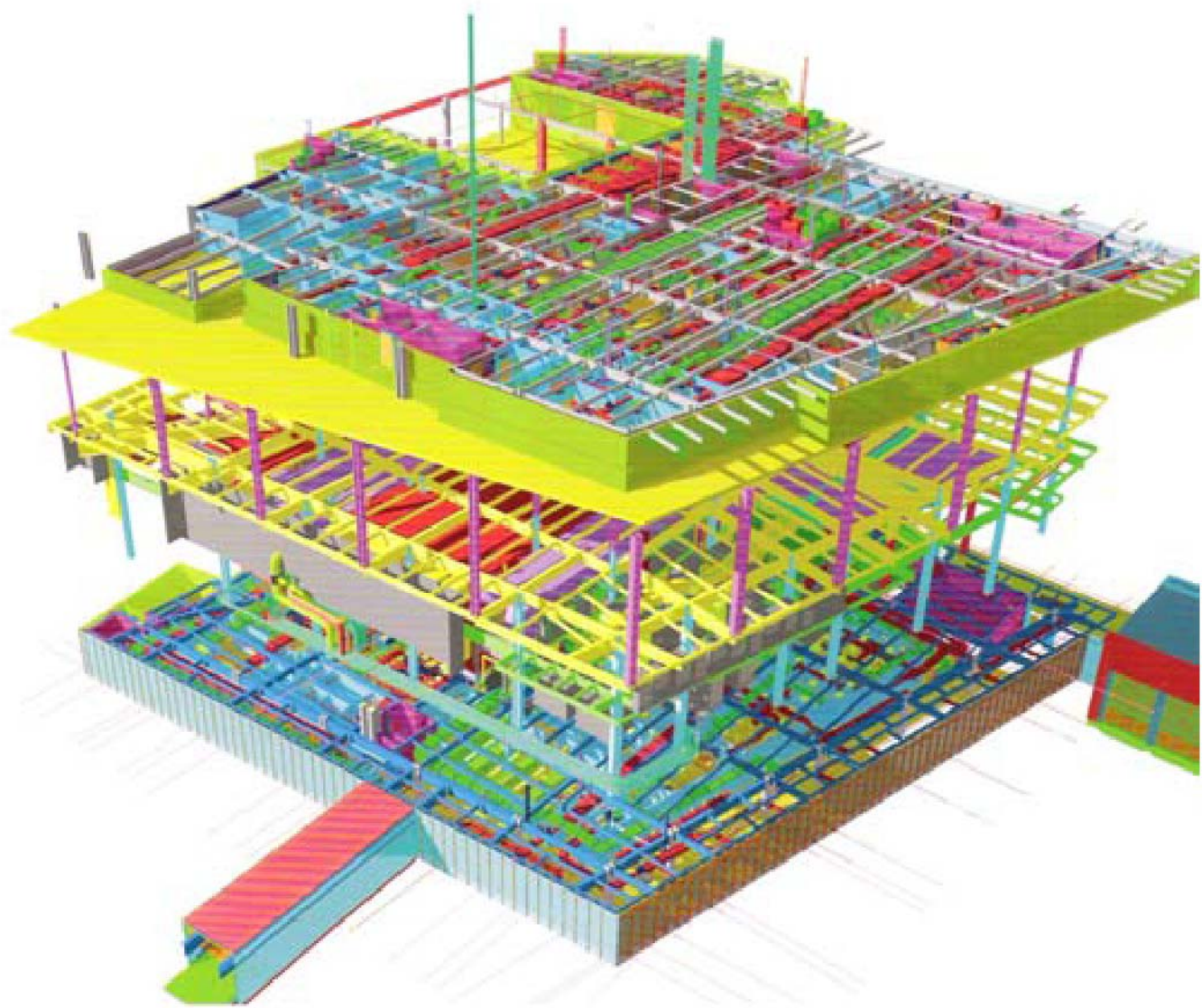
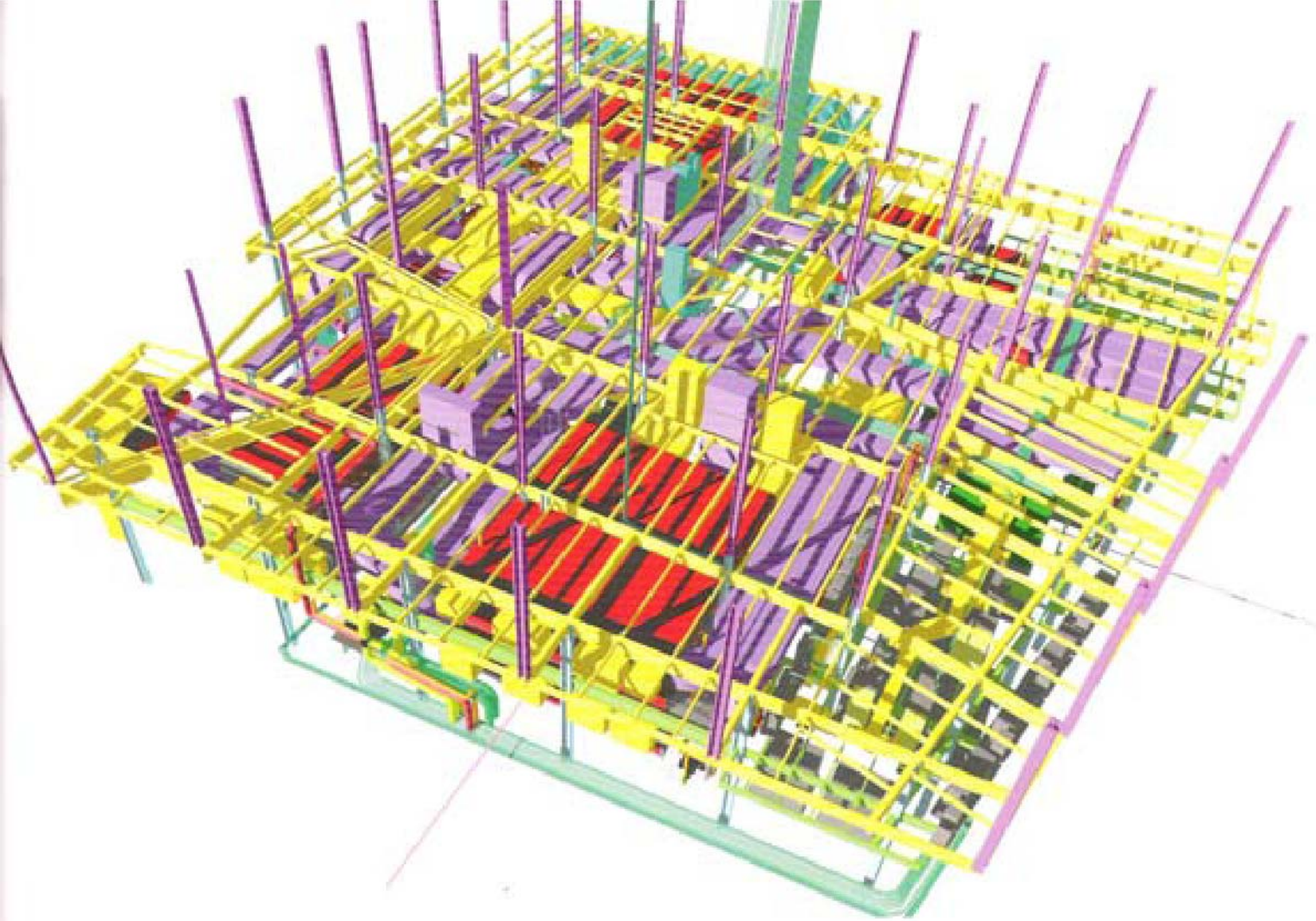
(13) Paoletti, I., "Think globally, act locally", l'esperienza Permasteelisa, in *Modulo*, N. 283, 2002, p. 647.

(14) Rifkin, J., *The age of access*, New York: Penguin Putman, 2000 (tr. It. Di Canton, P., *L'era dell'accesso. La rivoluzione della new economy*, Milano: Mondadori, 2002, p. 115).

(15) Campioli, A., *Idea, progetto, dettaglio*, in Losasso, M. (a cura di), *Progetto e Innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Napoli: CLEAN, 2005, p.85.

(16) Lévy, P., *L'intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace*, Paris: Éditions La Découverte, 1994 (tr. it. a cura di Maria Colò, *L'intelligenza collettiva. Per un'antropologia del Cyberspazio*, Milano: Feltrinelli, 1996, p. 34).

(17) Giallocosta, G., *Riflessioni sull'innovazione. Architettura e produzione edilizia nei regimi di complessità delle fasi storiche di sviluppo del costruire*, Firenze: Alinea, 2004, p. 50.





## Il modello informatico ed il governo del progetto

William J. Mitchel, uno tra i pionieri dell'applicazione dei software CAD per l'architettura nel 1977 scrive: *"la teoria e la pratica in questo campo [informatico] sono state sviluppate a tal punto che si può prevedere con certezza che, durante gli anni '80, l'uso quotidiano delle tecniche di progettazione supportate dal computer trasformeranno radicalmente la pratica dell'architettura"*(1).

Egli qui non si riferisce semplicemente all'utilizzo del CAD come semplice supporto all'elaborazione grafica del progetto, quanto piuttosto come strumento per il controllo dell'intero processo progettuale, dalla fase ideativa a quella esecutiva.

Anche se con dieci anni di ritardo, le previsioni di Mitchell, non solo si sono avverate, ma sono state addirittura superate: a partire dagli anni '90 infatti l'utilizzo degli strumenti informatici si è esteso anche alla produzione di componenti e sistemi per l'architettura.

Dagli anni '90 è iniziato un veloce processo evolutivo di questi strumenti, ancora oggi in atto, che sta condizionando la pratica progettuale e quella costruttiva.

Anche se un numero sempre crescente di progettisti sta iniziando a sperimentare le nuove tecnologie, esse non hanno ancora provocato significativi mutamenti nella pratica diffusa, e lo scenario delle settore delle costruzioni permane bloccato in un equilibrio precario tra le spinte delle tecnologie innovative e il mantenimento di una radicata cultura costruttiva.

Mentre si assiste oggi ad un continuo sviluppo dei software per la progettazione finalizzato ad estendere le loro funzionalità oltre la semplice rappresentazione, i progettisti continuano ad utilizzarli semplicemente per velocizzare la produzione degli elaborati grafici del progetto, dimostrando, come sostiene Branco Kolarevic che le ragioni della resistenza al cambiamento del settore edilizio sono di ordine culturale più che tecnologico(2).

Il numero di software e applicazioni diffusi sul mercato è tutt'oggi in espansione, tuttavia è possibile distinguere, in via del tutto empirica, quelli più comunemente usati dagli operatori del settore delle costruzioni in tre tipologie(3):

- digitale per la rappresentazione;

3.1 Craig Brimley, Jorge Gomez, Building for the third Century, il modello informatico

- digitale per il calcolo e la simulazione;
- digitale per l'integrazione e la velocizzazione del processo.

I software per la rappresentazione del progetto, negli ultimi venti anni hanno subito un importante processo di sviluppo: oltre alla semplificazione delle interfacce grafiche che ne facilita l'utilizzo, si sono unite alle normali funzioni di disegno bidimensionale tools (strumenti) per la modellazione tridimensionale.

La modellazione 3D si differenzia dal rendering, nonostante possano venire eseguiti mediante uno stesso software.

Il rendering è un processo che a partire da un modello tridimensionale, consente di assegnare alle sue superfici informazioni come la trasmittanza, la lucentezza, la trasparenza, la texture, etc., e impostando alcuni elementi della scena, rende possibile generare un'immagine bidimensionale, determinando le porzioni visibili ed elaborando le proprietà degli oggetti e le interazioni tra di essi.

La differenza tra i programmi di rendering e quelli di modellazione tridimensionale è sostanziale: il primo elabora le informazioni al fine di restituire un'immagine verosimile, che risulta spesso essere imprecisa, parziale, e soggettiva del progetto, mentre il secondo, formalizza nel modello 3D tutte le informazioni oggettive relative alla sua geometria.

Più semplicemente, attraverso i software di rendering, è possibile "scattare" delle foto del modello tridimensionale, e in base alle informazioni aggiunte, produrre immagini che ne simulano l'aspetto reale.

Mentre i programmi per il rendering sono spesso usati per creare rappresentazioni accattivanti del progetto da mostrare ai clienti, quelli di modellazione tridimensionale sono impiegati per generare tutte le informazioni necessarie per la descrizione del progetto.

I programmi per il calcolo hanno oggi allargato il loro campo di applicazione, originariamente limitato all'analisi strutturale estendendolo all'analisi di differenti aspetti prestazionali del progetto come quello acustico, impiantistico, della trasmittanza, etc.

Tra le più utilizzate per i progetti è l'analisi degli elementi finiti che consente il calcolo diretto delle forze e delle dimensioni degli elementi di forma comples-

sa.

Essi sono utilizzati per lo più da ingegneri e consulenti, e mentre inizialmente erano impiegati solo nelle fasi finali del progetto, stanno trovando oggi una loro applicazione anche durante la fase euristica, poiché consentono di valutare con precisione i livelli prestazionali, e individuare le soluzioni più performanti. Le tecnologie per l'integrazione e la velocizzazione del processo sono, tra le tre tipologie di applicazioni presentate, quelle più recenti.

Esse consentono ai diversi operatori coinvolti nello sviluppo del progetto di elaborare e condividere le informazioni, permettendo di raccoglierle all'interno di una unica piattaforma variamente condivisibile.

Riportando in apertura a questo capitolo le principali tipologie di software che si stanno diffondendo oggi tra gli operatori del settore delle costruzioni, si intende mettere in evidenza come il loro utilizzo, dopo una fase iniziale di entusiasmo che ha avuto come protagonisti proprio i progettisti, si stia spostando dalla esclusiva generazione di inedite forme e spazialità, al controllo globale del progetto e della sua realizzazione, allargando l'orizzonte delle possibilità operative del progettista.

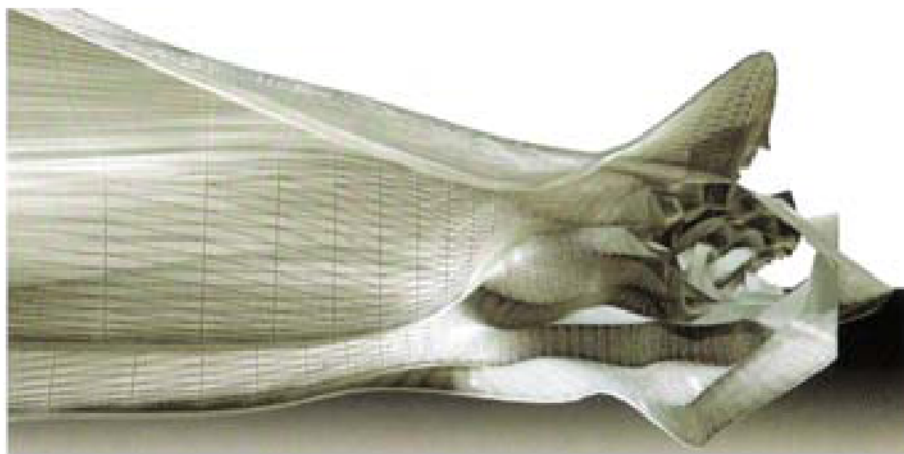
### **3.1 Architettura e computer**

*I computer come strumento generativo di forme e spazi – L'informatica e il distacco dalla precedente cultura architettonica – La modellazione tridimensionale e l'architettura di forma complessa  
La deformazione come principio guida della generazione della forma – Il distacco dai principi del Movimento Moderno – L'involucro edilizio e l'interesse verso la dimensione comunicativa del progetto – I design team*

Gli strumenti informatici per la progettazione stanno oggi trasformando, ad alcuni livelli, sia l'ambito esecutivo che quello speculativo del progetto di architettura.

Il passaggio del disegno manuale e quello computerizzato è avvenuto all'interno del settore delle costruzioni principalmente per velocizzare la produzione degli elaborati grafici.

Tutti i software CAD per la progettazione consentono infatti, attraverso opportuni comandi di modificare agilmente gli elementi del disegno durante le fasi di elaborazione del progetto.



In principio il computer, era esclusivamente impiegato durante le fasi finali della fase progettuale, durante le quali venivano apportate solo alcune modifiche di carattere secondario al progetto.

Parallelamente alla diffusione degli strumenti informatici per la progettazione, e soprattutto in seguito al loro potenziamento nel controllo matematico delle forme e all'allargamento della loro descrizione dall'aspetto strettamente quantitativo a quello qualitativo, si è assistito ad un mutamento nell'utilizzo dei software da parte di una piccola minoranza di architetti "nati con il computer"<sup>(4)</sup>. Per questi progettisti il computer e le rappresentazioni digitali, non sono più semplicemente impiegati a sostituire il lavoro manuale del disegno, ma assumono un carattere propositivo nei processi di generazione della forma architettonica.

Il computer viene eletto dai progettisti di questa generazione come ad esempio Gregg Lynn, Marcos Novack, Karl Chu, Jessie Reiser + Nanako Umemoto, Neil M. Denari, Hani Rashid e Lise Anne Couture, lo strumento per esplorare nuove e molteplici spazialità.

È necessario puntualizzare che, questa evoluzione nell'utilizzo del computer, era iniziata già con architetti e studi di progettazione come ad esempio Daniel Libeskind, UN Studio, Zaha Hadid, e Peter Eisenman, i quali ravvisavano già la necessità di distaccarsi dalla cultura architettonica precedente all'introduzione dei nuovi strumenti informatici di supporto alla progettazione. L'architetto americano Eisenman riassume attraverso queste poche, ma significative, righe, l'esigenza del cambiamento: *"l'architettura ha un serio problema. Nella scienza sono sempre stati compiuti progressi perchè qualcuno*



*non credeva a ciò che il professore gli stava dicendo. Non credeva, in realtà, nel principio di non-perdita della materialità, non credeva nella nozione di tempo narrativo. Non credeva nei termini filosofici di teologia e ontologia, e persino di tipologia. L'unica maniera di progredire in una disciplina, è dislocare la conoscenza. Gli unici discorsi che rimangono sani sono quelli che dislocano i discorsi. Quelli che restano attaccati alla loro teoria, alla loro tradizione, alla loro razionalità muoiono" (5).*

Similmente Ben Van Berkel, co-fondatore di UN Studio insieme a Caroline Bos, descrive così i cambiamenti intervenuti nella pratica architettonica all'inizio della rivoluzione informatica *"il computer rende possibile un completo rovesciamento di molte convinzioni tradizionali e statiche dell'architettura: dalla tipologia delle strutture organizzative all'ordine gerarchico di pianificazione di una struttura, per finire con i dettagli" (6).*

A partire dagli anni '90 lo sviluppo degli strumenti informatici subisce una forte accelerazione, sospinto dalla larga diffusione dei software per la progettazione avvenuta in seguito alla veicolazione, ad opera della stampa internazionale, dei primi risultati della loro applicazione.

È con il passaggio dalla rappresentazione bidimensionale del progetto a quella tridimensionale dei software CAD, tecnologia sviluppata già a partire dagli anni '60 e introdotta nel settore delle costruzioni solo nell'ultimo decennio del Novecento, che alcuni pionieristici progettisti prendono a sperimentare nuove forme e spazialità, avviando, in modo indipendente, interessanti ricerche intorno alle nuove possibilità offerte dagli strumenti informatici.

L'applicazione di questi nuovi software di modellazione tridimensionale con-

sente ai progettisti di allargare i propri domini formali, e di affacciarsi alla geometria non-euclidea.

L'interesse verso gli aspetti formali del progetto si traduce spesso nella generazione di architetture di forma complessa, ossia con superfici non basate sulla geometria euclidea, chiamate comunemente dai progettisti americani, che per primi hanno lavorato alle tecniche per la loro generazione, "blob" (termine che può essere tradotto dall'inglese come "massa indistinta") in riferimento al film omonimo di fantascienza diretto da Irvin S. Yeaworth Jr. e uscito nel 1958. . "Blob Architecture", più precisamente, è una locuzione coniata da Gregg Lynn nel 1995 durante le sue sperimentazioni con "binary large object" (letteralmente, oggetto binario di grandi dimensioni), spesso identificati con l'acronimo B.L.OB.

Le forme complesse delle architetture sono ottenute mediante tecniche derivanti dal concetto generale di deformazione che possono essere distinte tra quelle di alterazione spazio temporale, come il keyframing, il morphing, o la cinematica inversa, o quelle di interazione dinamico-fisica, come metaball, sistemi particellari e modificatori spaziali, i progettisti sfruttano i software di modellazione 3D come veri e propri strumenti di generazione del progetto, impiegando funzioni avanzate come l'animazione e la relazione tra gli elementi. Mentre la prima permette di verificare diversi aspetti dell'organismo architettonico, attraverso una sorta di analisi temporale delle modifiche generate da predeterminati fattori scelti dal progettista, offrendo la possibilità di valutare diverse configurazioni così ottenute e selezionare l'alternativa migliore, oppure di combinarle insieme, la seconda consente di far interagire i diversi aspetti del progetto con altri elementi, come quelli del sito o del paesaggio ad esempio, innescando un nuovo processo di generazione e concettualizzazione del progetto stesso.

Pur non approfondendo l'argomento delle tecniche di generazione della forma, non rientrando nell'ambito di ricerca di questa tesi, è possibile evidenziare, già dalla sintetica e non esaustiva descrizione soprariportata, come la tradizionale corrispondenza tra forma e struttura venga tradita in favore dell'immagine che diviene sempre più autonoma, grazie anche agli sviluppi tecnologici degli strumenti informatici non solo per la progettazione, ma anche

per la fabbricazione, che hanno innescato una nuova relazione tra il progetto e la sua costruzione.

Le ricerche condotte dai progettisti delle nuove generazioni si distaccano prepotentemente dai principi dell'architettura modernista, fondata sulla standardizzazione dei componenti, la tipizzazione delle soluzioni, e la serializzazione dei processi dettate dal paradigma della produzione industriale di massa, rinnovandoli in seguito all'avvento della ristrutturazione dell'industria stessa.

Il nuovo paradigma industriale della mass customization, ha portato i progettisti a pensare in termini di individualizzazione delle soluzioni e di personalizzazione dei processi produttivi dando luogo ad una architettura diametralmente opposta a quella modernista.

Il celebre slogan del Movimento Moderno "form follow function", la forma segue la funzione, è stato aggiornato durante la realizzazione del Barcellona Fish, lo scenografico ingresso a forma di pesce del complesso residenziale e commerciale progettato per il Villaggio Olimpico della celebre città catalana, da Frank O'Gehry: "*form follow skin*", la forma segue la pelle, segnando la fine della corrispondenza tra struttura e rivestimento.

Il nuovo motto, anche se è necessario precisare non essere stato assunto ufficialmente a rappresentare le ricerche dell'architettura contemporanea, svolte dai progettisti in piena autonomia, senza sentire la necessità di unirle all'interno di un unico nuovo movimento, ponendo l'accento sulle differenze piuttosto che sulle somiglianze delle singole ricerche, evidenzia tuttavia l'attenzione comune dei progettisti verso l'involucro estemo dei propri.

L'interesse verso la dimensione comunicativa, narrativa, e per alcuni addirittura simbolica del progetto di architettura, allontana le ricerche condotte dai progettisti che sfruttano le potenzialità del computer dai maestri del Movimento Moderno, e il disinteresse verso la storia, sostituita dalla curiosità verso il futuro e la conseguente fiducia verso la tecnologia le discosta nettamente anche dall'architettura post-moderna.

L'architettura dell'era informatica si presenta come "*una frammentazione di esperienze differenti senza confini di carattere metodologico o disciplinare*" la cui "*unica reale, forma di comunanza è esclusivamente l'utilizzo del computer come strumento di concezione dello spazio in architettura*"(7) e di gestione

del progetto e dei processi per la sua costruzione.

La complessità formale dell'architettura contemporanea, per essere realizzata, costringe i progettisti a ricorrere agli strumenti informatici per la progettazione e la fabbricazione con conseguenze sull'intero processo edilizio.

### 3.2 Dalle forme al controllo del progetto

*Un'opportunità di ripensare il processo edilizio a partire dalla complessità delle forme dell'architettura - L'interrelazione degli strumenti informatici per il progetto e la fabbricazione L'importanza dell'innovazione tecnologica per la realizzazione delle forme complesse - La mass customization dei componenti e il rinnovo del rapporto tra progetto e produzione - le tecnologie informatiche come base per un linguaggio comune tra progettisti e industria - Il processo File to Factory - La collaborazione tra le diverse figure coinvolte nel progetto - I design team - Nuove opportunità per i progettisti*

Se ai suoi albori, l'architettura dell'era informatica, era spesso destinata a rimanere sullo schermo del computer, o venire semplicemente materializzata in qualche sua immagine da stampare sulle riviste, attirando così su di sé molte critiche, lo sviluppo degli strumenti informatici ha contribuito notevolmente a renderla realizzabile.

L'introduzione nel settore delle costruzioni degli strumenti informatici per la progettazione e la fabbricazione non sta contribuendo solamente a rendere le forme dell'architettura sempre più complesse, ma, in questo contesto, sta provocando importanti trasformazioni dell'intero processo edilizio.

Queste architetture sono caratterizzate dalla volontà dei loro progettisti di superare i modelli tipologici, funzionali, strutturali, spaziali definiti lungo il lento e lungo corso della storia, attraverso configurazioni articolate che sono lo specchio del dinamico evolvere della contemporaneità e della sua discontinuità, ed assumono la propria unicità come valore fondativo da perpetuare a tutte le scale del progetto.

La complessità e l'individualità delle soluzioni viene infatti mutuata dall'articolazione volumetrica fino alla definizione dei sistemi e dei componenti che costituiscono un edificio, coinvolgendo tutti gli aspetti, da quelli morfologici a quelli prestazionali, da quelli costruttivi a quelli di assemblaggio.

Il carattere prototipale di queste architetture porta all'invalidazione della sequenzialità in cui normalmente viene organizzato il processo edilizio, richie-



dendo una sua riorganizzazione che consenta agli attori coinvolti di affrontare con efficienza le problematiche specifiche di ogni progetto: *“la complessità formale ricercata in molti progetti contemporanei sta offrendo l’opportunità per un ripensamento della filiera idea-progetto-cartiere basata sul concetto di ingegnerizzazione, per riproporre invece la centralità del carattere esplorativo dell’attività progettuale”* (8).

Allo stato attuale, è ancora molto difficile stabilire un modello operativo preciso, sul quale organizzare il processo progettuale e quello costruttivo per gli edifici di forma complessa: se infatti sono ormai vent’anni che, parallelamente allo sviluppo tecnologico che favorisce l’aumentare dei livelli di complessità prestazionale degli edifici e dei loro sistemi, architetti di tutto il mondo, sperimentando le potenzialità dei software, stanno esplorando le nuove forme non euclidee, dando il via ad un intenso e animato dibattito intorno a molteplici temi ma è solo oggi che si accende l’interesse verso la loro costruzione.

Molti infatti sono i progettisti che, dopo aver acquisito le conoscenze informatiche necessarie, hanno iniziato a “modellare” i propri edifici secondo queste forme ma soltanto pochi sono invece stati capaci di passare ad una loro coerente realizzazione.

Lo sviluppo informatico che ha interessato gli strumenti per la progettazione ha oggi coinvolto, come già anticipato, anche quelli per la produzione, stabilendo una relazione diretta e interdipendente tra progetto e costruzione, che potrebbe portare ad importanti trasformazioni all’interno del settore edilizio.

In questa ricerca la trattazione delle forme complesse è strumentale all’introduzione di queste tecnologie nel settore delle costruzioni, indispensabili per la realizzazione di architetture così articolate.

Prima di procedere ad una analisi degli strumenti informatici per la progettazione (in questo capitolo) e per la produzione (nel prossimo) e ai loro effetti, è necessario restituire un quadro sintetico delle trasformazioni avviate nel settore per condurre il progetto delle architetture di forma complessa alla sua realizzazione.

Se non è possibile identificare o stabilire un modello operativo preciso, si possono comunque evidenziare “tre aspetti” che *“hanno e avranno una portata rilevante (...): innanzitutto l’incrementato rapporto tra le rinnovate potenzialità*

*dell'industria delle costruzioni e il progetto di architettura, e di conseguenza il riassetto delle modalità operative e contrattuali; in secondo luogo la stretta relazione tra forme e innovazioni tecnologiche, dovuta sia all'evoluzione degli strumenti informatici sia al trasferimento di materiali e semilavorati da settori avanzati; infine il nesso, sempre più necessario in tutte le fasi del progetto, tra le diverse figure coinvolte nell'organizzazione del processo edilizio, con particolare riguardo al contributo di specialisti in questioni termiche, strutturali e ambientali"(9).*

Il passaggio al paradigma della mass customization compiuto dall'industria, descritto nel capitolo precedente, sta notevolmente contribuendo a rinnovare il rapporto con i progettisti, e di conseguenza, quello tra progetto e produzione, portando ad una larga diffusione di componenti industrializzati per molti sistemi degli edifici: dalle strutture alle coperture, ma soprattutto l'involucro.

L'industria, oggi, oltre allo sviluppo e alla fabbricazione di prodotti su misura, mette a disposizione dei progettisti i propri know-how per la definizione delle soluzioni tecniche del progetto.

Per questa ragione, come emerso anche dall'indagine condotta presso i produttori (si veda paragrafo 2.2), essa viene chiamata a partecipare all'elaborazione del progetto già sin dalla fase euristica, in modo da anticipare la verifica della fattibilità delle soluzioni individuate rispetto alle reali possibilità produttive dell'industria.

I progettisti impegnati nella realizzazione di architetture di forma complessa, data la singolarità delle soluzioni adottate, sono spesso costretti a ricorrere all'utilizzo di sistemi e componenti customized spingendo l'industria verso tecnologie di prodotto, ma soprattutto di processo, per rispondere alle proprie richieste.

L'introduzione delle tecnologie informatiche ha contribuito fortemente a favorire l'innovazione nel progetto di architettura: concedendo ai progettisti, dotati di una sufficiente conoscenza informatica e capaci di utilizzare consapevolmente i software avanzati per la progettazione, e all'industria, munita di sistemi automatizzati e flessibili per la produzione, la possibilità di scambiarsi direttamente le informazioni sulla base di uno stesso "linguaggio" attraverso le tecnologie CAD/CAM.

L'informatica ha così finalmente concesso ai progettisti e all'industria di instaurare un dialogo aperto e scambiarsi in modo efficace informazioni e know-how, permettendo ai primi di intervenire direttamente nella catena produttiva. Le informazioni elaborate con i software CAD durante l'elaborazione progettuale, contenute all'interno di un file, vengono trasmesse all'industria, la quale, attraverso i programmi CAM, le traduce direttamente in istruzioni per le macchine a controllo numerico che avviano così la produzione: questo processo è denominato File To Factory, ed è spesso indicato con l'acronimo F2F.

Ad esso i progettisti ricorrono molto spesso per fabbricare sistemi e componenti, soprattutto per l'involucro delle architetture di forma complessa, permettendo di realizzare ciò che fino a poco tempo fa era difficile anche solo da immaginare.

Le forme spettacolari degli edifici più rappresentativi dell'era informatica come ad esempio il museo Guggenheim di Bilbao di Frank O'Gehry, il BMW Welt di Coop Himmelb(l)au, la London City Hall di Norman Foster non sarebbero state possibili senza il ricorso a questi processi produttivi.

Se la mass customization ha ridotto la distanza tra il progetto e la costruzione il File to Factory ne ha confuso i confini.

Per questa ragione l'"F2F" può essere considerato uno dei più rilevanti traguardi raggiunti a partire dall'inizio degli anni '90 nel settore delle costruzioni. Il rapporto diretto tra le informazioni elaborate mediante i computer, durante la fase progettuale, e le istruzioni da fornire all'aziende produttrici per la fabbricazione di sistemi e componenti costringe i progettisti a non demandare più le scelte costruttive a opera di cantiere, ma di anticiparle già alle prime fasi del progetto a cui prende parte un numero crescente di consulenti specializzati in diversi ambiti disciplinari.

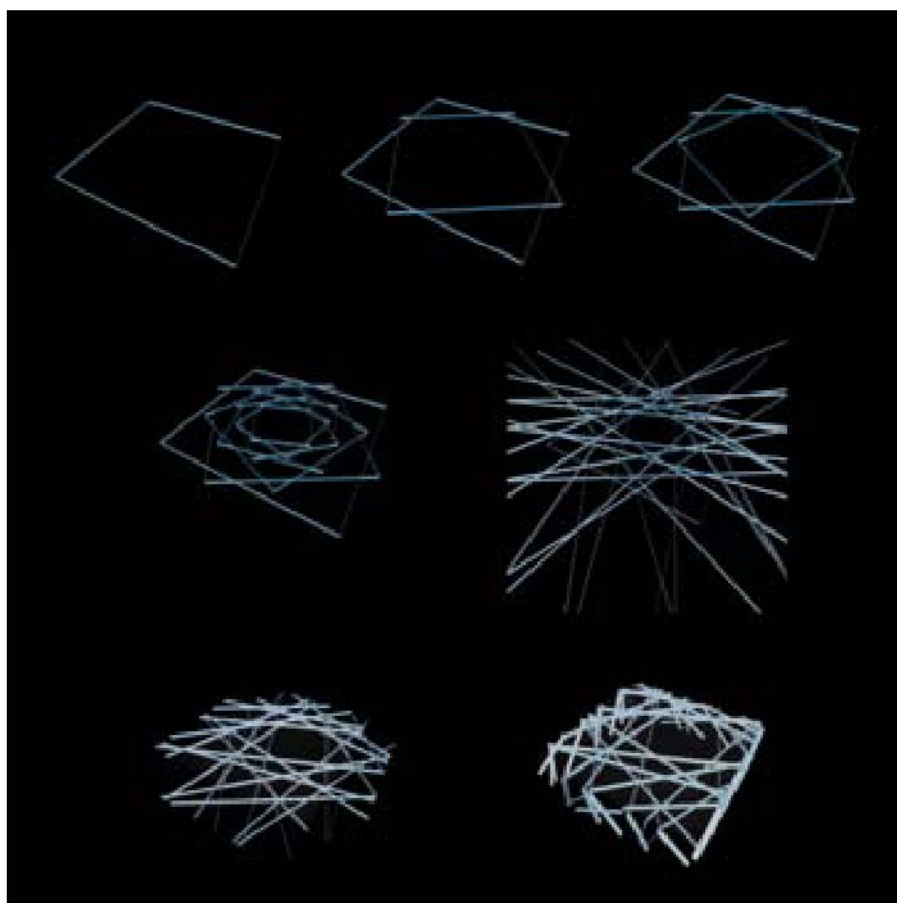
La complessità prestazionale insieme a quella formale comportano una notevole sofisticazione tecnologica del progetto, per la quale si rende necessario il contributo di diversi consulenti per la soluzione di problematiche specialistiche legate ai requisiti funzionali di ogni sistema e componente, nonché dell'edificio stesso.

La partecipazione allo sviluppo del progetto, fin dalle fasi iniziali, di tutte le figure coinvolte nella sua realizzazione, industria, progettisti, consulenti spe-

cializzati è fondamentale oltre che per definire le opportunità e i vincoli tecnici entro cui sviluppare il progetto e individuare le soluzioni tecnologiche per la sua costruzione, anche per mantenere i costi all'interno di una soglia accettabile.

Il ritardo nella condivisione dei know-how tra i diversi attori porta, al contrario, ad un notevole innalzamento dei costi, dovuto alle numerose correzioni, spesso anche significative, del progetto, indispensabili per renderlo coerente con le effettive capacità produttive e costruttive dell'industria e rispondente al quadro prestazionale prescritto dalla normativa e, quando espressamente richiesto, dalla committenza; è altresì evidente che ciò porta anche ad un inevitabile prolungarsi delle tempistiche.

La definizione delle soluzioni, data la complessità non solo formale delle architetture dell'era informatica, piuttosto che avvenire per aggiustamenti successivi, viene raggiunta attraverso il contributo simultaneo delle diverse figure coinvolte: si assiste quindi all'emergere della cultura globalizzata del progetto in cui il risultato finale non consegue dalle scelte effettuate dal singolo proget-





3.4 Toyo Ito,  
Serpentine Gallery,  
Londra, 2002

tista, ma dall'intelligenza collettiva che emerge dalla convergenza di tutte le competenze in gioco.

Si pensi ad esempio al padiglione temporaneo della Serpentine Gallery, realizzato nel 2002 e progettato dall'architetto giapponese Toyo Ito in collaborazione con Ove Arup.

Il piccolo edificio è un parallelepipedo a pianta quadrata, le cui superfici sono attraversate da una moltitudine di linee bianche costituite da lastre metalliche da 550 mm di spessore, che, intersecandosi tra di loro in modo apparentemente casuale, formano la maglia strutturale delle pareti e della copertura.

Il risultato finale è stato ottenuto grazie ad un lavoro sinergico tra il progettista giapponese e Ove Arup, in cui è difficile stabilire chi e in quale misura abbia contribuito alla sua concezione.

Le idee iniziali dei primi schizzi di Ito sono infatti molto lontane dal padiglione realizzato, ed è egli stesso a confermare come Cecil Balmond, vice presidente della Arup, abbia contribuito a suggerirgli *"una serie infinita di idee depositata sulla carta"*(10).

Tant'è vero che la trama strutturale estremamente complessa, che caratterizza l'intero progetto rendendolo *"un oggetto curioso, un'opera d'arte"*(11), come lo definisce Ito, è derivata direttamente da un algoritmo matematico di un cubo che si espande mentre ruota, sviluppato dalla divisione di Arup, Advanced Geometry Unit, composta da un gruppo multidisciplinare di profes-

sionisti centrato sulla sperimentazione software e matematica.

Nonostante i risultati che possono essere raggiunti attraverso la collaborazione interdisciplinare, come dimostrato dall'esempio appena riportato, la moltiplicazione delle diverse figure professionali partecipanti allo sviluppo di progetto per la realizzazione di edifici così complessi, porta con sé diverse criticità che riguardano la suddivisione del lavoro e la sua coordinazione oltre che alla questione della ripartizione delle responsabilità tra le parti coinvolte. Il loro coordinamento influisce in modo non trascurabile sull'efficienza del processo progettuale: un numero alto di persone che operano contemporaneamente su uno stesso progetto porta spesso infatti alla sovrapposizione e alla duplicazione del lavoro che incidono negativamente sulla sua qualità e sulle tempistiche già ridotte.

La sinergia tra i diversi attori è spesso limitata dalla difficoltà di avviare una effettiva collaborazione simultanea, dovuta alle consuete modalità di condivisione delle informazioni riportate nei file di disegno.

Un caso spesso ricorrente, anche nella progettazione di edifici non complessi, è quello in cui progettista, ingegneri, altri consulenti vari, fornitori, etc., adottando un sistema di comunicazione poco efficiente, come ad esempio il semplice e diffuso scambio dei file via email, mancando di aggiornare i disegni secondo quanto indicato da una qualsiasi delle parti in gioco, arrivano a sviluppare progetti anche solo in parte diversi.

Questa imprecisione dell'informazione può avere conseguenze catastrofiche durante le fasi successive di fabbricazione dei componenti e sistemi all'interno degli stabilimenti industriali (soprattutto nel caso si adottino processi File To Factory ) e quelle di assemblaggio e costruzione in cantiere.

Si pensi ad esempio ad un edificio la cui struttura sia costruita da un'impresa in cantiere mentre i componenti dell'involucro siano prodotti in stabilimento, in questo caso, se i disegni sui quali sono realizzati i due sistemi differiscono, si verificheranno durante l'assemblaggio problemi non previsti nella fase progettuale, che porteranno con molta probabilità ad un innalzamento non trascurabile dei costi finali dell'opera.

Lo sviluppo degli strumenti informatici, come riportato all'inizio di questo capitolo, non ha interessato solamente i software per la progettazione ma anche

quelli per il calcolo.

Programmi per il calcolo strutturale, illuminotecnico, della trasmittanza, del carico d'incendio etc. stanno trovando una sempre crescente diffusione tra i consulenti chiamati a risolvere problematiche specificamente tecniche del progetto.

Essi sono utilizzati soprattutto da ingegneri, consulenti tecnici, e dai design team, ossia raggruppamenti di progettisti e specialisti che si dedicano alla soluzione dei problemi tecnici legati alla realizzazione del progetto e alla sua gestione.

Quella dei design team è una realtà che si sta diffondendo, professionisti con competenze diverse costituiscono società che possono essere di diverse dimensioni e più o meno specializzate, che fanno del know-how tecnico delle diverse figure presenti al loro interno la propria forza.

Gruppi come la già citata Ove Arup oppure come Buro Happold svolgono un'attività ad ampio raggio, occupandosi di diversi aspetti: dal supporto al progettista nella definizione degli aspetti tecnici e tecnologici del progetto, al management consulting, da servizi di consulenza all'investimento, al master-planning, e oltre, invece, società come la newyorkese Front operano all'interno di settori specifici, in questo caso le facciate.

Il governo della multidisciplinarietà di questi soggetti è l'elemento essenziale per la loro efficienza.

A differenza di un raggruppamento temporaneo di professionisti che si costituisce in occasione di un singolo intervento, essi hanno la possibilità di allineare efficacemente oltre che le diverse competenze al loro interno, anche gli strumenti da utilizzare nell'elaborazione delle soluzioni del progetto.

Se riunire i diversi specialismi all'interno di un'unica struttura può portare ad una definita suddivisione del lavoro, l'interoperabilità tra gli strumenti impiegati dai diversi operatori assume senz'altro un ruolo importante per la risoluzione dei problemi relativi alla sua sovrapposizione e duplicazione, oltre che per migliorare lo scambio delle informazioni.

L'efficienza di queste società, stanno portando i progettisti a rivolgersi ad esse con sempre più frequentemente, soprattutto quando le soluzioni tecniche del progetto richiedono una ricerca particolarmente accurata verso tecnologie

all'avanguardia.

Anche la committenza sta lentamente iniziando a usufruire dei servizi messi a disposizione da queste società per specificare con una maggiore chiarezza i requisiti tecnici e prestazionali degli interventi che intendono realizzare, in modo che l'esito finale sia rispondente alle proprie esigenze.

Inoltre, prendendo in considerazione fin dall'inizio, tutti gli aspetti tecnici della costruzione, da quelli costruttivi fino a quelli impiantistici, e mettendoli a sistema, è possibile ottenere un considerevole risparmio economico.

Progettisti e committenza però non sono sempre inclini a richiedere il supporto di queste società, considerandone eccessivo il costo da sottrarre al budget complessivo dell'intervento, preferendo piuttosto rivolgersi direttamente alle aziende produttrici e ai consulenti strettamente necessari.

In questo caso rimangono aperte le questioni soprariportate relative alla moltiplicazione delle figure coinvolte nella realizzazione di architetture di forma complessa, le quali possono essere superate solamente a partire da una ridefinizione dei ruoli non solo sotto l'aspetto organizzativo, ma anche contrattuale.

Nonostante le difficoltà che una riorganizzazione del modello edilizio tradizionale così prospettata comporta, essa offre ai progettisti la possibilità di rivedere la propria posizione all'interno del processo edilizio.

Lo sviluppo degli strumenti informatici, il rinnovo dei paradigmi della produzione industriale, e la condivisione dei know-how tra tutti le parti in gioco nella realizzazione di un progetto, consentono ai progettisti di scavalcare i propri confini disciplinari, e ad assumere nuove competenze che permettano loro di partecipare in modo attivo anche alla soluzione di aspetti prettamente tecnici.

Ciò non significa chiaramente che, in un futuro prossimo i progettisti potranno sostituirsi agli altri attori del processo ma piuttosto che, sfruttando le competenze messe a disposizione delle parti coinvolte e coordinandone il lavoro, possano porsi alla guida dell'intelligenza collettiva, e garantire così il controllo di tutti gli aspetti del progetto che riguardano le sue diverse fasi, dall'ideazione fino alla realizzazione.

Assumere questo ruolo all'interno di una numero elevato di figure profession-



ali, significa porsi al centro di un fitto scambio di informazioni, che, data la complessità raggiunta dall'architettura dell'era dell'informatica, possono essere generate e controllate solamente attraverso i software.

Si stabilisce quindi un legame profondo tra progetto e informatica, che va indagato per comprendere quali possibili evoluzioni potranno interessare il settore edilizio in un prossimo futuro.

### **3.3 Dalla rappresentazione dell'informazione all'in-formazione del modello informatico**

*La relazione tra progetto e strumenti per la progettazione – La relazione tra informazione e modello informatico – La progettazione con l'ausilio di strumenti per il disegno bidimensionale – Il modello informatico per la rappresentazione del progetto - Progettare con software di modellazione tridimensionale non parametrici – La modellazione solida, poligonale e NURBS*

Se all'evoluzione dei software di supporto alla progettazione, avvenuta attraverso il miglioramento dell'interfaccia utente, dell'incremento delle funzionalità e di una maggiore precisione nel controllo delle operazioni di modellazione tridimensionale, è conseguito il profilarsi di una nuova architettura, è possibile allora affermare che esiste un rapporto di mutua influenza tra progetto e gli strumenti impiegati per la sua definizione.

Questa affermazione in sé non è nuova, in quanto è stata già evidenziata da Erwin Panofsky, nel suo celebre saggio *"La prospettiva come forma simbolica"*(12) , poi ripreso da Leonardo Benevolo per scrivere la sua *"Storia dell'architettura del Rinascimento"*(13) , dove egli approfondisce la relazione tra l'invenzione del nuovo sistema di rappresentazione prospettica e l'architettura rinascimentale, ma suggerisce la necessità di indagare i nuovi strumenti informatici per comprendere quali possibilità offrano al progettista nello svolgimento della propria pratica professionale, all'interno del contesto descritto nel paragrafo precedente.

Lo sviluppo dei software di modellazione tridimensionale sta inducendo ad un lento e graduale passaggio dalla rappresentazione bidimensionale a quella tridimensionale, la quale, a sua volta sta provocando significative trasformazioni al modo tradizionale di generare le informazioni necessarie alla descrizione

del progetto.

Si rende quindi necessario chiarire prima di tutto la relazione tra informazione e modello informatico.

È interessante a questo proposito riportare qui sinteticamente quanto osservato da Antonino Saggio, professore di Progettazione Architettonica Assistita all'Università "La Sapienza" di Roma, nel suo libro *Introduzione alla Rivoluzione informatica*(14).

Egli illustra e concatena una serie di formulazioni a partire dalla contraddizione relativa alla misurazione di un punto disegnato con la matita su un foglio di carta e il postulato di Euclide, il quale stabilisce che il punto non ha dimensioni, più precisamente *"non ha parti"*.

Saggio procede quindi con una prima formulazione *"chiamo dato il minimo elemento di modifica di una situazione precedente"*, il foglio inizialmente bianco ha ora un puntino (il dato), a cui ne segue immediatamente una seconda *"i dati sono oggetti a molteplici convenzioni"*, stabilendo che per associare un qualsivoglia significato ad un dato è necessario assumere una convenzione, la cui applicazione *"innesca la formazione di un mondo"*.

La parola formazione conduce alla terza formulazione: *"l'informazione è l'applicazione di una convenzione a un dato"*.

Una volta illustrate queste tre formulazioni, Saggio assume come punto di partenza la definizione comunemente adottata del termine *"informazione"*, *"un insieme di dati che ci arriva come un pacchetto sostanzialmente, oggettivamente scisso dal giudizio critico"*, per delineare le differenze tra il mondo tradizionale e quello informatico.

A questo punto egli continua spostando la questione dalla misurazione del punto disegnato sul foglio di carta, alla sua definizione, e seguendo le tre formulazioni sopra riportate, egli considera di assumere una convenzione, che come detto è un'operazione indispensabile per trasformare il dato (il punto) in informazione.

Saggio osserva che a seconda della convenzione che verrà adottata il punto sarà: *"la lettera "o" dell'alfabeto, il numero "0", un ovale matematicamente definito, la proiezione bidimensionale di un volume, una nota semibreve; uno sprite in un montaggio, o addirittura il simbolo di un'altra cosa"*.

Da qui egli rileva che la differenza fondamentale tra il mondo tradizionale e quello informatico è che quest'ultimo informatico è un mondo già formalizzato in partenza", poiché *"noi sappiamo sin da subito entro quale sistema convenzionale ci muoviamo"*.

Dopo aver posto l'evidenza su questa differenza, egli giunge ad una quarta formulazione: *"in informatica non esistono dati, ma sempre e solo informazioni"*, il che porta direttamente alla quinta asserzione *"se in informatica non esistono dati, ma solo informazioni, allora in informatica è tutto informazione"*.

Da ciò deriva che nel mondo informatico, l'informazione è continuamente "informazione", *"una massa fluida"* in attesa di prendere forma.

Saggio prosegue poi, facendo riferimento alla definizione fornita dal dizionario Zingarelli del termine "informare", *"modellare secondo una forma"*(15), per stabilire che le informazioni non sono nient'altro che "gli atti" di questa modellazione.

Da questa definizione deriva il sesto e l'ultimo degli enunciati: *"se in informatica è tutto in-formazione, il prendere forma dell'informazione si definisce modellazione e si esplica nella creazione di modelli" concludendo che "il modello è allora la forma che assumono le informazioni"*.

Se, quindi, il modello informatico generato attraverso i software CAD di modellazione tridimensionale, assume la forma delle informazioni del progetto, e a questo si aggiunge, che non esiste limite al numero di informazioni che possono informarlo, si può allora affermare che attraverso esso è possibile descrivere il progetto, ad esempio un edificio, in ogni sua parte senza ridurne la complessità: ciò significa che il modello informatico non è una rappresentazione di ciò che verrà realizzato, ma è l'edificio stesso, solo collocato all'interno di una realtà fatta di bits anziché di atomi.

Come afferma Smith, collaboratore di Frank O'Gehry *"il modello è la condizione informativa necessaria e sufficiente del progetto"*(16).

L'evoluzione degli strumenti informatici per la progettazione offre un'alternativa all'attuale processo di definizione delle informazioni necessarie alla realizzazione del progetto.

Nella pratica comune, con l'ausilio dei software CAD, queste informazioni vengono rappresentate ricorrendo al tradizionale metodo delle proiezioni ortogo-

nali, secondo un convenzionale sistema grafico di simboli: planimetrie, piante, prospetti, sezioni, vengono elaborati a diverse scale, aumentando di volta in volta il grado di dettaglio dei disegni, i quali sono poi organizzati all'interno di tavole cartacee secondo temi precisi.

La traduzione e l'interpretazione dei simboli permette di accedere alle informazioni contenute nei disegni.

I progettisti che utilizzano gli strumenti di rappresentazione bidimensionale per elaborare il progetto, iniziano usualmente a formalizzare le prime idee tracciando schizzi con la penna su un foglio di carta e costruendo velocemente qualche plastico astratto e approssimativo.

A questa prima fase segue immediatamente l'elaborazione dei primi disegni di piante, prospetti e sezioni, che illustrano convenzionalmente il progetto.

Da questi disegni si estrapolano inoltre tutte le informazioni necessarie per la costruzione delle maquette, realizzate al fine di verificare tridimensionalmente il progetto prefigurato attraverso metodi di rappresentazione bidimensionale.

La ricerca delle soluzioni avviene attraverso successive modifiche degli elaborati grafici, che costringono il progettista a modificare ripetutamente, uno per volta, tutti i gli elaborati, dai disegni ai plastici, oppure quando ritenuto necessario, a ricominciare tutto daccapo.

È evidente come un processo così ripetitivo dell'attività progettuale (lo sviluppo del progetto attraverso questi strumenti) richieda un lavoro paziente da parte del progettista (o del disegnatore) il quale deve porre la massima attenzione a non dimenticare di aggiornare tutti i disegni, per non falsare la rappresentazione del progetto (si pensi ad esempio al progetto di un edificio in cui una finestra viene riportata sulla pianta ma non sul prospetto, quale delle due informazioni è corretta?).

Questo processo può portare il progettista a commettere anche molti errori, soprattutto quando i disegni da modificare sono molti, o, viceversa, quando le modifiche da apportare sono numerose.

Gli effetti di questi errori possono essere anche molto negativi, soprattutto se perpetuati fino alla conclusione del processo progettuale, quando i simboli grafici dei disegni vengono interpretati e divengono informazioni per istruire l'industria e le imprese nella produzione e nell'assemblaggio dei componenti

e dei sistemi dell'edificio.

Si può quindi concludere che i software CAD, impiegati in questo modo, più che degli strumenti informatici di supporto alla progettazione, sono dei semplici strumenti di rappresentazione bidimensionale, al pari dei tecnografi.

Ricorrere all'utilizzo di questi software per la rappresentazione bidimensionale del progetto offre almeno due vantaggi per i progettisti:

- il loro utilizzo è molto intuitivo, e non occorre possedere particolari conoscenze informatiche per adoperare tutti i comandi e gestire il disegno;
- non provocano sostanziali cambiamenti nella pratica progettuale, ma semplicemente velocizzano tutte quelle operazioni che prima venivano svolte con l'ausilio dei tradizionali strumenti per la rappresentazione.

Si può quindi concludere che questo utilizzo dei software CAD può essere vantaggioso laddove il progetto è descrivibile mediante un basso numero di informazioni, ovvero per gli edifici che presentano forme e prestazioni semplici, costituiti da elementi per lo più standardizzati o che presentano una certa omogeneità dei materiali, per cui le operazioni di modifica possono essere effettuate su un numero limitato di disegni, riducendo così il rischio del progettista di commettere errori.

È necessario precisare che i software CAD normalmente impiegati in questo modo nel settore delle costruzioni, ad esempio il noto AUTOCAD, possiedono già funzioni di modellazione tridimensionale, le quali però molto spesso non vengono sfruttate dai loro utenti, se non dopo aver disegnato piante, prospetti e sezioni, per realizzare un modello informatico approssimativo al solo scopo di utilizzarlo per generare immagini fotorealistiche attraverso il rendering.

In questo caso il modello viene impiegato semplicemente per visualizzare tridimensionalmente il progetto, così come si usa un plastico, senza mutare sostanzialmente il modo di definire le informazioni per la sua realizzazione.

I software CAD di modellazione 3D, se utilizzati appropriatamente, possono invece offrire un nuovo ed efficace modo di descrivere le informazioni del progetto.

Già a partire dalla ricerca dell'idea progettuale, attraverso le tecniche di generazione della forma, essi modificano il tradizionale approccio al progetto,

consentendo al progettista di impiegare fin da subito il computer e di visualizzare nelle tre dimensioni il risultato del proprio pensiero.

La creazione di un modello informatico tridimensionale, essendo come detto precedentemente "la forma delle informazioni", permette al progettista di non dover ricorrere a numerosi elaborati grafici per descrivere il progetto, ma di gestirne uno solo.

Ciò porta a ridurre il rischio, durante la fase progettuale, di dimenticare di aggiornare le modifiche in qualche disegno.

È importante sottolineare che l'utilizzo dei software di modellazione 3D non preclude la possibilità di realizzare anche i consueti disegni bidimensionali, ma anzi li facilita.

Essi infatti, sono direttamente ricavabili dal modello informatico attraverso specifiche procedure, o, laddove i software ne siano dotati, mediante appositi comandi.

Piante, prospetti, e sezioni possono così essere ottenuti senza che il progettista, o chi per lui, debba direttamente applicarsi per tradurre, attraverso il metodo delle proiezioni ortogonali, le forme solide del progetto nelle due dimensioni del piano del disegno.

Inoltre se questo processo, nel caso di geometrie semplici, non comporta particolari difficoltà, per quelle complesse, richiede spiccate abilità da parte del progettista (o del disegnatore) che possono comunque rivelarsi non sufficienti per mantenere il controllo del disegno e soprattutto del progetto complessivo, portandolo a commettere anche gravi errori.

Ricavare dal modello informatico piante, prospetti, sezioni, e nel caso esso sia abbastanza dettagliato, anche i disegni dei dettagli, modifica il consueto flusso delle informazioni: mentre infatti comunemente esse sono definite a partire dai convenzionali disegni bidimensionali, impiegati dai progettisti per la realizzazione dei plastici e/o di modelli informatici, informando così tutto il processo progettuale, l'utilizzo dei software di modellazione porta invece a generare le informazioni a partire proprio dal modello informatico.

La possibilità di includere tutte le informazioni del progetto nel modello informatico permette di porre direttamente in relazione tutte le informazioni riguardanti i diversi aspetti: da quello geometrico a quello costruttivo, da quello

impiantistico a quello strutturale, e così via.

Con il tradizionale metodo di rappresentazione, organizzando la descrizione del progetto in un numero alto di tavole, le informazioni vengono restituite in modo frammentato, così può succedere (anche molto spesso), che i disegni tra loro non siano coincidenti e le soluzioni quindi risultino incoerenti.

Aggiungendo che dal modello è possibile estrapolare tutte le informazioni necessarie per programmare direttamente le macchine a controllo numerico per realizzare non soltanto le maquette del progetto, ma anche per la fabbricazione in stabilimento dei componenti, si chiarisce che i software CAD di modellazione tridimensionale non possono essere considerati soltanto degli strumenti di rappresentazione, più o meno complessi, quanto piuttosto, veri e propri strumenti informatici di supporto alla progettazione.

In sintesi l'utilizzo dei software di modellazione tridimensionale per la definizione delle informazioni necessarie alla realizzazione del progetto, rispetto a quello dei programmi per la rappresentazione bidimensionale, offre al progettista i seguenti vantaggi:

- la possibilità di rappresentare il progetto generando disegni e plastici a partire da un'unica sorgente di informazioni, il modello informatico;
- una maggiore controllo dei diversi aspetti del progetto dovuto ad una più efficace interrelazione tra le informazioni.

Il ricorso a questi strumenti porta con sé però anche alcuni svantaggi:

- la necessità di una più profonda conoscenza informatica da parte dei progettisti;
- a fronte della maggiore precisione delle informazioni, la generazione del modello informatico richiede un tempo superiore rispetto all'elaborazione del progetto attraverso i comuni elaborati grafici.

Anche se la diffusione di questi software sta incontrando solo ora un certo favore da parte almeno dei più giovani, il lavoro degli architetti già ampiamente citati come F. O'Gehry, ha fortemente contribuito allo sviluppo dei programmi di modellazione 3D, necessari a realizzare le proprie architetture.

I numerosi tentativi svolti per la rappresentazione non tanto della geometria del progetto del Barcellona Fish, ma delle informazioni necessarie alla sua costruzione ne è un esempio significativo.

Difatti Gehry, dopo aver elaborato il progetto con schizzi a mano libera e una grande quantità di plastici, si scontra con il problema della sua rappresentazione.

A questa fase, nello studio californiano allora sprovvisto dei software avanzati di cui oggi è dotato, normalmente succedeva il rilevamento della maquette finale con gli strumenti tradizionali, e l'elaborazione dei consueti disegni della pianta, dei prospetti, e delle sezioni.

Questa volta però Gehry aveva a disposizione tempi molto ristretti e l'articolazione formale del progetto non consentiva di rilevare con l'accuratezza necessaria il plastico.

Tutto ciò ha portato il progettista a cercare un'altra soluzione per la rappresentazione della sua piccolo ma complesso ingresso al complesso Vila Olimpica Hotel.

Si rivolge così al professore del MIT William J. Mitchell, un pioniere dell'applicazione del CAD nella progettazione architettonica, il quale, traduce con il software ALIAS i modelli di carta e legno del progetto in un modello informatico.

Nonostante esso riproduca fedelmente il plastico ben presto si scopre che non è possibile estrarre informazioni sufficientemente esatte perché il progetto possa essere realizzato.

È in questa occasione che Gehry prende in prestito dall'industria aerospaziale il software CATIA, grazie al quale riesce a produrre tutte le informazioni necessarie alla realizzazione del Barcellona Fish, e successivamente di tutte le altre sue architetture.

Attraverso il programma CATIA viene introdotta anche nel settore delle costruzioni la modellazione NURBS, tecnologia sviluppata nel 1975 dall'azienda aerospaziale Boeing, che va ad aggiungersi a quella solida e a quella poligonale (utilizzata da Mitchell per generare il primo modello informatica del Barcellona Fish) già in uso.

Da allora altri software di modellazione NURBS (più semplici da usare rispetto a CATIA) si sono diffusi nel settore in ragione del controllo non solo grafico ma anche matematico delle geometrie che essi consentono, offrendo ai progettisti l'opportunità di liberarsi dalla rigidità delle forme che a partire dall'inizio



del Novecento dominavano l'architettura.

Per comprendere le differenze che intercorrono tra i diversi tipi di modellazione sopraccitati è utile riportare sinteticamente le loro principali caratteristiche:

- la modellazione solida (Constructive Solid Geometric), consente di generare per estrusione, rivoluzione, e con le operazioni booleane, forme chiuse e rigide difficilmente modificabili e quindi il loro ricorso risulta essere poco adatto durante il processo di definizione del progetto;
- la modellazione poligonale utilizza mesh, ovvero superfici continue costituite da poligoni, generalmente triangoli o parallelogrammi, tra loro contigui e con i vertici comuni. Essa consente di comporre una grande varietà di forme e regolando il numero di poligoni delle superfici è possibile intervenire sul loro grado di accuratezza. Nonostante ciò, il suo impiego in architettura è circoscritto alle prime fasi di elaborazione della forma, in quanto la mesh, descritta da coordinate di punti, risulta essere troppo approssimativa;
- la modellazione NURBS (acronimo di Non Uniform Rational B-Spline che deriva dal nome dell'algoritmo matematico che controlla la creazione del modello) utilizza le curve spline di Bezier (Bezier Spline Curves), cioè *"linee curve continue descritte per le loro caratteristiche di estensione ininterrotta e non solo per la giacitura che assumono nello spazio"*(17). Esse permettono di descrivere un oggetto *"come se fosse un reticolo elastico formato da spline, che possono essere modificate, senza discontinuità, nella curvatura e nell'orientamento"*(18). I software di modellazione NURBS consentono un'ottima operabilità, facilità e precisione nella modellazione, risultando essere quindi gli strumenti più appropriati per la definizione delle informazioni necessarie alla realizzazione del progetto.

Se l'utilizzo appropriato dei software per la modellazione porta verso un nuovo modo di definire le informazioni necessarie per la realizzazione del progetto, lo sviluppo ulteriore di questi software, che sta avvenendo in questi anni, introduce nuove interessanti funzionalità che si pongono, tra gli altri, l'obiettivo di risolvere i problemi sorti all'aumentare delle figure professionali coinvolte nel processo progettuale e realizzativo.

### 3.4 Il modello informatico e l'interconnessione dell'informazione: modellazione parametrica e Building Information Modeling (BIM)

I

*Il modello informatico e l'interconnessione delle informazioni – Progettare per relazioni – Lo scripting e la personalizzazione del software – Applicazioni BIM: uno strumento di condivisione dell'informazione – Le diverse dimensioni del progetto: 2D, 3D, 4D, 5D*

Utilizzare i software come strumenti per la progettazione, e non solo per la rappresentazione, significa impiegarli non semplicemente per creare nuove forme e spazialità, ma anche per ottimizzare l'attività progettuale e lo scambio di informazioni tra i diversi operatori che partecipano allo sviluppo del progetto: cliente, progettisti, produttori, fornitori e un numero crescente di consulenti, etc.

Il carattere esplorativo dell'attività progettuale porta il progettista a ricercare le soluzioni finali del progetto indagando diverse possibili alternative.

Per elaborare differenti versioni di un progetto è necessario produrre ogni volta disegni diversi, nel caso si utilizzino ancora strumenti per la rappresentazione, oppure vari modelli informatici.

Ciò conduce il progettista a impegnare molto del suo tempo nella realizzazione e nell'aggiornamento degli elaborati grafici anziché dedicarsi all'attività progettuale vera e propria.

Le case produttrici di software CAD hanno introdotto da poco nel settore delle costruzioni una nuova famiglia di programmi informatici denominati "parametrici", sviluppati originariamente per il settore meccanico, i quali "*permettono di costruire il progetto architettonico attraverso una (...) catena di relazioni*"(19) e consentono inoltre di svilupparlo "*dalle prime ipotesi concettuali fino alla guida delle macchine che prefabbricano i componenti da assemblare in cantiere*"(20).

Questi programmi utilizzano appunto dei "parametri" per determinare il comportamento di ogni elemento e definire le relazioni tra i componenti del modello informatico: "*le equazioni parametriche definiscono un luogo geometrico (curva, superficie ecc.) non assegnando legami diretti fra le coordinate dei suoi punti, ma esprimendo tali coordinate in funzione di una o più variabili indipendenti (dette appunto parametri), l'eliminazione delle quali porta a una o più relazioni dirette fra le coordinate dei punti di un dato oggetto geomet-*

rico"(21).

I software parametrici legando tra loro i diversi elementi del modello informatico in modo interdipendente, pertanto la modifica di uno di questi genera automaticamente l'aggiornamento di tutti gli altri elementi legati ad esso nel rispetto delle relazioni stabilite dal progettista o dal disegnatore.

I software parametrici permettono quindi di interconnettere tra loro tutte le informazioni contenute all'interno del modello.

Ad esempio, se si stabilisce che un parallelepipedo sia suddiviso in un numero "n" di parti uguali lungo la sua altezza, il cambiamento della grandezza di questa misura, provoca la variazione automatica della dimensione di ogni porzione nel rispetto del vincolo iniziale.

L'integrazione delle feature e degli alberi di costruzione, consente inoltre al progettista di registrare tutte le operazioni svolte durante l'elaborazione del modello informatico in una sorta di albero genealogico che funziona secondo uno schema di dipendenza padre e figlio e consente all'utente di muoversi, in ogni momento, all'interno dell'albero di costruzione, selezionare una feature ed editare e modificare i suoi parametri, da cui segue l'aggiornamento automatico dell'intero modello.

I programmi parametrici permettono così al progettista di esplorare una pluralità di soluzioni variando i parametri senza dovere ogni volta aggiornare uno ad uno i diversi elementi come invece è richiesto nei software non parametrici.

L'agilità con cui è possibile ottenere configurazioni diverse consente al progettista di concentrarsi sulla ricerca delle soluzioni del progetto, piuttosto che dedicare il proprio tempo nell'aggiornamento degli elaborati.

L'utilizzo dei software di modellazione parametrica favorisce l'attività esplorativa del progettista che, costretto all'interno delle tempistiche sempre più ridotte della fase progettuale, è invece oggi portato a mutuare le soluzioni tecnologiche elaborate in progetti precedenti.

Come osserva Bernhard Cache: *"Il modello digitale non riassume soltanto la possibilità di controllare il progetto e il suo livello di qualità geometrica, ma anche il sistema delle sue infinite serie di possibili varianti"*(22).

Questi software sono ancora poco diffusi tra la maggioranza dei progettisti, sia perché introdotti nel settore delle costruzioni solo recentemente, e sia perché



il loro utilizzo richiede conoscenze informatiche anche molto approfondite.

La modellazione tridimensionale infatti può essere eseguita non solamente con appositi tools (letteralmente strumenti) di disegno presenti nell'interfaccia del programma ma anche attraverso scripting: *"un linguaggio di programmazione inserito all'interno del contesto di un software che permette di lavorarci dentro, personalizzarne gli strumenti o crearne di nuovi"* (23).

Attraverso lo scripting il progettista può, in un certo senso, potenziare il software, aggiungendo nuove funzioni o modificandone quelle già presenti, in base alle proprie necessità.

Questi software sono impiegati soprattutto da quei progettisti che sono interessati a generare nuove forme agendo sul "codice" che le descrivono piuttosto che manipolare direttamente la loro geometria con strumenti grafici.

Interessanti risultati sono stati raggiunti attraverso questi programmi, soprattutto sotto l'aspetto tecnologico.

Kas Oosterhuis e Ilona Lénard co-fondatori di ONL ad esempio, sono partiti dal funzionamento di questi software per definire un principio attraverso cui progettare i sistemi strutturali metallici delle proprie architetture sintetizzato dagli stessi progettisti nella formula "one detail one building", letteralmente "un dettaglio, un edificio" secondo il quale strutture tridimensionali spaziali sono declinate a partire da un'asta e un nodo-tipo, dei quali si prevedono lunghezza e angolo di incidenza reciproco, variabili lungo la struttura.

ONL ha già applicato questo principio per i padiglioni Web of North Holland (2002), iWeb (2006) e per lo showroom di automobili integrato ad una barriera

acustica autostradale Hessing Cockpit (2007), ogni volta variando la geometria del nodo e del giunto, e i software adottati.

Le forme fluide degli involucri esterni di queste architetture, tutte ricalcate dai propri sistemi strutturali, hanno in comune di essere doppiamente curve, pertanto risulta impossibile che i nodi e le aste siano tutti uguali tra loro.

I progettisti utilizzano quindi i software parametrici per generare automaticamente tutte le soluzioni specifiche dell'intera struttura a partire dalle relazioni stabilite per definire il nodo tipo e l'asta.

Come afferma lo stesso Oosterhuis *"ogni elemento è unico, ma ogni elemento è sottoposto alla stessa procedura usando valori diversi per le coordinate dei vertici, per gli angoli di rotazione, e per la larghezza delle piastre d'acciaio"* (24).

Sharples Coren, Gregg Pasquarelli, Christopher Sharples Kimberly Golden e William Sharples, co-fondatori dello studio newyorkese SHoP, utilizzano i software parametrici in modo meno ostentato ma altrettanto paradigmatico per generare soluzioni tecnologiche specifiche a partire da una soluzione tipo.

Il piccolo centro culturale De Lisle, costruito nel 2006 nei dintorni della New Orleans post-Katrina è uno tra i primi progetti per cui SHoP ricorre a questi software, spinto dai tempi molto stretti entro cui terminare la progettazione, svolta in loco, all'interno di un container attrezzato semplicemente con due laptop.

Tra i due volumi scatolari dell'edificio disposti a "V" i progettisti hanno collocato un portico caratterizzato dall'andamento curvilineo della linea di giunzione inferiore della struttura lignea delle capriate.

L'ondulazione e la larghezza variabile del tetto, determinano sezioni della struttura sempre diverse tra loro per angolo di incidenza e lunghezza degli elementi.

Il software parametrico è stato utilizzato per declinare automaticamente la soluzione tipo della piastra metallica di giunzione e delle lunghezze dei componenti in legno derivandole dal modello parametrico della struttura.

Gli esempi riportati suggeriscono le potenzialità di questi software, le cui funzionalità sono state spinte ben oltre a quelle di disegno: essi offrono non solo la possibilità di modificare agilmente il disegno variando i parametri, ma sta-

3.6 SHoP,  
Centro culturale De  
Lisle, New Orleans,  
2006, piatti metallici  
di giunzione generati  
mediante i software  
parametrici



bilendo le relazioni tra gli oggetti, consentono al progettista di visualizzare soluzioni da lui ancora non prefigurate, ma di cui ha formulato i principi guida e di applicarle automaticamente all'interno dell'intero progetto.

Il progettista può così elaborare il progetto esplicitando la propria strategia progettuale fissandone le regole piuttosto che le forme, trasformando quest'ultime in variabili dipendenti dalla scelta dei parametri.

L'efficienza attraverso cui è possibile generare e modificare il progetto con i software parametrici offre la possibilità inoltre di migliorare la pratica progettuale.

La partecipazione fin dalle prime fasi del progetto di diverse figure oltre a quella del progettista, necessaria per la realizzazione dell'architettura di forma complessa, ha come ovvia conseguenza l'invalidazione del consueto processo sequenziale della progettazione dove si procede per fasi, congelando ogni volta alcune soluzioni, prima di passare alla fase successiva, definendo in modo progressivo il progetto alle diverse scale.

La moltiplicazione degli operatori che collaborano contemporaneamente allo sviluppo di un progetto richiede invece di unire le diverse competenze per giungere alla soluzione finale attraverso un approccio progettuale non più lineare o sequenziale, ma reticolare.

L'accumulazione orizzontale e non più verticale delle conoscenze porta ad aumentare il carattere esplorativo dell'attività progettuale, che anziché procedere secondo una progressiva accumulazione di soluzioni a problemi parziali, mantiene il proprio carattere esplorativo fino alla conclusione del progetto che, grazie agli strumenti informatici di progettazione e fabbricazione, può essere

rimandata fino al momento della sua effettiva realizzazione.

In questo contesto i software parametrici si offrono come strumenti efficaci, poiché permettono di aggiornare agilmente tutte le informazioni contenute nel modello tridimensionale, consentendo ai progettisti di rinviare le decisioni fino all'avvio della realizzazione del progetto.

Le funzioni legate ai software parametrici non sono limitate alla sola modellazione o al disegno bidimensionale, ad essa infatti è associata la tecnologia BIM, acronimo di Building Information Modeling.

Il BIM è un'applicazione che permette di elaborare un modello informatico tridimensionale, facilmente interrogabile, che se opportunamente costruito è in grado di riunire in se stesso le specifiche dell'intervento: le informazioni geometriche, le caratteristiche di materiali e finiture, i costi e i tempi delle lavorazioni, la curabilità di materiali e componenti, le operazioni e le scadenze per la manutenzione, le informazioni relative a contratti e procedure di appalto dei lavori.

La tecnologia BIM, impiegata per la prima volta nel settore aerospaziale per la progettazione del Boeing 767 si sta oggi diffondendo, a diversi livelli, anche tra gli operatori del settore delle costruzioni, tanto che tutte le maggiori case produttrici di programmi informatici stanno impegnandosi a integrare nei propri software questa applicazione.

Autodesk, Dassault Systèmes, Bentley Systems, Nemetschek, con le opportune differenze, hanno già provveduto ad integrare ai loro software di punta i sistemi BIM e sono oggi occupati ad ottimizzarli alle esigenze dei vari attori del settore edilizio.

Nonostante l'interesse verso questa tecnologia si stia diffondendo tra gli operatori del settore e si registri una progressiva diffusione dei software all'interno degli studi professionali, data la sua recentezza, *"molte applicazioni relative al BIM sono ancora in attesa di essere scoperte e sviluppate"*(25).

I software BIM sono object-oriented, ovvero gli elementi del modello non sono più semplicemente dell'entità grafiche, ma dei veri e propri oggetti, a cui poter associare diversi attributi che descrivono l'oggetto non solo geometricamente.

Ad esempio, mentre con i comuni software 2D e 3D per rappresentare una

parete si usano linee, archi, superfici, o solidi, nelle applicazioni BIM esiste un apposito strumento “muro” che oltre a specificare le dimensioni, permette di precisare anche la stratificazione, i materiali, etc, e fare corrispondere anche dei valori per le proprietà fisiche come la trasmittanza.

Tutti gli oggetti presenti nel modello informatico sono inoltre associati ad un database, generalmente un foglio elettronico, da cui è possibile estrarre tutte le informazioni del progetto.

Le modifiche effettuate sul modello informatico vengono automaticamente aggiornate sul database e viceversa.

Per esempio se si modifica il valore di trasmittanza associato al muro, questo si modificherà di conseguenza, relazionandosi con tutti gli altri elementi del disegno, riducendo per esempio le strutture nel caso in cui gli spessori, e quindi il peso del tamponamento, si riducano di molto.

In Revit di Autodesk, uno dei più semplici tra i software che supportano sistemi BIM, è possibile addirittura inserire la normativa vigente e lasciare che esso parametrizzi di conseguenza le scelte progettuali o indichi eventuali incongruenze.

La tecnologia BIM consente perciò al progettista di rimanere concentrato sul progetto, e poter valutare varianti progettuali praticamente in tempo reale, non limitandosi alle sole informazioni grafiche come nel caso dei software di modellazione, ma permette di gestire in maniera intelligente anche le proprietà amministrative quali, il costo degli elementi architettonici, il fornitore, la manutenzione, la fase di costruzione o demolizione.

Il modello informatico generato mediante applicazioni BIM offre la possibilità di registrare e gestire tutte le informazioni relative alle diverse fasi del progetto.

Per questa sua caratteristica esso è oggi considerato uno strumento efficace per coordinare il lavoro svolto dai diversi operatori che partecipano alla realizzazione del progetto.

La complessificazione dell'architettura ha portato ad aumentare con il numero delle figure coinvolte, anche la quantità di informazioni.

Pertanto un'architettura sarà tanto più complessa tanto maggiore sarà la quantità di informazioni necessarie per la sua realizzazione.

La Porter House, progettata da SHoP può quindi essere considerata a tutti gli



effetti un edificio complesso, nonostante il volume aggiunto al corpo di fabbrica esistente si presenti come un semplice parallelepipedo.

I componenti del rivestimenti esterno, pannelli in zinco e lampade, data la loro variabilità hanno costretto lo studio newyorkese a produrre una ragguardevole quantità di informazioni per la loro produzione in stabilimento e l'assemblaggio in cantiere.

Come osservato nell'introduzione di questo capitolo, negli ultimi venticinque anni gli strumenti informatici si sono diffusi a tutti gli operatori del settore a supporto delle diverse fasi della filiera delle costruzioni.

Per espletare il proprio lavoro i vari attori utilizzano software diversi, che possono quindi essere anche tra loro incompatibili.

Ciò rende difficile la comunicazione tra le figure coinvolte nello sviluppo e nella realizzazione del progetto.

Affinché i diversi operatori del processo edilizio possano estrarre o aggiungere informazioni al modello informatico è necessario che tutte le applicazioni utilizzate siano in grado di comunicare tra loro, senza generare errori e/o perdite di dati, evitando così di doverli inserire manualmente.

La modellazione parametrica, consentendo di adattare agilmente la rappresentazione delle informazioni in base alle necessità dei singoli operatori e dei loro programmi informatici, rappresenta già uno strumento efficace per superare il problema della compatibilità tra i diversi programmi.

I software parametrici infatti permettono di generare simultaneamente molteplici rappresentazioni a partire da un singolo modello, evitando la duplicazione del lavoro degli operatori.

Il progettista, impegnato nell'elaborazione del modello generale, può fornire agli altri operatori le informazioni strettamente necessarie, ad esempio: per l'analisi strutturale occorrono solamente un modello con gli assi degli elementi portanti, per quella termica i volumi, per quella acustica le superfici, etc.

Ovviamente, la laboriosità del processo di semplificazione del modello iniziale è maggiore tanto più esso è dettagliato.

Il ricorso alla modellazione parametrica, risolve solo parzialmente il problema della compatibilità tra i software, generando appropriate rappresentazioni per le singole applicazioni utilizzati dai diversi operatori.

A livello mondiale, si è affermato il formato IFC, per garantire l'interoperabilità fra i software.

L'interoperabilità fra software è la loro capacità di condividere e di scambiare dati (di prodotto e di processo) utilizzando una classificazione per oggetti in modo automatico, migliorando l'efficienza del processo edilizio.

Lo standard IFC, sviluppato dall'IAI (International Alliance for Interoperability) a partire dalla norma ISO STEP 10303 costituisce un sistema di classificazione e descrizione utilizzabile da un software per i diversi elementi che possono essere parte di un progetto edilizio (elementi strutturali, porte, pareti, finestre, impianti, elementi spaziali, etc.).

È necessario però notare che non tutte le applicazioni BIM supportano il formato IFC: l'interoperabilità è una questione ancora aperta, oggetto di molte ricerche a livello internazionale.

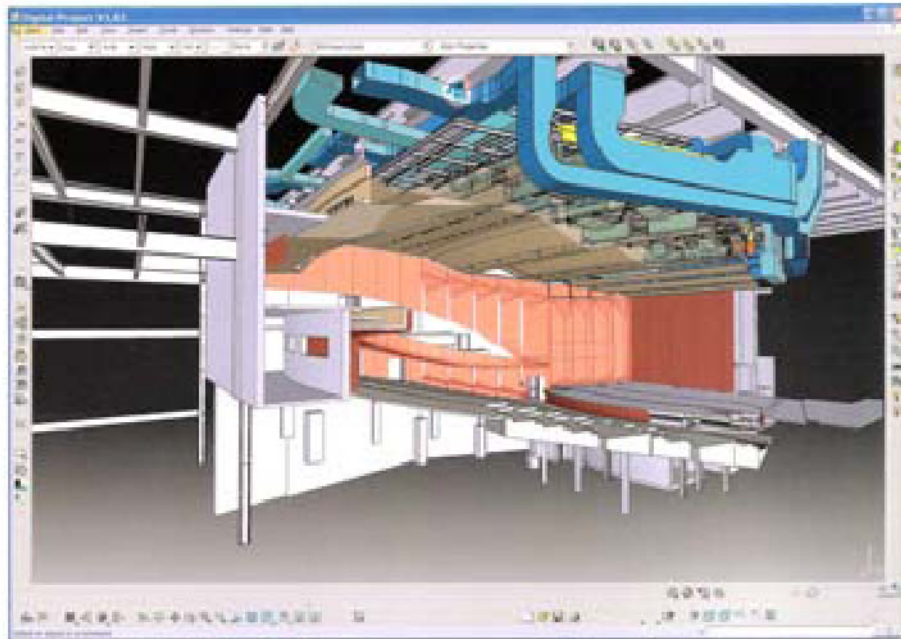
Il modello informatico generato mediante applicazioni BIM può comunque essere condiviso tra i diversi operatori, i quali possono estrarre tutte le informazioni a loro necessarie, oppure contribuire aggiungendone di ulteriori.

Questa tecnologia permette non solo di prefigurare le forme e le spazialità dell'architettura, ma anche di testarne il funzionamento attraverso i software per l'analisi e la simulazione e intervenire direttamente sui processi produttivi.

In altre parole al modello generato mediante applicazioni BIM è possibile associare tutte le informazioni relative alle diverse dimensioni del progetto: 2D, 3D, 4D, 5D.

Le prime due si riferiscono alla misurabilità delle sue grandezze come altezza, larghezza, spessore dei suoi elementi, la superficie e il volume degli ambienti, mentre il 4D indica la dimensione organizzativa (e quindi temporale) del progetto e il 5D quella economica dell'intervento.

Il Building Information Modeling offre infatti la possibilità di effettuare l'analisi dei costi dell'intervento in modo tanto meno approssimato quanto più dettagliato è il modello, e inoltre consentendo di aggiungere al modello informatico anche le informazioni riguardanti la programmazione della costruzione, specificandone le fasi e i tempi, permettendo di verificarne la correttezza mediante una sua simulazione che supporta il progettista nell'individuazione



3.7 Diller & Scofidio, Lincoln Centre, New York, il modello sviluppato con Digital Project

e nella valutazione di soluzioni alternative.

Per sfruttare appieno le potenzialità della tecnologia BIM è quindi necessario che tutti gli operatori si impegnino a completare il modello informatico provvedendo ad aggiungere tutte le informazioni necessarie alla realizzazione stessa del progetto.

Per questa ragione gli studi di progettazione che utilizzano queste applicazioni integrano già all'interno del proprio organico diverse professionalità.

L'elaborazione di un modello informatico con applicazioni BIM è un'operazione complicata, data la quantità di informazioni da gestire e la loro interconnessione, che richiede tempi anche molto elevati e utenti esperti.

La sostanziale differenza tra i software parametrici con tecnologia BIM integrata più avanzati, come Digital Project o Revit, e quelli non parametrici come 3D Max, SolidWorks o Microstaion, è che i primi sono concepiti per una filiera di processo concezione, fabbricazione, analisi dei risultati, mentre i secondi sono creati per la sola rappresentazione del progetto.

Ciò significa che attraverso questi programmi è possibile intervenire direttamente in tutte le fasi del processo edilizio, dalla progettazione fino alla fabbricazione in stabilimento dei componenti permettendo di avvicinare il progetto alla sua realizzazione.

Il Building Information Modeling quindi non è, come alcuni erroneamente pensano, solo una tecnologia, ma è soprattutto un nuovo approccio progettuale.

### **3.5 L'allargamento delle competenze e le nuove figure del processo e del progetto**

*La separazione tra operatori e momenti del progetto e del cantiere – Progetto, costruzione e software - Allargamento delle competenze del progettista e degli operatori coinvolti nel processo progettuale e realizzativo – Nuove figure del processo e del progetto*

La ricerca di una sempre maggiore complessità in architettura sta inducendo i progettisti ad impiegare i software non solo per generare forme e spazialità, ma anche per coordinare il lavoro dei diversi attori coinvolti alla realizzazione del progetto: dal progettista ai consulenti, dalle aziende produttrici di componenti e sistemi alle imprese costruttrici.

Il modello informatico, generato attraverso la tecnologia BIM, consente di raccogliere tutte le informazioni necessarie alla realizzazione del progetto e di interscambiarle tra i diversi operatori, migliorando l'efficacia della collaborazione.

La filiera progettazione, produzione, e costruzione è completamente trasmutata dall'evoluzione dei sistemi informatici che permettono ai diversi attori di rompere i confini disciplinari e riunire di nuovo i diversi saperi all'interno di un'unica intelligenza collettiva.

Dai tempi dell'antica Grecia, l'architettura era dominata da un'unica figura, il capomastro, il quale si occupava di tutti gli aspetti legati ad essa, dal progetto alla sua realizzazione.

Nel medioevo il capomastro svolgeva le proprie mansioni senza dedicare molto tempo alla rappresentazione del progetto, elaborando solo pochi disegni, e provvedendo poi personalmente in cantiere a dirigere e a istruire gli operai e gli artigiani durante la costruzione.

Nel XV secolo, con l'invenzione della prospettiva e delle proiezioni ortogonali e parallelamente con il sorgere di un nuovo modello culturale, alla figura del capomastro si affianca quella del progettista, al quale viene affidato il compito di elaborare il progetto, nel proprio studio, lontano dal cantiere, dove invece il capomastro rimane esclusivamente per dirigere la costruzione.

Nel Rinascimento avviene quindi "la separazione tra operatori e momenti del progetto e del cantiere,(...)che è tuttavia di natura funzionale e non concettuale; progetto e produzione rimangono sempre legati da uno stretto rapporto

di reciproca necessità”(26).

È con l'ingresso dell'industria nel settore delle costruzioni che la separazione si estende anche sul piano concettuale: a partire dal secolo scorso i progettisti iniziano a sviluppare progetti anche senza contemplarne la costruzione, unicamente per propagandare i nuovi principi attorno a cui stanno nascendo i vari movimenti artistici e culturali, mentre l'industria, parallelamente, comincia a produrre riferendosi al mercato e non più ad uno specifico progetto di architettura.

Per tutto il Novecento, come rilevato nel primo capitolo, aumenta la distanza tra architettura e industria, tra progetto, produzione e costruzione.

Come affermano Kieran e Timberlake nel loro libro "Refabricating Architecture: how manufacturing methodologies are poised to transform building construction": "quello che mancava all'inizio del Ventesimo secolo era l'informazione necessaria per compiere un reale cambiamento nel modo di costruire. Oggi abbiamo con noi strumenti per rappresentare e trasferire informazioni in modo istantaneo e completo. Essi permettono connessioni tra la ricerca, il progetto, la rappresentazione, e la produzione, che non sono mai esistite dalla specializzazione iniziata durante il Rinascimento"(27).

Lo sviluppo delle tecnologie informatiche applicate alla progettazione e alla costruzione, e la loro interazione, consentono oggi di fare nuovamente convergere la pratica progettuale verso quella costruttiva.

Se in principio, l'introduzione dei software CAD ha provocato "una sensibile rottura epistemologica dell'universo formale, linguistico e culturale, (una rottura che deve ancora essere sostanzialmente compresa e gestita, ma, forse, paragonabile a quella verificatasi nel corso dei secoli XV e XVI in conseguenza del disegno e della prospettiva)(28) la loro evoluzione li ha trasformati in strumenti capaci di supportare il progettista nel governo stesso del processo edilizio.

I software CAD più evoluti permettono oggi di raggruppare all'interno del modello informatico tutte le informazioni necessarie per la realizzazione del progetto e, tra questi, i più avanzati, come anticipato in conclusione del paragrafo precedente, hanno integrato anche tecnologie CAM attraverso cui passare le informazioni direttamente alle macchine a controllo numerico e intervenire

così nel processo produttivo, controllando i tempi e i costi effettivi della produzione.

Il progettista, utilizzando le nuove tecnologie informatiche per lo sviluppo e la realizzazione del progetto, ha oggi la possibilità di tornare ad assumere un ruolo centrale all'interno del processo edilizio.

I software più avanzati che consentono di controllare molti aspetti del progetto, dalla sua ideazione fino alla sua costruzione, richiedono però una consistente conoscenza dell'informatica, dei suoi linguaggi e delle applicazioni diffuse sul mercato.

Le stesse funzioni di scripting utilizzate soprattutto nei programmi parametrici richiedono infatti la conoscenza di un linguaggio di programmazione che esce dalle competenze del progettista di formazione "tradizionale".

Lo sviluppo delle tecnologie informatiche ha quindi richiesto un allargamento delle competenze del progettista e degli operatori coinvolti nel processo progettuale e realizzativo, a cui si è risposto in modi diversi.

Mentre in generale i più giovani stanno direttamente provvedendo ad aggiornare le proprie conoscenze relative all'utilizzo di diversi software per la progettazione e l'analisi (strutturale, ambientale, etc.), ai linguaggi di programmazione e alle tecniche di produzione a controllo numerico, mutando la figura del progettista, si assiste alla nascita, all'interno e all'esterno dei grandi studi di progettazione e ingegneria, di gruppi specializzati nell'uso delle nuove tecnologie informatiche per la gestione dei diversi aspetti del progetto e della sua costruzione.

Ove Arup, Buro Happold, Norman Foster, SOM, hanno provveduto, ad meno di dieci anni, in modi diversi e a volte spontanei, a istituire al proprio interno gruppi di lavoro (rispettivamente Advanced Geometry Unit, CRAFT, Specialist Modeling Group, Black Box) dedicati, ognuno con le proprie specificità, all'Information Technology.

Essi sono generalmente costituiti da gruppi, più o meno numerosi, caratterizzati da una forte multidisciplinarietà e da know-how prevalentemente tecnici, che raggruppano al loro interno ingegneri con diverse specializzazione, informatici, architetti, fino ad artisti e studenti, variegati anche dal punto di vista anagrafico e oltre che professionale, i cui incarichi spaziano dalla gestione

delle geometrie complesse (impossibili da governare ricorrendo semplicemente alle funzioni presenti nelle interfacce dei software presenti sul mercato) all'ottimizzazione delle forme per la successiva realizzazione, attraverso scripting, sviluppo e personalizzazione di applicazioni e procedure digitali specifiche alle singole problematiche dei progetti su cui sono impegnati.

DesignToProduction, CASE, C-Cube, sono i nomi di alcuni studi di livello internazionale, che offrono servizi di consulenza per la progettazione e la fabbricazione attraverso le nuove tecnologie informatiche.

È necessario osservare infine che la nascita di queste nuove figure professionali, è legata principalmente alle resistenze opposte dai professionisti all'aggiornamento delle proprie conoscenze, procedure, e competenze, ma l'interesse dimostrato soprattutto dai più giovani verso le emergenti tecnologie informatiche, pongono loro in una posizione precaria, destinati probabilmente, in un futuro prossimo, a scomparire.

## Note

(1) Mirchell, W., J., *Computer-Aided Architectural Design*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1977.

(2) Kolarevic, B. (a cura di), *Architecture in the digital age: design and manufacturing*, New York, London: Taylor & Francis, 2003.

(3) Paoletti, I., *Una finestra sul trasferimento. Tecnologie innovative per l'architettura*, Milano: Libreria CLUP, 2003.

(4) La locuzione è ripresa dalla pubblicazione Pongratz, C., Perbellini, M. R., *Nati con il computer: giovani architetti americani*, Torino: Testo & immagine, 2000.

(5) Peter Eisenman, *Oltre lo sguardo. L'architettura nell'epoca dei media elettronici*, in *Domus*, N. 734, 1992, pp. 17-24.

(6) Bos, C., Van Berkel, B., *Real space in quick times pavilion*, in *AD Profile*, N. 133, 1998.

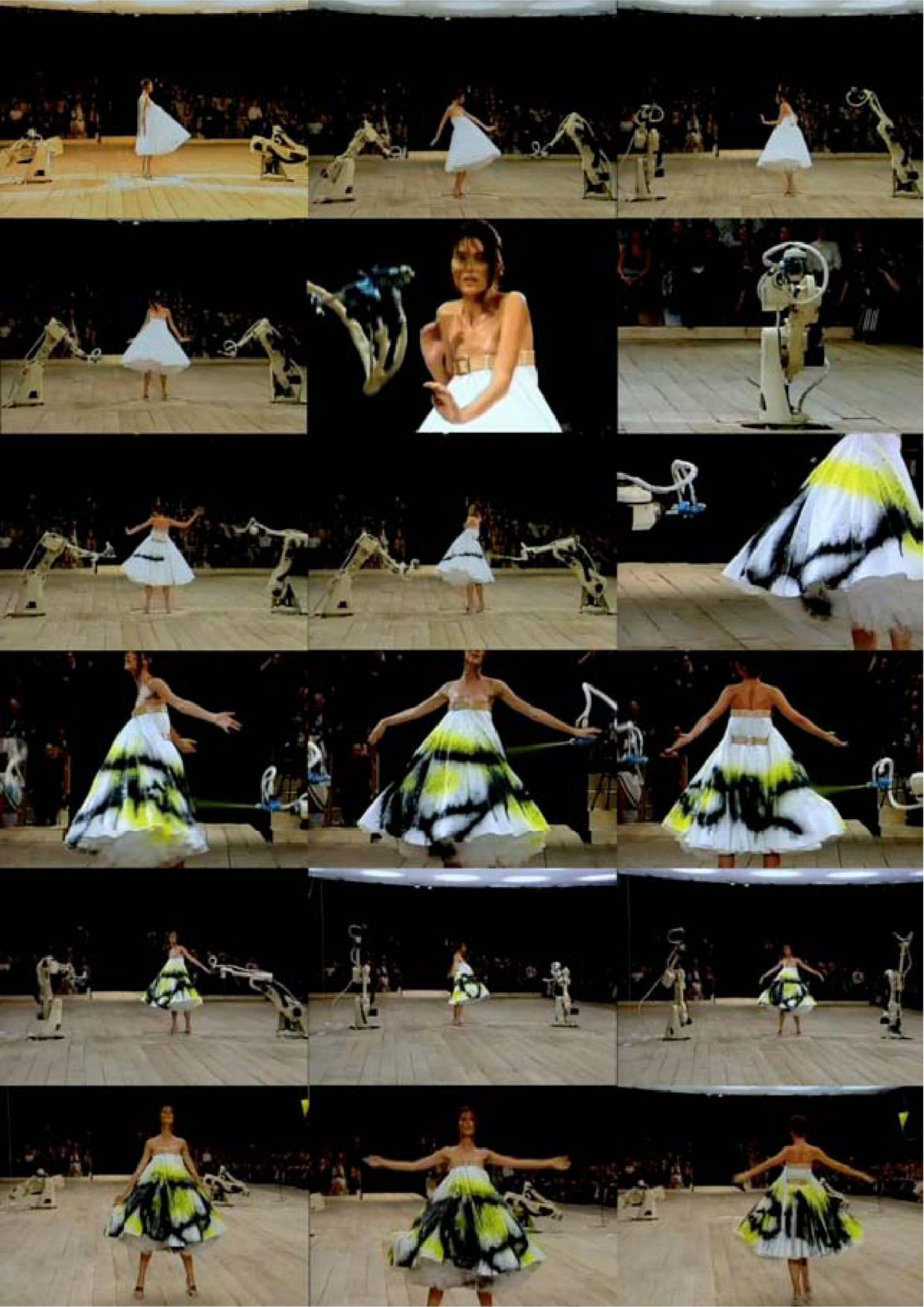
(7) Genovese, P., V., *Dalla decostruzione alla cyber-architettura e oltre: l'uso del computer nella progettazione degli spazi non-euclidei*, Napoli: Liguori, 2005, p.28.

(8) Campioli, A., *Idea, Progetto, Cantiere*, in Pignataro, M. (a cura di), *Innovazi-*

- one di prodotto e architetture di forma complessa, Milano: CLUP, 2005.
- (9) Paoletti, I., *Costruire le forme complesse. Innovazione, industrializzazione e trasferimento per il progetto di architettura*, Milano: Libreria CLUP, 2006, p. 24.
- (10) Ito, T., Architettura o non-architettura? L'architetto e l'ingegnere, *Casabella*, N. 711, 2003, p. 5.
- (11) *Ibidem*.
- (12) Panofsky, E., *Die Perspektive als «symbolische Form*, Leipzig-Berlino, 1927, (tr. it. a cura di Filippini, E., *La prospettiva come forma simbolica*, Milano: Abscondita, 2007)
- (13) Benevolo, L., *Storia dell'architettura del Rinascimento*, Bari: Laterza, 2006.
- (14) Saggio, A., *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, Roma: Carrocci, 2004.
- (15) Zingarelli, N., *Vocabolario della lingua italiana*, Zanichelli: Bologna, 1970, X edizione.
- (16) Lindesy, B., *Digital Gehry. Material Resistance / Digital Construction*, Basel, Boston, Berlin: Birkauer, 2001 (tr.it a cura di Saggio, A., *Gehry digitale. Resistenza materiale / Costruzione digitale*, Torino: Testo&Immagine, 2002, p.75)
- (17) De Luca, F., Nardini, M., *Dietro le quinte. Tecniche d'avanguardia nella progettazione contemporanea*, Testo&Immagine: Torino, 2003, p. 16.
- (18) *Ibidem*.
- (19) Beaucé, P., Cache, B., Verso un mondo di produzione non- standard, <http://architettura.supereva.com/Extended/20040214/index.htm>
- (20) *Ibidem*.
- (21) De Luca, F., Nardini, M., *Dietro le quinte. Tecniche d'avanguardia nella progettazione contemporanea*, Testo&Immagine: Torino, 2003, p. 16.
- (22) Brizzi, M., Bernard Cache. Negli universi della precisione, in <http://architettura.supereva.com/files/20000131/index.htm>.
- (23) Converso, S., *Il progetto digitale per la costruzione. Cronache di un mutamento professionale*, Maggioli: Santarcangelo di romagna, 2009, p. 17.
- (24) *Ibidem*.



- (25) Eastman, C., Building Information Modeling, Agosto 2009, in [http://bim.arch.gatech.edu/content\\_view.asp?id=402](http://bim.arch.gatech.edu/content_view.asp?id=402).
- (26) Di Battista, V., *Le discipline del costruito e il problema della continuità*, in Ciribini, G., *Tecnologia e progetto: argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, Torino: Celid, 1984, p. 158.
- (27) T.d.A, Kieren, S., Timberlake, J., *Refabricating architecture: how manufacturing methodologies are poised to transform building construction*, New York: McGraw-Hill, 2004, p.23.
- (28) Gargano, M., *Forma e materia. Ratiocinatio e Fabrica nell'architettura dell'età moderna*, Officina edizioni, Roma, 2007, p. 126.



## Digital fabrication

Se oggi è inconcepibile immaginare di condurre la progettazione di un edificio senza l'impiego di strumenti informatici, domani, forse, sarà altrettanto difficile pensare alla fabbricazione senza l'ausilio di attrezzature informatiche.

Nel capitolo precedente si è rilevato come l'evoluzione dei software stia offrendo la possibilità ai progettisti di colmare le distanze tra il progetto e la sua realizzazione, permettendo loro di intervenire direttamente nei processi produttivi.

Il modello informatico, se in un primo momento è stato impiegato semplicemente per migliorare la visualizzazione del progetto, oggi può essere utilizzato per aumentare l'efficienza della comunicazione non solo tra progettisti e consulenti ma anche tra progettisti e industria.

L'uso sempre più consapevole del computer all'interno degli studi di progettazione potrebbe spingere l'industria, in un futuro anche molto prossimo, a munirsi di macchine utensili CNC.

A partire infatti dal Barcellona Fish progettato da Frank O'Gehry, si assiste ad una moltiplicazione di edifici costruiti ricorrendo all'impiego delle tecnologie CAD/CAM, i quali, soprattutto in un primo tempo, presentano tutti una caratteristica comune: la complessità formale dell'involucro.

L'impiego del computer ha consentito ai progettisti di indagare nuove geometrie, difficilmente rappresentabili e soprattutto controllabili con gli strumenti tradizionali impiegati per la rappresentazione del progetto.

Sarebbe infatti difficile pensare di rappresentare con compasso, riga o squadre, progetti come lo stabilimento BMW a Monaco, oppure il Guggenheim di Bilbao, o progetti di dimensioni anche modeste come la Son-O-House dei Nox o la Manilow House di Garofalo and Partner.

Ancor più difficile è pensare alla loro costruzione e la produzione industriale dei loro componenti con macchine utensili tradizionali.

Così i progettisti, oltre ad approfondire le proprie conoscenze informatiche tanto da essere coinvolti come consulenti nello sviluppo dei software, e nel caso di Gehry, addirittura nella fondazione di una società, la Gehry Technology, che sfrutta le competenze acquisite durante la pratica professionale nello

sviluppo del programma Digital Project e nella sua commercializzazione, si stanno interessando alle nuove tecnologie informatiche per la fabbricazione adottate dall'industria e ai nuovi processi produttivi della digital fabrication.

Il ricorso a queste tecnologie di fabbricazione è in continua crescita tra i progettisti più all'avanguardia, che ricorrono al loro utilizzo per realizzare progetti con destinazioni funzionali e dimensioni diverse, dall'involucro di un museo a quello di un edificio residenziale, dalla realizzazione di padiglioni temporanei agli ampi spazi degli autosaloni, solo per citare alcuni esempi.

Il controllo numerico delle superfici, consentito dai nuovi software per la progettazione, abilita l'impiego di macchine utensili a controllo numerico, intrecciando progetto e costruzione tramite un linguaggio comune, che sta portando allo sviluppo dei processi cosiddetti "F2F", File to Factory, ovvero dal disegno digitale alla produzione, in cui si fa ricorso delle tecnologie CAD/CAM e dei nuovi macchinari a controllo numerico.

Nei paragrafi che seguono si è ritenuto utile identificare e descrivere le tecnologie informatiche e gli strumenti tecniche per la produzione di componenti e sistemi per l'edilizia al fine di far comprendere meglio la complessità gestionale e operativa che caratterizzano i processi di digital fabrication.

#### **4.1 Lo sviluppo delle tecnologie CAD/CAM**

*La fabbricazione assistita al computer - I vantaggi dell'uso delle tecniche CAD/CAM – Macchine a controllo numerico tradizionali – Macchine per il rapid prototyping – I robot industriali*

Il processo di diffusione delle tecnologie informatiche di supporto al processo produttivo, nel settore edilizio, è iniziato intorno agli anni '90: il CAD (Computer aided Design) per la progettazione, il CAPP (Computer Aided Process Planning) per la pianificazione di processo, il CAM (Computer Aided Manufacturing) e le macchine a controllo numerico per la manifattura. (Crippa, Di Prete, 2005).

Le macchine utensili a controllo numerico sono strumenti automatizzati di fabbricazione il cui movimento durante le fasi di lavorazione è diretto da un computer (integrato o meno alla macchina) che ne comanda gli spostamenti e le funzioni secondo un definito programma di lavoro

Il programma è un tabulato di istruzioni scritto in un linguaggio comprensibile dal controllo numerico: è formato da un insieme di blocchi (righe) che sono numerati ed eseguiti in successione.

Ogni blocco rappresenta una operazione macchina ed è composto da istruzioni particolari che definiscono funzioni o ordini di movimento (Grimaldi, 2007).

La fabbricazione assistita al computer (CAM) è "*l'attività di produzione gestita e controllata dai calcolatori(1)*" e avviene attraverso l'impiego di una categoria di software dedicati alla programmazione delle macchine CNC.

Essi sono utilizzati per convertire le informazioni contenute in un disegno elaborato con software CAD in istruzioni per le macchine a controllo numerico.

Questi software permettono quindi il trasferimento e la traduzione delle informazioni elaborate dai progettisti per la definizione delle soluzioni del progetto in dati e istruzioni numeriche necessarie alla programmazione delle macchine della produzione industriale.

L'interdipendenza dei software CAM per la fabbricazione e quelli CAD per la progettazione ha sospinto il rinnovamento del rapporto tra progettista e industria, tra il progetto e la sua costruzione, che passa quindi attraverso l'impiego delle macchine a controllo numerico.

L'impiego di tecniche CAD/CAM presenta diversi vantaggi per la programmazione delle macchine utensili CNC.

Innanzitutto la geometria del pezzo da fabbricare è definita una sola volta, e poi integrata con informazioni aggiuntive per la sua produzione, eliminando in questo modo gli errori derivabili dall'incorretta definizione della geometria stessa.

L'impiego diretto delle informazioni generate per l'elaborazione del progetto comportano una fondamentale riduzione dei tempi di programmazione della macchina, poiché elimina una parte considerevole del lavoro del programmatore, andando ad incidere positivamente sui costi.

Un altro grande vantaggio di queste tecniche è che permettono di eseguire operazioni complesse con la stessa precisione di quelle semplici, dato che con l'uso delle tecnologie CNC, la difficoltà è limitata alla sola programmazione della macchina.

Infine la possibilità di verificare il ciclo di lavorazione mediante la simulazione

del percorso utensile permette di eliminare gli eventuali errori commessi nella programmazione, evitando lo spreco di materiale e il fermo macchina.

Le informazioni generate mediante le tecniche CAD/CAM vengono lette e decodificate dall'unità di governo, il cervello della macchina a controllo numerico, che trasmette poi i dati di movimento ai servomotori della macchina e controlla l'esatta esecuzione dei comandi impartiti.

Il controllo numerico è costituito fondamentalmente dall'hardware e dal software.

L'hardware è la struttura fisica del controllo (componenti meccaniche, elettriche ed elettroniche che lo formano) e il software è la componente logica, i linguaggi, le istruzioni i processi applicativi necessari per l'elaborazione dei dati.

Oltre alle macchine a controllo numerico, che lavorano direttamente il pezzo grezzo attraverso successive asportazioni di materiale e limature oppure piegature, diffusamente usate nella produzione di componenti e sistemi per l'architettura di forma complessa, si annoverano anche quelle per il rapid prototyping, che agiscono per addizione di strati di materiale, e i robot industriali che uniscono, in un certo senso, entrambe le modalità operative.

Nei sottoparagrafi seguenti sono passate in rassegna i diversi macchinari sopraelencati per una maggiore comprensione del loro funzionamento e delle possibilità che il loro utilizzo mette a disposizione dei progettisti e dell'industria del settore edilizio.

#### *4.1.1 Macchine a controllo numerico tradizionali*

Il vantaggio offerto dalle macchine a CNC tradizionali è la flessibilità: esse eseguono infatti lavorazioni diversificate quasi istantaneamente, solo cambiando il programma, permettendo di fabbricare il numero di pezzi strettamente necessario.

Il processo produttivo svolto con tecniche CAD/CAM si struttura generalmente in questa sequenza operativa:

- Definizione geometrica. Essa avviene in ambiente CAD mediante la realizzazione del disegno che contiene già tutte le informazioni necessarie al suo utilizzo in ambiente CAM, affinché, in completa sovrappo-

sizione all'attività di progettazione, si possa fornire alla produzione una base di dati, geometrici e non, in grado di semplificare e automatizzare le operazioni svolte in questa fase.

- Definizione tecnologica. La prima fase in ambiente CAM è denominata preprocessamento, e inizia con la definizione tecnologica e finisce con gli output del preprocessor. Partendo dall'archivio grafico, in questa fase avvengono, in modo interattivo: la trasformazioni dei dati grafici in tecnologici (selezione di profili, aree di svuotamento, forature ecc.), l'assegnazione delle informazioni relativi agli assi, l'ipostazione di lavorazioni elementari o complete sulla geometria, la strutturazione di sottoprogrammi di lavorazione, l'utilizzazione o la definizione/modificazione di utensili o parametri di lavorazione, dall'archivio tecnologico.

- Definizione di sequenza ciclo. In questa fase vengono definite le sequenze in cui le operazioni devono essere eseguite dalla macchina attraverso assegnazioni di sequenza obbligata, assegnazioni di priorità crescenti, assegnazioni di priorità decrescenti, assegnazioni di priorità automatiche, selezioni di lavorazioni per tipo e per utensile.

- Verifica del ciclo di lavorazione. Essa viene realizzata attraverso la simulazione del percorso utensile, ed è realizzabile fase per fase o globalmente, e consente l'eliminazione di eventuali errori commessi prima dell'esecuzione del ciclo in macchina.

- Modifiche del ciclo di lavorazione. Le modifiche delle geometrie, delle informazioni tecnologiche, associate alla sequenza delle lavorazioni, sono attuabili con il recupero totale delle informazioni esistenti e ancora valide.

- Gli output del preprocessor. In questa ultima fase di preprocessamento viene generato un Cut Location File in formato APT che specifica all'interno di una tabella gli utensili usati con il relativo "fogli di lavorazione". In questa fase vengono definite i dati raccolti sulle informazioni geometriche e tecnologiche relativi al percorso degli utensili, sono indipendenti dalle specifiche macchine impiegate per eseguire le lavorazioni.

- La fase di postprocessing. In funzione della macchina utensile e dello

specifico controllo numerico, in questa fase viene preparato uno strumento software "postprocessor" che trasforma il Cut Location File, in formato APT, in Program formato ISO, utilizzabile invece dalle macchine scelte per la lavorazione.

- Collegamento con il controllo numerico. Le modalità di trasmissione con il CNC, ovvero l'unità di governo della macchina, che può avvenire secondo diverse modalità (dalla trasmissione diretta via linea seriale o trasferita su supporti magnetici.) (Grimaldi 2007, pp. 388-390)

Le informazioni geometriche, oltre che essere elaborate direttamente in ambiente CAD possono anche essere generate attraverso il reverse engineering, cioè l'acquisizione diretta della topologia di un modello fisico, la cui successiva ricostruzione all'interno dell'ambiente digitale avviene attraverso due procedure consequenziali: la digitalizzazione e la matematizzazione.

La digitalizzazione avviene per mezzo di sensori di posizione che registrano le coordinate di una serie di punti appartenenti alla superficie da rilevare, e il suo risultato è una cosiddetta nuvola di punti *"che deve essere acquisita da un apposito software che permette di trasformarla in un modello informatico 3D"*(2) in un processo nominato, appunto, matematizzazione.

Le macchine a CNC tradizionali sono costituite fondamentalmente da un sistema di alimentazione elettrico, un sistema computerizzato di controllo, da un basamento o telaio da un sistema per il sostegno del materiale su cui operare e da un sistema per la lavorazione del pezzo che può essere intercambiabile.

Esse eseguono fondamentalmente operazioni quali il taglio, l'asportazione di materiale, e la piegatura.

Le macchine da taglio e quelle per l'asportazione di materiale (fondamentalmente fresatrici e torni) si distinguono prima di tutto per i gradi di libertà di movimento del sistema per il sostegno e quello di lavorazione del pezzo.

I macchinari che consentono il movimento dei suddetti sistemi secondo due assi x e y sono quelli che eseguono una lavorazione bidimensionale del pezzo, cioè il taglio di materiali in fogli.

Le macchine da taglio computerizzate permettono il movimento bi-assiale della testina da taglio rispetto ai fogli di materiale.





4.2 Macchina CNC per il taglio laser

4.3 Macchina CNC per il taglio con getto ad acqua

Essi sono molto simili ai normali plotter elettromeccanici per la stampa, solo che al posto della penna montano qualche tipo di testina da taglio.

Questa somiglianza si riflette anche nelle informazioni necessarie per il loro controllo che si riducono in sostanza a semplici file di plottaggio: le società specializzate in servizi di taglio computerizzato accettano infatti file nei comuni formati per plotter realizzabili con i software CAD.

Questi dispositivi impiegano praticamente tutte le tecnologie di taglio: a laser, a sega, a getto d'acqua, a fiamma, a filo incandescente, etc.

Esse sono, tra le macchine a CNC, quelle maggiormente diffuse, poiché, oltre alla loro economicità e alla semplicità di utilizzo, sono in grado di soddisfare le richieste più frequenti.

I dispositivi che vengono impiegati dalle aziende impegnate nel settore edilizio sono quelli per il taglio laser, per il taglio con getto d'acqua e quelli per il taglio al plasma.

Le macchine per il taglio laser, negli ultimi anni trovano una buona diffusione grazie alla loro flessibilità di impiego e alla loro elevata precisione e velocità di processo.

Questi macchinari emettono un fascio di radiazioni che vengono convogliate dalla guida all'ottica di lavoro, la quale regola il raggio laser in base al tipo di lavorazione richiesta.

L'energia assorbita dal materiale nella zona in cui il raggio laser viene concentrato viene trasformata in calore, provocando localmente un rapido aumento della temperatura del pezzo, fondendo e/o vaporizzando la zona di interazione.

L'impiego di questa tecnologia consente di tagliare lamiere con uno spessore

fino a 80 mm.

Le macchine per il taglio con getto d'acqua, invece, utilizzano un getto di acqua ad altissima pressione, a cui è possibile aggiungere anche sostanze abrasive, per tagliare diversi materiali.

Essi eseguono il taglio con una grande precisione e senza alcuna sbavatura, tale da non richiedere alcuna lavorazione successiva, inoltre riescono a tagliare lastre di acciaio con spessore fino a 38 cm.

La larghezza del taglio, compresa tra 1,0 e 1,5 mm, è proporzionale al diametro dell'ugello usato e permette quindi di risparmiare materiale.

Queste macchine offrono inoltre la possibilità di tagliare materiali problematici come il PVC o l'acciaio al nichel cromo.

La tecnologia del plasma è considerata una tra i processi più efficaci per il taglio poiché unisce alta produttività a costi di esercizio contenuti.

Essa può essere applicata a diversi materiali: ferro, alluminio, acciaio inossidabile, rame ottone e altre leghe speciali purché conduttrici.

Il principio fondamentale di funzionamento è la ionizzazione di un gas vettore (aria compressa, ossigeno o altre miscele di gas), ottenute producendo scariche elettriche ad alta frequenza.

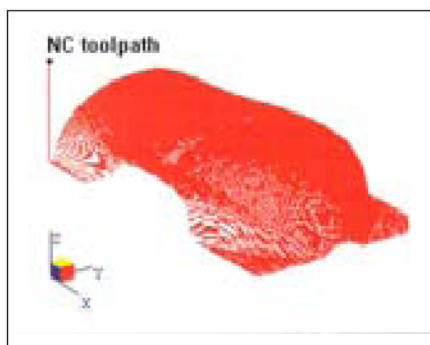
Il metodo di taglio al plasma consiste poi nel trasferire questo arco elettrico dalla torcia plasma al materiale da tagliare attraverso un ugello conico dotato di un foro molto piccolo.

Grazie al calore generato, qualsiasi materiale fra quelli sopra indicati, viene immediatamente fuso e la velocità di uscita del plasma, attraverso l'ugello, spinge il materiale sublimato attraverso il solco del taglio mantenendo inalterate le caratteristiche fisico-chimiche del metallo poiché la zona di influenza termica risulta ridottissima.

I nuovi sviluppi di questa tecnologia incoraggiano il suo utilizzo, riducendo la dimensione del getto infatti diminuisce la larghezza del taglio che viene eseguito con una qualità e rugosità molto simili a quelli eseguiti con tecnologie laser.

Le macchine per il taglio al plasma, grazie ai recenti sviluppi, consentono il taglio di lamiere di spessore fino a 10 mm.

Ciò che viene fabbricato con l'ausilio di questi macchinari di taglio sono gener-



4.4 La finestra di Desk Proto mostra parte dell'applicativo NC

4.5 L'effettiva frasatura del prototipo con fresalesatrice a tre assi

almente componenti strutturali, di tamponamento o di rivestimenti piani.

Per la produzione di elementi non piani è necessario ricorrere a macchinari che consentono la movimentazione del sistema di sostegno del materiale e/o quello per la lavorazione del pezzo secondo almeno tre assi x, y e z.

I macchinari comunemente impiegati per la lavorazione tridimensionale sono i torni e le fresatrici tri-assiali.

I torni asportano il materiale dell'elemento da lavorare, installato su un mandrino autocentrante fissato ad un elemento circolare piatto che ruota con velocità regolabile attorno ad un asse, attraverso un utensile che viene installato su una torretta che permette la movimentazione lungo altri due assi.

Le macchine fresatrici permettono agli utensili per la perforazione di alzarsi e abbassarsi oltre che di scorrere paralleli alla superficie del solido da modellare mediante asportazione di materiale.

Le macchine fresatrici tri-assiali standard presentano un mandrino rotante a cui possono essere fissati utensili intercambiabili con bordi taglienti (frese).

La dimensione dell'utensile determina la raffinatezza e la precisione della lavorazione: maggiore è la sua misura più grossolana e rapida sarà l'asportazione del materiale mentre per lavorazioni più raffinate e precise, che richiedono un alto livello di dettaglio, sono necessari utensili di dimensioni ridotte.

Con l'ausilio di questi dispositivi e appositi utensili, è possibile fresare con ottimi risultati materiali come cera, plastica, metallo, pietra e molti altri.

Le informazioni necessarie per il loro controllo sono estrapolate da un modello informatico tridimensionale (solido, o per superfici) che specifica la forma da ottenere.

Attraverso l'utilizzo di software CAM, oppure grazie ad un operatore esperto,

i dati grafici vengono tradotti in sequenze codificate di istruzioni che il macchinario deve eseguire per produrre il pezzo.

Le fresatrici tri-assiali possono produrre un numero abbastanza limitato di forme, pertanto sono state introdotte fresatrici penta-assiali, che aggiungono due ulteriori assi di rotazione consentendo anche la movimentazione del piano di appoggio su cui è sistemato il pezzo da lavorare.

Con i macchinari penta-assiali è possibile eseguire anche fresature sottosquadro, aumentando così in modo considerevole il numero di forme realizzabili.

La prima applicazione di macchine fresatrici controllate direttamente attraverso il modello tridimensionale elaborato con un software CAD è stata la realizzazione degli elementi di rivestimento in pietra delle pareti a doppia curvatura della Disney Concert Hall di Los Angeles di Frank O'Gehry.

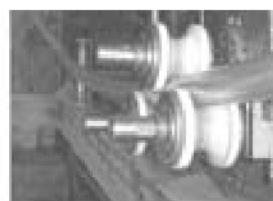
Il modello informatico, realizzato mediante il software CATIA all'interno dello studio dell'architetto, è stato poi impiegato dall'azienda italiana Permasteelisa, incaricata della produzione degli elementi lapidei del rivestimento delle pareti dell'edificio californiano, per il controllo diretto delle macchine fresatrici.

I pezzi così fabbricati sono successivamente stati inviati a Los Angeles, dove, una volta giunti in cantiere, sono stati montati e fissati su una struttura di sostegno in acciaio.

Infine per la formatura del materiale sono sempre più diffuse le macchine piegatrici a controllo numerico che operano attraverso l'applicazione di sforzi, calore, vapore, etc.

Esse vengono impiegate principalmente per la piegatura di aste, tubi, lastre di materiali elastici, come l'acciaio e il legno, da cui poter ottenere curvature piane e lineari con raggi diversi.

Il materiale poi così trattato viene poi fissato in posizione o deformato permanentemente con processi come la messa a pressione del metallo oltre al limite di elasticità, il surriscaldamento del metallo e la sua lavorazione finché è malleabile, la piegatura a vapore delle tavole di legno e così via. (Mitchell, 1995) Apparecchiature per le piegature a induzione termica sono comunemente impiegate per realizzare elementi a curvatura piana, mentre per la produzione di elementi a doppia curvatura vengono impiegati macchinari più complessi,



4.6 Bernhard Franken, Brandscape, padiglione BMW per l'Autosalone di Ginevra, 2000.

4.7 La piegatura con macchine CNC degli elementi strutturali di Brandscape

dotati di pioli di altezza regolabile, attraverso cui fa passare l'elemento per la sua formatura.

La richiesta di elementi con curvatura variabile è in continua crescita, pertanto questi macchinari si stanno diffondendo tra quelle aziende che realizzano i propri prodotti attraverso la digital fabrication.

#### 4.1.2 Rapid Prototyping

I processi di rapid prototyping possono essere considerati l'opposto dei processi di fresatura: mentre questi ultimi infatti lavorano il materiale attraverso la rimozione delle sue parti, i primi realizzano i pezzi e le loro parti attraverso la sovrapposizione e/o la solidificazione di strati successivi di materiale; per questo motivo esse vengono trattate in un paragrafo a parte.

Quattro sono le fasi attraverso cui viene realizzato un pezzo impiegando tecniche di prototipazione rapida:

- creazione del file STL;
- gestione del file STL;
- costruzione layer by layer del pezzo;
- post – trattamenti;

La prima fase consiste nella generazione e nella verifica del file STL (acronimo di Standard Triangulation Language), introdotto dalla società 3D system, che descrive l'oggetto da realizzare attraverso la decomposizione della sua superficie in triangoli, il cui numero determina il livello di approssimazione della superficie: maggiore è il numero di triangoli quanto più precisa sarà la sua descrizione.

Come per la generazione delle informazioni necessario al controllo delle mac-

chine utensili a CNC la creazione del file STL può avvenire impiegando direttamente il modello elaborato con software CAD oppure mediante tecniche di reverse engineering.

La seconda fase consiste nella verifica della correttezza del file STL attraverso software dedicati e nello slicing, un processo per la definizione delle “fette” che, sovrapposte le une alle altre, originano il pezzo finale.

Lo slicing è un’operazione critica poiché determina le caratteristiche superficiali del pezzo da realizzare.

Nella fase successiva avviene il trasferimento del file STL o delle slice alla macchina prototipatrice che procede poi alla deposizione del materiale strato per strato (layer by layer) realizzando il pezzo desiderato.

L’ultima fase consiste nell’estrazione del pezzo dalla macchina liberandolo del supporto o del materiale in eccedenza. (wikipedia: prototipazione rapida).

Le tecniche di prototipazione rapida si distinguono sia per il tipo di materiale che utilizzano sia per il tipo di processo a cui lo sottopongono per realizzare il modello; di seguito sono illustrate sinteticamente le principali:

- stereolitografia. “È il primo e il più diffuso sistema di prototipazione rapida commercialmente diffuso” ([www.apri-rapid.it](http://www.apri-rapid.it)) e si basa sulla polimerizzazione (solidificazione) di un liquido fotosensibile per effetto di un laser. Esso viene pilotato da un computer per formare i diversi strati di materia solida tracciando il profilo del pezzo da produrre, successivamente, la vasca contenente il liquido viene abbassata di uno strato, consentendo la solidificazione dello strato successivo. il ciclo viene ripetuto fino a realizzare il pezzo desiderato che deve poi essere cotto in un forno speciale e, una volta estratto dalla fornace, può essere dipinto o rivestito in metallo;
- selective laser sintering. Una volta chiamato semplicemente SLS, letteralmente significa “sinterizzazione selettiva al laser”; il liquido fotosensibile viene sostituito con strati di polvere di vari metalli. Un apposito strumento sparge, livellandolo, uno strato e il raggio laser sinterizza (ovvero solidifica tramite il calore) una sezione di materiale, lasciando il resto in polvere;
- 3D printing. Letteralmente “stampa tridimensionale” è una tecnica

molto simile alla precedente, le polveri anziché essere sinterizzate vengono spruzzate con un collante mediante un sistema simile a quello presente nelle stampanti a getto di inchiostro, dopodiché la forma ottenuta viene vulcanizzata;

- multi jet modeling. Letteralmente traducibile come "realizzazione di modelli tramite getti multipli", questa tecnica prevede l'utilizzo di una testina dotata di una serie di ugelli che si muove spruzzando cera;

- fused deposition modeling. Letteralmente "costruzione dei modelli tramite getti multipli", è l'unico sistema a fare uso di fili e barrette di materiali termoplastici (come cera o nylon). Essi vengono prima fusi all'interno di una testa di estrusione e poi depositati in sottili strati tramite un ugello calibrato. Questa tecnica è l'unica a necessitare strutture di supporto per il modello;

- laminated object manufacturing. Letteralmente "fabbricazione di oggetti tramite laminazione"; prevede la sovrapposizione di strati di materiale solido (carta, plastica o materiali compositi) e la loro pressatura. Successivamente viene tagliato con un raggio laser secondo la sezione prevista.

A differenza delle macchine tradizionali a CNC che sono impiegate soprattutto nel settore industriale, la prototipazione rapida viene già da tempo applicata nel design e in architettura, principalmente per realizzare maquettes, poiché gli oggetti producibili mediante queste tecniche non superano generalmente i 50 cm lungo i tre assi.

Nonostante la precisione delle tecniche di prototipazione (dell'ordine di un decimo di millimetro sull'asse Z), le dimensioni ridotte dei prodotti realizzabili,



4.8 Macchina per la stereolitografia



4.9 Macchina per la stampa tridimensionale

l'abbassamento del prezzo dei materiali, limitano, in architettura, il loro utilizzo odierno alla realizzazione di piccoli modelli in scala.

Le potenzialità del rapid prototyping hanno spinto alcuni ricercatori a sperimentare la sua applicazione anche nella realizzazione di edifici in scala 1:1: dopo i primi esperimenti in cui si realizzavano grandi strutture in ghiaccio adoperando spruzzi d'acqua, interessanti studi condotti dall'ingegnere industriale Behrokh Khoshnevis della University of Southern California dimostrano oggi la possibilità di stampare grandi strutture in calcestruzzo impiegando un prototipo da lui stesso sviluppato.

La prototipazione rapida possiede un'enorme flessibilità e impone poche limitazioni alla forma degli oggetti che si intendono realizzare, consegnando al progettista una grande libertà espressiva.

#### *4.1.3 Robot industriali*

I robot sono oggi molto diffusi nel settore industriale permettendo alle aziende di abbattere notevolmente i costi accelerando e migliorando la produzione.

La differenza tra i robot industriali e i dispositivi automatici "risiede nel fatto che un robot può essere modificato in base ai compiti da svolgere e ai cambiamenti dell'ambiente, cambiando un software o alcune schede elettroniche e non l'intera macchina" ([www.remotehost.org](http://www.remotehost.org)).

Le principali caratteristiche di questi dispositivi sono quindi la flessibilità di utilizzo e la loro multifunzionalità.

La comparsa dei primi robot risale ai primi anni '70 con i manipolatori industriali la cui scarsa diffusione è dovuta al fatto che sono idraulici e imprecisi.

A partire dagli anni '80 si assiste allo sviluppo del settore della robotica industriale, spinto dall'aumento della richiesta conseguente alla riduzione del suo costo di esercizio che diviene inferiore del costo del lavoro di un operaio.

In questo decennio viene brevettato un nuovo manipolatore, SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) creato per l'assemblaggio industriale ed estremamente veloce nel pick and place (ovvero il movimento di presa di un oggetto da una posizione A ed una posizione B, dove A e B distano 12 pollici).

In questo periodo si comprende che è possibile trarre vantaggio dalla sostit-





4.10-4.11 Gramazio & Kohler, The Programmed Wall, ETH di Zurigo, 2006

4.12-4.13 Gramazio & Kohler, The Sequential Wall, ETH di Zurigo, 2008



tuzione del lavoro dell'uomo con quello dei robot, potendo impiegare questi ultimi nelle attività produttive ripetitive, pesanti e pericolose.

Negli ultimi anni i robot si sono evoluti ulteriormente aumentando la precisione, la velocità, la capacità di carico e i gradi di libertà di movimento, e sono comunemente definiti antropomorfi.

Da qualche anno si è cominciato a sperimentare l'impiego di questi robot anche in architettura, ma anziché utilizzarli, come avviene nel settore industriale, per massimizzare la produzione seriale attraverso la ripetizione delle stesse operazioni di stampaggio, taglio, saldatura o movimentazione, essi vengono invece impiegati per realizzare un'ampia gamma di prodotti differenziati.

In questa direzione è orientata la ricerca di Gramazio & Kohler che dal 2005 hanno cominciato a sperimentare, all'interno dei laboratori dell'ETH di Zurigo, l'utilizzo di un robot prodotto dalla KUKA robot group, una delle aziende leader del settore della robotica: il KR150 L100.

I lavori dei due progettisti sono rivolti a scoprire tutte le possibilità offerte dall'applicazione di questi dispositivi all'architettura.

A differenza delle tradizionali macchine CNC o di rapid prototyping i robot consentono una grande flessibilità di utilizzo e multifunzionalità: lo stesso dispositivo, semplicemente intercambiando i propri utensili, può essere impiegato per svolgere un ampio numero di lavorazioni tra cui la saldatura, il taglio, la

fresatura, la movimentazione, l'assemblaggio, etc., praticabili su diversi materiali.

Le macchine a controllo numerico, invece, essendo sviluppate per l'esecuzione di una lavorazione specifica, (fresatura, taglio, piegatura, etc.) anche se può essere eseguita ogni volta in modo differente dal precedente, non presentano la stessa multifunzionalità, pertanto per ogni tipo di lavorazione si rende necessario l'impiego di una macchina CNC diversa.

Rispetto a questi macchinari, i robot presentano anche degli svantaggi: la programmazione, infatti, non avviene mediante software "user-friendly" dei sistemi integrati CAD-CAM, infatti, essi devono essere spesso sviluppati direttamente dagli operatori, richiedendo approfondite conoscenze informatiche e di programmazione, limitando così la diffusione di questi potentissimi strumenti di fabbricazione ai soli operatori specializzati.

Inoltre le sue dimensioni sono piuttosto ingombranti, inoltre possono risultare anche molto pericolosi durante il loro funzionamento, rendendo necessario il loro isolamento.

Ad ogni modo i risultati raggiunti dalle ricerche di Gramazio & Kohler dimostrano come l'utilizzo di questi dispositivi apra nuovi scenari per i progettisti che meritano almeno di essere indagati.

## **4.2 Tecniche di digital fabrication**

*ecniche di fabbricazione bidimensionale: nesting – Tecniche di fabbricazione tridimensionale: Contouring, Forming, Folding.*

Dagli anni 90 in poi, il lavoro pioneristico di architetti di generazioni diverse come Gehry, Shop Architects, Franken, etc., oltre a promuovere le potenzialità di nuovi software per la progettazione nella creazione di nuove spazialità sviluppate all'interno di involucri di forma complessa, dimostra una rinnovata possibilità per i progettisti di assumere il controllo dell'intero processo costruttivo dell'edificio, dal progetto alla sua fabbricazione, fino nei casi più avanzati al cantiere.

L'impiego delle tecniche CAD/CAM ha permesso di realizzare ciò che prima era addirittura difficilmente immaginabile, sovrapponendo il momento del pro-

getto a quello della sua costruzione, all'interno di un nuovo processo che Micheal Speaks definisce "design intelligence": "il fare diviene conoscenza o creazione intelligente. In questo modo di pensare e fare, progetto e fabbricazione, prototipo e progetto finale si confondono divenendo parte di un non-lineare processo di innovazione"(1), che prende l'avvio con la digitalizzazione dell'informazione.

L'informazione digitale viene elaborata, attraverso i software opportuni, dai progettisti e scambiata in tempo reale con i diversi operatori coinvolti nella definizione del progetto e nella sua costruzione, fino al conseguimento delle soluzioni tecniche e costruttive e alla loro verifica da parte dell'industria chiamata a realizzarle.

Lo sviluppo delle tecnologie informatiche all'interno del settore delle costruzioni ha quindi originato un nuovo linguaggio accessibile a tutti i diversi operatori che consente l'interazione delle specifiche conoscenze nella definizione del progetto e nella sua costruzione: le informazioni grafiche elaborate dai progettisti sono automaticamente tradotte in dati impiegabili direttamente nella verifica del progetto e della sua costruibilità e nella programmazione delle macchine a controllo numerico utilizzate per la produzione industriale dei componenti

Il nuovo linguaggio sollecita i progettisti ad allargare i confini della propria cultura disciplinare offrendo l'opportunità di intervenire direttamente nella fase produttiva.

Per esplorare i nuovi scenari che si spalancano di fronte a questa opportunità è necessario definire le tecniche di fabbricazione digitale che sono state finora messe a punto durante la realizzazione di un numero ancora limitato di edifici attraverso una stretta collaborazione tra progettisti e industria.

Una distinzione delle tecniche di digital fabrication può essere operata in base al numero di assi su cui avviene la lavorazione: quando esso è uguale o inferiore a due sono definite bidimensionali mentre quando il loro numero è superiore a due sono tridimensionali.

Le tecniche di fabbricazione bidimensionale sono sostanzialmente applicate alla lavorazione di elementi piani e sono fondamentalmente limitate al taglio (anche se si annovera l'esistenza di macchinari a controllo numerico dedicati

a lavorazioni superficiali come macchine smerigliatrici, lucidatrici, levigatrici, etc., esse non vengono impiegate ancora nel settore edilizio).

La tecnica di taglio di elementi piani di materiale grezzo è comunemente chiamata nesting, e può essere eseguita impiegando uno qualsiasi dei macchinari a controllo numerico per il taglio: laser, getto d'acqua, plasma etc.

Questa è una delle tecniche a cui i progettisti ricorrono più comunemente, poiché, seppur limitata ad elementi piani, essa può realizzare pezzi molto diversi tra loro, dai componenti strutturali a quelli di rivestimento allo stesso costo di quelli standardizzati.

Le tecniche di digital fabrication, come specificato nei paragrafi precedenti, non comportano costi aggiuntivi rilevanti, quando la generazione dei dati necessari alla programmazione delle macchine non viene eseguita dalle aziende produttrici.

Generare le informazioni necessarie alla programmazione delle macchine a controllo numerico per il taglio è abbastanza semplice, poiché sono sufficienti disegni CAD bidimensionali dei pezzi da fabbricare, la cui elaborazione richiede conoscenze informatiche di cui la maggior parte dei progettisti è già in possesso.

Bernhard Franken ricorre al nesting per la fabbricazione degli elementi strutturali del suo progetto "Bubble", il padiglione espositivo realizzato per la presentazione del gruppo BMW all'International Automobile Show IAA 1999.

Il padiglione rappresenta le ricerche condotte dal gruppo automobilistico tedesco sulle tecnologie all'idrogeno attraverso la propria forma: due gocce d'acqua derivate dalla combustione del motore a idrogeno.

L'andamento degli elementi strutturali metallici dell'edificio è stato determinato intersecando la superficie complessa dell'involucro del padiglione con un sistema ortogonale di piani, mentre il loro spessore è stato stabilito mediante un offset della superficie stessa verso l'interno dell'edificio.

Gli elementi così generati sono delle lastre metalliche curvate secondo raggi di dimensione variabile la cui realizzazione è avvenuta mediante macchine a controllo numerico per il taglio a getto d'acqua.

La programmazione delle macchine è avvenuta impiegando direttamente il modello informatico tridimensionale elaborato dallo studio di progettazione.

Per il successivo padiglione per la BMW progettato da Franken nel 2001, il Dynaform, gli elementi strutturali sono stati nuovamente realizzati attraverso questa tecnica di digital fabrication.

La forma dell'edificio questa volta è stata derivata dalla simulazione dell'effetto Doppler provocato da un'auto in movimento all'interno di una matrice di linee parallele.

Gli elementi strutturali sono poi stati determinati tagliando il volume irregolare dell'edificio ottenuto secondo diversi piani.

Essi sono dei portali di geometria e grandezza variabile tra loro collegati posti a distanze regolari gli uni dagli altri.

La fabbricazione degli elementi strutturali metallici è avvenuta porzionando i portali in elementi di dimensioni più piccole, realizzati mediante macchine a controllo numerico per il taglio al plasma, programmate impiegando sempre il modello informatico elaborato dallo studio di progettazione, e poi saldate insieme.

Il nesting è stato questa volta anche adottato per il taglio della membrana che riveste esternamente l'intero padiglione.

Un ulteriore esempio dell'impiego di questa tecnica di digital fabrication è il padiglione temporaneo DRL TEN realizzato dagli architetti Alan Dempsey e Alvin Huang vincitori del concorso indetto dalla Architectural Association in occasione del decennale del suo Design Research Laboratory (DRL).

Il bando del concorso richiedeva la progettazione esecutiva per la costruzione di un padiglione in GRC che non superasse le dimensioni di 10 m in lunghezza e in larghezza e i 5 m di altezza, realizzabile grazie all'ausilio di strumenti informatici per il calcolo, la rappresentazione, e la fabbricazione, che accogliesse il visitatore in una nuova coinvolgente esperienza spaziale.

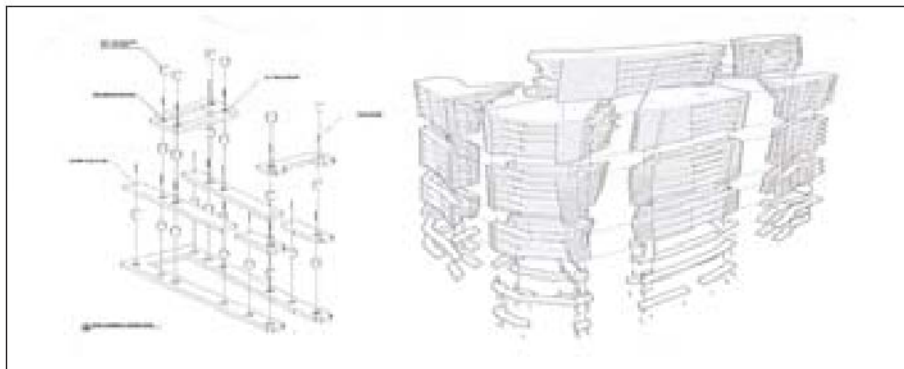
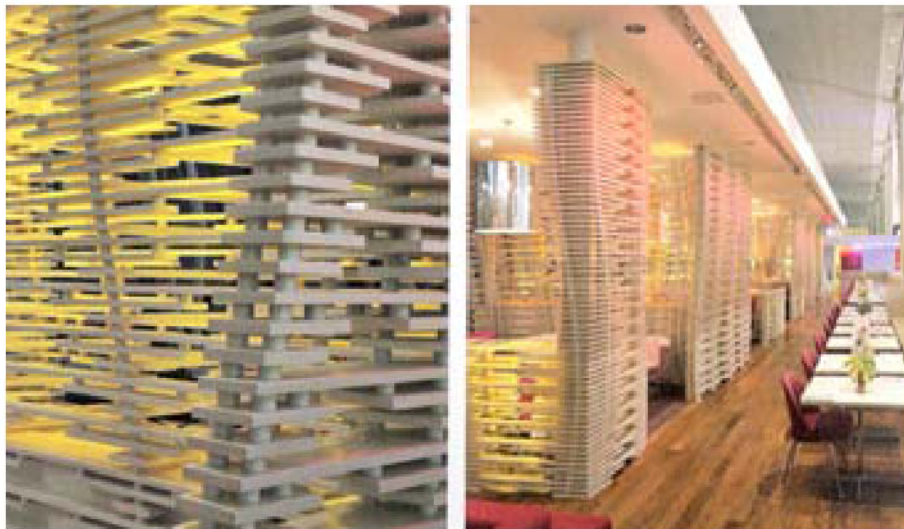
Il progetto vincitore prevedeva l'involucro, le struttura, le pavimentazione e l'arredo realizzati attraverso l'assemblaggio di 854 pezzi in cemento fibrorinforzato di spessore pari a 13 mm, che sono stati tutti sagomati mediante macchine a controllo numerico per il taglio a getto d'acqua anche questa volta programmate impiegando il modello informatico fornito dai progettisti.

La tecnica di fabbricazione digitale di nesting è stata inoltre impiegata in modo originale dallo studio di progettazione newyorkese SHoP Architects nella re-

4.14 SHoP, Virgin Atlantic Clubhouse, New York, 2004  
Dettaglio della parete

4.15 SHoP, Virgin Atlantic Clubhouse, New York, 2004

4.16 SHoP, Virgin Atlantic Clubhouse, New York, 2004,  
Istruzioni per il montaggio



alizzazione della Clubhouse, una sala d'attesa privata dei clienti della prima classe per la compagnia aerea Virgin Atlantic nell'aeroporto JFK di New York, completata nel 2004.

L'obiettivo era quello di ottenere un'architettura di forte impatto (il cui risultato formale era strettamente controllato dalla committenza durante i numerosi incontri con i progettisti) attraverso la massima semplificazione delle fasi di assemblaggio in situ nel rispetto dei vincoli normativi vigenti.

La soluzione finale delle pareti dalla struttura avanzata da SHoP Architects riprende quella elaborata in un precedente progetto di arredo, realizzato attraverso la sovrapposizione di sezioni orizzontali di legno, costanti nello spessore ma differenti nella forma.

A differenza del prototipo di arredo le sezioni in legno della Clubhouse non sono state sovrapposte le une alle altre con continuità, formando una parete opaca, ma sono state distanziate per permettere allo sguardo degli ospiti e ai raggi luminosi di attraversare le pareti del padiglione.

Il modello tridimensionale elaborato nel software Rhinoceros è stato quindi sezionato orizzontalmente al fine di ricavare tutte le forme dei diversi elementi in legno costituenti le pareti, i cui profili sono serviti per programmare le macchine a controllo numerico che hanno eseguito il nesting dei pannelli.

La Clubhouse mostra un'applicazione diversa da quelle strutturali degli elementi fabbricati mediante la tecnica di fabbricazione digitale di nesting mostrata nei progetti precedenti offrendo ai progettisti la possibilità di esplorare nuove forme e tipologie.

Le tecniche di fabbricazione tridimensionale invece si applicano nella lavorazione di elementi di forma complessa, escludendo quindi quelli piani, e sono:

- 1) il *contouring*;
- 2) il *forming*;
- 3) il *folding*.

#### *4.2.1 Contouring*

La tecnica di digital fabrication denominata *contouring*, utilizzata per la lavorazione superficiale del pezzo, rinnova il rapporto tra architettura e scultura.

L'impiego delle tradizionali macchine a controllo numerico come le frese, i robot industriali e di macchine di prototipazione rapida permettono ai progettisti di ritornare a fare uso della tradizionale pratica scultorea attraverso cui sono stati modellati gli elementi tradizionali dell'architettura classica per la realizzazione dei componenti dei propri edifici come colonne, capitelli, fregi, etc.

Ciò che prima dello sviluppo tecnologico degli strumenti informatici per la progettazione e per la produzione era esclusiva della pratica artigianale oggi può essere invece fabbricato industrialmente.

Il *contouring* può essere eseguito per sottrazione di materiale, quando se ne asportano porzioni da un blocco mediante il passaggio degli utensili di frese a CNC o robot industriali, oppure per addizione, impiegando le tecniche di rapid prototyping che realizzano l'oggetto attraverso la sovrapposizione di strati diversi di materiale.

Tutti questi strumenti permettono la realizzazione di qualsivoglia forma, offrendo inoltre la possibilità di lavorare un'ampia gamma di materiali.

Il *contouring* è però una tecnica di digital fabrication ancora poco impiegata

per diverse ragioni: la programmazione dei macchinari necessari richiede dettagliati modelli informatici tridimensionali, che non molti progettisti ancora sono in grado di produrre, inoltre, la loro conversione attraverso software CAM in istruzioni comprensibili dalle macchine richiede successivi aggiustamenti da parte di operatori specializzati per valutare il corretto flusso delle numerose operazioni che differenti utensili dovranno eseguire, comportando quindi un aumento dei costi della produzione; i tempi per la fabbricazione del pezzo sono molto lunghi; infine quando il *contouring* viene eseguito per sottrazione, le quantità di materiale che viene asportato possono essere anche molto elevate, gravando così sui costi finali, mentre nel caso che questa tecnica sia eseguita per addizione le dimensioni del pezzo sono molto limitate potendo al momento ottenere elementi che misurano al massimo 25 x 20 x 20 cm (Crippa, Di Prete, 2005).

A seguito dei limiti dimensionali della produzione mediante tecniche di *rapid prototyping* il *contouring* eseguito per addizione è per lo più utilizzato per la realizzazione di oggetti o componenti di dimensioni ridotte, rivelandosi quindi più appropriato nel settore del design che in quello delle costruzioni, almeno fino a quando non sarà possibile produrre elementi di dimensione maggiore.

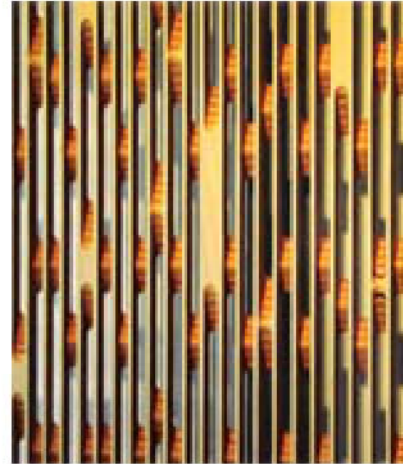
La tecnica del *contouring*, eseguita per sottrazione, è stata applicata in architettura per la prima volta dal progettista Frank O'Gehry.

Dopo aver messo a punto questa tecnica insieme a Permasteelisa nelle prime fasi del progetto per la Disney Concert Hall di Los Angeles, successivamente alla vittoria del concorso, per la realizzazione degli elementi di rivestimento delle superfici curvilinee esterne previsti in pietra, seguendo le direttive della committenza, realizzando modelli in scala al vero di alcuni componenti mediante il ricorso a macchine a controllo numerico, Gehry impiega il *contouring* per la realizzazione degli elementi in pietra del Museo Guggenheim a Bilbao, ultimato nel 1997.

Gli elementi di rivestimento delle superfici lapidee esterne dell'edificio spagnolo sono state fabbricate mediante l'impiego di fresalesatrici a CNC a partire dai modelli digitali tridimensionali elaborati dallo studio di progettazione californiano.

La tecnica del *contouring* per sottrazione, come già espresso precedente-





4.17 Erwin Hauer e Enrique Rosado, Design 306, rivestimento interno delle pareti

4.18 Jeremy Ficca CNC Panels rivestimento interno delle pareti

mente, non è ancora diffusamente impiegata in architettura, poiché per la fabbricazione del pezzo viene sprecata una quantità generalmente alta di materiale, che incide alla fine sui costi di produzione.

Recentemente questa tecnica di digital fabrication viene però sperimentata per la produzione di elementi per l'architettura di interni.

Due progetti interessanti sono i pannelli per il rivestimento interno delle pareti "Design 306" di Erwin Hauer e Enrique Rosado e "CNC Panels" di Jeremy Ficca.

Il primo, progettato per il grattacielo The Centria a New York nel 2005, è stato pensato per essere fabbricato utilizzando una fresa a controllo numerico a tre assi e si presenta come un pannello attraversato a tutta altezza da elementi curvilinei in rilievo che modulano la luce sulla propria superficie.

Originariamente in pietra arenaria bianca, il pannello è stato poi realizzato con diverse pietre e materiali, come ad esempio l'MDF, variando inoltre anche le sue dimensioni, dimostrando la flessibilità dei macchinari impiegati per la produzione.

Il CNC Panels progettato da Jeremy Ficca nel 2004 è invece stato pensato per essere fabbricato mediante un router CNC (una sorta di fresaleatrice a controllo numerico) a due assi e mezzo, programmato attraverso disegni CAD bidimensionali.



4.17 Erwin Hauer e Enrique Rosado, Design 306, rivestimento interno delle pareti

Il pannello, realizzato esclusivamente in compensato, è stato studiato per la modulazione e la filtrazione della luce attraverso le numerosissime fessure aperte sulla sua superficie.

Ciò che è interessante in questo progetto, al di là della sorprendente espressività del pannello, è il processo progettuale che ha portato alla sua realizzazione: Jeremy Ficca ha potuto infatti studiare, attraverso la fabbricazione diretta di diversi prototipi, il comportamento del pannello in seguito alla sua lavorazione, intervenendo sul processo produttivo per raggiungere la soluzione finale.

#### *4.2.2 Forming*

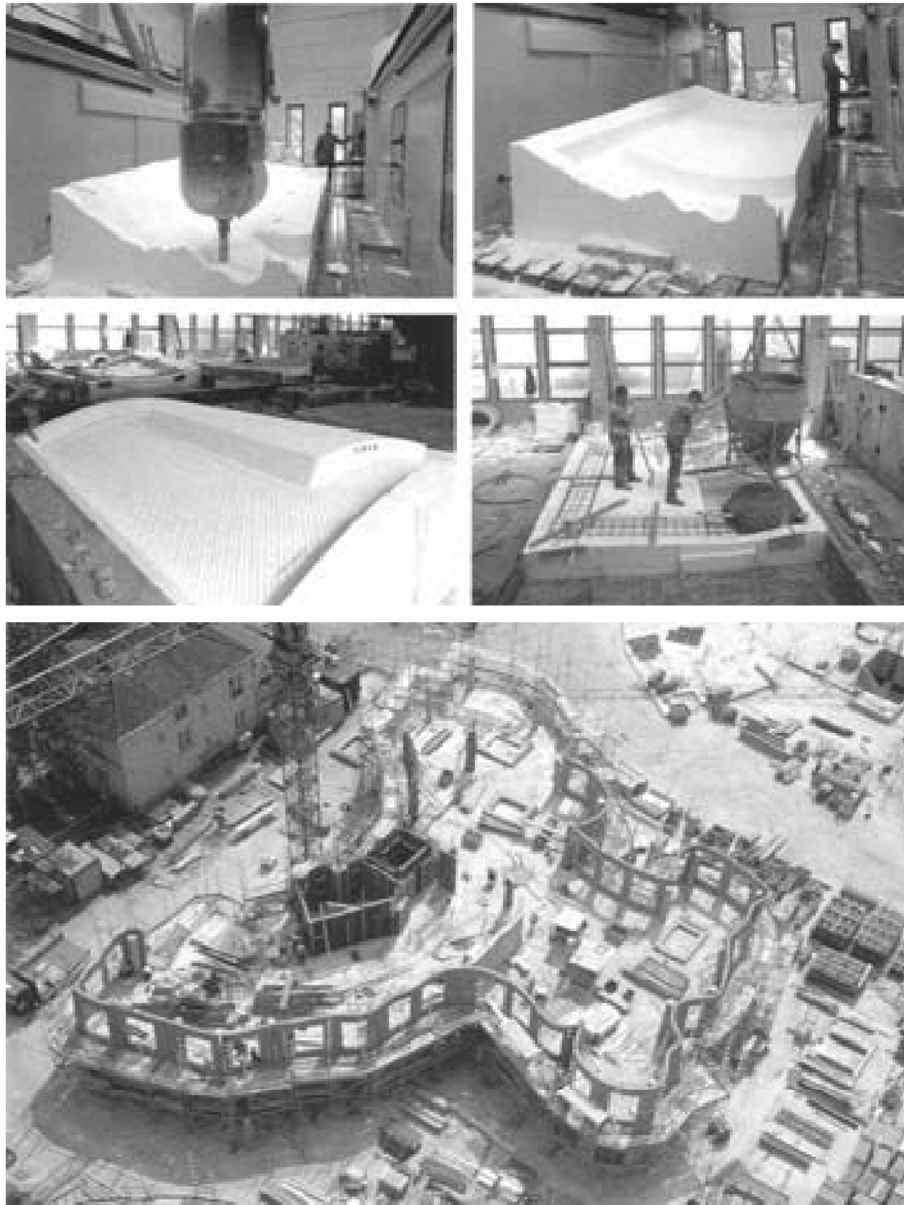
Il forming è la tecnica di fabbricazione digitale che permette la produzione di elementi mediante stampaggio.

Questa è una tradizionale tecnica industriale di produzione convenzionalmente usata anche per la fabbricazione di componenti per l'architettura, come ad esempio i pannelli prefabbricati in calcestruzzo impiegati per il tamponamento delle facciate di edifici residenziali e industriali a partire dalla metà del secolo scorso.

Il forming, a differenza della tradizionale tecnica di stampaggio, che attraverso la produzione di un unico stampo permetteva la fabbricazione di un infinito numero di pezzi identici, ottimizzando così l'investimento di capitale speso per la realizzazione dello stampo stesso in accordo al vecchio paradigma della produzione di massa, mediante l'impiego di macchine fresatrici a CNC, robot industriali e macchine per il rapid prototyping, offre al progettista la possibilità di realizzare diversi stampi per la fabbricazione di elementi tra loro differenti a un costo contenuto secondo l'attuale paradigma della mass customization.

La tecnica del forming si avvale di quella del contouring, la quale però, anziché essere applicata per la fabbricazione diretta del pezzo, viene qui adottata per la produzione dello stampo.

Il forming consente in questo modo di fabbricare elementi diversi controllando la produzione di materiale di scarto derivante dalla lavorazione dello stampo. La diffusione di questa tecnica per la produzione di componenti e sistemi per l'architettura risulta maggiore della precedente di contouring, probabilmente



4.19 Frank O'Gehry  
Il processo di  
fabbricazione dei  
pannelli in calcestruzzo  
per la Zolhof Tower,  
Dusseldorf, 2000.

in ragione della minore produzione di materiale di scarto e delle sue conseguenze economiche.

Nonostante ciò il suo ricorso è ancora piuttosto limitato, poiché, utilizzando la tecnica di fabbricazione digitale di *contouring* (e quindi gli stessi macchinari) per realizzare lo stampo, sono necessari per la programmazione delle macchine di modelli digitali tridimensionali dettagliatissimi, che, ancora pochi progettisti sono in grado di produrre, delegando ai tecnici specializzati il compito di ottimizzarli per la loro fabbricazione mediante tecniche digitali, incidendo così sui costi finali di realizzazione.

Un esempio significativo dell'impiego della tecnica di fabbricazione digitale di

forming è quello dei pannelli in calcestruzzo armato impiegati per realizzare le pareti portanti del complesso di uffici Der Neue Zollhof costruito a Dusseldorf nel 1999 su progetto di Frank O'Gehry.

Nonostante il complesso sia formato da tre edifici tutti costruiti mediante lo stesso sistema di telai, solette piane e muri portanti di calcestruzzo, così come imposto dal committente per evitare, a suo parere, l'aspetto di montagne russe impacchettate, ognuno presenta geometrie dell'involucro e materiali di rivestimento differenti: quello disposto al centro possiede volumi ondulati rivestiti in acciaio, mentre quello a ovest si articola secondo forme spigolose con il rivestimento delle facciate in laterizio e infine le superfici delle pareti dell'edificio a est, intonacate, presentano una geometria che sembra mediare le due precedenti.

Il principio di variazione adottato nella progettazione delle geometrie e dei sistemi di rivestimento delle facciate dei tre edifici è stato poi perpetuato nella produzione dei pannelli che formano le pareti esterne curvilinee.

Utilizzando macchine fresaletrici a controllo numerico sono state infatti prodotti in stabilimento 355 stampi di polistirene (Styrofoam), in cui sono stati disposti successivamente i ferri delle armature e gettato il calcestruzzo per realizzare i pannelli delle pareti esterne portanti.

Le macchine sono state programmate utilizzando il modello informatico fornito all'azienda produttrice dallo studio di progettazione californiano di Gehry. Una volta fabbricati in stabilimento i pannelli sono stati portati in cantiere, adattati, e assemblati.

Il polistirene impiegato per la realizzazione degli stampi, data la sua economicità, non ha inciso sul costo finale della costruzione, permettendo all'architetto la produzione dei numerosi stampi per realizzare le forme irregolari dell'involucro esterno degli edifici.

Dopo più di dieci anni dal completamento del Der Neue Zollhof la tecnica del forming è stata impiegata per realizzare i pannelli di tamponamento esterno di un edificio residenziale di 13 piani fuori terra a New York, il 290 Mulberry, progettato dallo studio newyorkese SHoP Architects, la cui costruzione deve ancora essere ultimata (anche se programmata per l'inizio del 2009).

L'edificio è collocato nel quartiere Nolita di Manhattan in cui vige un regola-

mento edilizio particolarmente restrittivo che impone per le facciate esterne degli edifici l'uso di un paramento laterizio.

Il codice inoltre include una regola secondo la quale per ogni 100 sqft di facciata si ha diritto ad un aggetto dal limite del lotto in una misura del 10%, corrispondente a quanto serve per realizzare i cornicioni delle facciate tipiche della zona del village.

SHoP Architects ha coraggiosamente deciso di assumere i vincoli imposti dal regolamento edilizio vigente in questa zona come punto di partenza per la modellazione dell'intera facciata con una ondulazione continua della superficie in mattoni.

L'elemento caratterizzante il progetto è quindi il pannello di tamponamento esterno dell'edificio su cui, fin dal principio, sono state concentrate le attenzioni dello studio di progettazione.

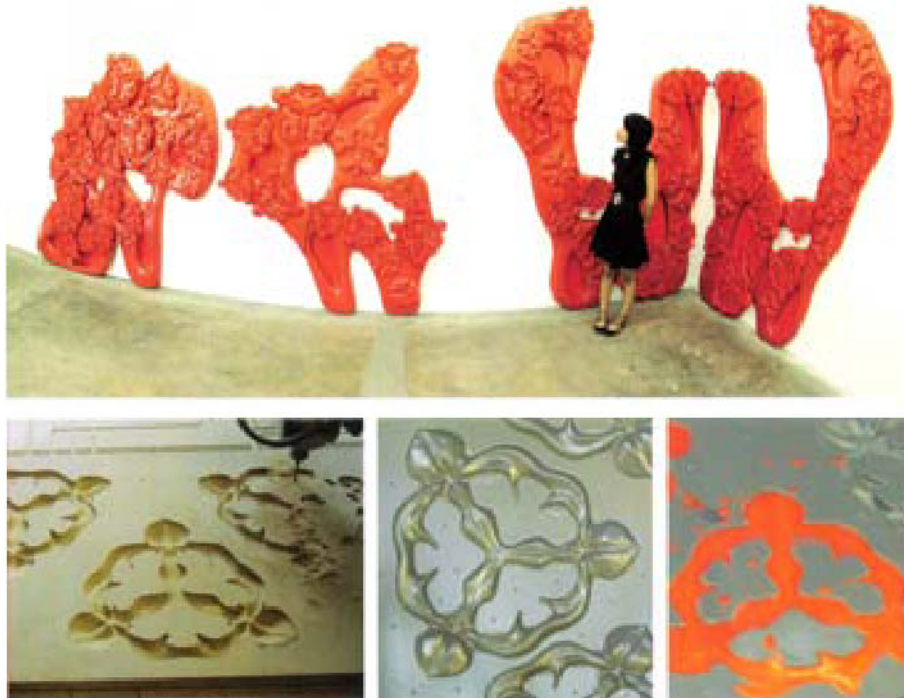
Dopo una lunga ricerca rivolta ad individuare un'azienda produttrice di pannelli prefabbricati disponibile a collaborare con lo studio newyorkese per la realizzazione di un nuovo prodotto su misura per la costruzione dell'edificio è stata selezionata la Architectural Polymers, impegnata nella produzione di stampi per l'edilizia usati soprattutto per la simulazione di altri materiali su superfici malleabili come intonaci e cementi, e la Saramanc Inc.

La soluzione adottata è stata quella di produrre un unico "macro-stampo" del quale i singoli pannelli fossero sotto-moduli da ricavare isolandone porzioni. Ogni singolo pannello è stato quindi modellato sulle porzioni del "macro-stampo", realizzato in gomma e sagomato con l'ausilio di una fresa a controllo numerico dove al suo interno sono stati posati i mattoni ed è stato successivamente gettato il calcestruzzo.

Questa strategia produttiva ha portato a realizzare un numero abbastanza limitato di stampi (venticinque) se comparato a quello necessario per la produzione dei pannelli delle pareti portanti degli edifici del complesso Der Neue Zollhof.

Anche in questo caso, come nell'esempio appena citato, i pannelli sono stati realizzati mediante la tecnica del forming in stabilimento poi sono stati trasportati in cantiere dove sono stati assemblati.

Questa volta però il pannello non prevedeva nessun aggiustamento in can-



tiere, poiché essi dovevano essere esibiti e non celati da un ulteriore sistema di rivestimento.

Questo progetto dimostra la possibilità di ottenere attraverso la tecnica di fabbricazione digitale di forming componenti architettoniche complesse, costituiti da più strati di materiale anche diverso (in questo caso i mattoni e il calcestruzzo) prodotti con la precisione necessaria per essere esibiti direttamente senza applicare lavorazioni successive a quelle eseguite in stabilimento.

Proprio per queste ragioni questa tecnica è diffusamente utilizzata anche per la realizzazione di installazioni, negli elementi per l'architettura d'interni, e anche nel design.

"Alice" e "Dark Places" sono due esempi di installazioni realizzate mediante la tecnica di "forming" progettati rispettivamente da Florencia Pita mod e dal collettivo di architetti servo.

"Alice" è un'installazione ispirata alla favola di Lewis Carroll, e crea molteplici paesaggi fantastici indagando il rapporto tra la ripetizione di elementi e la singolarità della loro composizione che generano configurazioni variabili a partire da un numero limitato di pezzi differenti.

La fabbricazione di questi pezzi è avvenuta mediante la produzione di stampi,

positivi e negativi, realizzati mediante colatura di PVC all'interno di altri stampi ottenuti mediante la lavorazione di pannelli in MDF con frese a controllo numerico.

Gli stampi in PVC sono stati prodotti poiché la porosità dell'MDF poteva imprimere una texture indesiderata all'elemento finale in plastica arancione.

Le macchine a controllo numerico programmate attraverso il modello informatico generato in MAYA e poi importato nel software CAM della fresaleatrice a CNC con cui è stato possibile specificare gli utensili da usare e il loro percorso per produrre gli stampi in MDF.

I diversi componenti dell'installazione sono poi stati trasportati e assemblati insieme mediante semplice incastro direttamente in situ.

Sullo stesso rapporto tra la ripetizione degli elementi e la singolarità della loro composizione impiegato per la realizzazione dell'installazione di Fiorentia Pita mod è stato declinato da servo l'utilizzo delle tecniche di forming per la fabbricazione degli stampi dei diversi pezzi che, combinati insieme, originano "Dark Places", un'opera totalmente diversa dalla precedente, collocata all'interno degli spazi del Santa Monica Museum of Art.

L'installazione di servo nasce dall'intreccio di quattro filamenti alle cui estremità sono proiettati i lavori di settantasei diversi artisti.

I filamenti di forma diversa tra loro sono costituiti da un numero variabile da otto a undici pezzi realizzati in plastica mediante cinque soli stampi, e successivamente uniti tra loro.



4.20 servo, Dark places, 2006

La comparazione tra le due diverse installazioni dimostra ancora una volta come a partire dalla stessa tecnica di fabbricazione digitale sia possibile realizzare elementi completamente diversi tra loro.

L'ultimo esempio dell'impiego della tecnica del forming è l'Ost/Kuttner Apartment progettato dallo studio newyorkese KOL/MAC e realizzato nel 1997.

Questo è stato uno dei primi progetti modellati su linee fluide ad essere stato realizzato attraverso tecniche di digital fabrication.

Sulan Kolatan e Bill MacDonald, fondatori dello studio di progettazione KOL/MAC, hanno utilizzato il concetto di lumping (derivato da alcune teorie scientifiche che sostengono l'esistenza di corrispondenze e similitudini fra fenomeni apparentemente senza alcuna relazione) per lo sviluppo del progetto organizzando le diverse entità, caratterizzate da sezioni trasversali identificative, sulla base delle reciproche similarità e affinità morfologiche, funzionali, di scala e di programma.

Questo processo progettuale ha prodotto una sorta di "domestic scape" che si articola in una variazione continua di attrezzature domestiche all'interno degli spazi dell'appartamento modulandone le superfici e adattandosi agli usi specifici.

Attraverso il modello informatico, elaborato con software CAD, sono state programmate le frese a controllo numerico che hanno permesso di produrre delle sezioni delle entità, in legno compensato e alluminio. Le sezioni così fabbricate mediante contouring sono poi state assemblate insieme e gli interstizi tra i pezzi diversi sono stati riempiti con schiuma poliuretanica per realizzare gli stampi da impiegare per lo stampaggio in termoformatura dei pannelli di resina pigmentata.

Per limitare il numero degli stampi da produrre e ridurre conseguentemente le ore di lavoro dei progettisti e degli operatori specializzati nella programmazione dei macchinari impiegati per la loro fabbricazione, essi sono stati associati ad altri per formare pezzi differenti, operazione che ha permesso inoltre di contenere i costi di costruzione.

Kolatan e MacDonald attraverso la realizzazione di questo progetto hanno dimostrato una pionieristica capacità di dominare le tecniche di fabbricazione digitale e di saperle declinare traendone vantaggio.



#### 4.2.3 Folding

L'ultima tecnica di digital fabrication è quella di folding che permette di ottenere un elemento tridimensionale a partire da uno piano.

Essa va ben oltre il semplice utilizzo di macchine piegatrici a controllo numerico.

Attraverso questa tecnica è possibile realizzare un ampio numero di elementi differenti con funzioni diverse: dai componenti di rivestimento a quelli strutturali.

La piegatura è una lavorazione che conferisce all'elemento, attraverso la sua alterazione geometrica, una buona resistenza meccanica rendendolo adatto ad assolvere varie funzioni.

La fabbricazione attraverso processi industriali di un elemento tridimensionale specifico mediante la piegatura di un elemento piano è consentita esclusivamente dall'utilizzo dei software di modellazione informatica.

Essi infatti, oltre a permettere al progettista il controllo numerico delle forme offrono poi la possibilità di svolgerle (unwrapping), ovvero di trasformare le geometrie tridimensionali delle superfici di un oggetto in piane, determinando con precisione la sagoma dell'elemento piano di partenza.

L'importanza di questo processo è testimoniata dallo sviluppo di numerosi software che, attraverso specifici comandi consentono questa operazione, come Rhinoceros, e da programmi e plug-in invece specificatamente dedicati, come Lamina Design, Surf Master e Pepakura Designer, SolidWorks e LITIO, che consentono inoltre di tenere conto, durante il processo di svolgimento, anche dello spessore del materiale.

Una volta che la sagoma del pezzo da produrre viene determinata si passa al taglio dell'elemento mediante la tecnica del nesting, successivamente possono essere eseguite delle incisioni sui pezzi lungo le linee di piegatura e, infine alla sua formatura mediante specifici macchinari, come ad esempio le piegatrici.

Le tecnologie di taglio più impiegate per l'incisione delle linee di piegatura sono il laser, il plasma e il getto d'acqua.

Mentre le macchine per il taglio laser, a differenza degli altri macchinari, offrono la possibilità di eseguire con precisione linee di taglio non semplicemente

continue, ma anche punteggiate o tratteggiate oppure solamente di incidere il materiale, garantendo la sua integrità, quelle al plasma o con getto d'acqua consentono la sua perforazione.

I software per la trasformazione di superfici tridimensionali in piane offrono inoltre diverse opzioni per la giunzione tra i diversi elementi e la loro marchiatura, che viene effettuata per agevolare il riconoscimento in cantiere dei diversi pezzi durante le fasi di montaggio.

I materiali lavorati mediante questa tecnica sono quelli che, per caratteristiche fisiche e chimiche, possono essere piegati senza rompersi, come i metalli.

Il materiale dei pannelli scatoletti di rivestimento della Porter House a New York progettato da SHoP Architects, realizzati mediante la tecnica di fabbricazione digitale di folding, è ad esempio lo zinco.

L'intervento di conversione ed ampliamento di un ex deposito a edificio residenziale all'interno del Meatpacking District a Manhattan è stato sviluppato intorno alla distinzione tra le parti originali del fabbricato e quelle di nuova costruzione.

Il nuovo volume è stato quindi disposto al di sopra dell'ex deposito il corpo di fabbrica dell'ex deposito, in parte in aggetto rispetto alle cortine murarie perimetrali del vecchio edificio.

Lo stacco tra le forme eclettiche del fabbricato originale e il nuovo corpo di fabbrica è stato enfatizzato dall'uso di materiali freddi e da aperture a tutta altezza.

Il disegno delle facciate è stato risolto attraverso l'assemblaggio di diversi moduli delle finestre, dai pannelli di zinco del rivestimento e da un sistema di light box incassati che si accendono durante le ore notturne.

Il progetto del nuovo corpo di fabbrica assume come aspetto formale caratterizzante, la ripartizione irregolare della facciata attraverso l'utilizzo di elementi di facciata realizzati ad hoc, allo scopo di rompere la monotonia dei fronti regolari dell'edificio preesistente.

L'involucro del volume aggiunto, è stato quindi rivestito da pannelli in zinco di tre diverse misure, sulla cui trama si aprono finestre a tutta altezza di quattro dimensioni diverse e sono collocati due tipi diversi di pannelli luminosi.

Per la realizzazione dei pannelli in zinco, lo studio ha collaborato, fino dalle

prime fasi del progetto, direttamente con l'impresa, in questo modo ha potuto raccogliere tutte le informazioni necessarie per controllare la loro fabbricazione: la larghezza dei pannelli da realizzare con l'ausilio di macchinari a controllo numerico per il taglio laser, secondo la tecnica digitale del nesting, hanno quindi compreso anche le informazioni di dettaglio sulle tolleranze, e incluso le fasce laterali di ogni pannello da piegare, per le quali era importante quantificare il raggio di piegatura dello zinco.

Le informazioni necessarie per la produzione dei componenti del sistema di involucro sono state direttamente trasferite dai disegni digitali, elaborati per la definizione del progetto, alle macchine che hanno tagliato automaticamente i pezzi e quelle per la piegatura.

Per consentire agli operai di riconoscere i diversi elementi durante le procedure di montaggio, sui singoli pezzi sono stati automaticamente tracciati, con l'ausilio del laser, i codici alfanumerici identificativi.

La tecnica di fabbricazione digitale del folding è stata in precedenza impiegata nella produzione delle lastre in titanio del rivestimento delle superfici esterne del museo Guggenheim di Bilbao e di quelle in acciaio inossidabile della Walt Disney Concert Hall.

Nel caso del museo Guggenheim i pezzi, tutti diversi tra loro, sono stati tagliati mediante la tecnica di fabbricazione digitale di nesting.

Al fine di produrre gli elementi del rivestimento metallico, è stato necessario modificare le curve del modello originario mediante un processo di ottimizzazione della loro geometria, che assicurasse il numero massimo di raggi di ciascun elemento di tre metri di lunghezza fosse limitato a quattro.

A partire dal modello informatico, sono state tagliate una ad una tutte le differenti lastre di titanio, poi piegate in officina e infine inviate in cantiere pronte per essere assemblate in opera.

Un progetto molto interessante per la cui realizzazione è stata impiegata la tecnica di fabbricazione digitale di folding in modo originale è quella dell'installazione Dragonfly esposta nel 2007 nella SCI-Arc Gallery e progettata da Tom Wiscombe di Emergent Architecture in collaborazione con il famoso studio di ingegneria Buro Happold.

I progettisti dello studio californiano, per lo sviluppo e la costruzione

4.22 Tom Wiscombe,  
Dragonfly, 2007



dell'installazione si sono liberamente ispirati alle ali di un drago, originando una struttura costituita da strisce di alluminio dello spessore di 1/8 di pollice (tre millimetri circa) tagliate mediante una fresaleatrice a controllo numerico, piegate su se stesse e fissate poi tra di loro mediante bulloni, e collegate alle pareti dello spazio espositivo in soli cinque punti.

I diversi componenti metallici sono prima stati accuratamente modellati mediante software CAD, nello specifico CATIA, includendo le informazioni relative allo spessore delle lastre in alluminio da tagliare per la produzione delle strisce metalliche, alla giacitura delle linee di incisione per la loro piegatura e al posizionamento e al diametro dei buchi entro cui inserire i bulloni per il fissaggio.

I modelli tridimensionali di ogni componente sono stati poi svolti mediante l'operazione digitale di unwrapping svolta automaticamente dal software per il



nesting delle strisce in alluminio, su cui sono state incise le indicazioni riguardo il loro posizionamento e l'angolo di piegatura di ogni lembo direttamente durante la loro fabbricazione digitale.

L'installazione, un'ala di drago, è stata ancorata alle pareti come se fosse fissata al corpo dell'animale fantastico librandosi in aria con uno sbalzo considerevole.

Esso genera uno stato tensionale all'interno della struttura che evidenzia l'ottima resistenza dei suoi componenti, fabbricati mediante la tecnica di folding.

Note

(1) Grimaldi, F., *CNC – Macchine utensili a controllo numerico*, Milano: Hoepli, 1998, p. 376.

(2) De Luca, F., Nardini, M., *Dietro le quinte. Tecniche d'avanguardia nella progettazione contemporanea*, Torino: Testo&Immagina, 2003, pp.52-53.



## Dai paradigmi del Moderno all'informatizzazione in architettura: scenari per i progettisti del prossimo futuro

Come la ricerca ha dimostrato, il recente sviluppo delle tecnologie informatiche che ha investito la società, sta avendo oggi un forte impatto anche sul settore delle costruzioni.

L'evoluzione e la diffusione degli strumenti informatici per il progetto e la costruzione, l'innovazione tecnologica, la globalizzazione del progetto, hanno introdotto nell'ambito della progettazione architettonica e della produzione industriale importanti cambiamenti, destinati con molta probabilità a mutare radicalmente le modalità progettuali, quelle processuali e di conseguenza anche il ruolo delle figure, nel settore delle costruzioni.

Lo stadio ancora germinale del processo evolutivo delle trasformazioni avviate con l'introduzione nel settore edilizio delle tecnologie informatiche, e soprattutto il loro veloce e continuo sviluppo, non consentono di porsi in modo definitorio nel tracciare, in relazione alle nuove metodiche progettuali e tecnologiche, gli scenari possibili per gli attori e i processi del settore delle costruzioni nel prossimo futuro.

Di seguito vengono individuati cinque temi attraverso cui poter delineare alcune ipotesi sulle trasformazioni che, molto probabilmente, a diversi livelli, interesseranno il settore delle costruzioni, evidenziando opportunità e criticità dell'informatizzazione del progetto e della digitalizzazione della fabbricazione.

### 5.1 L'evoluzione tecnologica

La crescita esponenziale e l'evoluzione degli strumenti informatici per il progetto e la costruzione offrono oggi nuove opportunità ai progettisti e all'industria. I software CAD, in principio impiegati semplicemente a supporto della rappresentazione del progetto, in seguito al loro sviluppo, hanno dato un forte impulso alle ricerche verso nuove forme e spazialità per l'architettura, evolvendosi successivamente come strumento di supporto a tutto tondo per la progettazione e la produzione.

L'interesse dei progettisti verso le forme non euclidee non è ancora esaurito, anzi, nel corso degli ultimi dieci anni esso ha dato l'avvio a nuove sperimentazioni che hanno portato i progettisti stessi a superare le funzionalità dei software attraverso lo scripting che consente loro di personalizzare gli strumenti e di crearne persino di nuovi.

I software parametrici stanno contribuendo enormemente ad estendere l'utilizzo del modello informatico oltre la sola visualizzazione del progetto, impiegandolo anche come fondamentale supporto per la progettazione e la costruzione.

Essi abilitano i progettisti ad esplorare agilmente diverse soluzioni progettuali, e attraverso l'uso integrato di software per il calcolo e la simulazione, controllarne contemporaneamente anche gli aspetti costruttivi e ambientali.

Inoltre, dai modelli informatici elaborati attraverso i software parametrici e non, è possibile estrarre le informazioni necessarie per programmare i macchinari automatizzati per la fabbricazione dei componenti e dei sistemi del progetto da realizzare.

Mentre l'utilizzo dei robot industriali e delle macchine di prototipazione rapida, nel settore delle costruzioni, è ancora principalmente limitato a sperimentazioni condotte all'interno di alcune università (straniere), le macchine a controllo numerico sono correntemente impiegate nella produzione industriale.

Lo sviluppo tecnologico di questi macchinari sta contribuendo fortemente ad aumentare la flessibilità della produzione industriale: il loro utilizzo è infatti indispensabile per realizzare prodotti senza ricorrere a componenti appartenenti ad alcuna gamma o serie.

L'interrelazione tra gli strumenti informatici per la progettazione e quelli per la fabbricazione permette di poter realizzare pezzi tra loro molto differenti senza che ciò comporti necessariamente un aumento dei costi finali.

La precisione e il controllo consentiti dalle macchine a CNC, inoltre, rendono possibile realizzare i prodotti di una qualità finale complessivamente superiore rispetto alle macchine utensili tradizionali.

Nonostante le macchine a CNC siano già diffuse tra le aziende operanti nel settore edilizio (basti pensare ad esempio a quelle che operano nella carpenteria metallica, quasi tutte oggi dotate di macchine per il taglio laser), e



i software con cui è possibile programmarle siano già in uso dai progettisti (il programma Rhinoceros, ad esempio, è oramai presente in molti studi di progettazione), la mancata conoscenza delle opportunità offerte da un loro utilizzo appropriato, non permette ai propri utenti di sfruttarne appieno le consistenti potenzialità.

In questo contesto risulta essere ancora fondamentale la divulgazione dei risultati ottenuti finora nel settore delle costruzioni per mostrare agli operatori le opportunità offerte dall'utilizzo delle nuove tecnologie informatiche.

## 5.2 L'evoluzione delle forme

Lo sviluppo dei software di modellazione tridimensionale ha indotto molti progettisti a orientare le proprie ricerche verso nuove forme e spazialità per l'architettura, oltre la geometria euclidea, esplorando configurazioni prima difficili addirittura solo da immaginare.

L'introduzione e lo sviluppo parallelo delle macchine a controllo numerico, ha invece concesso la realizzazione dei componenti delle architetture con forme così complesse.

Gli architetti nati con il computer sono la prima generazione di progettisti che a partire dal secolo scorso non lavora sotto il peso del modernismo: *"i giovani sentono in misura minore la responsabilità di misurarsi con il Movimento Moderno rispetto a coloro che li hanno preceduti, anzi, sono decisamente stufi di tutti i tentativi di ricostruzione e di citazione propri del modernismo. (...) Oggi è possibile sviluppare un certo livello di complessità nella progettazione, esplorare geometrie o modalità prima inattuabili"* (1).

L'informatizzazione del progetto ha quindi determinato innanzitutto, il superamento da parte dei progettisti degli stereotipi del Movimento Moderno, generando una complessificazione delle geometrie architettonico-spaziali che la digitalizzazione della fabbricazione ha reso realizzabili.

La volontà dei progettisti di costruire i propri progetti senza ridurne la complessità geometrica delle superfici, li ha spinti a ricercare le tecnologie necessarie in altri settori più avanzati (come quello aeronautico o navale) e dei partner

disposti a correre i rischi legati alla realizzazione di forme così complesse.

L'utilizzo appropriato delle tecnologie informatiche avanzate, dopo circa vent'anni dal loro ingresso nel settore delle costruzioni, è però ancora quasi esclusivamente limitato alla realizzazione di architetture di forma complessa e a interventi generalmente rappresentativi, promossi da una committenza illuminata con spiccate capacità di programmazione degli interventi e di gestione delle risorse finanziarie, oltre che aperta a rapportarsi in tutte le fasi, dal progetto alla realizzazione, con le professionalità incaricate.

Il ruolo della committenza risulta allora essere fondamentale per spingere gli operatori ad utilizzare in modo appropriato gli strumenti informatici.

Gli edifici analizzati nelle schede progetto in allegato presentano scale d'intervento, destinazioni d'uso e materiali eterogenei: dal piccolo ricovero per la sosta DRLTEN realizzato in fibrocemento, al prezioso museo Guggenheim dalle superfici rivestite in titanio, dall'intervento immobiliare 290 Mulberry con le pareti esterne in laterizio, all'autosalone di lusso integrato all'interno di una barriera acustica con le facciate interamente in vetro e acciaio, tutti hanno di fatto una matrice comune: la forma complessa dei componenti o dell'involucro esterno.

Questo conduce alla conclusione che i progettisti sono fortemente influenzati dagli strumenti che utilizzano per la progettazione e la fabbricazione, non riuscendo a sottrarsi all'irresistibile fascino dell'esplorazione di potenzialità ancora non espresse, che scatenino l'emozionalità del pubblico.

Come afferma Paul Virilio, *"la creazione è modificata dallo strumento (...) indipendentemente dalle qualità e dalle prestazioni dello strumento stesso. In ciò, dunque, si individua un episodio di rottura con la storia dell'arte e dell'architettura"*(2).

La Porter House (riportata nella scheda allegata a pag.), progettata da SHoP, mostra però come l'utilizzo appropriato di queste tecnologie possa slegarsi dalle forme complesse, e incontrare esigenze diverse, forse più riconoscibili culturalmente in contesti comuni e diffusi, diversi da quelli che richiedono solitamente la realizzazione di architetture "Blob".

In questo intervento i progettisti desideravano semplicemente rompere la monotonia delle facciate regolari delle residenze utilizzando famiglie di pezzi

diversi per il rivestimento esterno, senza però moltiplicare il budget.

In questo caso le ragioni del ricorso alle tecnologie CAD/CAM sono ancora di ordine espressivo, anche se le geometrie sono quanto meno semplici, ma anche economico.

Questo dimostra che gli strumenti informatici per la produzione e la progettazione, possano essere appropriatamente impiegati non solo nella realizzazione di architetture di forma complessa, i cui budget sono sempre considerevoli, ma anche per realizzare architetture con geometrie molto semplici, senza avere a disposizione grandi investimenti, pur senza rinunciare ad una certa rappresentatività, come invece spesso avviene quando si ricorre a prodotti industriali standard.

Ancora differente è l'approccio progettuale adottato da Foster&Partener per l'edificio della London City Hall, sede del municipio della capitale britannica: la forma e l'articolazione dell'involucro è stata razionalizzata attraverso la collaborazione tra lo studio dell'architetto e Ove Arup, i quali, utilizzando specifici software di simulazione energetica, hanno potuto supportare i progettisti ad ottimizzarne la geometria in modo da minimizzare le dispersioni di calore, e massimizzare l'accumulo di energia solare, evitando il surriscaldamento di degli spazi orientati secondo le direzioni di maggior incidenza dei raggi del sole.

L'involucro presenta una geometria a doppia curvatura, ottimizzata in modo da risultare otticamente curva, nonostante la sua superficie sia costituita da pannelli piani, per mantenere bassi i costi della loro produzione avvenuta mediante macchine a CNC.

In questo caso gli strumenti informatici sono stati applicati per ottimizzare la forma secondo principi di risparmio energetico, razionalizzando i componenti per rispettare il budget concordato con la committenza.

Gli esempi qui riportati mostrano come l'utilizzo degli strumenti informatici per la progettazione e la produzione non sia esclusivamente limitato alla realizzazione di edifici e componenti di forma complessa, risultato di ricerche esclusivamente formali, quanto piuttosto essi possono arricchire il campo di ricerca dei progettisti, consentendo loro di allargare il proprio campo di indagine.

### 5.3 Nuovi motori dell'innovazione

Le forme complesse dell'architettura, che tante critiche hanno attirato sin dalla loro apparizione sulle riviste di settore, hanno avviato un processo di rinnovamento dell'architettura, non solo sotto l'aspetto formale, ma soprattutto (almeno per l'interesse di questa ricerca) tecnologico e processuale, a partire dagli strumenti impiegati per la loro ideazione e realizzazione.

L'introduzione e lo sviluppo dei software e delle macchine a controllo numerico hanno contribuito in modo fondamentale ad avviare il processo di trasformazione del processo progettuale e produttivo, permettendo un controllo preciso del progetto attraverso la modellazione tridimensionale e le funzioni di verifica e simulazione delle prestazioni, e di sostituire ai processi seriali, standardizzabili della produzione di massa, quelli variabili, personalizzabili della mass customization.

Gli aspetti più innovativi dell'introduzione nel settore delle costruzioni delle tecnologie informatiche sono:

- l'interazione tra gli strumenti informatici per la progettazione e la produzione, che rinnova il rapporto tra progettisti e industria;
- la possibilità di aumentare e rendere più efficiente l'interazione tra i diversi operatori chiamati a partecipare allo sviluppo del progetto fin dalle prime fasi.

La possibilità di tradurre le informazioni del progetto, contenute nel modello informatico, in istruzioni per le macchine a controllo numerico permette ai progettisti di intervenire direttamente sui processi produttivi, confondendo i confini tra progetto e produzione.

La digital fabrication ha avvicinato l'industria ai progettisti, riaccendendo, dopo i numerosi insuccessi che hanno caratterizzato l'edilizia del secolo scorso, l'interesse verso le tecniche produttive industriali.

Con la diffusione a tutti gli operatori del settore dei programmi informatici, e l'intensificarsi delle collaborazioni tra diverse figure, le software house hanno sviluppato nuove applicazioni per rendere più efficiente la cooperazione.

In questo scenario risulta superfluo distinguere, come convenzionalmente avviene, tra innovazione di processo e di prodotto, ed è fondamentale rilevare

invece che, prima di tutto, ad essere innovati sono gli strumenti del progettista e dell'industria.

Le tecnologie informatiche utilizzate oggi nel settore delle costruzioni, non sono state destinate originariamente per esso, ma sono state invece trasferite da altri settori più avanzati: gli stessi software non sono stati sviluppati appositamente per la progettazione architettonica, ma sono stati presi dall'animazione cinematografica (3D Studio, Maya, Cinema 4D, per citarne alcuni) o la modellazione solida meccanica (Catia, SolidWorks, ProEngineer, ecc.), e le macchine a controllo numerico sono state importate dal settore manifatturiero, mentre le tecnologie CAD/CAM da quelli aerospaziale e navale.

È l'innovazione degli strumenti che ha poi consentito di generare l'innovazione dei processi e dei prodotti nel settore delle costruzioni.

Le possibilità offerte dagli strumenti informatici di realizzare pezzi su misura, con geometrie complesse, e la richiesta della committenza di edifici con prestazioni sempre più elevate hanno rinnovato l'interesse dei progettisti verso la cultura materiale e tecnologica.

In questo contesto la ricerca di materiali e tecnologie non può avvenire semplicemente attraverso una indagine delle offerte del mercato da acquisire e poi applicare direttamente per la realizzazione del progetto, ma devono ogni volta essere valutate e combinate in relazione a numerose variabili interdipendenti.

Il carattere prototipale dei progetti sviluppati e realizzati mediante il supporto degli strumenti informatici, spinge progettisti e aziende a ricercare nuove soluzioni tecnologiche e nuovi materiali.

L'innovazione, in questo contesto, non nasce da un research push, ovvero dai laboratori di ricerca dell'industria o dell'università che attraverso un lavoro continuo mettono a disposizione nuove conoscenze scientifiche, quanto piuttosto da un demand pull, ossia da esigenze che si vogliono soddisfare: *“l'innovazione, cioè si verifica perché esiste un bisogno da soddisfare e si cercano le strade per soddisfarlo attraverso la ricerca e la concezione di nuovi materiali, nuovi prodotti e nuovi process”*(3).

È il progettista quindi a porsi come il motore dell'innovazione, spingendo tutti gli altri operatori coinvolti nel progetto, ed in particolare l'industria, a superare i

limiti di un mercato comunque sempre più ampio, sviluppando soluzioni specifiche per soddisfare le esigenze dei singoli committenti, in un processo continuo di aggiornamento delle conoscenze tecniche e delle soluzioni possibili. Come osserva Burkhardt *"nell'architettura contemporanea l'innovazione (...) è il risultato di una libertà di associazione tra principi tecnico-costruttivi che ridefinisce completamente l'immaginario architettonico. Il modo tradizionale di progettare e di costruire si sta radicalmente trasformando, e la nuova libertà di cui godiamo, ci spinge a utilizzare i materiali e i sistemi costruttivi secondo modalità del tutto inconsuete"*(4).

L'entusiasmo dei progettisti verso le potenzialità espresse e inesprese dei nuovi strumenti informatici sta spingendo loro a mettere in discussione i principi che hanno caratterizzato la pratica progettuale per tutto il XX secolo, lasciando invece spazio alla propria creatività, esplorando liberamente le potenzialità degli strumenti informatici oggi a loro disposizione.

Il rischio celato dietro all'atteggiamento entusiastico dei progettisti verso questi strumenti è che muti in una loro idolatrizzazione, le cui conseguenze sono chiaramente definite da Paul Virilio *"quando si idolatra lo strumento si diventa sue vittime"*(5).

Egli addirittura rileva già che l'adorazione, *"del Grande Computer", abbia già mietuto molte vittime e aggiunge: "possiamo dire che in un certo senso le tecnologie informatiche stiano portando a quello che in passato si chiamava illuminismo, cioè culto dei lumi. La luce per la luce, senza ombra: l'illuminismo era una religione, era il culto del sole. Adesso il sole è diventato l'informatica, è la velocità della luce che ci consente di calcolare le forme e gli oggetti (...). C'è un culto che sta emergendo ed è il culto del Grande Computer"*(6)

Le opportunità che sembrano offrire gli strumenti informatici devono incoraggiare i progettisti ad esplorarne approfonditamente le potenzialità, ma i rischi di un eccessivo entusiasmo dovrebbe allo stesso modo portare la loro attenzione anche sulle criticità.

La velocità dell'innovazione infatti, che attraversa il settore delle costruzioni grazie allo sviluppo delle tecnologie informatiche supera abbondantemente quella dell'evoluzione culturale della società, in cui solo pochi oggi accettano le trasformazioni indotte dagli effetti della rivoluzione informatica in atto men-

tre la maggioranza le rifiutano o addirittura le ignorano.

#### **5.4 Condizioni e indice di trasferibilità**

I software per la progettazione come Autocad sono oggi diffusi a tutti i progettisti, che per la maggior parte li utilizzano ancora semplicemente come supporto per l'elaborazione di piante, sezioni e prospetti.

L'impiego del modello informatico è principalmente limitato alla visualizzazione del progetto attraverso i programmi di rendering come 3D Studio Max, Cinema 4d, Artlantis Sketch Up, solo per citare i più comuni.

Seppur in ritardo rispetto ad altri paesi come gli Stati Uniti o l'Inghilterra, anche in Italia, si sta lentamente diffondendo, soprattutto tra i progettisti più giovani, la consapevolezza delle opportunità offerte dall'uso appropriato delle nuove tecnologie.

È ragionevole ipotizzare che in un futuro molto prossimo le conoscenze informatiche dei progettisti saranno molto più estese e di conseguenza l'uso dei software per la progettazione potrà superare, anche nella pratica diffusa, l'unico obiettivo attuale di velocizzare la produzione dei comuni elaborati grafici del progetto.

Oggi l'utilizzo dei software parametrici è sostanzialmente limitato a quegli interventi dotati di una certa rappresentatività ed anche una forte complessità formale e tecnologica, la cui realizzazione richiede obbligatoriamente l'impiego di questi strumenti.

L'utilizzo di questi software anche nella pratica diffusa, oltre a migliorare la collaborazione tra gli operatori coinvolti nello sviluppo e nella realizzazione del progetto, che nel caso di interventi a bassa complessità sono comunque limitati a poche figure, potrebbe favorire l'introduzione di soluzioni innovative. L'agevolezza con cui è possibile elaborare modelli informatici di ipotesi progettuali tra loro diverse, e apportarne modifiche, consente al progettista di indagare più soluzioni, e di poterle mostrare al cliente associando ad esse, sin dalle prime fasi, gli aspetti prestazionali e i costi relativi, consentendogli di valutare le alternative con una maggiore consapevolezza.

Gli obiettivi che possono favorire l'introduzione di questi software nella pratica diffusa, sono:

- ottimizzare i tempi di progetto aumentando l'efficienza dalla collaborazione tra i diversi operatori coinvolti;
- ridurre i costi di gestione e manutenzione degli interventi grazie alla previsionabilità delle prestazioni dell'intervento;
- facilitare la penetrazione di soluzioni innovative che migliorino la qualità globale del costruito.

Lo sfruttamento delle possibilità offerte dai software parametrici comporta però un aumento della complessità e dell'entità del lavoro del progettista e del gruppo di consulenti, a cui dovrebbe corrispondere anche un aumento del proprio compenso, che si traduce in un incremento dei costi finali per il cliente.

Questo è un aspetto che, nel dibattito sul ricorso alle nuove tecnologie informatiche per la progettazione spesso si tende a trascurare, ma possiede una certa rilevanza tra quei fattori che invece potrebbero impedire o quanto meno tardare la diffusione dei software parametrici tra i progettisti e la loro applicazione nella progettazione di interventi a bassa complessità.

Come osserva Bernhard Cache(7), la diffusione di questi strumenti alla pratica diffusa è legata soprattutto all'aspetto economico e alla capacità di programmazione degli interventi da parte della committenza: i progettisti dovranno prima di tutto dimostrare la convenienza economica del ricorso ai software avanzati, slegandone l'utilizzo dalle forme complesse dell'architettura e impegnandosi invece ad ottimizzare i processi progettuali, produttivi e costruttivi, mentre la committenza, a partire da quella pubblica, dovrebbe iniziare (almeno per quanto riguarda l'Italia) a programmare i propri interventi in modo da razionalizzare le risorse economiche a disposizione.

A questo proposito Cache osserva che le istituzioni pubbliche, ad esempio, attraverso un piano per l'edilizia sociale sufficientemente strutturato nella programmazione delle fasi di intervento, potrebbero dotarsi di un progetto di una residenza tipo, sviluppato attraverso software parametrici, i quali permetterebbero, entro certi limiti comunque accettabili, di declinarlo agevolmente al contesto specifico, conseguendo la riduzione dei costi complessivi della



progettazione.

L'industria, parallelamente, ha già avviato il processo di aggiornamento del paradigma produttivo, passando dalla produzione di massa alla mass customization.

In Italia esistono oggi aziende molto diverse tra loro, dalle più avanzate come Permasteelisa a quelle invece che applicano ancora esclusivamente il modello della produzione di massa.

Come rilevato dalle interviste, molte aziende produttrici, in generale, pur passando alla mass customization, ritardano ad aggiornare le proprie attrezzature produttive al fine di massimizzare gli investimenti effettuati per acquistare quelle che già posseggono.

Altre aziende sono invece costrette a dotarsi dei nuovi macchinari di produzione a controllo numerico per tenere aggiornato il livello tecnologico dei propri prodotti e mantenersi competitive sul mercato.

Allo stato attuale, ad esempio, sono molte le aziende di carpenteria metallica ad essere dotate di macchine a CNC, ad esempio per il taglio laser, i quali però le sfruttano semplicemente per la loro precisione, flessibilità, e possibilità di controllo, senza però sperimentarne nuove applicazioni, limitandosi a fabbricare i soliti prodotti.

In questo contesto si può concludere che le tecnologie informatiche per la progettazione e la produzione si stanno diffondendo nel settore delle costruzioni, anche grazie all'abbassamento recente del loro prezzo, e ciò che invece ancora è circoscritta è la consapevolezza che il loro utilizzo sia già possibile. Oggi esse sono utilizzate quasi esclusivamente per la produzione di componenti e sistemi per architettura di forma complessa dove i progettisti sono costretti a ricorrervi per realizzarle anche perché, senza tener conto della mancanza di consapevolezza della possibilità di poter ricorrere a questa tecnologia, e la difficoltà tecnica che un progettista dotato di una formazione "tradizionale" incontra nel loro utilizzo, esse richiedono entità di lavoro da parte del progettista, dell'industria, e dei consulenti, molto più elevate rispetto a quanto richiesto da un semplice impiego di prodotti standard o customized.

Gehry e SHoP, solo per citare alcuni nomi autorevoli in questo campo, si fanno carico della mole di lavoro e di sviluppo necessaria ad ottenere le soluzioni

tecniche desiderate per la produzione dei componenti e sistemi attraverso le tecnologie CAD/CAM, coadiuvati comunque dai know how messi a disposizione dagli altri operatori coinvolti, per evitare preventivi astronomici o addirittura il rifiuto delle aziende di realizzare prodotti così complessi, limitando così i costi della fabbricazione digitale al tempo macchina, evitando quasi quelli per la programmazione dei macchinari.

Essi spesso non si limitano semplicemente ad occuparsi delle procedure di fabbricazione, ma si spingono inoltre alla definizione delle modalità di assemblaggio dei pezzi in opera, e a quelle di assegnazione degli appalti per la realizzazione e le forniture.

Un altro aspetto che è da considerare riguardo alle architetture oggi realizzate mediante queste tecnologie

Le tecnologie informatiche, come dimostrato nella ricerca, sconvolgono i consolidati (anche se sempre sospesi in un equilibrio precario) processi progettuali e produttivi, e la realizzazione di architetture così distanti una dall'altra, per forme, dimensioni e materiali impiegati, aumentano il carattere prototipale dell'architettura stessa, costringendo i progettisti, ogni volta, a dover riconsiderare dal principio tutti gli aspetti del progetto, e a dover progettare "da zero" i suoi componenti e i suoi sistemi.

L'unicità degli edifici, inoltre rende difficile e a volte anche possibile poi riutilizzare i risultati del lavoro compiuto precedentemente, se non i know-how acquisiti durante il processo progettuale e produttivo.

Se in termini economici lo sfruttamento delle potenzialità di queste tecnologie non comporta, entro certi limiti, costi aggiuntivi rispetto al ricorso a prodotti standardizzati, in termini invece di entità di lavoro, impegno ed energie risultano per i progettisti molto dispendiose.

Date le competenze e le responsabilità che il ricorso alle innovative tecnologie richiede, prima di poter assistere ad una loro diffusione anche nella pratica comune sarà indispensabile una revisione della figura del progettista e di quella degli altri soggetti coinvolti nei processi progettuali e costruttivi.

## 5.5 L'evoluzione della professionalità: formazione e profilo del nuovo progettista

Le nuove tecnologie, la proliferazione dei nuovi materiali, la sofisticazione degli strumenti per la progettazione e la fabbricazione pongono il progettista in uno stato di inadeguatezza.

Come osserva Ingrid Paoletti, *"il nuovo profilo che emerge da questo quadro si indirizza dunque verso una organizzazione professionale complessa dotata di quegli indispensabili strumenti per capire il mutare del contesto: aggiornamento continuo, competenza e conoscenza dei nuovi strumenti e tecnologie a disposizione, capacità di dialogo con l'industria e con i diversi operatori, in modo particolare con quelle figure specialistiche che introducono, attraverso tecnologie evolute, fattori di innovazione"* (8).

In questo contesto l'attività progettuale non può più essere condotta semplicemente dal progettista, come avviene ancora oggi nella pratica diffusa, dove l'architetto gestisce in autonomia progetti di piccole dimensioni caratterizzati da una bassa complessità, coadiuvato da poche figure, il cui contributo è limitato alla verifica e al controllo degli aspetti strutturali e impiantistici, ma richiede invece un approccio multidisciplinare, dove il progetto diviene il risultato di diverse professionalità e competenze che collaborano sin dalle prime fasi. La delineazione di una nuova cultura progettuale sta accompagnando le esperienze dei singoli progettisti e degli operatori che collaborano allo sviluppo e alla realizzazione delle architettura di forma complessa.

Il carattere prototipale di ognuno di questi interventi, infatti, non permette ancora di definire alcun modello operativo o organizzativo, al contrario, come osserva Campioli, *"la prassi del progetto si caratterizza per una molteplicità di assetti processuali, all'interno dei quali gli operatori assumono ruoli e responsabilità i cui confini risultano essere sfumati"* (9).

La dissolvenza inoltre dei limiti tra progetto e fabbricazione indotta dall'utilizzo delle tecnologie CAD/CAM e dai processi "file to factory", in cui le informazioni contenute all'interno del supporto informatico, generato durante lo sviluppo progettuale, possono essere impiegate per programmare le macchine a controllo numerico, porta a definire una nuove figure, che si collocano tra il pro-

gettista e le aziende produttrici, raccolte pur nella loro diversità in quella che Kolarevic denomina "*Information Master Builder*"(10).

Anche se il profilo si sta ancora delineando, il ruolo dell'Information Master Builder è generalmente ricoperto da società composte da diverse professionalità, dotate però di una profonda conoscenza informatica e capaci di utilizzare i software più avanzati.

I servizi fondamentali offerti da queste società, dotate di uno spiccato know how tecnico oltre che informatico, spaziano dalla gestione delle geometrie complesse all'ottimizzazione delle forme per la successiva realizzazione, attraverso scripting, sviluppo e personalizzazione di applicazioni e procedure digitali specifiche alle singole problematiche dei progetti su cui sono impegnati.

Emerge quindi come le tecnologie informatiche stabiliscano un terreno comune tra le diverse professionalità, trasformando il processo progettuale e quello produttivo.

I software avanzati per la progettazione, come quelli parametrici, spingono i progettisti ad attraversare i propri confini disciplinari, addentrandosi nel campo dell'informatica e della matematica, attraverso lo scripting e la programmazione, oltre che ad interessarsi di aspetti ingegneristici, economici e produttivi. Le tecnologie informatiche conducono quindi ad un allargamento delle competenze dei progettisti ad aspetti tecnici, finora estranei alla cultura progettuale, che potrebbe allo stesso tempo indurre figure dotate di un maggiore sapere tecnico, come ingegneri e informatici, ad interessarsi a loro volta di questioni progettuali.

Ciò porta a dover riflettere sulla formazione dei progettisti, e allo stesso tempo di ingegneri e informatici.

Anche se la trasversalità dei saperi che caratterizzano la cultura progettuale in questo ambito, potrebbe indurre a pensare di sintetizzare in un'unica nuova figura tutte le competenze necessarie, eliminando le tradizionali distinzioni tra architetto, ingegnere e informatico, dai casi analizzati durante lo sviluppo della ricerca, si rileva che è invece la collaborazione tra le diverse figure, ognuno con le proprie conoscenze ed esperienze, a garantire la qualità del risultato finale.

L'introduzione all'interno delle università, con la reale difficoltà di superare le vecchie metodiche strumentazioni accademico-disciplinari, di corsi destinati all'insegnamento dell'utilizzo delle tecnologie informatiche avanzate, favorirebbe la formazione di nuove figure professionali, probabilmente anche diverse da quelle già enunciate in questo paragrafo.

L'aggiornamento e l'ampliamento delle competenze tecniche sono una condizione necessaria, che però non deve fare perdere alla figura del progettista la percezione globale del progetto di architettura.

Avvicinare progettisti, ingegneri, e informatici, all'interno delle aule universitarie, spingendoli a collaborare insieme, attraverso l'uso del software, conservando ognuno la propria specificità, contribuirebbe in modo significativo a diffondere la nuova cultura progettuale.

Sulla base delle ipotesi appena tracciate i Politecnici risultano senz'altro il luogo ideale dove svolgere la formazione delle figure professionali del settore delle costruzioni: gli studenti provenienti da facoltà differenti, riuniti in piccoli gruppi interdisciplinari, potrebbero sviluppare uno stesso progetto attraverso l'uso dei software, curandone ognuno l'aspetto competente, ed essere però poi valutati allo stesso modo sulla base del risultato complessivo, incoraggiando così tutti i componenti a collaborare insieme per raggiungere il migliore risultato.

Nelle università di architettura italiane, l'esigenza di un approccio interdisciplinare al progetto è già stata ravvisata, e i laboratori integrati ne costituiscono una prova tangibile.

All'interno di questi laboratori i docenti di dipartimenti diversi danno il proprio contributo supportando, ognuno con le proprie competenze specifiche, gli studenti a sviluppare il proprio progetto architettonico tenendo conto dell'insieme di diverse problematiche (urbane, compositive, distributive, funzionali, tecnologico-costruttive e fisico-tecniche ad esempio).

In un prossimo futuro si può auspicare l'apertura a questi corsi anche a studenti appartenenti a facoltà diverse, integrando tra gli insegnamenti anche quelli relativi all'utilizzo di software avanzati per la progettazione.

In questo contesto, sarebbe inoltre necessario dotare le università di laboratori attrezzati con strumenti per la fabbricazione digitale, dove gli studenti pos-

sano impegnarsi direttamente nella produzione anche di piccole installazioni, oggetti di design, plastici, sperimentandone le tecniche.

Mentre in generale negli Stati Uniti, in Europa, in Asia, e in Australia, questi laboratori sono già da qualche tempo una realtà, in Italia, dove seppur con ritardo si è aperto il dibattito intorno all'utilizzo delle nuove tecnologie produttive nel settore delle costruzioni, la loro istituzione, e soprattutto al loro apertura agli studenti, sembrano ancora lontane.

Le limitate risorse finanziarie a disposizione delle università, costringono loro a circoscrivere molto spesso l'utilizzo delle proprie attrezzature a una cerchia ristretta di utenti, da cui gli studenti risultano usualmente esclusi, anche in considerazione alla loro numerosità all'interno dei corsi.

Il progressivo ribasso del prezzo dei macchinari, soprattutto quelli più semplici e di dimensioni ridotte, potrebbe in un futuro anche molto prossimo permettere agli atenei di acquisire qualche strumento per la produzione digitale e metterlo a disposizione degli studenti (magari imputandogli i costi dei materiali di lavorazione) avviando dal suo interno un processo di aggiornamento degli insegnamenti.

È da osservare infine che in Italia il dibattito intorno alle opportunità offerte dall'applicazione delle nuove tecnologie informatiche nel settore delle costruzioni, è iniziato recentemente, e ancora, anche all'interno delle università, pochi sono quelli che vi hanno preso parte.

In molti atenei italiani, anche tra i più prestigiosi, la ricerca non si è ancora spinta verso questi temi (anche se invece all'estero già da circa dieci anni molte università stanno investendo molte risorse su di essi) che offrono alle università la possibilità concreta di interfacciarsi con aziende e professionisti, e proponendosi come laboratorio privilegiato per la sperimentazione delle nuove tecnologie.

Come si è potuto dimostrare, l'interazione tra gli strumenti informatici per la progettazione e la produzione ha finalmente concesso in architettura, ed in particolare rispetto al concetto di involucro, di restringere il divario tra il progetto e realizzazione, superando i limiti imposti dalla standardizzazione dei sistemi e dei prodotti.

Questa nuova libertà progettuale apre nuovi ed emozionanti orizzonti, ma

oggi ancora confinati in contesti organizzativi e culturali eccezionali.

Ciò induce a presupporre che La sfida del prossimo futuro di queste metodiche probabilmente, non riguarderà esclusivamente le problematiche del loro affinamento o sofisticazione informatica e tecnologica, ma piuttosto la loro capacità di diffusione e di affermazione: divenire cioè, prassi diffusa per i progettisti nel tentativo di rinnovare, attraverso la produzione di nuovi sistemi e prodotti per l'involucro degli edifici, forme e tipologie culturalmente riconoscibili.

### Note

- (1) Pongratz, C., Perbellini, M. R., *Nati con il computer: giovani architetti americani*, Testo & immagine: Torino, 2000, p. 15.
- (2) Burkhardt, F., Virilio, P., Il rischioso volo dell'architetto digitale: Francois Burkhardt intervista Paul Virilio, in *Rassegna*, N.81, 2005, pp. 8-13.
- (3) Sinopoli, N., Tatano, V. (a cura di), *Sulle tracce dell'innovazione: tra tecniche e architettura*, Milano: F. Angeli, 2002, p. 8.
- (4) Burkhardt, F., L'architetto inventore, in *Rassegna*, N.80, 2005, p. 5.
- (5) Burkhardt, F., Virilio, P., Il rischioso volo dell'architetto digitale: Francois Burkhardt intervista Paul Virilio, in *Rassegna*, N.81, 2005, p. 10.
- (6) Ibidem.
- (7) Intervento di Bernard Cache alla conferenza del 9 marzo 2010 presso il Politecnico di Torino.
- (8) Paoletti, I., *Costruire le forme complesse. Innovazione, industrializzazione e trasferimento per il progetto di architettura*, Milano: Libreria CLUP, 2006, p. 208-209.
- (9) Campioli, A., *Idea, Progetto, Cantiere*, in Pignataro, M. (a cura di), *Innovazione di prodotto e architetture di forma complessa*, Milano: CLUP, 2005, p. 85.
- (10) Kolarevic, B. (a cura di), *Architecture in the digital age: design and manufacturing*, New York, London: Taylor & Francis, 2003, pp. 56-62.





Allegati

## Casi-studio

L'analisi dei casi studio è stata svolta allo scopo di indagare le modalità operative dei progettisti che ricorrono all'impiego delle tecnologie informatiche per la progettazione e la fabbricazione per la realizzazione dei propri interventi.

A tal fine sono stati selezionati quattordici progetti, che differiscono tra loro per destinazioni d'uso, dimensioni, materiali impiegati, budget a disposizione, area geografica e contesto sociale, accomunati soltanto dai processi *file to factory* impiegati per la loro realizzazione, per consentire una comparazione più ampia tra interventi molto differenti tra loro.

Questi progetti sono tutti stati l'occasione di sperimentazione da parte dei loro progettisti di nuove procedure progettuali e costruttive, per questa ragione, e si è volutamente scelto di riportare, laddove sia stato ritenuto opportuno, diverse opere di uno stesso progettista, per verificare l'evoluzione personale dell'utilizzo delle tecnologie informatiche.

Come già più volte ribadito all'interno di questa ricerca, la velocità dello sviluppo di queste tecnologie porta spesso i progettisti ad una loro sostituzione o a modificare le modalità di utilizzo.

La schedatura dei progetti è uno strumento di analisi finalizzato alla raccolta delle informazioni.

I progetti diventano quindi lo strumento sia per la verifica finale delle ipotesi di partenza che per l'analisi in itinere delle informazioni.

A livello metodologico, il progetto non presenta una scientificità minore ad altri strumenti di ricerca (banche dati, prove di laboratorio, ecc.), inoltre ha la prerogativa di prendere in considerazione una molteplicità di dati e di problematiche (tipiche dei sistemi complessi come il progetto d'architettura) finalizzandole ai fini specifici di ogni ricerca.

Le informazioni sono state strutturate secondo un sistema analitico, che permette di comprendere la relazione tra i processi progettuali e produttivi.

La scelta di strutturare i casi studio come sintetiche ma esaustive cronache delle procedure seguite dai progettisti e dai suoi consulenti durante lo sviluppo e la realizzazione dei progetti è stata determinata dal carattere spiccatamente prototipale delle architetture selezionate.

Le schede sono organizzate in quattro settori:

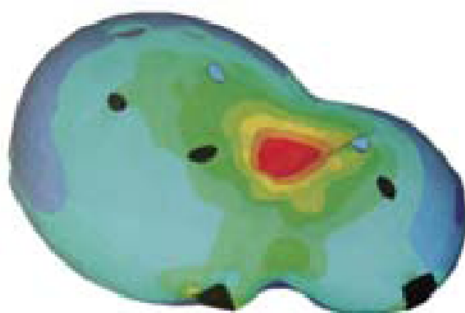
- 1) dati di progetto, che comprendono localizzazione, superficie, progettista, consulente strutturale, committente, cronologia, materiali, destinazione funzionale e tecnica di digital fabrication impiegata per la realizzazione dell'involucro;
- 2) descrizione generale del progetto, in cui vengono riportati sinteticamente i caratteri distintivi del progetto stesso;
- 3) progetto digitale, in cui vengono sinteticamente descritti i passaggi principali dell'elaborazione progettuale mediante l'impiego dei software;
- 4) fabbricazione digitale, in cui vengono sinteticamente descritti i passaggi principali del processo produttivo dei componenti e sistemi di involucro realizzati con gli strumenti produttivi della digital fabrication.

Le schede sono corredate da molte immagini perchè contribuiscono, insieme alle note riportate a margine, a rendere più agile la comprensione degli strumenti e dei processi utilizzati e dei risultati ottenuti.

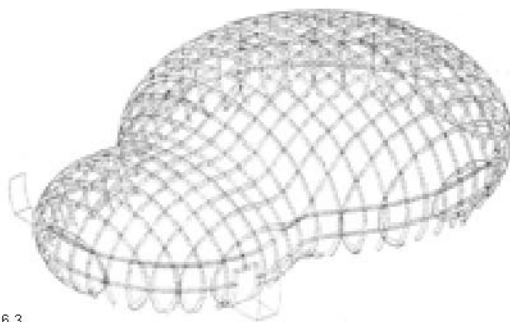
6.1



6.2



6.3



6.4

6.5  
182

## Bubble

*Localizzazione:* Francoforte, Germania

*Superficie:* 260 mq

*Progetto:* Bernhard Franken

*Struttura:* Bollinger + Grohmann

*Cliente:* BMW Group

*Cronologia:* progetto e costruzione 1999

*Materiali:* alluminio (strutture), plexiglass (rivestimento)

*Destinazione funzionale:* padiglione espositivo temporaneo

*TDF:* nesting (elementi strutturali), forming (elementi di rivestimento)

### *Descrizione Generale del progetto*

Il padiglione è stato realizzato a rappresentare il gruppo BMW all'International Automobile Show IAA 1999, ed è stato concepito secondo l'idea del progettista che un padiglione non possa semplicemente essere un contenitore all'interno del quale vengono, in qualche modo, fornite delle informazioni, ma è esso stesso parte della comunicazione. Attraverso esso, quindi, si è voluto introdurre il concetto di energia a idrogeno, impiegato dal gruppo automobilistico tedesco per la progettazione delle proprie concept-car CleanEnergy.

L'idea fondativa del progetto è stata individuata nell'acqua che produce il motore per effetto della combustione.

Il progettista è partito a sviluppare il progetto proprio da questo elemento, cercando di rappresentare due gocce d'acqua, che, durante il loro processo di fusione, danno vita a forme esaltanti.

La ricerca formale è stata condotta con l'ausilio di software parametrici, individuando come parametri la gravità, la tensione e la coesione superficiale.

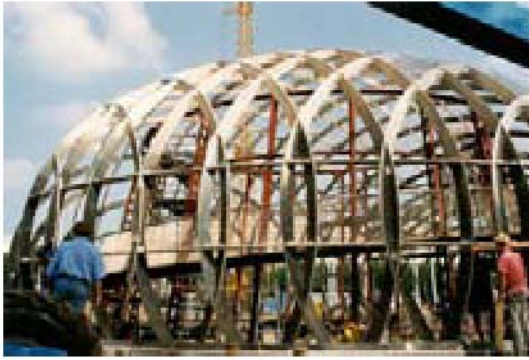
Il padiglione ha la forma di due gocce congelate nel momento della loro fusione. Dopo l'International Automobile Show IAA 1999 a Francoforte, il padiglione è stato trasportato a Monaco dove è stato convertito in dance club.

### *Progetto digitale*

#### *Come programma per il form-finding*

l'architetto ha utilizzato il software Maya, mentre durante il processo di sviluppo del progetto e durante le fasi di costruzione sono stati impiegati Rhinoceros, CATIA e Autocad.

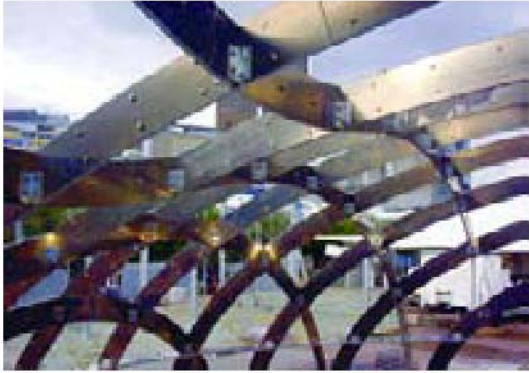
Gli ingegneri strutturali hanno svolto le



6.6



6.7



6.8



6.9

6.6 Assemblaggio della struttura metallica

6.7 Assemblaggio delle lastre in plexiglass

6.8 Dettaglio del sistema di fissaggio degli elementi della struttura metallica

6.9 L'interno del padiglione

analisi statiche al fine di prevedere il comportamento strutturale del padiglione, e per determinare lo spessore e la forma delle lastre di plexiglas.

Oltre 300 sono le lastre impiegate per il rivestimento esterno del padiglione prodotte direttamente attraverso le informazioni estratte dal modello informatico.

Inizialmente tutti gli elementi del padiglione sono stati pensati completamente in plexiglas, sia quelli di rivestimento che quelli strutturali, incollati insieme in stabilimento e poi trasportati in situ mediante un elicottero. In seguito alle prime ipotesi progettuali è stato realizzato un modello in scala reale per verificare le procedure di assemblaggio e valutare le prestazioni strutturali della costruzione.

Il modello ha evidenziato alcune criticità nelle connessioni adesive tra i componenti del rivestimento e nella coordinazione delle tempistiche delle procedure di montaggio degli elementi.

Solo sei settimane prima della data di apertura del padiglione, il team di progettazione è stato quindi costretto ad abbandonare l'idea della struttura portante in plexiglas e a sostituirla con un sistema reticolare a doppia curvatura, costituito da elementi in alluminio a sezione rettangolare. Per determinare la geometria degli elementi strutturali si è proceduto intersecando la superficie doppiamente curvata dell'involucro del padiglione con un sistema ortogonale di piani, e poi è stato eseguito un offset, verso l'interno del piccolo edificio, delle linee risultanti dall'intersezione,

generando così lo spessore necessario degli elementi di sostegno.

Il modello è stato analizzato attraverso diverse procedure, tra cui anche l'analisi gaussiana, che ha permesso di stabilire le aree critiche della superficie in base al rapporto dimensione/materiale il cui contributo è stato fondamentale per la corretta parametrizzazione dell'involucro.

#### *Fabbricazione digitale*

Per realizzare gli elementi di plexiglas del rivestimento a doppia curvatura del padiglione si è proceduto a sagomare lastre piane, scaldate a temperature tra i 150 e i 160 °C, su degli appositi stampi, realizzati in schiuma di poliuretano impiegando frese a controllo numerico.

Il codice NC della fresa impiegata per sagomare gli stampi delle lastre in plexiglas, è stato generato direttamente dal modello in CATIA.

Dopo il processo di piegatura, i contorni delle lastre sono stati rifiniti sulle stesse macchine a controllo numerico.

Gli elementi strutturali in alluminio sono stati tagliati impiegando una macchina a controllo numerico per il taglio con getto d'acqua, programmata utilizzando le informazioni direttamente estratte dal modello informatico.

Ogni travatura è costituita da diversi segmenti, uniti attraverso incastro e imbullonatura per raggiungere una forma rigida della struttura.

I pannelli di rivestimento in plexiglas sono poi stati montati in situ sulla struttura in

*Nella pagina a fianco:*

6.1 Simulazione del processo di fusione per la generazione della forma architettonica

6.2 Analisi Gaussiana della superficie esterna

6.3 Modello digitale della struttura metallica

6.4-6.5 Il padiglione espositivo "Bubble" presentato all'International Automobile Show di Francoforte nel 1999

6.10 I componenti della struttura in alluminio del padiglione sono stati tagliati con getto d'acqua

6.11-6.12 Gli stampi in schiuma di poliuretano per la piegatura delle lastre in vetro sono state fabbricate impiegando frese a controllo numerico

alluminio.

Approssimativamente sono stati prodotti, in sette stabilimenti differenti, direttamente impiegando i modelli digitali, 3500 elementi in alluminio, provvisti di fori necessari per l'assemblaggio e codici di riconoscimento, così da risparmiare tempo ed economizzare le operazioni da eseguire in cantiere.

#### **Bibliografia**

De Luca, F., Nardini, M., *Dietro le quinte. Tecniche d'avanguardia nella progettazione contemporanea*, Testo&Immagine: Torino, 2003.

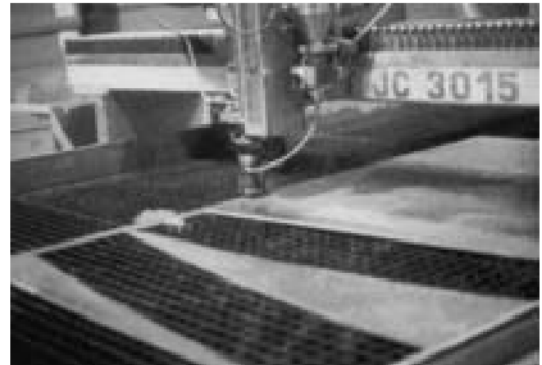
Franken, B., Real as Data, in Kolarevich, B., *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and making in architecture*, New York: Routledge, 2008, pp.122-138

Morgan, C. L., *Franken Architekten : spatial narratives*, Ludwigsburg : AVEdition, 2008

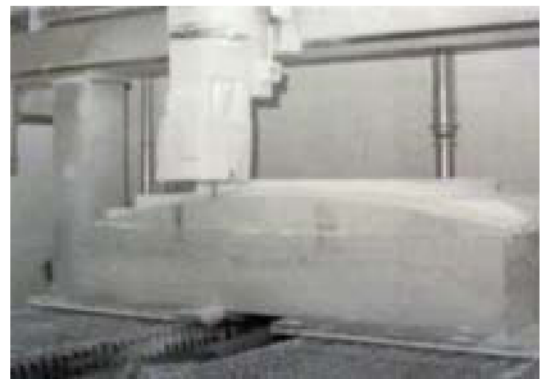
Schodek, D., Bechthold, M., Griggs, J., K., Kenneth, K., Steinberg, M., *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2005, pp.69-72.

#### **Sitografia**

[www.franken-architekten.de](http://www.franken-architekten.de)  
[www.bollinger-grohmann.de](http://www.bollinger-grohmann.de)



6.10



6.11



6.12

## Dynaform

*Localizzazione:* Francoforte, Germania

*Superficie:* 5500 mq

*Progetto:* Bernhard Franken

*Strutture:* Bollinger + Grohmann

*Cliente:* BMW Group

*Cronologia:* progetto e costruzione: 2001

*Materiali:* acciaio (strutture) e tessile (rivestimento)

*Destinazione funzionale:* padiglione espositivo temporaneo

*TDF:* nesting + folding (elementi strutturali), nesting (elementi di rivestimento)

### *Descrizione generale del progetto*

Il progetto del padiglione del gruppo BMW a Francoforte è derivato dalla simulazione dell'effetto Doppler (1) provocato da un'auto in movimento all'interno di una matrice di linee parallele, fondendo insieme il piccolo edificio con il contesto circostante.

Attraverso questa simulazione il progettista ha trasformato i fabbricati adiacenti al sito dove il padiglione doveva sorgere in uno dei parametri di modellazione all'interno del software Maya.

I volumi differenti degli edifici adiacenti sono stati quindi convertiti in campi di forze distorcenti la forma regolare di partenza. La geometria finale dell'edificio rappresenta insieme le dinamiche della guida e la soddisfazione indotta dal contesto al pilota mentre lo attraversa con la propria auto.

### *Progetto digitale*

Facendo riferimento alla geometria dell'involucro fin dalle prime fasi del progetto è risultato evidente che il sistema strutturale e quello di rivestimento dovessero essere distinti.

Il team di progettazione ha quindi scelto di creare una struttura in acciaio su cui tendere una membrana.

La struttura è stata sviluppata attraverso il software di modellazione Maya, impiegato per generare la forma del padiglione: essa è stata ottenuta sezionando con dei piani l'edificio lungo la sua direttrice, a intervalli più o meno regolari.

Il sistema strutturale è quindi costituito da una serie di portali formati da diversi elementi, che saldati tra loro si comportano come una Vierendeel.

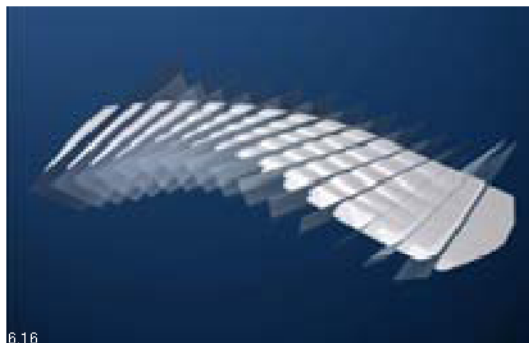
Il profilo degli elementi che formano la struttura disposti sull'estradosso seguono esattamente la geometria definita dal



6.14



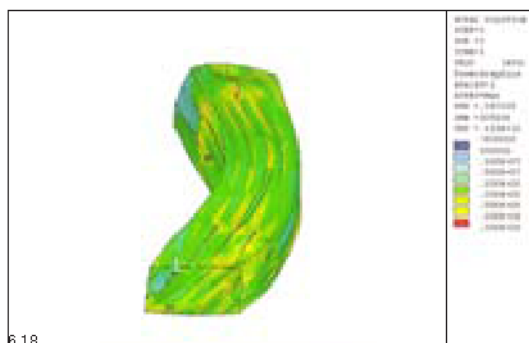
6.15



6.16



6.17



6.18

6.14 Il padiglione espositivo "Dynaform" presentato all'International Automobile Show di Francoforte nel 2001

6.15 La deformazione dello spazio al passaggio dell'automobile

6.16 La definizione della posizione degli elementi strutturali

6.17 - 6.18 L'analisi agli elementi finiti (FEA) condotta sui componenti della struttura e su quelli di rivestimento del padiglione



6.19



6.20



6.21



6.22

6.19 Gli elementi strutturali ricavati direttamente dal modello tridimensionale

6.20 Fabbricazione dei portali metallici

6.21 Il taglio al plasma degli elementi strutturali

6.22 La saldatura manuale dei componenti dei portali

modello, mentre quelli sull'intradosso sono stati regolarizzati e ottimizzati per meglio resistere alle forze agenti su sistema strutturale.

L'azienda fornitrice degli elementi in acciaio, la Seele GmbH & Co. KG, ha commissionato ad uno studio esterno di ingegneria di provvedere ai documenti finali per la costruzione e a realizzare i disegni digitali per il cantiere, e generare anche le informazioni necessarie per le macchine a controllo numerico impiegate nella fabbricazione della struttura in acciaio.

La pelle esterna, immaginata come una sezione continua di dimensione variabile, è stata estrusa lungo una loft, seguendo il preciso andamento della struttura.

Tre mesi prima della costruzione del Dynaform è stato realizzato un modello in scala reale per testare le procedure di assemblaggio e verificare le connessioni tra i diversi elementi.

Per la realizzazione della pelle esterna è stato scelto di impiegare una membrana, e, data la geometria inconsueta del padiglione per questa tecnologia, è stato deciso di ricorrere alle consulenze di uno specialista, a Victor Wilhelm.

Il progettista ha vietato al consulente nessuna modifica della geometria

dell'involucro esterno, pertanto Wilhelm è stato costretto a dividere in tanti pezzi la membrana, ognuno dei quali è stato modellato su una singola curva, e pre-teso tra i diversi portali in metallo della struttura. Per verificare il funzionamento del sistema ideato è stato realizzato un ulteriore modello in scala al vero: una porzione di due elementi strutturali a cui è stata interposta la membrana, per verificare le procedure di assemblaggio e anche assicurare che l'effetto visivo desiderato fosse effettivamente realizzabile.

#### *Fabbricazione digitale*

Gli elementi della struttura sono stati sagomati mediante la tecnica di fabbricazione digitale del nesting, utilizzando una macchina CNC di taglio al plasma, poi piegati a raggiungere il raggio di curvatura desiderato e infine saldati insieme manualmente.

I costi per il nesting sono stati calcolati sulla base del volume complessivo dei pezzi da tagliare, indifferentemente dalla loro forma. La corretta realizzazione di un padiglione così complesso è dipesa dall'utilizzo del modello informatico, da cui sono state estratte tutte le informazioni necessarie alla fabbricazione dei componenti e





6.23



6.24



6.25



6.26

6.23 Il modello in scala reale di una porzione del padiglione

6.24 Assemblaggio della membrana di rivestimento

6.25 L'assemblaggio del sistema strutturale

6.26 Il sistema strutturale del Dynaform

sistemi, evitando alle aziende produttrici di programmare manualmente le macchine o di dover provvedere loro stessi a generare i disegni necessari.

Anche le informazioni per il taglio della membrana, avvenuto anch'esso attraverso tecnologie CNC, sono state estratte dal modello informatico: la superficie dell'involucro è stata svolta su un piano e divisa in strisce delle dimensioni utili per essere sagomate dalle macchine.

La membrana è stata tagliata mediante macchine a controllo numerico lungo numerose fasce, unite poi insieme come se fosse un'unica grande membrana.

Le fasce sono poi state unite insieme e collegate alla struttura con oltre 8000 connettori in acciaio che sono serviti per mettere in tensione la membrana.

Nonostante il modello informatico dettagliato sono stati necessari molti disegni 2D per realizzare l'edificio, e soprattutto per istruire gli operai del cantiere: oltre 5000 tavole cartacee sono servite per descrivere il padiglione in modo che potesse essere costruito.

Il padiglione è stato poi trasportato in situ per l'inizio del motor show.

#### Note

(1) "L'effetto Doppler è un cambiamento apparente della frequenza di un'onda percepita da un osservatore che si trova in movimento rispetto alla sorgente delle onde. L'effetto Doppler totale può quindi derivare dal moto di entrambi.

#### Bibliografia

Blassel, J. F., *Engineering in a performative environment*, in Kolarevich, B., Malkawi, A.M. (a cura di), *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*, New York: Spon Press, 2005, pp. 136-148.

Franken, B., *Real as Data*, in Kolarevic, B. (a cura di), *Architecture in the digital age: design and manufacturing*, New York, London: Taylor & Francis, 2003, pp.122-138

Morgan, C. L., *Franken Architekten : spatial narratives*, Ludwigsburg : AVEdition, 2008

Schodek, D., Bechthold, M., Griggs, J., K., Kenneth, K., Steinberg, M., *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2005, 73-75.

#### Sitografia

[www.franken-architekten.de](http://www.franken-architekten.de)

[www.bollinger-grohmann.de](http://www.bollinger-grohmann.de)

<http://www.floornature.com>



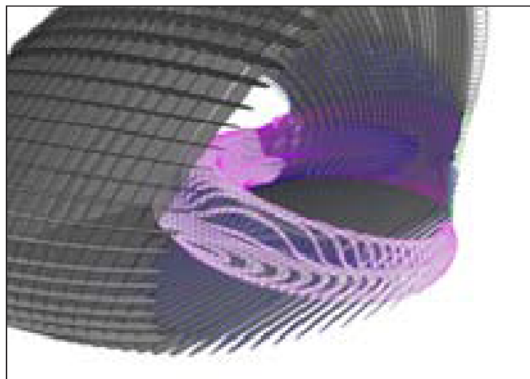
6.27

6.27-6.28 Il padiglione DRL TEN realizzato in Bedford Square a Londra nel 2008 a seguito del concorso indetto dalla Architectural Association in occasione dell'anniversario decennale del suo Design Research Laboratory (DRL)



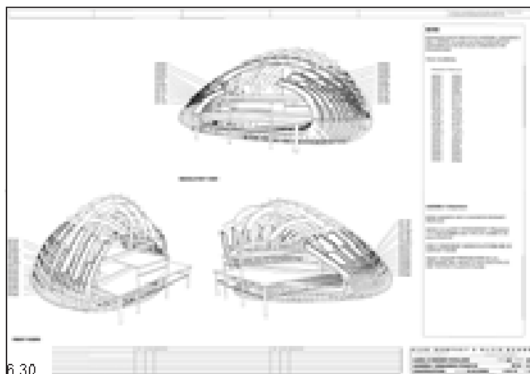
6.28

6.29 Il modello tridimensionale per lo studio dei componenti della panchina in GRC



6.29

6.30 I disegni contenenti le istruzioni per l'assemblaggio in cantiere dei componenti



6.30

## DRL TEN

*Localizzazione:* Londra, Gran Bretagna

*Superficie:* 100 mq

*Progetto:* Alan Dempsey + Alvin Huang

*Strutture:* Reider

*Cliente:* Architectural Association, AA design Research Laboratory, DRL 10

*Cronologia:* concorso 2007, realizzazione 2008, completamento 2008

*Smontaggio:* settembre 2008

*Materiale:* Fibrocemento

*Destinazione funzionale:* padiglione temporaneo per la sosta

*TDF:* nesting

### *Descrizione generale del progetto*

Il progetto di Alan Dempsey e Alvin Huang è stato proclamato vincitore del concorso, indetto dalla prestigiosa Architectural Association di Londra, in occasione dell'anniversario decennale del suo Design Research Laboratory (DRL).

A partecipare al concorso sono stati invitati tutti i 354 studenti che hanno frequentato, nei dieci anni, il laboratorio post-laurea. Il bando richiedeva la progettazione esecutiva per la costruzione di un padiglione di accoglienza che offrisse ai visitatori una nuova coinvolgente esperienza spaziale, di dimensioni non superiori ai 10 m di lunghezza e di larghezza, e ai 5 m di altezza, realizzabile grazie all'ausilio di strumenti informatici per il calcolo, la progettazione, e la fabbricazione. Era inoltre richiesta la sperimentazione di nuove morfologie spaziali da realizzare interamente in GRC, pertanto i progettisti hanno proposto l'involucro, le strutture, le pavimentazione e l'arredo del padiglione realizzati esclusivamente in cemento fibro-rinforzato.

A condizionare ulteriormente la realizzazione del progetto sono stati i tempi stretti previsti dal regolamento, appena quattro mesi per tutto il processo, dalla progettazione alle opere di ingegneria, dalla realizzazione dei componenti in stabilimento al loro assemblaggio in cantiere

### *Progetto digitale*

Il progetto, ideato come schizzo a forma libera, è stato razionalizzato grazie a un modello digitale 3D controllato parametricamente, nel quale sono stati integrati la geometria e le prestazioni strutturali, cercando di rispettare la qualità

formale dello schizzo digitale iniziale. Anche in questo caso, la modellazione non si è limitata solo a ricercare le nuove possibilità formali offerte dall'impiego delle tecnologie informatiche, ma si offre anche come strumento per il calcolo prestazionale degli elementi di cui l'edificio è composto.

Sono state eseguite ben 17 versioni differenti del progetto, in appena un mese di tempo, per risolvere e rendere realizzabili i dettagli strutturali del progetto.

Al fine di definire numericamente le proprietà meccaniche del materiale e inserirle all'interno di un modello 3D, per verificare con l'ausilio di un software per le simulazioni strutturali le prestazioni meccaniche e statiche del padiglione, sono stati testati diversi campioni di pannelli in GRC in un laboratorio di ingegneria. I giunti ad incastro delle singole lastre in GRC, sagomati direttamente sui profili su cui sono state incastrate le guarnizioni in gomma estrusa (per migliorare l'aderenza tra le lastre e evitare che queste, a contatto diretto con le altre, potessero danneggiarsi), bloccano direttamente le lastre alla rotazione consecutiva di ogni singolo elemento. L'angolazione dei nodi varia continuamente

lungo tutto l'involucro, pertanto si è reso necessario la generazione di uno script per determinare la posizione e la forma geometrica di ogni singola lastra dell'involucro.

#### Fabbricazione digitale

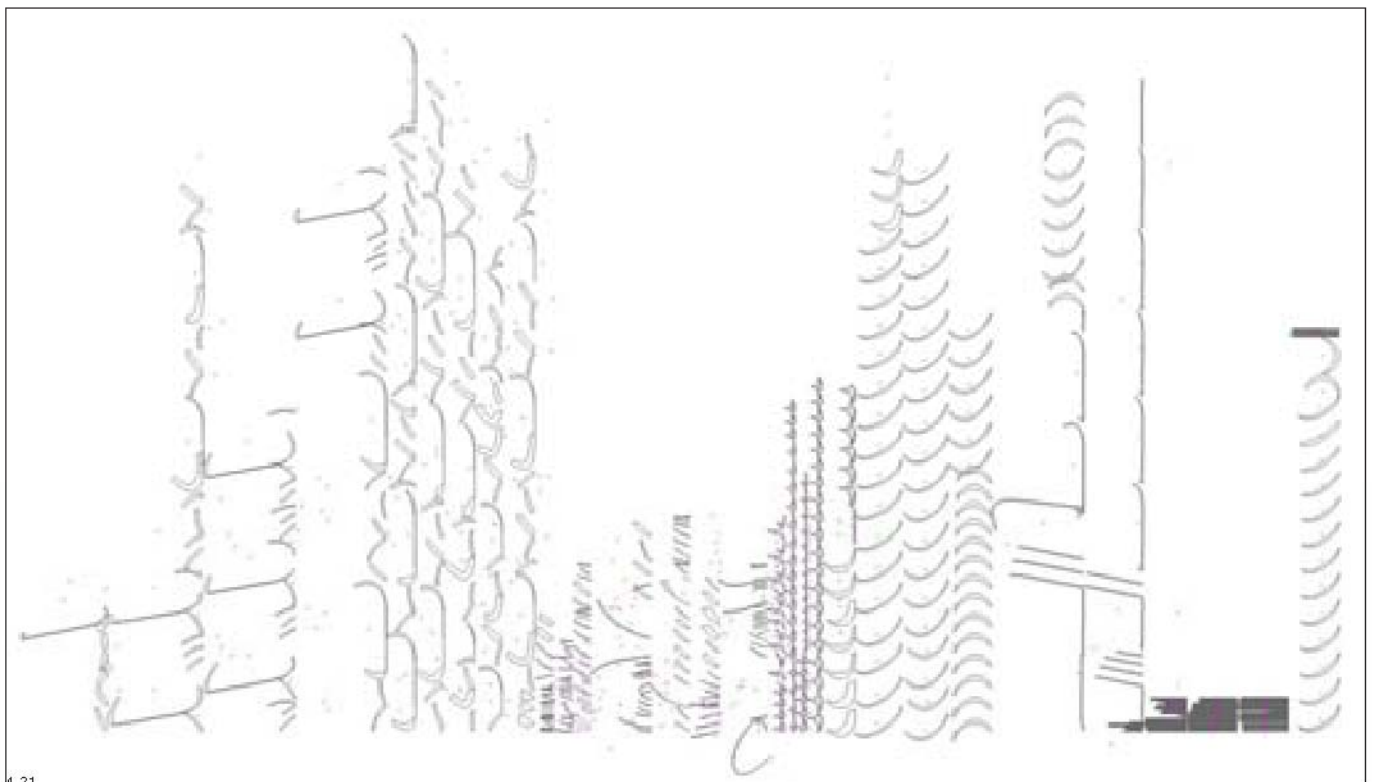
Le informazioni contenute nel modello 3D sono state poi inviate all'azienda fornitrice Rieder la quale ha impiegato direttamente il file per la fabbricazione (file to factory), trasformandolo in più di 3 Km di tracce lineari per la produzione degli 856 elementi di GRC, con spessore di 13 mm (precedentemente impiegato solo per la realizzazione di lastre di rivestimento), realizzati in stabilimento con l'ausilio di tecnologie CNC.

Il nesting delle lastre è stato eseguito usando il macchine CNC per il taglio con getto d'acqua.

Ogni componente è stato poi numerato, e l'assemblaggio in cantiere è avvenuto senza l'utilizzo di nessuna strumentazione meccanica.

La consulenza costante dei tecnici della Reider ha reso possibile applicare una rotazione di 15-20 mm al metro, senza compromettere la performatività del

4.30 Gli 856 componenti della struttura del padiglione estratti direttamente dal modello tridimensionale mediante il software Rhinoscript





6.31



6.32



6.33



6.34



6.35



6.36

6.31 La preparazione dei componenti della struttura sui pannelli di GRC di dimensioni standard per il nesting degli elementi

6.32 Il taglio dei componenti della struttura mediante cuttere con getto d'acqua CNC

6.33 L'imballaggio dei componenti per il trasporto in cantiere

6.34-6.36 Il trasporto della struttura metallica assemblata in stabilimento in tre parti distinte, e successivamente montate in cantiere

materiale.

#### Bibliografia

Donati, C., DRLTEN Pavillion, in *Modulo*, N. 343, 2008, pp. 706-709.

lawamoto, L., *Digital Fabrication*.

*Architectural and Material Techniques*, New York: Princeton Architectural Press, 2009.

#### Sitografia

[http://www.theplan.it/report\\_web/035/rieder.pdf](http://www.theplan.it/report_web/035/rieder.pdf)

<http://www.theverymany.net/2008/04/080406consultantautomaticnotcheunroll.html>

<http://www.core.form-ula.com/2007/11/05/drl-ten-pavilion-design-competition-2007/>

[http://nex-architecture.com/#/work/projects/c\\_space\\_drl10\\_pavilion/](http://nex-architecture.com/#/work/projects/c_space_drl10_pavilion/)

<http://cspacepavilion.blogspot.com/>

## Nordpark Cable Railway

*Localizzazione:* Innsbruck, Austria

*Superficie:* 2500 mq di superficie coperta di tutte 4 le stazioni

*Progetto:* Zaha Hadid architects

*Strutture:* Bollingher + Grohmann (Coperture), Baumann&Obholzer ZT Gmbh (strutture in cemento)

*Cliente:* INKB (Innsbrucker Nordkettenbahnen GmbH)

*Cronologia:* progetto: 2004-2005, costruzione: 2005-2007

*Materiali:* calcestruzzo (strutture verticali), acciaio (strutture delle coperture), vetro (rivestimento delle superfici esterne delle coperture)

*Destinazione funzionale:* stazioni per la funicolare

*TDF:* nesting (elementi strutturali e giunti)

### *Descrizione generale del progetto*

A dicembre 2007 è stata inaugurata la Nordkettenbahn, la funicolare che da Innsbruck porta a Hungerburg, una località nel cuore delle Alpi austriache a quota 2300 metri, lungo un percorso di 1,8 km.

Le quattro stazioni di arrivo - la Congress Center Station, nel centro storico di Innsbruck, le due stazioni intermedie Loewenhaus e Alpenzoo (un'altissima torre con copertura in vetro) e, infine, l'approdo nella valle dell'Hungerburg, caratterizzata da una terrazza panoramica - sono tutte diverse l'una dall'altra, pur essendo unite dalla medesima espressione formale ispirata dalla topografia, dall'altitudine e dalle prerogative dei punti su cui sorgono. L'idea su cui ogni oggetto architettonico è disegnato è la contrapposizione fra le caratteristiche intrinseche di due materiali: la leggerezza del vetro e la gravità del cemento armato.

Essi vengono impiegati per richiamare le peculiarità materiali del contesto che circonda queste preziose architetture, rispettivamente: la brillantezza dei ghiacciai e la massa delle rocce delle montagne. Il vetro è stato impiegato per rivestire le coperture delle quattro stazioni, mentre il cemento armato è stato utilizzato per costruire i plinti di fondazione e le strutture di supporto.

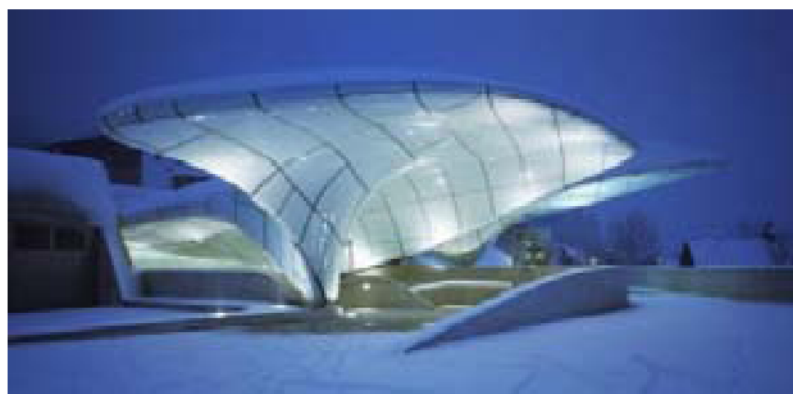
### *Progetto digitale*

In questo progetto la "customization" ha raggiunto livelli elevati grazie alla



6.37

6.37 Stazione Alpenzoo



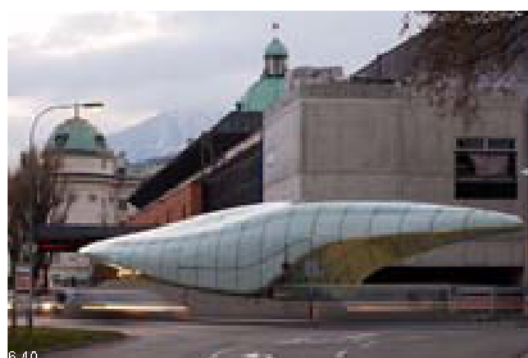
6.38

6.38 Stazione Hungerburg



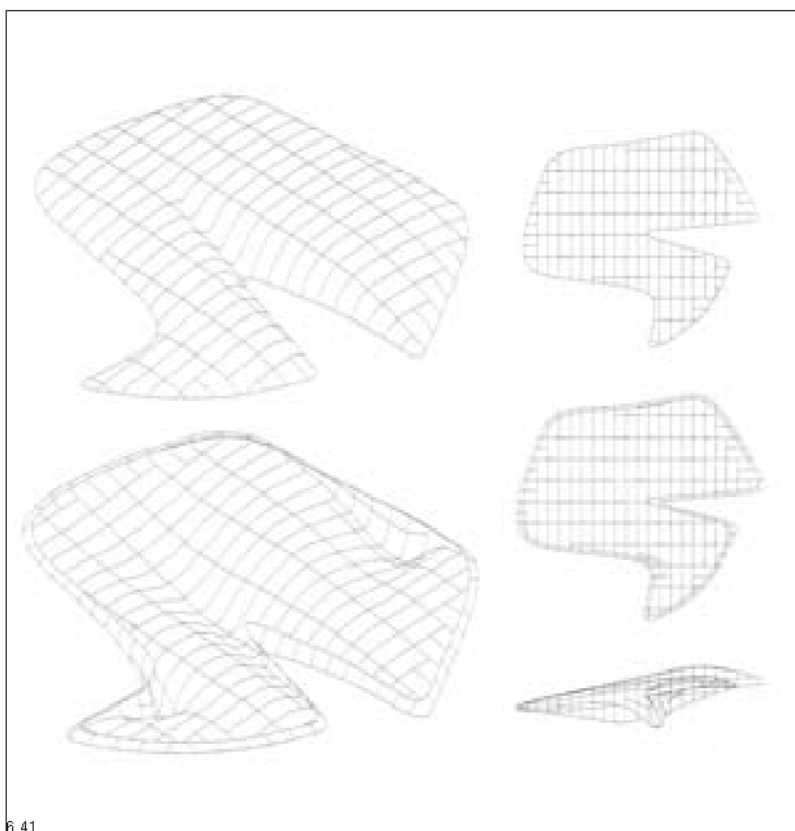
6.39

6.39 Stazione Löwenhaus



6.40

6.40 Stazione Congress



6.41

6.41 Diagrammi tridimensionali e proiezioni ortogonali delle partizioni dei pannelli di rivestimento sui lati superiore e inferiore della copertura della stazione Congress

digitalizzazione di tutto il processo progettuale e costruttivo dell'involucro. Sin dalle prime fasi il progetto è stato orientato e sviluppato in funzione delle successive modalità di produzione e costruzione.

Il progetto elaborato dallo studio di Zaha Hadid è stato sottoposto ad una discretizzazione, attraverso la modificazione delle forme del modello informatico, in modo da portare gli elementi metallici della struttura a dimensioni compatibili con le macchine a controllo numerico. I disegni di progetto, sostanzialmente modelli a tre dimensioni, sono stati tradotti direttamente in disegni esecutivi e successivamente trasmessi alla produzione (from file to factory).

Gli innovativi strumenti di produzione, le macchine CNC, sono stati impiegati sia per il taglio dell'acciaio e sia per quello dei profili in plastica.

Una delle conseguenze della informatizzazione nel progetto è stata la notevole riduzione del numero di elaborati grafici. Oltre a costituire un notevole risparmio di carta, molti passaggi sono stati eliminati con una conseguente

velocizzazione del lavoro.

Il passaggio dal progetto alla fase esecutiva si riassume nel trasferimento diretto, alle aziende produttrici, del modello informatico ottimizzato per la fabbricazione digitale dallo studio di consulenza DesignToProduction, generato a partire da quello elaborato dallo studio Zaha Hadid durante lo sviluppo del progetto

#### *Fabbricazione digitale*

Ogni volume a forma di nuvola di vetro che costituisce la copertura delle singole stazioni funicolari è costituito da uno scheletro formato da centine di acciaio.

Si tratta di una serie di piatti, dallo spessore variabile tra gli 8 e i 12 mm, disposti ad una distanza di 1,25 metri una dall'altra, ad una distanza circa di 60 mm dalla superficie dell'involucro, e unite fra loro da alcuni tubi in acciaio di irrigidimento trasversali.

Le lamiere alte fino a 3 metri m, tranciate a forma di semiluna, sono collegate tra di loro da travi di irrigidimento trasversali a formare un reticolo portante.

Sulle lamiere sono stati fissati dei profili a C in acciaio, sagomati per mezzo di frese CNC a 5 assi in modo da seguire gli andamenti curvilinei degli involucri e consentire poi l'ancoraggio degli elementi di rivestimento in vetro.

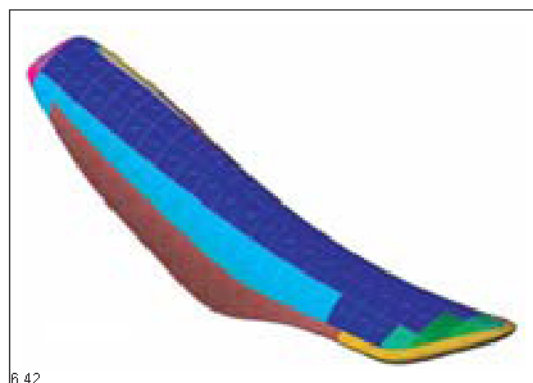
Lo scheletro d'acciaio è fissato sopra al basamento in calcestruzzo per mezzo di pochi punti d'appoggio.

Il disegno del contorno di taglio delle singole lastre è stato ottenuto direttamente dal modello informatico, scomponendolo in sezioni.

Le macchine a controllo numerico (CNC), sono state così programmate per il taglio dei pezzi.

Tutti i punti di connessione fra le piastre e di

6.42 Le lastre sono state classificate in diverse tipologie in base alle differenti sollecitazioni previste su ognuna di loro da parte della neve e del vento



6.42



6.43



6.44



6.45



6.46

6.43-6.44 I profili in polietilene fresati con una macchina a controllo numerico a 5 assi

6.45 Profili in acciaio fresati con macchine a cinque assi, disegnati in modo da seguire la curvatura dell'involucro

6.46 L'etichetta con le istruzioni di montaggio

connessione fra le piastre con altri elementi (irrigidimenti trasversali, pluviali ecc.) sono stati predisposti in officina.

Tutte le informazioni sul montaggio sono state riportate direttamente sulle piastre e previste sino dalla fase di elaborazione del modello, sul quale sono state riportate anche le posizioni di tutte le parti collegate a ogni pezzo della struttura, mediante l'apposizione di cerchi, velocizzando la fase successiva di montaggio.

I fori, che corrispondono ai punti di aggancio dei diversi elementi tra di loro, e le altre annotazioni, costituiscono la mappa di istruzioni per il montaggio.

Il fatto che queste informazioni fossero già contenute nel modello 3D durante la fase di produzione ha evitato costi aggiuntivi.

Per il rivestimento delle coperture il materiale inizialmente scelto per le sue caratteristiche di termodeformabilità è stato il Corian.

I costi legati all'utilizzo di questo materiale, il suo non elevato grado di lucentezza e le sue scarse garanzie di durabilità, hanno poi invece fatto cambiare idea ai progettisti i quali hanno scelto di impiegare il vetro. Questo materiale presenta oltre a buone

caratteristiche meccaniche, la possibilità di curvatura, e soprattutto la lucentezza ricercata dai progettisti per conseguire al risultato formale finale desiderato.

La larghezza delle lastre in vetro float temperato è stata fissata a 1,25 di larghezza in funzione della sua capacità portante, mentre il limite della lunghezza è di 3 metri, per motivi tecnici e legati alla produzione. Le lastre dello spessore di 12 mm sono inoltre state rivestite all'intradosso con resina poliuretanica per ottenere una maggiore sicurezza per la tenuta in caso di rottura e per dare il colore "ghiaccio" alle superfici vetrate.

Nella maggior parte delle superfici di copertura le lastre sono state posate sulle nervature trasversali.

In relazione al calcolo delle sollecitazioni dovute a vento e neve e in base alla posizione, le lastre sono state classificate in tipologie diverse.

La portata delle lastre e dei supporti è stata verificata mediante collaudi su lastre piane, mentre quella delle lastre dalla forma più complessa rispetto alle altre, è stata simulata mediante un programma di calcolo statico per strutture a elementi finiti.

6.47-6.48 La piegatura delle lastre di vetro sulle centine in tubolare metallico



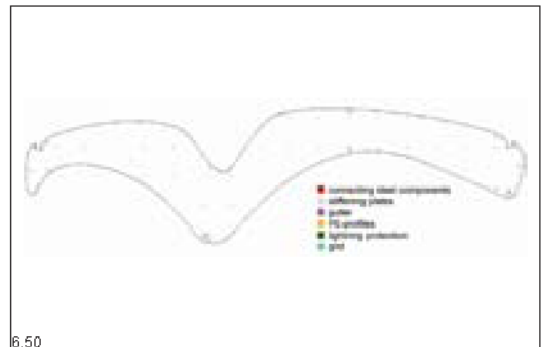
6.47



6.48



6.49



6.50



6.51

Le lastre sottoposte a sollecitazione elevate sono state provviste di nervature di acciaio supplementari incollate sulla faccia inferiore delle lastre piane.

Poiché ogni lastra in vetro è un pezzo unico curvato in due sensi, è stato necessario costruire un'apposita centina realizzata manualmente con tubi in acciaio.

La forma delle centine è stata ricavata dal disegno tridimensionale delle singole lastre sezionate nei modelli computerizzati delle pensiline.

Il procedimento di prefabbricazione prevede sulle ossature metalliche delle centine venga piegata a caldo una prima lastra di vetro a costituire il supporto del pannello completo. Il pannello finito è poi confrontato con quelli del modello informatico grazie ad uno scanner 3D, e se lo scarto risulta eccessivo la lavorazione viene ripetuta.

Una volta che il processo di produzione delle lastre in vetro, sagomate una ad una, e quello per la struttura metallica sono stati definiti, il lavoro del team di progettazione si è concentrato sui dispositivi di giunzione del sistema strutturale e quello di rivestimento. Per realizzare un'efficiente connessione tra acciaio e vetro sono state vagliate diverse ipotesi.

A causa degli angoli variabili tra il rivestimento superficiale e le nervature d'acciaio, si è pensato come prima soluzione a un giunto regolabile, la cui calibrazione, avrebbe implicato lo svantaggio di dover registrare tutti i punti di attacco direttamente in cantiere, comportando un gravoso dispendio di tempo e nessuna garanzia sul risultato finale dell'assemblaggio degli elementi di rivestimento.

Nella soluzione invece adottata è stato



impiegati un materiale poco costoso e semplice da lavorare che non richiedeva regolazioni da parte della manodopera in cantiere.

Si è quindi passati ad una soluzione più semplice: un profilo continuo di polietilene, avvitato sulla lamiera di acciaio, che funge da supporto lineare per le lastre in vetro. Sono stati realizzati singolarmente i profili che seguono la forma delle nervature e dell'involucro di vetro, ognuno con una sua specifica inclinazione, attraverso l'ausilio dei sistemi informatici di progettazione e delle tecnologie di fabbricazione digitale che hanno permesso di mantenere ridotti i costi. Per la realizzazione dei profili è stata utilizzata una fresatrice a 5 assi, e la loro geometria è stata calcolata automaticamente da un software appositamente sviluppato da DesignToProduction, il quale ha inoltre generato direttamente la segmentazione poligonale dei profili, la posizione dei fori per le connessioni a vite e la disposizione dei segmenti sulle lastre di polietilene per il taglio.

Per il comando della macchina a controllo numerico e quindi per la produzione non sono servite altre operazioni intermedie.

I vetri sono stati fissati con lamiere metalliche a forma di T schiacciata e disposti a cavallo dei giunti e incollati sull'intradosso del vetro e avvitati sui profili di polietilene.

La loro disposizione sulla struttura è avvenuta mediante tabelle piuttosto che con le tradizionali piante.

Mentre il modello tridimensionale è stato interrogato per il controllo, per l'esecuzione sono stati utilizzati i dati contenuti all'interno del foglio di calcolo.



6.52



6.53



6.54



6.55

6.52-6.55 I cantieri delle quattro stazioni per la funicolare di Innsbruck

## BMW Welt



6.56

*Localizzazione:* Monaco, Germania  
*Superficie:* 73000 mq  
*Progetto:* Coop Himmelb(l)au  
*Strutture:* Bollinger + Grohmann  
*Cliente:* BMW AG  
*Cronologia:* concorso 2001, 2003-2007  
progetto e realizzazione  
*Materiali:* acciaio (struttura e rivestimento),  
vetro (rivestimento)  
*Destinazione funzionale:* showroom  
automobili  
*TDF:* nesting + folding (elementi di  
rivestimento metallico)

### *Descrizione generale del progetto*

L'edificio è stato concepito come una grande hall coperta dove la casa automobilistica BMW accoglie i propri clienti, immergendoli nel mondo, nello stile e nell'esperienza propri della marca tedesca.

L'estensione dell'intervento è pari alla superficie di Piazza San Marco a Venezia, e l'impatto scenico non vuole essere da meno. L'articolazione formale del progetto, è derivata sia da strategie comunicative con il preciso obiettivo di materializzare un'immagine di modernità urbana, sia dal desiderio di inserire l'intervento all'interno di un contesto, l'Olympiapark, già fortemente caratterizzato dagli edifici preesistenti appartenenti alla stessa casa automobilistica. Il complesso, è composto da due parti separate e collegate da una grande copertura con geometria variabile, sospesa su pochi e ben celati pilastri: una nuvola che si genera dall'elemento caratterizzante il progetto, il "tornado".

Questo elemento, al cui interno vengono accolti eventi speciali ed esposizioni, è un doppio cono in torsione a spirale direttamente agganciato alla copertura e realizzato in acciaio e vetro.

La forma è nata da un'intuizione iniziale che è stata poi sviluppata attraverso accurate analisi strutturali eseguite con l'ausilio del software 3D Rhino, e il continuo controllo formale della complessità volumetrica dell'edificio attraverso il software Maya.

### *Progetto digitale*

Il progetto è stato elaborato facendo largo uso di strumenti informatici: l'idea iniziale è stata materializzata, appena dopo i primi schizzi, attraverso un plastico di studio, poi digitalizzato mediante SpaceArm, uno



6.57



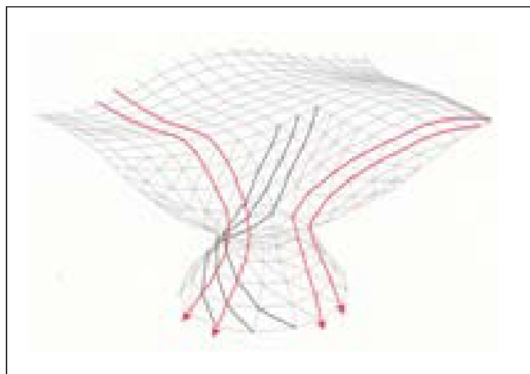
6.56 La sede della BMW di Monaco

6.57 Lo schizzo del concept del "tornado" e della copertura

6.58 Il modello di studio del concept

6.59 Il flusso delle forze che dal tetto si trasferiscono al doppio cono del "tornado"

6.60 Vista dell'interno del "tornado"



6.59



6.60

scanner 3D in grado di acquisire i dati necessari per descrivere forme anche complesse e tradurle in curve e superfici NURBS (Non-Uniform Rational B-spline). Il modello digitale è stato poi importato in Rhino, un software di modellazione 3D, e grazie alla possibilità di verificare l'andamento delle sollecitazioni sulla struttura offerta dal programma, sono state apportate le modifiche al progetto in relazione alle logiche statiche e funzionali. È stato poi necessario ottimizzare le superfici per rendere fattibile la costruzione delle forme descritte nel modello informatico. Si è così ricorsi alla costruzione del modello reale di una porzione del cono, realizzato in acciaio e vetro.

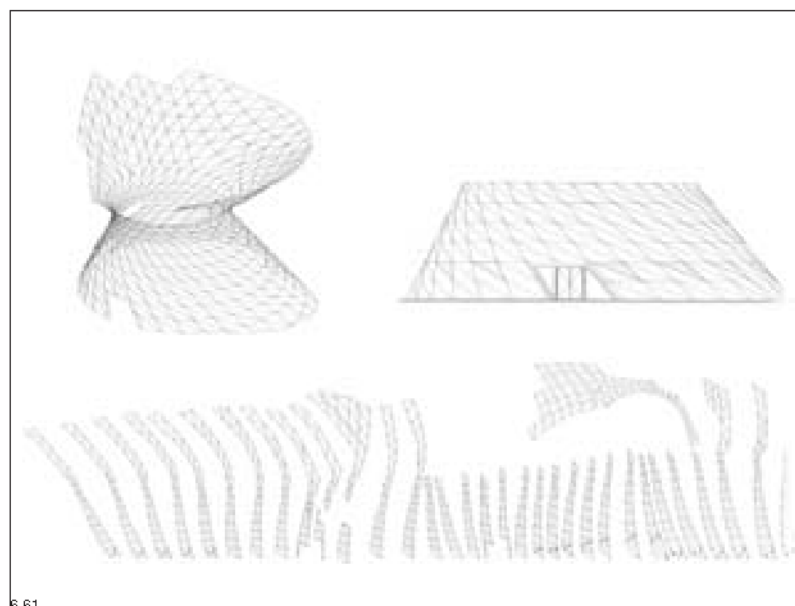
Il modello digitale è stato quindi trasferito alla azienda produttrice dell'involucro, la Gartner Permasteelisa, la quale ha impiegato il software CATIA per l'ingegnerizzazione delle forme complesse dei volumi dell'edificio.

In questa fase si è così elaborato il sistema tecnologico del "tornado": dall'idea iniziale, comunemente accettata in costruzioni di questo tipo, di una struttura portante costituita da travi primarie e secondarie, è stata elaborata una soluzione strutturale con singolo lay-out che ha permesso di ridurre la quantità di acciaio da utilizzare.

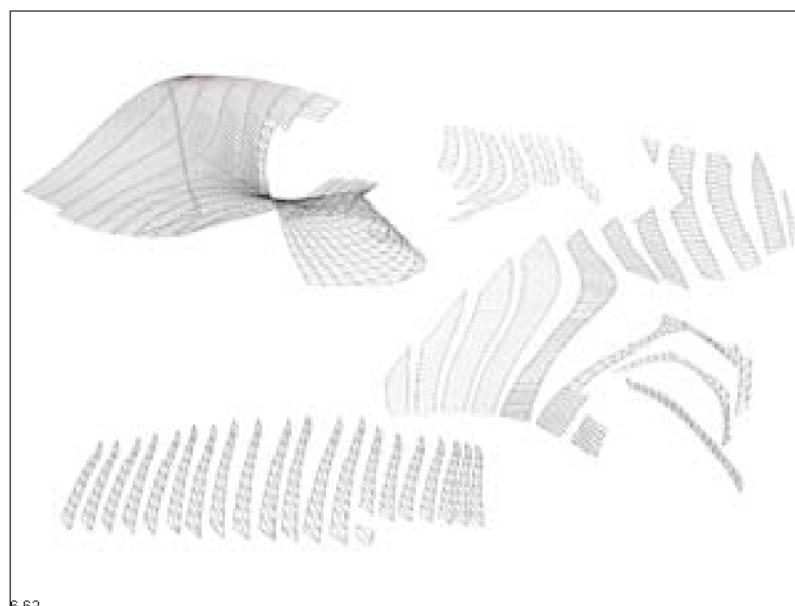
La soluzione tecnologica, individuata dall'azienda produttrice, di coniugare la struttura portante in acciaio con quella delle superfici di chiusura in vetro in un unico sistema che assolvesse entrambe le funzioni, prevede l'utilizzo per il fissaggio meccanico di "manine" ogni 50 cm e di supporti in gomma che fossero in grado di accomodare lastre con angoli e tolleranze fuori dalla norma.

#### *Fabbricazione digitale*

Gli elementi in acciaio della struttura sono stati fabbricati in stabilimento impiegando direttamente le informazioni estratte da modello informatico sviluppato con il software CATIA, con l'ausilio di macchine CNC, e poi trasportati e assemblati direttamente in cantiere saldandoli. Per controllare l'esattezza di pezzi, prodotti mediante il processo File to Factory, sono stati stampati su carta alcuni disegni parziali e sovrapposti ai pezzi in acciaio, testandone



6.61



6.62

la perfetta collimazione.

I profili sono realizzati mediante lpe imbullonate per le travi di bordo della copertura e da profili tubolari a sezione rettangolare per le parti di cono che sorreggono le vetrate.

Grazie al processo di produzione che permette di impiegare il modello informatico, usato nello sviluppo del progetto, per produrre i pezzi per la costruzione dell'edificio mediante macchinari a controllo numerico è stato possibile verificare fin dalle prime fasi della progettazione i vincoli strutturali e produttivi a cui adattare i componenti dei diversi sistemi dell'edificio.

6.61 Lo sviluppo bidimensionale della superficie vetrata della chiusura del "tornado"

6.62 Lo sviluppo bidimensionale della superficie del rivestimento metallico del "tornado"

6.63-6.66 Il cantiere del "tornado"

**Bibliografia**

Crippa, D., Di prete, B., La costruzione dell'immaginario, *Rassegna*, N. 81, 2005, pp. 57-61.

Fereiss, K. (a cura di), *Dynamic Forces: Coop Himmelb(l)au*, BMW Welt Munich, Monaco, Berlino, Londra, New York: Prestel Verlag, 2007.

Pagliari, F., BMW Welt, Munich, Germany, in *The Plan: Architecture and Technologies in detail*, N. 23, 2007, p. 76-93.

Paoletti, I., L'involucro si racconta attraverso le opere, *Il giornale dell'architettura*, n.31, Luglio-agosto, 2005, pp. 2-3.

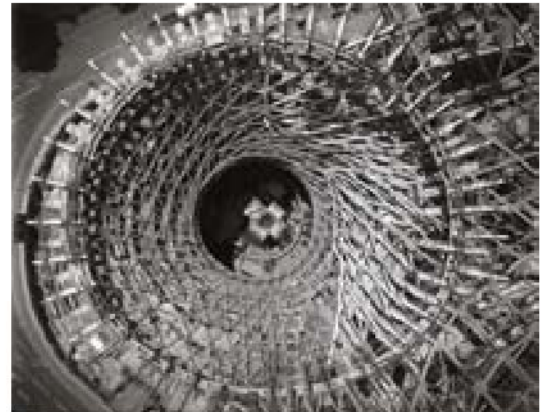
Paoletti, I., Tornado Bmw, *La Nuova Finestra*, N., 12, 2004, p. 100.

Paoletti, I., *Costruire le forme complesse. Innovazione, industrializzazione e trasferimento per il progetto di architettura*, Milano: Libreria CLUP, 2006.

Reboli, M., Il cliente ha sempre ragione, *Casabella*, N. 748, 2006, pp. 97-105 (immagini)



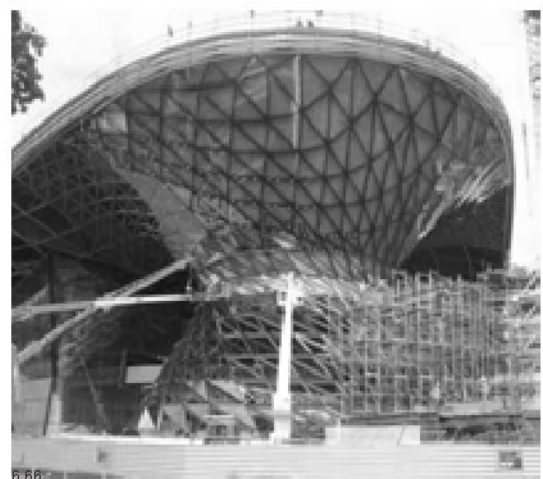
6.63



6.64



6.65



6.66

## Hessing Cockpit

*Localizzazione:* Utrecht, Olanda

*Superficie:* 5500 mq

*Progetto:* ONL

*Strutture:* Meijers Staalbouw bv, ONL

*Cliente:* Hessing Holding bv, Projectbureau Leidesche Rijn Utrecht

*Cronologia:* progetto 2005, realizzazione 2007

*Materiali:* acciaio (struttura), vetro (rivestimento)

*Destinazione d'uso:* Showroom automobili

### *Descrizione generale del progetto*

Hessing "Cockpit", collocata sull'autostrada A2 tra Amsterdam e Maastricht, è un intervento lungo complessivamente 1,5 km, che lega insieme uno showroom di auto di lusso ad una barriera acustica.

Il complesso, è stato ideato come un lungo e sinuoso serpente (la barriera acustica) che ha inghiottito una piccola cavia (lo showroom), deformando così in un punto preciso la sua silhouette.

L'intervento è stato progettato in modo da privilegiare il punto di vista delle automobili percorrenti l'autostrada, alla velocità media di 120 km/h.

La sezione è variabile per tutta la sua lunghezza, e la sua forma muta da angolare, a leggermente curvata, da convessa a concava, richiamando la sinuosità delle geometrie delle carrozzerie delle automobili, ottimizzando i flussi aerodinamici.

Questa continua variazione della forma fa assumere colorazioni sempre differenti lungo l'intero arco della giornata al vetro con cui sono state rivestite le superfici esterne del complesso che fronteggiano il sistema strutturale realizzato interamente in metallo.

### *Progetto digitale*

Il progetto è stato concepito come una forma continua, in acciaio e vetro, in cui non fosse possibile distinguere parti diverse tra loro: un unico "essere fluido" che comprendesse programmi differenti.

Per rispettare questo principio lo studio olandese, guidato dal prof. arch. Kas Oosteruis, ha scelto di unificare gli elementi che compongono l'intero sistema, pur differenziandoli seguendo gli andamenti della superficie dell'involucro.

Il principio ideato e applicato poi in diversi progetti elaborati e realizzati dal gruppo olandese è "one detail, one component".



4.67



6.68

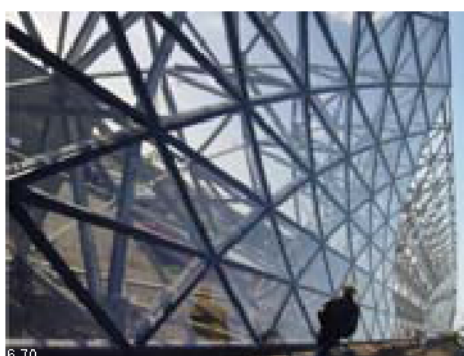
6.67 Lo showroom inglobato nella barriera acustica sull'autostrada A2 tra Amsterdam e Maastricht

6.68 Una vista dell'interno dello showroom



6.69

6.69 Il modello del serpente (la barriera acustica) che ha inghiottito la cavia (lo showroom)



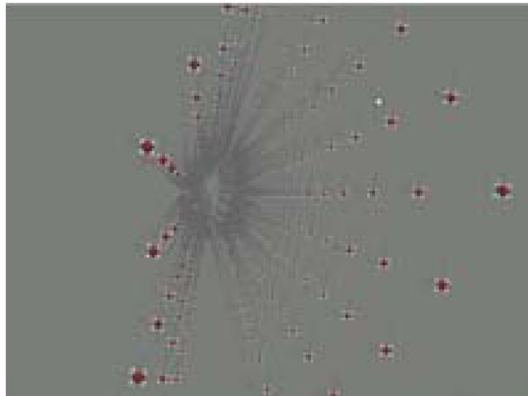
6.70

6.70 Dettaglio della superficie vetrata della barriera acustica

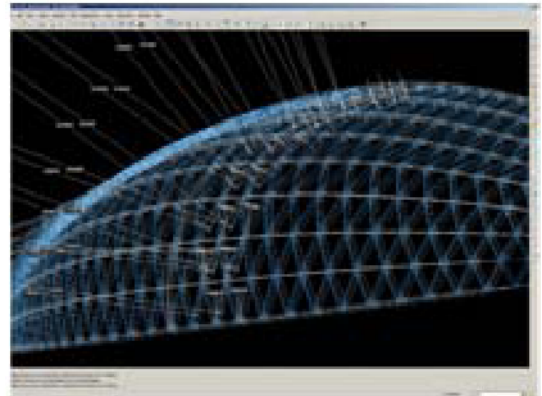
6.70 I nodi del sistema strutturale rappresentati nel modello dimensionale

6.72-6.73 Il modello parametrico del sistema di involucro

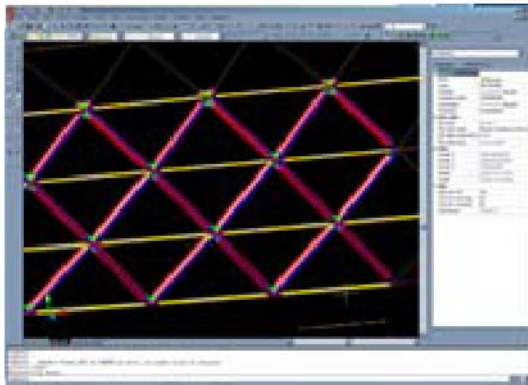
6.74 Il dettaglio parametrico di uno dei nodi



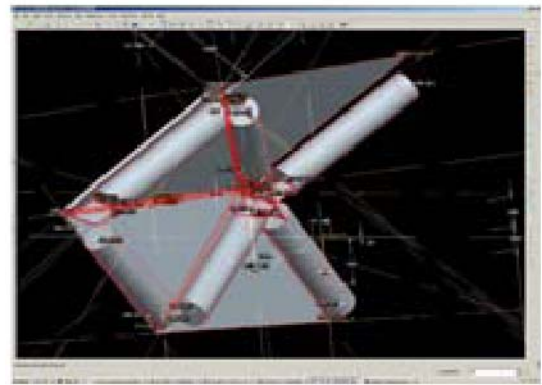
6.71



6.72



6.73



6.74

Questo principio progettuale, guidato dai nuovi paradigmi industriali della mass-customization, sfrutta le potenzialità dei software parametrici, i quali, a partire dalla definizione delle variabili e delle invarianti di un modello informatico di un qualsiasi sistema, nel caso specifico l'involucro, al mutare delle condizioni generali o parziali, aggiornano automaticamente la configurazione intera del modello, nel rispetto delle rinnovate condizioni. Il modello, in questo caso, è stato elaborato da ONL fino alla definizione formale della barriera acustica e dello showroom, seguendo le indicazioni delle aziende che avrebbero poi dovuto provvedere alla produzione dei componenti del sistema di involucro: Meijers Staalbow per le strutture metalliche e Pilkington Benelux per il sistema di chiusura in vetro. Fin dalle prime fasi di elaborazione del progetto, è stata espressa la volontà da parte del progettista di non procedere, come di consuetudine, a distinguere i sistemi dell'involucro: le strutture e le chiusure. Normalmente questo avviene in ragione della differenza dei margini di errore accettabili nella produzione: mentre infatti

per le aziende che producono componenti e sistemi in acciaio, il margine di errore accettato è dell'ordine di 10-20 mm, nelle aziende produttrici di elementi e sistemi in vetro l'errore consentito è di 3-6 mm.

#### *Fabbricazione digitale*

Per evitare eccessive complicazioni, l'azienda produttrice dei componenti e sistemi in acciaio, ricevuto il modello elaborato dai progettisti, ha provveduto allo sviluppo di un sistema di connessione tra le diverse parti della struttura e la chiusura in vetro, garantendone la realizzabilità tenuto conto della differenza tra i margini di errore accettabili della produzione degli elementi dei diversi sistemi e rispettando il principio progettuale imposto dal gruppo di progettazione "one detail, one component", usando scripts per la modellazione digitale dei dettagli partendo dal modello parametrico fornito dallo studio ONL. La struttura tridimensionale spaziale dell'edificio è stata interamente generata a partire da un nodo tipo e un'asta, dei quali sono state previste la lunghezza e l'angolo di incidenza reciproco, variabili lungo l'intera struttura..

Il software parametrico, declina questo dettaglio su tutta la superficie, adattando gli angoli di incidenza in base alle diverse inclinazioni e le misure delle aste a seconda delle esigenze dimensionali.

La struttura metallica dell'edificio a modulo romboidale è quindi composta da tubolari metallici e duplicata da un'orditura secondaria di profilati scatolari che seguono lo stesso modulo, con l'aggiunta di un componente che rende triangolari e planari le superfici di appoggio dei vetri.

Entrambi i sistemi fanno riferimento a un nodo composto da piastre saldate a un tubo centrale e a piastre per la connessione dei profili tubolari e scatolari, già comprese di fori per la bullonatura.

Dopo aver generato il modello tridimensionale dell'intero edificio attraverso software parametrici, sono stati estratti i dati necessari per la produzione a controllo numerico dei differenti componenti.

Durante lo sviluppo dei dettagli di connessione da parte della azienda Meijers, la Pilkington, a cui è stata affidata la produzione degli elementi in vetro, ha esaminato il comportamento delle lastre in vetro in opera, con l'ausilio di modelli reali

realizzati in legno.

La Pilkington ha tagliato tutti i vetri attraverso un processo di nesting basato sulle informazioni anch'esse estratte direttamente dal modello digitale.

Durante la fase di costruzione, l'edificio è stato sottoposto a ripetuti rilevamenti, e le misure sono state confrontate con quelle del modello informatico, in modo che, in caso di discrepanze, esse si potessero comunicare tempestivamente alle aziende produttrici le quali potevano così rivedere le fasi di produzione.

#### Bibliografia

Alberg, E., Aquili, L., Interpretazioni molteplici. Cockpit: "The Rules of the game", in *L'arca*, N. 199, 2005, 70-74.

Converso, S., Oosterhuis unisce studio e azienda, *Il Giornale dell'architettura*, N. 58, 2008, Rapporto metalli, p. 5.

Converso, S., *Il progetto digitale per la costruzione: cronache di un mutamento professionale*, Santarcangelo di Romagna (RN): Maggioli, 2009.

Oosterhuis, K., Lénard, I., *ONLogic: speed and vision*, Images: Mulgrave, 2008.

Oosterhuis, K., *Ipercipi: verso*



6.75



6.76

6.75 Il mock-up realizzato dalla Pilkington per testare l'assemblaggio dei diversi elementi

6.76 Le aste della struttura della barriera acustica



6.77



6.78

6.77 I nodi di connessione delle aste, tutti diversi tra di loro a causa della differente angolazione delle aste

6.78 Il nodo strutturale del sistema di involucro dello showroom

6.79-6.80 La barriera  
acustica in fase di  
realizzazione

*un'architettura e-motiva*, EdilStampa: Roma,  
2007.

Saggio, A., *Infrastruttura plurale*, in *L'Arca*,  
N.249, 2009, pp.40-43.

Sitografia

<http://www.oosterhuis.nl/quickstart/index.php?id=122>

[http://www.architecture-page.com/go/projects/the-cockpit\\_\\_all](http://www.architecture-page.com/go/projects/the-cockpit__all)



6.79



6.80



## Museo Guggenheim

*Localizzazione:* Bilbao, Spagna

*Superficie:* 28.000 mq

*Progetto:* Frank O'Gehry.

*Strutture:* Skidmore, Owings & Merrill

*Cliente:* Administraciones Vascas, Solomon R. Guggenheim Foundation

*Cronologia:* 1990-1991 progetto vincitore del concorso ad inviti, 1993-1997 realizzazione

*Materiali:* calcestruzzo, acciaio, pietra calcarea spagnola, titanio, vetro

*Destinazione funzionale:* museo

*TDF:* contouring (elementi di rivestimento in pietra) folding (elementi di rivestimento in titanio)



6.81

### *Descrizione generale del progetto*

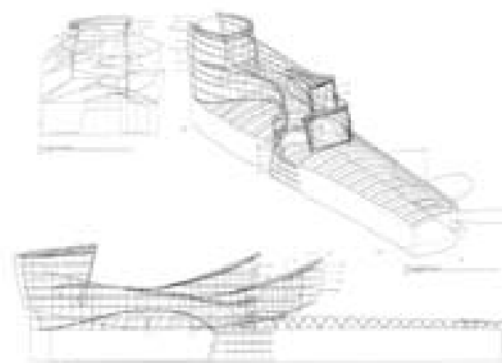
Questo progetto è considerato fondamentale da Gehry e i suoi collaboratori, perché durante il suo sviluppo essi hanno avuto modo di precisare il metodo, tutt'oggi seguito all'interno dello studio, secondo cui svolgere l'attività progettuale e sfruttare pienamente le potenzialità degli strumenti informatici. Attraverso la costruzione del museo di Bilbao è stato dimostrato alla committenza dell'opera da lungo in corso, la Disney Concert Hall, e a tutti gli operatori del settore, che le architettura di forma complessa potevano essere costruite.

In principio, come altri progetti dell'architetto d'oltreoceano, anche il progetto del museo spagnolo, è stato ritenuto "non realizzabile" dai professionisti locali: F.O'Gehry e il suo team, hanno invece presto dimostrato, al governo basco, non solo di poterlo realizzare, ma anche di poterlo costruire secondo i tempi e il budget prestabiliti.

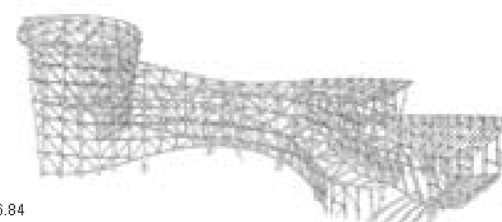
La costruzione del museo Guggenheim di Bilbao, forse la prima opera di una certa dimensione a presentare un involucro con forme così complesse, è stata resa possibile, oltre che dall'utilizzo degli strumenti informatici, da una serie di importanti fattori: la realizzazione di questo edificio è stata, nonostante le polemiche, fortemente voluta dalla città per rilanciare la propria immagine, e quindi sostenuta da un atteggiamento sempre positivo e collaborativo dei diversi operatori che vi hanno partecipato, dall'amministrazione pubblica al committente americano all'architetto; un altro importante fattore è stato la congiuntura tra la recessione spagnola, che teneva bassi i costi della manodopera, e l'immissione nel mercato,



6.82



6.83



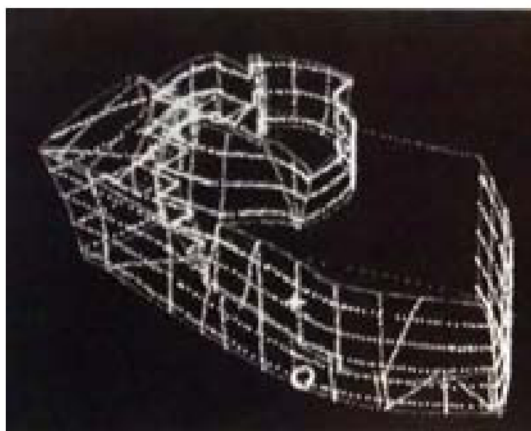
6.84

6.81 Il museo Guggenheim di Bilbao

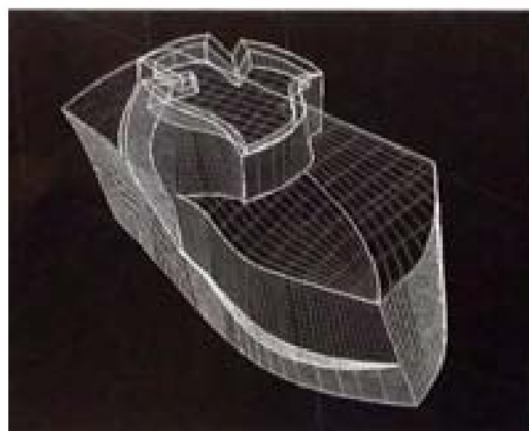
6.82-6.83 Assonometrie e fronti ovest e sud, con lo studio della curvatura delle superfici

6.84 Il modello della struttura generato automaticamente attraverso il software Bocad

6.85-6.86 Il processo di trasformazione dei dati: la digitalizzazione del modello reale (6.85), la ricostruzione delle superfici nel modello digitale (6.86), il modello realizzato con macchinari CNC impiegando direttamente i dati contenuti nel modello tridimensionale (6.87)



6.85



6.86

6.88 La digitalizzazione del plastico



6.87



6.88

da parte della Russia, di grandi quantità di titanio, riducendone così i costi.

#### *Progetto digitale*

Per la partecipazione al concorso ad inviti per il progetto del Museo Guggenheim di Bilbao, l'architetto americano ha sviluppato la propria idea progettuale ricorrendo ai tradizionali strumenti di disegno e alla realizzazione di diversi plastici. Successivamente alla proclamazione del progetto vincitore, i collaboratori di Gehry

hanno provveduto a digitalizzare tutto il materiale prodotto per la partecipazione al concorso.

Per verificare che le informazioni, una volta importate nel computer e tradotte nel modello informatico, corrispondessero a quelle rappresentate nelle tavole e nel plastico presentati al concorso, è stato creato un plastico programmando una macchina laminatrice automatica con le informazioni estratte dal modello informatico generato attraverso l'ingegnerizzazione inversa di quello reale presentato alla giuria della competizione.

Verificata la corrispondenza, il modello è stato impiegato per elaborare il progetto in tutte le sue fasi, e per coordinare la realizzazione del progetto stesso.

La struttura, di 24.000 metri quadri, è composta completamente da pezzi tra loro differenti.

Per la produzione degli elementi di facciata dell'edificio sono stati necessari 50.000 disegni e, complessivamente, 60.000 ore di calcolo computazionale.

Per lo sviluppo dei disegni esecutivi del sistema di rivestimento, la ditta spagnola Urssa ha svolto gran parte del lavoro di calcolo, mentre per la progettazione dei dettagli del sistema di vetratura del museo sono state impiegate otto delle diciotto workstations prese a prestito da aziende aerospaziali.

La struttura metallica dell'edificio è basata da un telaio prefabbricato di 3 metri per lato. I longheroni sono rettilinei (tranne nella galleria e nella torre), mentre i telai non sono sempre paralleli o ortogonali e sono imbullonati gli uni agli altri.

Mentre la curvatura orizzontale è

descritta da strisce di acciaio, staccate dall'intelaiatura, del diametro di 60 mm, la curvatura verticale è descritta dal leggero scarto dei perni agli angoli retti rispetto alle strisce, connesse all'intelaiatura mediante un giunto regolabile, capace di sostenere con precisione il rivestimento esterno della facciata in titanio.

I pannelli realizzati in quattro misure differenti coprono l'80% della superficie. Solamente per la progettazione degli elementi in pietra dell'edificio si è ricorsi all'uso di software CAD.

In questo progetto l'impiego del modello è stato fondamentale per la gestione della complessità dell'intervento, ma anche per la sua gestione economica.

L'ausilio del modello informatico ha reso possibile stimare con precisione i costi di produzione dei componenti in base alla articolazione delle forme degli elementi del rivestimento.

All'aumentare del numero delle curvature delle lamiere metalliche infatti corrispondono prezzi crescenti, pertanto l'abaco dei componenti ricavato dal modello informatico ha consentito di verificare i costi in relazione alle forme dell'edificio praticamente in tempo reale.

#### *Fabbricazione digitale*

Gli elementi in pietra sono stati sagomati utilizzando frese a controllo numerico utilizzando le informazioni estratte dal modello informatico.

Per la realizzazione del rivestimento metallico, composto da pezzi tutti diversi tra loro, sono state impiegate macchine a controllo numerico.

Al fine di produrre gli elementi del rivestimento metallico, è stato necessario modificare le curve del modello originario mediante un processo di ottimizzazione della loro geometria, per garantire che il numero massimo di raggi di ciascun elemento di tre metri di lunghezza, fosse limitato a quattro.

A partire dal modello informatico, sono state tagliate una ad una tutte le differenti lastre di titanio, piegate in officina, e sono poi spedite in cantiere e posate in opera adottando stazioni topografiche di alta precisione, contenenti gli archivi grafici Catia, seguendo inoltre la numerazione predeterminata con cui era stata suddivisa inizialmente la



6.89



6.90



6.91

6.89-6.91 Il cantiere del museo Guggenheim di Bilbao

superficie di involucro esterno.

#### *Bibliografia*

- Dal Co, F., Forster, K., W., Soutter Arnold, H., *Frank O. Gehry: tutte le opere*, Electa: Milano, 1998.
- Kolarevic, B. (a cura di), *Architecture in the digital age: design and manufacturing*, New York, London: Taylor & Francis, 2003.
- Lindesy, B., *Digital Gehry. Material Resistance / Digital Construction*, Basel, Boston, Berlin: Birkauer, 2001 (tr.it a cura di Saggio, A., *Gehry digitale. Resistenza materiale / Costruzione digitale*, Torino: Testo&Immagine, 2002.).
- Nicolin, P., Lo smembramento di Orfeo, in *Lotus International*, N. 98, 1998, pp.11-26.

## Walt Disney Concert Hall

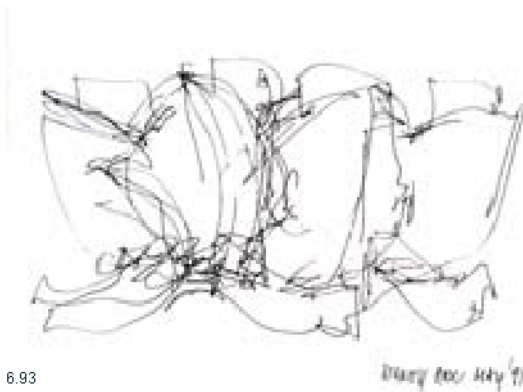


6.92

6.92 La Disney Concert Hall

6.93 Uno degli schizzi iniziali di F.O'Gehry

6.94 Alcuni dei modelli dell'auditorium



6.93



6.94

*Localizzazione:* Los Angeles, California, USA

*Superficie:* 18580 mq

*Progettista:* Gehry & Partner

*Strutture:* John A. Martin & Associates, Inc.

*Consulenti:* Gordon H. Smith Corporation (facciata)

*Cliente:* Disney Concert Hall

*Cronologia:* 1987 concorso, 1997 inizio costruzione, 2003 fine costruzione

*Materiali:* acciaio

*Destinazione funzionale:* auditorium

TDF: Folding (elementi di rivestimento metallici)

### *Descrizione generale del progetto*

La realizzazione di questo edificio è stata possibile solamente grazie alle esperienze accumulate in altri progetti che lo studio ha portato avanti parallelamente, durante i quattordici anni trascorsi tra la vittoria del concorso per l'assegnazione del progetto, e la sua inaugurazione a costruzione ultimata. I know-how necessari per la realizzazione di un progetto così complesso, sono stati accumulati attraverso la capacità di Gehry e del suo staff, di trasformare le difficoltà tecniche in opportunità per sperimentare nuovi strumenti informatici, e stabilendo alleanze con aziende coinvolte nello sviluppo di tecnologie innovative. Le realizzazioni che si sono susseguite a partire dagli anni '90 dello studio californiano, dato il loro successo, per lo meno mediatico, hanno legittimizzato le sperimentazioni successive, e dimostrato a tutti la loro stessa costruibilità, portando Gehry a entrare a far parte dello (Archi)Star System internazionale.

Il successo delle architetture di Gehry che venivano costruite in diversi luoghi del pianeta, attirando le attenzioni della stampa internazionale, hanno convinto il committente della Disney Concert Hall, soprattutto dopo la costruzione del Guggenheim di Bilbao, a fidarsi del proprio architetto, lasciandogli una quasi totale libertà progettuale.

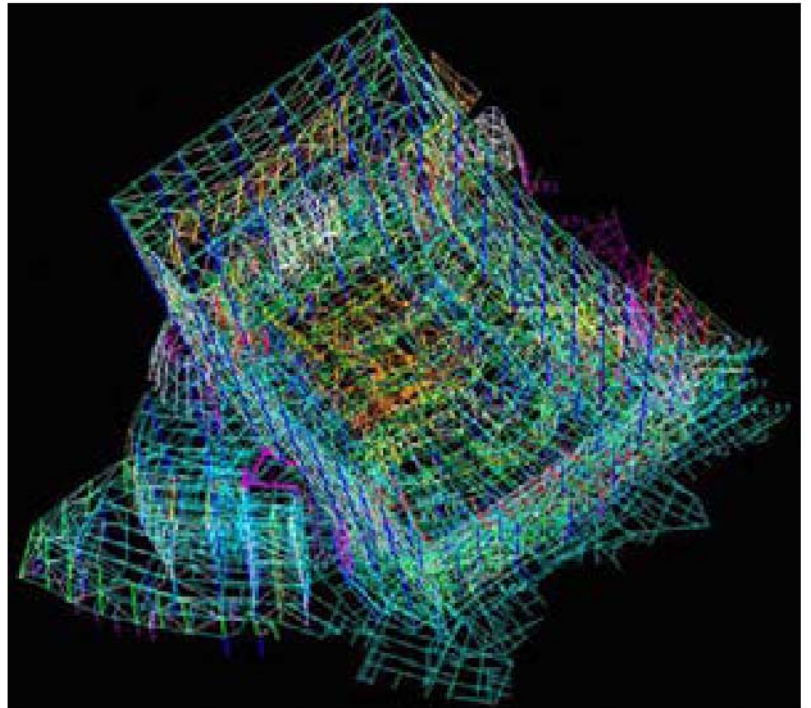
L'idea attorno a cui è stato elaborato il progetto, sin dall'inizio, era quella di costruire un auditorium la cui acustica potesse essere considerata perfetta: quello che Gehry voleva fare era realizzare un auditorium ideale, le cui forme arrotondate degli interni, derivate degli



6.95



6.96



6.97

studi sull'acustica, condotti da specialisti che collaboravano alla realizzazione del progetto, potessero, in qualche modo, essere trasferite all'esterno, imprimendole sulla superficie dell'involucro.

#### *Progetto digitale*

Nel corso del primo anno dopo la vittoria del concorso, il programma è cambiato più volte, e lo studio di progettazione è stato impegnato a modificare, di conseguenza, l'organizzazione funzionale dell'intera area di intervento, nonché dell'edificio. Quando finalmente, dopo aver lavorato a varie versioni del progetto, è stato definito il programma funzionale, Gehry, insieme ai suoi collaboratori, ha potuto finalmente cominciare a concentrarsi sulle forme, studiandole attraverso plastici la cui realizzazione è stata eseguita utilizzando le allora emergenti tecnologie CAD/CAM. Dopo aver raggiunto una forma convincente, usando uno scanner tridimensionale, il plastico è stato rilevato, in modo da ottenere automaticamente il modello tridimensionale informatico al computer, che ha permesso allo studio californiano di elaborare il progetto, verificandone allo stesso tempo la fattibilità. Durante questa fase, ancora di studio, in cui l'edificio era pensato in pietra, così come

imposto dalla committenza, è stata chiamata l'azienda che avrebbe dovuto occuparsi della produzione dei paramenti lapidei, per ricercare un modo per produrre le forme, con l'ausilio delle tecnologie CAD/CAM e delle macchine a controllo numerico, così come erano previste nel modello informatico. I risultati ottenuti, vennero esposti alla Biennale di Venezia, dimostrando a tutti che la possibilità di costruire le forme elaborate nello spazio virtuale del computer esisteva, e Gehry l'aveva trovata. Dopo l'esposizione, lo studio ha continuato a lavorare sulla progettazione dell'involucro in pietra, prestando, questa volta, attenzione anche alla normativa, che conteneva severe prescrizioni riguardo al comportamento antisismico degli edifici. Lo studio, insieme agli ingegneri che collaboravano alla progettazione strutturale dell'edificio, hanno quindi elaborato un sistema di fissaggio dei blocchi in pietra in cui era previsto che ogni elemento fosse fissato indipendentemente, così da permetterne la movimentazione durante le scosse sismiche, senza dover giustapporre i tradizionali, ben visibili, giunti. È stata, poi, indetta una gara a cui sono state invitate a partecipare una selezione di aziende produttrici, a cui sono stati forniti i files relativi a pezzi molto

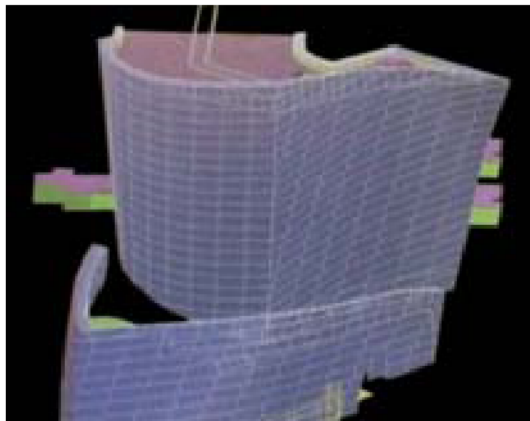
6.95 Il modello della Disney Concert Hall

6.96 Il modello dell'auditorium in scala 1:10 eseguito per eseguire i test acustici

6.97 Il modello tridimensionale elaborato con il software CATIA

6.98 Il modello digitale della Disney Concert Hall con la trama del rivestimento esterno

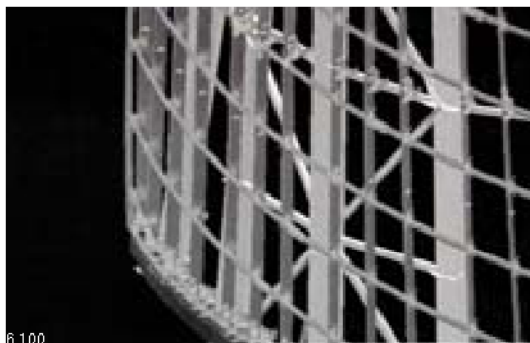
6.99-6.100 Il modello digitale dettagliato



6.98



6.99



6.100

complessi, appartenenti all'involucro in pietra dell'edificio, da fabbricare mediante tecnologie CAD/CAM.

A questo punto del processo per la realizzazione dell'edificio, la fiducia verso il progettista da parte della committenza era ancora scarsa, e alcuni degli investitori, scoraggiati dalla complessità dell'intervento e dall'applicazione di avanguardistici software e macchinari automatizzati, abbandonarono l'impresa, portando con sé il proprio capitale, benché il costo della costruzione dell'edificio, nonostante le proprie forme ardite, avesse, secondo i computi metrici estimativi, rispettato il budget previsto.

Il processo per la costruzione della Disney

Concert Hall venne, di conseguenza, sospeso.

Lo studio, si è quindi concentrato in altri progetti, attraverso cui sono state sperimentate le nuove tecnologie informatiche per la progettazione e la produzione: il Barcelona "Fish", la sede della compagnia assicurativa Nationale Nederlanden a Praga, le tre torri del Nuovo Zollhof a Dusseldorf, ed infine il museo Guggenheim di Bilbao.

Il successo mediatico riscosso da questa ultima opera, ha convinto la Disney, a riprendere i lavori per la realizzazione del proprio auditorio, sicuri, ora delle capacità di Gehry e del suo team, tanto da permettergli di utilizzare i materiali che egli preferiva, per l'involucro dell'edificio: l'acciaio.

La scelta di impiegare il nuovo materiale per l'involucro, costrinse, pur senza toccare gli ambienti interni, di ripensare completamente la struttura, e a rimodellare i volumi esterni. Il nuovo modello digitale dell'involucro metallico e del mutato sistema strutturale in acciaio, dopo le esperienze acquisite durante i numerosi progetti portati a termine durante questi anni, è stato elaborato con un altissimo grado di dettagli, ed è stato descritto come il più completo che lo studio abbia mai prodotto.

Infatti, a differenza di quanto è accaduto a Bilbao, in cui l'azienda produttrice sviluppò da sola i dettagli relativi alla carpenteria metallica della struttura, e le informazioni necessarie alla produzione, per la Disney Concert Hall fu lo studio di progettazione stesso a dover sviluppare questa parte.

#### *Fabbricazione digitale*

Al termine dell'assemblaggio della struttura dell'edificio in cantiere, la costruzione risultava in ritardo rispetto al programma lavori.

Per accelerare i tempi, mentre ancora si lavorava per montare la struttura metallica, l'azienda incaricata della realizzazione del rivestimento metallico dell'auditorium, ha ottimizzato il sistema in modo da velocizzare l'intera procedura del montaggio, in modo tale da recuperare i costi da lei sostenuti per la progettazione affidatagli delle soluzioni tecnologiche degli agganci e del sistema di chiusure dei rivestimenti.

A tal fine è stato fornito loro il modello della struttura, in modo che potessero progettare

la connessione tra il sistema strutturale e quello di rivestimento, oltre a quello geometrico e della trama realizzato dallo studio di Gehry.

L'azienda che doveva fabbricare il sistema dell'involucro, ha imposto ai progettisti una sola condizione, dettata dalle esigenze della produzione industriale: le lastre del rivestimento metallico non potevano essere a doppia curvatura, ma dovevano essere superfici rullate con un asse diritto e uno curvo.

Per la definizione delle differenti parti del rivestimento, sono stati necessari cinquanta modelli tridimensionali, elaborati con il software CATIA, il quale, ha tradotto le informazioni contenute nei disegni digitali in dati necessari alle macchine a controllo numerico per eseguire il taglio e l'assemblaggio di ogni profilo della sottostruttura e di ogni pannello.

Il rivestimento è composto da 6100 pannelli curvati, di cui solamente 2100 sono della stessa tipologia, differenziandosi, non solo, morfologicamente, ma anche nella stratigrafia.

L'involucro, infatti, è costituito da due tipologie di pannelli: una, agganciata alla sottostruttura lasciando un'intercapedine ventilata, che funge semplicemente da rivestimento, l'altra, dove all'interno dell'intercapedine è stata aggiunta della schiuma poliuretanica, ha una funzione anche isolante.

Il montaggio in cantiere è avvenuto con l'ausilio di un teodolite collegato ad un portatile, a partire dal modello digitale elaborato in CATIA.

La singolarità della produzione del sistema di rivestimento è che non è stato preparato nessun disegno, ma soltanto files in excel riassuntivi e un file dxf per ogni elemento, estrapolati direttamente dal software CATIA.

#### **Bibliografia**

Dal Co, F., Uno spettacolo "oscuro e commestibile": Disney Concert Hall, Los Angeles, *Casabella*, N. 717-718, 2003-2004, pp. 90-103.

Gehry, F., Walt Disney Concert Hall, *Casabella*, N. 673-674, 1999-2000, pp. 57-61.

Guardigli, D., Fuoriserie, in *L'Arca*, N. 186, 2003, pp.10-19.

Kolarevic, B. (a cura di), *Architecture in the*



*digital age: design and manufacturing*, New York, London: Taylor & Francis, 2003.

Lindesy, B., *Digital Gehry. Material Resistance / Digital Construction*, Basel, Boston, Berlin: Birkauer, 2001 (tr.it a cura di Saggio, A., *Gehry digitale. Resistenza materiale / Costruzione digitale*, Torino: Testo&Immagine, 2002.).

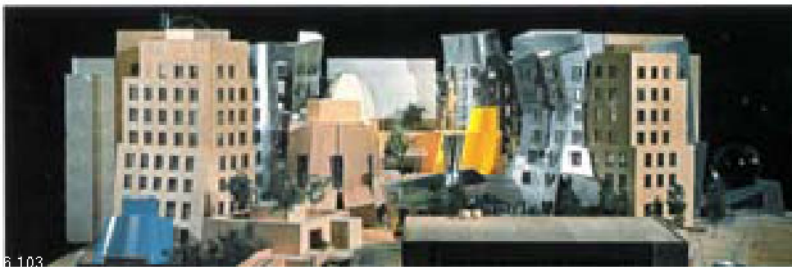
Paoletti, I., La quarta dimensione, in *Modulo*, N. 292, 2003, pp. 498-504.

6.101 L'assemblaggio in cantiere del rivestimento metallico

## Ray and Maria Stata Centre



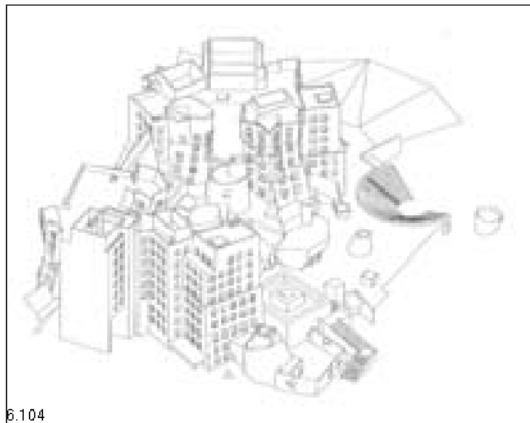
6.102



6.103

6.102 Ray and Maria Stata Centre

6.103 Plastico del complesso



6.104

6.104-6.105 I disegni del modello del Ray and Maria Stata Centre



6.105

*Localizzazione:* Cambridge, Massachusset, USA

*Superficie:* 66890 mq

*Progetto:* Gehry Partners

*Strutture:* John A. Martin and Associates

*Cliente:* MIT

*Cronologia:* 1998 inizio progetto, inizio costruzione 2001, completamento 2004

*Materiali:* acciaio, calcestruzzo, vetro

*Destinazione d'uso:* edificio per l'istruzione  
TDF: nesting + folding (elementi del rivestimento metallico)

### *Descrizione generale di progetto*

Il Ray and Maria Stata Centre, organizzato in due corpi scultorei principali di oltre nove piani di altezza, fa parte di un progetto ambizioso di espansione del Massachusetts Institute of Technology che prevede di accorpate in un unico complesso edilizio gli istituti, le aule, i laboratori e i servizi dei dipartimenti di Scienze informatiche, Intelligenza Artificiale, Linguistica e Filosofia, nell'espresso desiderio di creare una solida interazione fra le varie discipline che si interessano di linguaggio.

### *Progetto digitale*

Il modello informatico è stato impiegato in questo progetto non solo come strumento per l'elaborazione del progetto e per la produzione dei componenti e dei sistemi ma anche come parte integrante dei documenti contrattuali tra gli operatori che hanno collaborato alla sua costruzione.

Il modello è stato elaborato in CATIA, e organizzato in cinque parti distinte, non referenziate parametricamente e quindi modificabili ciascuna separatamente: la geometria, la struttura del rivestimento, la trama della sua superficie, la struttura di calcestruzzo, e la struttura di acciaio.

Il modello geometrico, che rappresenta la forma esterna dell'involucro dell'edificio, è stato il primo ad essere sviluppato, e tutti gli altri sono stati poi generati a partire da esso. Il modello della struttura del rivestimento di facciata rappresenta semplicemente le linee a filo di ferro (wireframe) dei montanti, ed è stato creato per facilitare il lavoro con i contractors.

Il modello della trama della superficie dell'involucro esterno è costituito invece da una griglia di linee e curve rappresentati la suddivisione dei pannelli metallici della





6.106

facciata.

I modelli delle strutture in calcestruzzo e in acciaio contengono rispettivamente il sistema dei solai, dei pilastri e dei setti murari l'uno, e i telai metallici l'altro. La struttura del modello generale, così organizzato, ha facilitato la produzione, la gestione e lo scambio delle informazioni tra i singoli operatori che hanno preso parte allo sviluppo e alla realizzazione del progetto. Il modello così organizzato ha permesso a Gehry e ai suoi collaboratori di governare direttamente la complessità del progetto. I distinti modelli, non sono stati esclusivamente elaborati dallo studio di progettazione californiano, ma gli operatori coinvolti hanno partecipato direttamente al loro sviluppo.

#### *Fabbricazione digitale*

Il modello informatico del rivestimento esterno dell'edificio è stato sviluppato interamente con CATIA, senza ricorrere a nessun altro software intermedio, dato che i subcontractors, Zahner e Architectural Skylight hanno impiegavano lo stesso programma e applicazioni ad esso compatibili.

I subcontractors, servendosi del modello geometrico della struttura di supporto del rivestimento e della trama della sua superficie, forniti dallo studio di progettazione americano, hanno sviluppato i dettagli delle parti di loro competenza, seguendo l'intero processo, fin dalle prime fasi del progetto.

Una volta definito il volume di massima dell'edificio, lo studio di Gehry ha realizzato dei modelli in cartone allo scopo di ottimizzare la geometria generale dell'involucro per verificare la fattibilità della costruzione.

Dopo la realizzazione del modello in



6.107

cartone, attraverso cui è stata semplificata la geometria (processo assolutamente necessario al fine di rendere costruibile il progetto), lo studio ha iniziato a modellare con il software la struttura di supporto del rivestimento esterno della facciata.. Inizialmente Gehry aveva concepito la costruzione della facciata realizzata direttamente in cantiere.

L'azienda fornitrice degli elementi e dei sistemi di rivestimento Zahner, una volta analizzato il progetto, ha scelto di proporre una struttura prefabbricata in stabilimento, diversamente da quanto era stato pensato dal progettista.

L'azienda ha quindi sviluppato un sistema di pannelli sandwich, da fissare direttamente sulle teste dei solai in calcestruzzo.

Lo studio di progettazione, una volta valutata la proposta, ha adottato la soluzione tecnologica elaborata dall'azienda produttrice.

Zahner, ha poi proceduto a sviluppare questa soluzione servendosi dei modelli informatici forniti dai progettisti e modificandoli.

La superficie del modello geometrico è stata quindi suddivisa, mentre il modello della trama del rivestimento esterno di facciata dell'edificio è stato aggiornato in base alla suddivisione operata in quello della superficie, da cui poi sono state estratte le superfici corrispondenti ad ogni singolo pannello prefabbricato.

Una volta definiti i diversi pannelli, l'azienda, non ha provveduto ad aggiornare i modelli tridimensionali, ma è passata alla loro fabbricazione, impiegando tecnologie CAD/CAM.

Una workstation di CATIA, è stata poi installata direttamente in cantiere, per permettere al personale di ottenere facilmente ulteriori informazioni dimensionali

necessarie durante le operazioni di montaggio.

L'approccio della compagnia Architectural Skylight, a cui è stato affidato la realizzazione dei curtain-wall ed il lucernario, è stato simile a quello seguito dalla Zahner. Per produrre gli elementi dei sistemi commissionate, Architectural Skylight ha infatti scelto di utilizzare le macchine a controllo numerico, impiegando le informazioni contenute nei modelli digitali per programmare, direttamente, i macchinari per la fabbricazione dei componenti. Il modello della trama del curtain-wall e del lucernario, fornito dallo studio di progettazione, conteneva solamente le linee guida per il posizionamento dei diversi elementi lungo la superficie esterna dell'involucro.

Il team di progettazione ed engineering della Architectural Skylight, hanno dovuto quindi direttamente disegnare e verificare staticamente gli elementi e i sistemi. I profili sono stati progettati e poi prodotti appositamente per questo progetto. Tagli, fori, e tutti gli altri elementi specifici di ogni componente dei due sistemi sono stati inseriti all'interno del modello tridimensionale, descrivendo compiutamente i pezzi in ognuna delle loro singole parti. Il modello tridimensionale, così dettagliato, è stato poi restituito allo studio di progettazione che ne ha verificato le rispondenze con il modello originale. Successivamente, la compagnia Architectural Skylight ha provveduto a fabbricare tutti gli elementi necessari alla realizzazione dei sistemi commissionati, impiegando direttamente il modello tridimensionale per generare le informazioni necessarie per la programmazione delle macchine CNC.

#### **Bibliografia**

- Kolarevic, B. (a cura di), *Architecture in the digital age: design and manufacturing*, New York, London: Taylor & Francis, 2003.
- Lindsey, B., *Gehry digitale. Resistenza materiale / Costruzione digitale*, Torino: Testo&Immagine, 2001.
- Schodek, D., Bechthold, M., Griggs, J., K., Kenneth, K., Steinberg, M., *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2005.



6.108



6.109



6.110

## Barcelona Fish

*Localizzazione:* Barcellona, Spagna

*Superficie:* 14.000 mq

*Progetto:* Gehry Partners

*Struttura:* SOM

*Cliente:* The Travelstead Group

*Cronologia:* inizio progetto 1989, inizio costruzione 1991, completamento - 1992

*Materiali:* acciaio

*Destinazione d'uso:* l'ingresso del Vila Olimpica Hotel

*TDF:* folding (rivestimento metallico)

### *Descrizione generale del progetto*

La scultura in acciaio a forma di pesce che segnala l'ingresso del Vila Olimpica Hotel di Barcellona è il primo progetto di Gehry che è stato sviluppato interamente con l'ausilio del computer, allo scopo di velocizzare e ottimizzare i costi per la realizzazione del progetto.

L'intero iter progettuale è stato completato attraverso l'elaborazione di sei disegni "a mano" e un modello informatico.

La scultura, di ragguardevoli dimensioni (55 X 35 m), è costituita da una struttura di tubi metallici esibita al di sotto di un'ampia superficie metallica a forma di pesce, realizzata attraverso l'intreccio di strisce di acciaio marezzato che producono un dorato bagliore sotto i raggi del sole catalano.

I tempi per lo sviluppo della progettazione preliminare e delle fasi successive erano piuttosto limitati, 10 mesi, con un budget a disposizione piuttosto contenuto.

### *Progetto digitale*

Il progetto, ideato a partire da schizzi dello stesso Gehry, ed elaborato poi attraverso la costruzione di modelli in cartone e legno a diverse scale, una volta ultimato, ha subito presentato il problema della sua costruzione. Tradurre le forme articolate del modello in un disegno bidimensionale, attraverso la strumentazione tradizionale di rilevamento avrebbe richiesto troppo tempo, e i dati così raccolti dai plastici non sarebbero sicuramente risultati sufficientemente precisi.

Per l'elaborazione del progetto esecutivo, Gehry, insieme a Jim Glymph, suo collaboratore, hanno quindi deciso di ricorrere, per la prima volta, all'impiego del computer.

Per modellare la forma del complesso dell'involucro è stato dapprima impiegato il



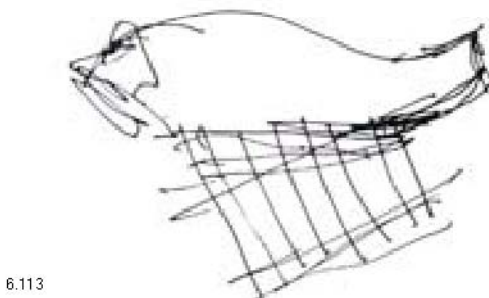
6.111

6.111 L'ingresso del Vila Olimpica Hotel



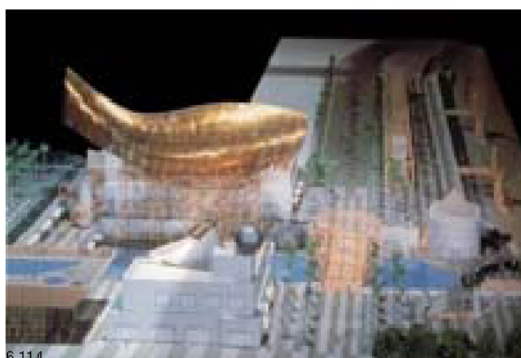
6.112

6.112-6.113 Schizzi iniziali

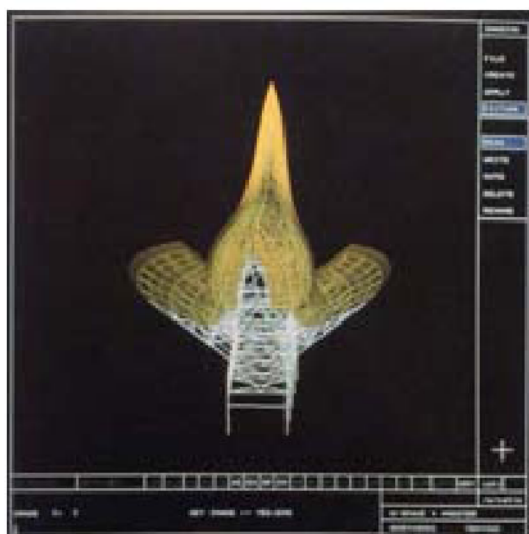


6.113

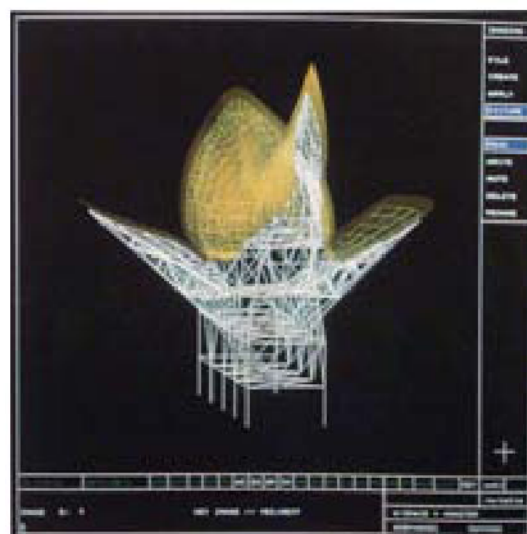
6.114 Il modello del progetto e del sito



6.114



6.115



6.116

software Alias, e coinvolto nel suo sviluppo uno dei pionieri dell'applicazione dei software CAD in architettura: William J., Mitchell.

Il modello poligonale digitale Alias, restituiva una rappresentazione approssimativa della superficie, pertanto non potevano essere utilizzati per fornire le informazioni necessarie per la sua realizzazione.

Il modello poligonale infatti, non era compatibile con la tecnologia CAM, ritenuta da Glymph fondamentale per la costruzione di forme complesse.

Gehry e Glymph hanno quindi ricercato sul mercato un software compatibile con le tecnologie CAM, CATIA.

Questo software permetteva di descrivere la geometria delle superfici del modello informatico direttamente attraverso equazioni matematiche.

Nel team impegnato nello sviluppo informatico del progetto, in questa fase, si è aggiunto anche Rick Smith, ingegnere aerospaziale appassionato di architettura. Il modello informatico elaborato con il software Alias da Mitchell è quindi messo da parte e si è proceduto a sviluppare un nuovo modello 3D del progetto dal principio, rilevando le forme articolate dell'involucro dai modelli reali realizzati in studio attraverso un dispositivo laser sviluppato dai neurochirurghi per la mappatura del cranio umano, collegato ad un digitalizzatore tridimensionale.

Per verificare la rispondenza del modello digitale con il progetto ideato da Gehry, esso è stato direttamente impiegato per la

produzione di un modello di carta tagliato con il laser.

Una volta elaborato l'involucro in CATIA, è stata sviluppata una serie di punti di connessione tra il rivestimento e la struttura di supporto.

È poi stato generato il file con i punti individuati, esportato in AES, e passato agli ingegneri strutturali di SOM che hanno poi sviluppato lo scheletro della struttura.

Il rivestimento è stato distanziato dalla struttura di circa un decimo di grado, e collegato all'intelaiatura mediante sottili assi d'acciaio di misure diverse.

#### *Fabbricazione digitale*

Una volta terminato lo sviluppo del modello informatico, è stato consegnato all'azienda produttrice del rivestimento, Permasteelisa, la quale ha provveduto ai disegni strutturali accuratamente dimensionati.

Il contratto stipulato con l'azienda italiana prevedeva la produzione di un modello in scala reale, prima della costruzione del "Pesce", per verificare le procedure di assemblaggio.

Per 6 volte, i tecnici di Permasteelisa, hanno tentato invano di produrre disegni bidimensionali del progetto, lavorando dalla struttura al rivestimento.

Glymph si è quindi recato in Italia, dove ha collaborato con i tecnici dell'azienda, suggerendo lavorare al contrario, ossia dal rivestimento alla struttura, riuscendo così a determinare le dimensioni di ciascuna striscia e a produrre i modelli di carta poi utilizzati per tagliare e piegare ciascun

pezzo.

Egli ha quindi spinto il personale ad applicarsi alla definizione della struttura partendo dalle geometrie del rivestimento, così facendo, è stato possibile, mediante un nuovo processo di lofting, determinare le esatte dimensioni di ciascuna striscia della superficie metallica di rivestimento, e sono stati così realizzati i modelli di carta che sono poi stati impiegati per tagliare ciascun pezzo.

Permasteelisa, ha quindi successivamente acquistato una workstation CATIA, e collaborando con lo studio californiano, ha poi prodotto il materiale, che ha permesso al progetto di essere realizzato, e in fase di assemblaggio, solo due connessioni, su migliaia, erano sbagliate di 3 mm.

Il modello è stato impiegato per controllare dimensionalmente la produzione dei pezzi in stabilimento e il loro assemblaggio in cantiere, oltre che per programmare le macchine CNC a taglio laser per procedere alle operazioni di taglio.

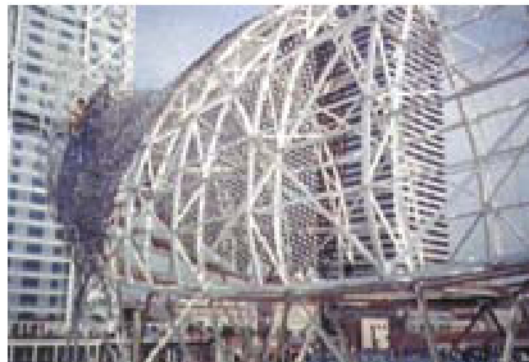
#### **Bibliografia**

Dal Co, F., Forster, K., W., Soutter Arnold, H. (a cura di), *Frank O. Gehry: tutte le opere*, Electa: Milano, 1998.

Kolarevic, B. (a cura di), *Architecture in the digital age: design and manufacturing*, New York, London: Taylor & Francis, 2003

Lindesy, B., *Digital Gehry. Material Resistance / Digital Construction*, Basel, Boston, Berlin: Birkauer, 2001 (tr.it a cura di Saggio, A., *Gehry digitale. Resistenza materiale / Costruzione digitale*, Torino: Testo&Immagine, 2002.)

Schodek, D., Bechthold, M., Griggs, J., K., Kenneth, K., Steinberg, M., *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2005.



6.117

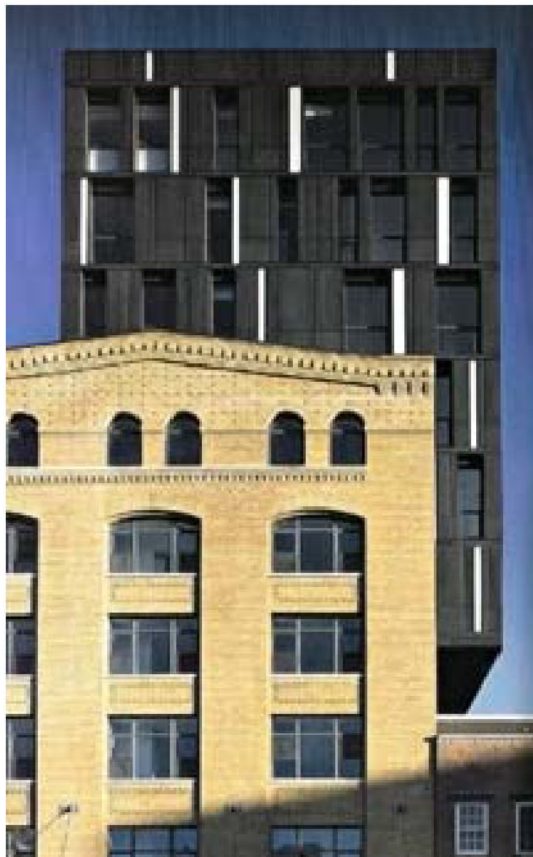
6.117 Dettaglio della struttura portante metallica durante la fase d'imontaggio del rivestimento



6.118

6.118 Dettaglio del rivestimento metallico

6.119 Porter House a New York



6.119

6.120 Porter House durante le diverse fasi della giornata



6.120

## Porter House

*Localizzazione:* New York, USA

*Superficie:* 5146 mq

*Progetto:* SHoP Architects

*Strutture:* Buro Happold

*Cliente:* Brown Hill Development

*Cronologia:* 2002 progetto, 2002-2004 realizzazione

*Materiali:* calcestruzzo (strutture), zinco (rivestimento)

*Destinazione funzionale:* residenza

*TDF:* folding (elementi di rivestimento in zinco)

### *Descrizione generale del progetto*

Il progetto è un'operazione di conversione in abitazioni di un ex-deposito di Manhattan. Al pari di interventi analoghi a questo, operati da altri architetti nelle medesime zone, la riconversione comporta l'estensione delle superfici degli edifici esistenti mediante la costruzione di un nuovo volume edilizio. Il progetto comprende 22 unità residenziali di lusso, alloggiate all'interno della nuova addizione alta 6 piani.

Uno dei punti di partenza del progetto è stata l'interpretazione degli strettissimi regolamenti edilizi di Manhattan che ha permesso, acquisendo anche il volume virtuale del lotto adiacente, di sviluppare in altezza l'estensione dell'edificio dei magazzini esistenti, parzialmente in aggetto rispetto al perimetro a terra.

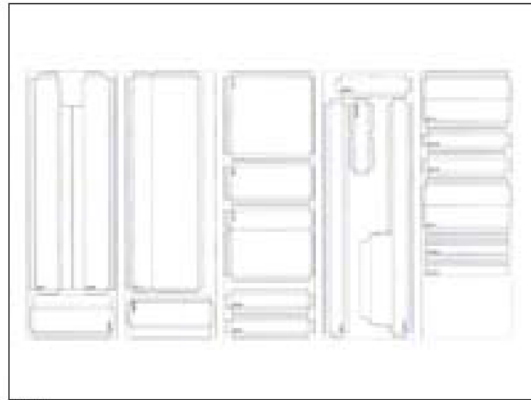
Per guadagnare l'aggetto, il baricentro strutturale del nuovo edificio è stato spostato verso i margini del lotto, arretrando la facciata rispetto a quella esistente e differenziando il nuovo volume per colore e forma dal proprio "basamento", delineandone un'estensione sobria e autonoma.

La struttura del volume aggiunto all'edificio persistente è stata realizzata in acciaio, ed è stata fissata alla struttura in mattoni del vecchio edificio.

L'interesse per l'interpretazione delle complesse normative volumetriche di Manhattan, aperto con questo progetto, è proseguito nella scrittura di un software in grado di dare una visualizzazione immediata e tridimensionale dell'involuppo consentito per ogni parcella edificabile nelle diverse zone della città, compiendo un'operazione sistematica, ma non dissimile in fondo a quella, poetica, tentata da Hugh Ferriss con i dipinti sull'involuppo dei grattacieli



6.121



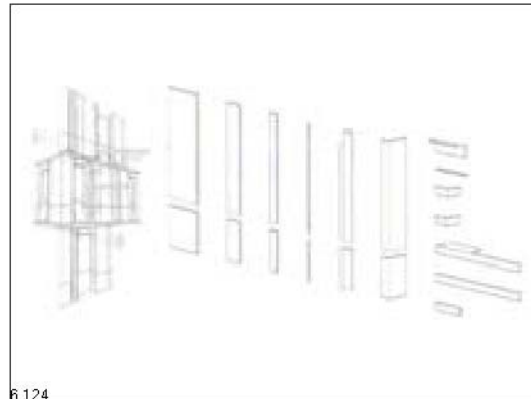
6.122

4.121 Dettaglio del sistema di rivestimento in zinco della facciata tra cui è sistemato il sistema di illuminazione

4.122 Disegni per il nesting dei pannelli di zinco del rivestimento esterno



6.123



6.124

4.123 Dettaglio del sistema di rivestimento esterno in zinco della facciata

4.124 Schema della distribuzione in facciata dei pannelli

conseguenti alla regola del set-back introdotta nei building codes di New York nel 1916.

La progettazione esecutiva dell'involucro in zinco, anziché essere affidata ad una grande azienda come Permasteelsa Group, è stata eseguita, in tutte le sue parti, direttamente da SHoP Architects insieme a ingegneri, aziende produttrici, e general contractor, permettendo al proprio committente un risparmio stimato di circa il 20%.

#### *Progetto digitale*

Lo stacco tra l'edificio originale in forme eclettiche e il nuovo corpo di fabbrica è enfatizzato dall'uso di materiali freddi e da aperture a tutta altezza.

Il disegno delle facciate è dato dall'assemblaggio di diversi moduli delle finestre, dai pannelli di zinco del rivestimento e da sistemi di illuminazione incassati a parete che si accendono durante le ore notturne.

La sperimentazione degli strumenti informatici, in questo edificio, è legato alla definizione del rivestimento in zinco della facciata, in particolare riguardo le fasi realizzative dell'opera.

Il materiale impiegato per il rivestimento di facciata è stato scelto per la sua elevata durabilità e le qualità prestazionali, come suggerito dai consulenti ingegneristici, e anche per il colore che contrasta i mattoni dell'edificio sottostante e l'aspetto industriale.

Lo studio, come oramai sua consuetudine, per garantirsi il controllo di un progetto che assume come aspetto formale caratterizzante, l'utilizzo di elementi personalizzati, allo scopo di rompere la monotonia delle facciate regolari delle residenze, si è fatto carico di parte del lavoro di ingegnerizzazione e di fabbricazione del progetto, in modo da evitare l'aumento del budget.

6.125 I pannelli in zinco a piè d'opera

6.126 I pannelli della facciata assemblati con in evidenza i codici numerici



6.125



6.126

A questo scopo è stato condotto un paziente lavoro di definizione dei moduli nei quali declinare il paramento esterno, ponendo la massima attenzione alla quantificazione degli scarti conseguenti alla lavorazione del materiale di rivestimento.

L'involucro del volume aggiunto, è stato rivestito da pannelli in zinco di tre diverse misure, quattro tipi di finestre a tutta altezza e due tipi di pannelli luminosi.

Per la realizzazione dei pannelli in zinco, lo studio ha collaborato, fino dalle prime fasi del progetto, direttamente con l'azienda produttrici.

Si è tenuto conto, quindi, della larghezza dei pannelli da tagliare con l'ausilio di macchinari a controllo numerico, secondo la procedura del nesting, comprendendo anche informazioni di dettaglio sulle tolleranze, come l'inclusione delle fasce laterali di ogni pannello da piegare, per le quali era importante quantificare il raggio di piegatura dello zinco.

Le informazioni necessarie per la produzione dei componenti del sistema di involucro sono state direttamente trasferite dai disegni digitali, elaborati per la definizione del progetto, alle macchine che hanno tagliato

automaticamente i pezzi.

#### *Fabbricazione digitale*

Il lavoro di ottimizzazione dei pezzi, è stato formalizzato, in un foglio elettronico, in cui sono state riportate le misure esatte degli elementi, poi trasmesso alla azienda produttrice, che, attraverso una procedura automatizzata consolidata per l'azienda, ha potuto ricavarne direttamente gli oggetti nel software Solid Works, pronti per la produzione.

In questo modo è stato possibile calcolare accuratamente le quantità di materiale da impiegare, limitando gli sfridi al 6% del materiale complessivamente utilizzato.

Il tipo di tecnologia produttiva dell'azienda non è cambiato in occasione del progetto: il taglio laser e la piegatura sono stati effettuati impiegando direttamente i files forniti da Shop.

Lo studio, infatti, per evitare la moltiplicazione del budget e per garantirsi il risultato formale dell'opera, è intervenuto nella preparazione dei file di taglio e piegatura, con procedimenti interamente manuali, documentandosi sulle procedure specifiche e le tolleranze di produzione.



3800 pezzi sono stati poi così fabbricati per comporre il paramento progettato dallo studio newyorkese.

L'assemblaggio dei componenti del sistema di rivestimento esterno di facciata è poi avvenuto in opera.

Per consentire agli operai di identificare i diversi elementi durante le procedure di montaggio, sui singoli pezzi sono stati automaticamente tracciati, con l'ausilio del laser, codici alfanumerici; inoltre lo studio di progettazione ha dovuto produrre numerose e dettagliate tavole di montaggio e abachi per informare la manodopera sul corretto posizionamento dei pannelli.

In questo senso il progetto ha potuto giovare di piccole economie di scala legate alla standardizzazione del lavoro di assemblaggio, reso il più efficiente possibile anche in corso d'opera, attraverso l'indicazione preventiva di punti critici dei quali effettuare prove in scala 1:1 (mock-up). Il montaggio, inoltre è partito dai settori centrali della facciata per poter produrre i pezzi angolari solo dopo aver calcolato le misure esatte, risultato delle tolleranze effettive del montaggio, sovrapponendo di nuovo in parte progetto e costruzione dell'opera.

#### **Bibliografia**

Converso, S., *Shop works. Collaborazioni costruttive in digitale*, Roma: EdilStampa, 2008.

Reboli, M., *Assemblato al computer*, *Casabella*, n.744, 2006, pp.16-19.

Porter House, *Lotus International*, n.133, 2008, pp.28-31.

Scanlon, J., Frank Gehry for the rest of us, *WIRED*, N. 12.11, 2004.

Giurdanella, V., *Acciaio in addizione*, *Costruzioni Metalliche*, N.,2, 2006, pp. 23-35.

#### **Sitografia**

[http://www.shoparc.com/#/projects/all/porter\\_house](http://www.shoparc.com/#/projects/all/porter_house)

[http://www.edilportale.com/progetti/jonathan-mallie/new-york/the-porter-house\\_1445.html](http://www.edilportale.com/progetti/jonathan-mallie/new-york/the-porter-house_1445.html)

[http://www.architecture-page.com/go/projects/porter-house\\_\\_all](http://www.architecture-page.com/go/projects/porter-house__all)

<http://architecturalgraphicstandards.wordpress.com/2008/05/16/the-cladding-of-porter-house-new-york-city/>

<http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb>



6.127



6.128

6.127-6.128 il cantiere della Porter House

## 290 Mulberry



6.129

6.129 L'edificio residenziale 290 Mulberry a New York

6.130-6.131 Dettaglio della superficie esterna dell'involucro dell'edificio



6.130



6.131

*Localizzazione:* New York, USA  
*Superficie:* 8169 mq  
*Progetto:* SHoP Architects  
*Strutture:* Robert Silman Associates  
*Consulenti:* Frank Seta & Associates (curtain wall)  
*Committente:* Cardinal Investements  
*Impresa:*  
*Azienda produttrice rivestimento di facciata:*  
*Materiali:* calcestruzzo (strutture), laterizio (rivestimento)  
*Destinazione funzionale:* residenza  
*TDC:* contouring (casceforme per i pannelli di tamponamento)

### *Descrizione generale del progetto*

290 Mulberry è un edificio residenziale di tredici piani fuori terra che comprende nove unità abitative di circa 190 mq l'una, e spazi commerciali al piano terra e al livello del piano interrato.

L'edificio è sito a Nolita (la parte settentrionale di Little Italy a Manhattan), dove il regolamento edilizio è particolarmente restrittivo e impone per le facciate esterne dell'edificio l'uso di un paramento laterizio.

Il codice inoltre include una regola secondo la quale per ogni 100 sqft di facciata si ha diritto ad un aggetto dal limite del lotto in una misura del 10%, corrispondente a quanto serve per realizzare i cornicioni delle facciate tipiche della zona del village.

I vincoli del contesto sono stati assunti come punto di partenza durante la prima fase di ricerca tecnologica e formale, rivolta verso la possibilità di trattare l'intera facciata con una ondulazione continua della superficie in mattoni.

E' stato quindi declinato un componente standard, il pannello prefabbricato di chiusura della facciata, secondo configurazioni non-standard.

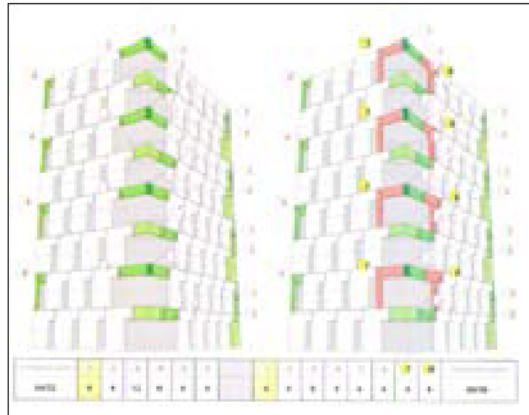
### *Progetto digitale*

Durante la fase preliminare del progetto, sviluppato con Autocad, Rhinoceros, e Rhinoceros scripting per la generazione dell'ondulazione degli elementi di chiusura della facciate esterna del modello 3D, sono stati verificati gli aspetti formali attraverso l'ausilio di plastici di studio.

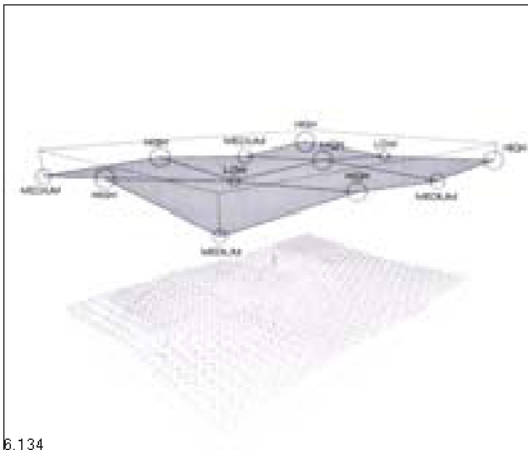
In queste fasi, infatti, dai modelli generati con Rhinoceros sono stati prodotti plastici della superficie del paramento esterno



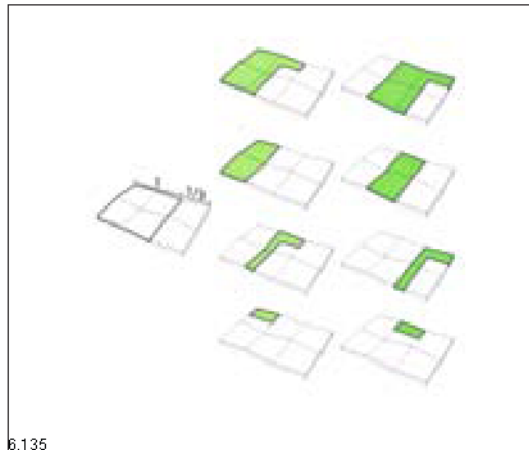
6.132



6.133



6.134



6.135

6.132 Parallelamente allo sviluppo del pannello si è proceduto a controllarne la distribuzione lungo la facciata, allo scopo di verificare le superfici degli appartamenti e lo spessore costruttivo al finito, evidenziandone i minimi e i massimi di aggetto

6.133 Verifica della quantità e della posizione dei "pezzi speciali" richiesti nelle diverse ipotesi

6.134 Il "macromodulo" definito per l'assemblaggio generale lungo la facciata

6.135 La soluzione adottata per la fabbricazione del pannello: un grande master da cui ricavare gli stampi per i diversi tipi di pannello

dell'edificio, utilizzando le tecnologie di stampa tridimensionale. Così facendo è stato possibile studiare, per mezzo di simulazioni a scala ridotta, il procedimento produttivo ipotizzato tenendo conto del passaggio intermedio della produzione dello stampo da cui ricavare i pannelli. Il passaggio alla scala edilizia ha comportato, successivamente, l'impiego di software 3D parametrici, che hanno permesso allo studio di progettazione newyorkese di modellare tridimensionalmente, con minuziosa precisione, tutte le istanze costruttive. I modelli 3D prodotti, non sono stati però impiegati dalle aziende produttrici: la Architectural Polymers ha infatti sempre lavorato in parallelo a propri modelli informatici degli stampi per i pannelli di facciata, a causa delle responsabilità legali, sul risultato finale della produzione di questi elementi, a cui erano vincolati. Per prima cosa è stata definita la geometria di dettaglio del pannello in mattoni con l'ausilio di un modello 3D parametrico,

impostato sui vincoli della tecnologia costruttiva, concordati con le aziende produttrici, riguardanti la sovrapposizione reciproca dei mattoni adiacenti pari a  $3/4$  di pollice. Il primo passaggio nella procedura digitale di progettazione è stato la definizione della geometria di dettaglio del pannello in mattoni, il cui modello parametrico è stato impostato sulle limitazioni concordate con le aziende. Da questa regola è stato poi derivato il grado di libertà della curvatura del pannello, espressa attraverso una spline che ne percorreva la mezzera verticale. Lungo questa spline una seconda legge regolava le coordinate delle posizioni dei singoli mattoni. I due aspetti sono legati tra loro poiché la variazione della tolleranza tra i laterizi e della loro dimensione, avrebbero influito di conseguenza sulla curvatura della superficie del pannello, e viceversa una variazione globale avrebbe avuto conseguenze sul grado di sovrapposizione dei mattoni scelti. Per questa esplorazione "minuta" della

6.136 La cassaforma del pannello della facciata



6.136

6.137 Uno dei pannelli della facciata



6.137

geometria costruttiva del pannello si è fatto ricorso al software di modellazione tridimensionale *GenerativeComponents*, mediante il quale si sono esplorate le diverse opzioni, compresa quella di porre i mattoni in verticale lungo la facciata. In parallelo a questo lavoro si è avviata anche la modellazione dell'intero sistema di pannellature e della loro ripartizione lungo la facciata con *Digital Project*, facendo affidamento sulla robustezza di *CATIA* come gestore delle relazioni tra le molte parti coinvolte.

Il modello in *Digital Project* della superficie in mattoni era impostato a partire dai parametri numerici definiti dagli studi svolti con *GenerativeComponents* e al contempo aggiungeva informazioni costruttive: spessore complessivo del pannello, sistema di aggancio alla struttura retrostante dell'edificio, quantificazione della posizione della relativa geometria dei pezzi speciali connessi alle diverse ipotesi di layout. La modellazione più o meno complessa delle parti "speciali" è stata affiancata da un modello generale anche di tutte le parti ordinarie, eseguita secondo i dettami del *Building Information Modeling (BIM)*. In questa modalità di lavoro, piante, prospetti, e sezioni, ma anche abachi e computi metrici sono estratti come elaborati derivati dal modello: le quantità grafiche e quelle numeriche sono due rappresentazioni diverse dello stesso database.

In questo progetto SHoP ha legato il modello elaborato in *Revit*, software dedicato alla modellazione BIM, al modello *CATIA* dei pannelli e della loro struttura mediante lo scripting di una custom feature: una funzione specifica che ha permesso di aggiornare i parametri comuni nei due modelli relativi alla posizione e alla geometria dei pannelli lungo

la facciata, a partire dalle coordinate di un foglio elettronico condiviso.

#### *Fabbricazione digitale*

I primi passi svolti per la ricerca legata al progetto sono stati quelli di orientarsi all'interno del panorama produttivo del settore dei pannelli prefabbricati per il tamponamento delle facciate, comunemente in uso.

La ricerca delle aziende è stata complessa, in quanto, piuttosto che un fornitore, lo studio ha ricercato un partner per la sperimentazione di soluzioni costruttive ad hoc per la realizzazione del progetto.

È stata quindi individuata l'azienda *Architectural Polymers*, società dedicata alla produzione di stampi in polimeri per l'edilizia, in gran parte usati per la simulazione di altri materiali su superfici malleabili come intonaci e cementi, a cui successivamente si è aggiunta la *Saramanc Inc.*, incaricata della produzione vera e propria dei pannelli. I colloqui avuti con le due aziende e l'analisi del processo produttivo hanno fatto emergere che la realizzazione di uno stampo "custom" per i pannelli fosse l'ipotesi più economica da seguire: intervenire sulla fase iniziale di realizzazione dello stampo permette infatti di lasciare inalterati i successivi passaggi della produzione, limitando l'impatto dell'operazione e i relativi costi.

La soluzione adottata è stata quella di produrre un unico "macro-stampo", del quale i singoli pannelli fossero sotto-moduli, da ricavare isolandone porzioni.

Ogni singolo pannello è stato quindi modellato sulle porzioni del "macro-stampo", realizzato in gomma e sagomato con l'ausilio di una fresa a controllo numerico dove al suo interno sono stati posati i mattoni ed è stato successivamente gettato il calcestruzzo.

### Bibliografia

Converso, S., *Shop works. Collaborazioni costruttive in digitale*, Roma: EdilStampa, 2008.

Lawamoto, L., *Digital Fabrication. Architectural and Material Techniques*, New York: Princeton Architectural Press, 2009.

Sharples, C., *Unified Frontiers: Reaching Out with BIM*, in *Architectural Design*, Vol. 79, N. 2, 2009, pp. 42-47.

### Sitografia

[www.290mulberry.com](http://www.290mulberry.com)

[www.shoparchitects.com](http://www.shoparchitects.com)

[www.archdaily.com/9028/in-progress-290-](http://www.archdaily.com/9028/in-progress-290-mulberry-shop-architects/)

[mulberry-shop-architects/](http://www.archdaily.com/9028/in-progress-290-mulberry-shop-architects/)

<http://5osa.tistory.com/582>

<http://www.good.is/post/building-a-better-brick/>



6.138

6.138 Il trasporto in cantiere dei pannelli realizzati in stabilimento



6.139

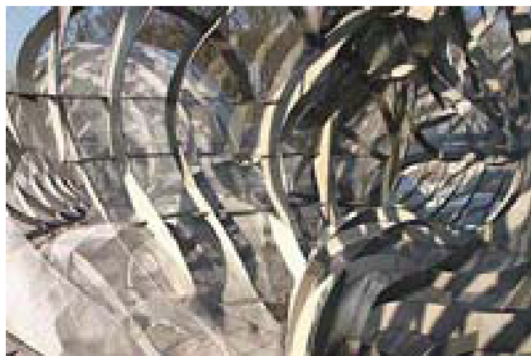
6.139 L'assemblaggio dei pannelli di facciata

## Son-O-House



6.140

6.140-6.141 Son-O-House



6.141

6.142 Plastico di studio



6.142

*Localizzazione:* Son-en-Breugle, Olanda

*Superficie:* 280 mq

*Progetto:* NOX

*Struttura:* Bollinger + Grohmann

*Cliente:* Ekkersrijt Industries Group

*Cronologia:* 2000-2004

*Materiali:* acciaio (struttura), rete metallica (rivestimento)

*Destinazione funzionale:* padiglione interattiva

*TDF:* nesting (elementi strutturali)

### *Descrizione generale del progetto*

Questo padiglione pubblico, realizzato in un ampio parco industriale, è stato realizzato al fine di accogliere i propri visitatori offrendo loro la possibilità di sedersi, di incontrarsi, e di partecipare, attraverso i propri movimenti all'interno della struttura ricettiva, alla composizione musicale interattiva ideata dal compositore Edwin van der Heide.

All'interno del padiglione sono stati infatti installati dei sensori in grado di captare i movimenti delle persone, i quali generano diverse sonorità che si combinano tra di loro, seguendo i flussi arbitrari di percorrenza dei visitatori.

La ricerca formale dell'edificio è stata condotta attraverso modelli di studio realizzati attraverso strisce di carta bagnate posizionate su forma curve.

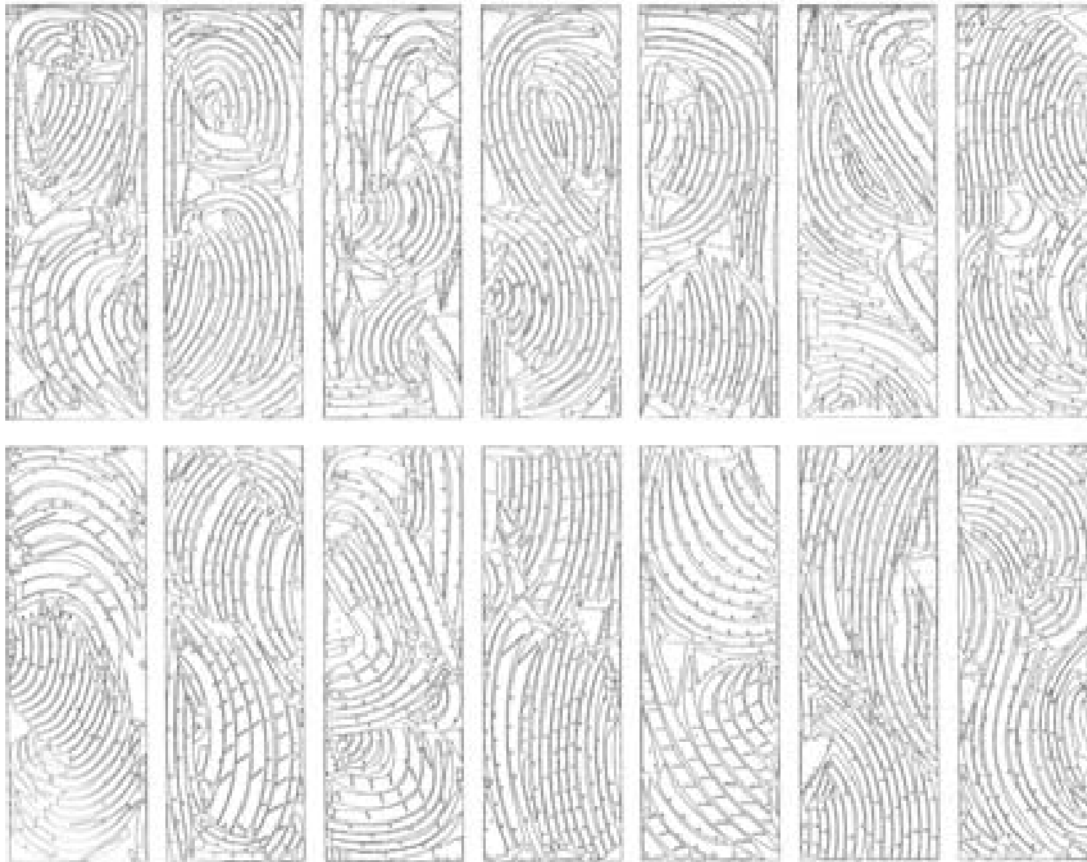
Queste forme sono poi state tagliate e piegate per generare nuove forme e definire nuovi spazi interstiziali.

Una volta stabilita la forma del padiglione, mediante una ricerca condotta attraverso la produzione di modelli in carta, si è passati alla modellazione digitale del progetto per verificarne la costruibilità.

### *Progetto digitale*

Le forme dei plastici sono state digitalizzate nel modello informatico, e, dopo aver consultato lo studio di ingegneria con cui NOX collaborava per lo sviluppo del progetto, è stato stabilito di realizzare una struttura metallica costituita da una serie di costoloni intersecati tra di loro a cui fissare il rivestimento esterno.

Si è quindi proceduto alla definizione dei profili e del posizionamento degli elementi strutturali sezionando il modello tridimensionale, il quale è stato successivamente inviato agli ingegneri per le verifiche delle forze a cui la struttura era



6.142 I disegni per il nesting degli elementi strutturali

6.143

sottoposta.

A causa della visibilità della struttura attraverso il rivestimento esterno di rete metallica, gli ingegneri hanno potuto intervenire modificando lo spessore, la distanza, la resistenza ma non la forma dei costoloni.

La progettazione del rivestimento è stata condotta, invece minimizzando l'impiego della strumentazione informatica.

Attraverso il modello, è stato semplice verificare che le forme dell'edificio seguivano linee con curvature doppie, ma, anziché procedere allo studio delle soluzioni per il rivestimento metallico attraverso il computer, lo studio di progettazione ha preferito impiegare nuovamente i modelli in carta.

La soluzione è stata quindi condotta cercando di applicare elementi identici e piani per rivestire, l'intera struttura doppiamente curvata.

Lo studio ha poi proposto un sistema di elementi triangolari in rete metallica, disposti similmente all'intreccio dei cestini, senza però sovrapporre tra loro gli elementi, in modo tale che una larga porzione del

padiglione potesse essere rivestita da elementi identici, con relativamente poche parti non ricoperte, dove invece alloggiare elementi appositamente ritagliati.

Nonostante la soluzione del rivestimento potesse essere ricercata con l'ausilio del computer, i progettisti hanno preferito adottare un sistema che permettesse loro di velocizzare, a scapito comunque della precisione, le fasi di progettazione.

Questo atteggiamento, ha però occluso la possibilità di realizzare con macchine CNC gli elementi di rivestimento, richiedendo un lavoro artigianale, da parte della manodopera in cantiere.

Fabbricazione digitale

Nonostante che per la realizzazione degli elementi di rivestimento non sia stato possibile ricorrere a tecniche produttive industriali avanzate, la struttura metallica è invece stata fabbricata in stabilimento con l'ausilio di macchine a controllo numerico, in ragione della diversità della forma di ogni singolo elemento.

Per conseguire il massimo risparmio di

quantità di materiale di scarto, durante il processo di produzione degli elementi strutturali mediante nesting, i singoli elementi sono solitamente raggruppati in layout che consentono l'ottimizzazione di materiale impiegato, direttamente dai software delle macchine di taglio CNC. Lo studio di progettazione ha invece verificato, che, attraverso una procedura semi-manuale, era possibile diminuire la quantità di materiale impiegato. Mentre i software delle macchine da taglio CNC organizzano i layout dei singoli elementi interi, i progettisti hanno pensato di partizionare i diversi elementi, e giuntarli poi in un secondo momento.

#### Bibliografia

Chaszar, A., *Blurring the lines: Computer-Aided Design and Manufacturing in Contemporary Building*. (Architecture in Practice), Chichester: Wiley Academy, 2006.  
Spuybroek, L., *NOX. Machining Architecture*, Londra: Thames and Hudson, 2004  
Spuybroek, L., *Azione e percezione*, in *L'Arca*, N. 196, 2004, pp. 60-69.

#### Sitografia

[www.arcspace.com/architects/nox/Son-O-House/](http://www.arcspace.com/architects/nox/Son-O-House/)  
[www.nox-art-architecture.com/](http://www.nox-art-architecture.com/)  
[www.bollinger-grohmann.de/](http://www.bollinger-grohmann.de/)





## Manilow Residence

*Localizzazione:* Spring Predire, Wisconsin, USA

*Superficie:* 1830 mq

*Progetto:* Garofalo Architects

*Struttura:* Matrix Engineering

*Cliente:* Lew & Susan Manilow

*Cronologia:* realizzazione 2004

*Materiali:* legno (strutture), titanio (rivestimento)

*Destinazione funzionale:* residenza

*TDF:* nesting (elementi strutturali)

### *Descrizione generale del progetto*

Il progetto di ampliamento della fattoria esistente mira a realizzare uno spazio confortevole, dove i proprietari, insieme alla loro numerosa famiglia, possano trovare sollievo dallo stress provocato dalla città, immergendosi nel paesaggio naturale del territorio circostante.

Le richieste del committente, un collezionista d'arte, prevedevano di mantenere il fronte della fattoria inalterato, e di trasformare il retro attraverso l'aggiunta di volumi scultorei all'edificio.

Il progettista ha risposto alle richieste del committente attraverso una strategica analisi del paesaggio che ha evidenziato la sua complessità: foresta, prateria, prato, e un pittoresco giardino, si combinano intorno della proprietà di settantacinque acri del committente.

La complessità del paesaggio è stata assunta come elemento generativo dell'intero progetto: le stanze da letto, i bagni, una solarium, una torretta e una piccola stalla per gli animali inseguono così le diversità che caratterizzano il paesaggio circostante.

### *Progetto digitale*

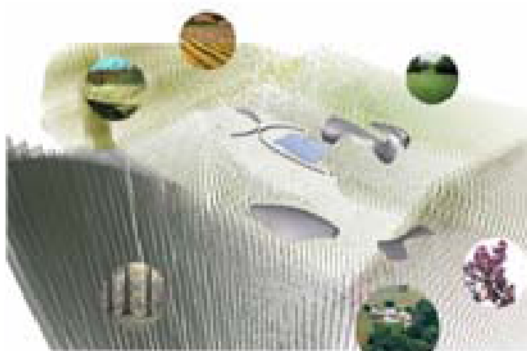
La progettazione dell'intervento è iniziata con degli schizzi estemporanei usando un software CAD (Microstation) che sono poi stati impiegati per l'elaborazione del modello tridimensionale impiegando un programma per l'animazione (Maya) attraverso cui è stata generata la forma dell'involucro esterno.

Lo sviluppo progettuale avvenuto attraverso la modellazione digitale è stato accompagnato dalla realizzazione di modelli fisici per verificare la spazialità e le colorazioni delle superfici del progetto. Il processo ideativo è stato sviluppato



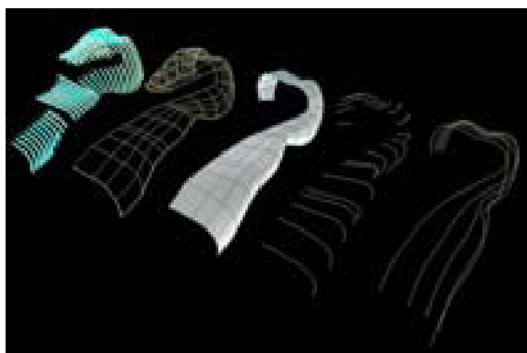
6.147

4.147 La residenza della famiglia Manilow



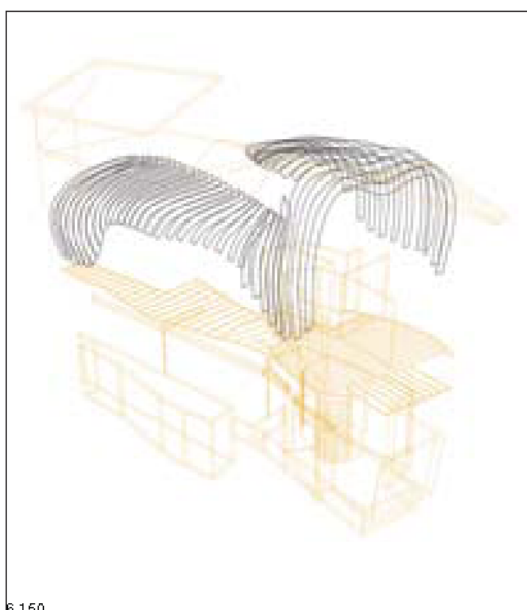
6.148

4.148 I diversi elementi costituenti il paesaggio circostante alla residenza: foresta, prateria, prato e il giardino



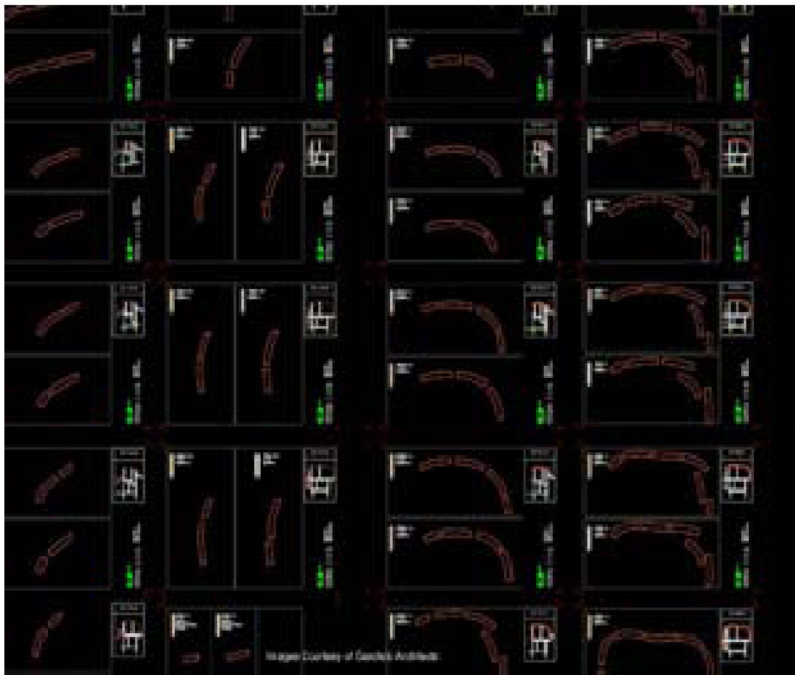
6.149

4.149 I modelli geometrici della superficie e degli elementi strutturali dell'involucro esterno della residenza



6.150

4.150 Il modello digitale della struttura dell'involucro esterno



6.151

6.151 I disegni per il nesting di ogni singolo componente della struttura

6.152 Il taglio dei componenti della struttura dell'involucro esterno mediante una fresa a tre assi

6.153 L'incollaggio dei 3 pezzi in cui è stato suddiviso ogni componente della struttura

in gran parte con l'ausilio del modello digitale, e le verifiche opportune sono state eseguite sezionando il modello, ed estraendo i disegni da Maya e importandoli successivamente in Microstation.

Una volta che la geometria finale dei volumi della parte retrostante dell'edificio, tradotti in un articolato sistema che unisce in un unico elemento il tetto e le pareti perimetrali verticali, è stata stabilita, mediante l'utilizzo del software di modellazione tridimensionale, si è proceduto a definire gli elementi strutturali.

È stato quindi eseguito l'offset interno della superficie esterna dell'involucro, assegnando così i limiti dimensionali del sistema, dopodiché, il modello digitale è stato sezionato longitudinalmente ogni 61 cm, rispettando quanto indicato dagli strutturisti, in modo da ricavare direttamente le sagome, e la posizione, degli elementi strutturali: costoloni in legno realizzati mediante l'assemblaggio di tre pannelli di compensato marino, di spessore 1,6 cm, e di altezza variabile tra i 35,6 cm (gli strati esterni) e i 40,6 cm (lo strato interno), per esibire gli elementi strutturali anche una volta intonacate le superfici interne. Dopo avere stabilito il profilo di ogni elemento strutturale, essi sono stati frazionati nei punti dove il momento era nullo per non trasferire le sollecitazioni flessionali alle giunzioni, e in accordo alle dimensioni

dei pannelli di compensato in commercio.

#### *Fabbricazione digitale*

Stabilita la geometria e il sistema costruttivo dell'addizione della fattoria, lo studio di progettazione ha concluso che la buona riuscita della costruzione sarebbe derivata direttamente dalla perfetta esecuzione degli elementi strutturali, pertanto, si è assunto la responsabilità di controllare il processo produttivo nella sua interezza, dal disegno e dal passaggio al fabbricatore dei files di ogni singolo elemento strutturale, necessari per la produzione automatizzata, al loro montaggio in cantiere.

Garofalo Architects hanno quindi provveduto a consegnare al produttore un booklet contenente tutti gli elementi che componevano la struttura, numerati e indicizzati.

Dato che il fabbricatore aveva solo una piccola esperienza riguardo la realizzazione di elementi strutturali, lo studio di progettazione, insieme agli ingegneri strutturali, si sono impegnati nella risoluzione dei problemi relativi alla produzione del sistema di giunzione e alla scelta delle colle



6.152



6.153

per l'incollaggio del compensato.

Ricevuti i files degli elementi da produrre dai progettisti, il fabbricatore ha trasferito i dati all'interno di un software per il nesting, il quale ha automaticamente ottimizzato l'impiego di compensato raggruppando i profili in diversi pannelli, nella combinazione più conveniente.

Dopo di ch , i dati ottenuti, sono stati inseriti all'interno di un altro software che ha generato le informazioni necessarie (G-Code) per istruire una fresa CNC a tre assi per eseguire tutte le operazioni necessarie per la produzione.

Il pre-assemblaggio in officina degli elementi strutturali non   stato possibile date le loro dimensioni, incompatibili con le regolamentazioni relative alla circolazione stradale, vigenti nello stato del Wisconsin. I diversi pezzi sono stati quindi, trasportati in cantiere e poi montati insieme.

Il tamponamento estemo   stato realizzato sovrapponendo, sfalsati, tre file di pannelli curvati in compensato, incollati tra di loro e avvitati alla struttura.

Sopra di essi   stato montato la membrana impermeabilizzante a cui   stato sovrapposto il rivestimento delle scandole a forma di diamante in titanio, realizzato con tecniche tradizionali per volont  del fornitore, nonostante la disponibilit  del progettista di provvedere alla progettazione digitale dell'assemblaggio degli elementi al fine di ottimizzare il materiale impiegato e i tempi di montaggio, determinanti inoltre per la previsione dei costi.

#### **Bibliografia**

Chaszar, A., *Blurring the lines: Computer-Aided Design and Manufacturing in Contemporary Building*. (Architecture in Practice), Chichester: Wiley Academy, 2006.

#### **Sitografia**

[www.garofaloarchitects.com/](http://www.garofaloarchitects.com/)  
[www.artic.edu/aic/depts/architecture/dddreport/1F.pdf](http://www.artic.edu/aic/depts/architecture/dddreport/1F.pdf)



6.154



6.155



6.156

6.154-6.156 Il cantiere della residenza Manilow



## Questionario di indagine

## 1. Mercato

1.1) Quali obiettivi si è posta di raggiungere la Vostra azienda con l'applicazione dei paradigmi della mass customization?

- Conquista di nuovi mercati
- Mantenimento delle quote di mercato
- Adeguamento ai mutamenti della domanda
- Altro \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

1.2) Quali strategie ha adottato la Vostra azienda per il raggiungimento degli obiettivi che si è posta?

- Fornitura di servizi di supporto personalizzati al cliente
- Riduzione dei tempi di produzione
- Riduzione del prezzo finale dei prodotti
- Flessibilità produttiva atta a garantire la massima personalizzazione del prodotto per soddisfare le richieste specifiche di ogni singolo cliente
- Massima specializzazione dei prodotti rivolti ad una ristretta nicchia del mercato
- Aggiornamento tecnologico frequente dei processi produttivi al fine di rispondere alle mutevoli richieste del mercato
- Altro \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

1.3) In quale modo le vostre strategie di marketing sono state perseguite?

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

1.4) Attraverso quali canali di informazione la Vostra azienda mettete a conoscenza gli altri operatori del settore (privati, real estate, architetti, ingegneri, etc.) della vostra capacità produttiva ed i servizi ad essa connessi?

- I propri rappresentanti
- Riviste di settore

- Rivista di propria pubblicazione
- Sito web
- Altro \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

1.5) Per la promozione dei Vostri servizi e delle Vostre capacità produttive avete mai "sponsorizzato", ovvero partecipato alla realizzazione di edifici, con investimento a fronte di ingenti sconti?

- Sì
- No

1.6) A quale tipo di committenza si rivolge la Vostra attenzione nell'offerta della produzione customized di componenti e/o sistemi per la realizzazione degli edifici?

- Società private
- Pubbliche amministrazioni
- Progettisti
- Singoli privati
- Tutti
- Altro \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

1.7) Quale tipologia di operatore del settore delle costruzioni richiede usualmente la partecipazione della Vostra azienda nello sviluppo e nella realizzazione di componenti e/o sistemi customized?

- Studi di ingegneria
- Studi di progettazione
- Società private
- Pubbliche amministrazioni
- Altro \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

1.8) La produzione customized di componenti e/o sistemi viene solitamente richiesta direttamente dalla committenza, oppure viene suggerita dalla Vostra azienda dopo avere preso visione delle caratteristiche del progetto per cui siete stati chiamati a realiz-

zare componenti e sistemi?

---

---

---

---

1.9) La produzione customized di componenti e/o sistemi non presenti nelle gamme di prodotti (fuori catalogo) prevede, solitamente, la modificazione del processo produttivo dell'azienda. In tal caso in che modo la Vostra azienda ammortizza l'aumento dei costi che ne derivano?

---

---

---

---

1.10) I prodotti sviluppati per soddisfare la richiesta specifica di un cliente vengono tendenzialmente diffusi nel mercato?

- Sì
- No

*[In caso di risposta affermativa]*

1.10.1) Quale tipologia produttiva viene utilizzata per la produzione dei prodotti, sviluppati e realizzati su specifica richiesta di un cliente, al fine di venire diffusi nel mercato?

- In serie senza l'apporto di alcuna modifica rispetto al modello originale
- In serie con l'apporto di opportune modifiche al modello originale al fine di rispondere alle esigenze specifiche delle nicchie di mercato in cui verranno introdotti
- Su richiesta, conservando "in memoria" i processi produttivi adottati per la realizzazione del componente o del sistema, riservando la possibilità di modificarli in base alle esigenze del cliente specifico
- Altro \_\_\_\_\_

---

---

---

---

*[In caso di risposta negativa]*

1.10.2) Quali sono le ragioni?

I progettisti dei componenti e dei sistemi, normalmente brevettano i prodotti da loro ideati; pertanto la produzione comporterebbe il pagamento delle royalties che inciderebbero, in modo non trascurabile, sul costo finale.

Assenza di richiesta di mercato di questo tipo di prodotti, la cui personalizzazione, ha caratterizzato in modo eccessivamente riconoscibile gli aspetti espressivi, rendendo impossibile l'impiego in contesti differenti da quello originale.

Costi di produzione generalmente troppo elevati da cui derivano prezzi di vendita considerevoli che scoraggiano gli operatori ad impiegarli

Il ricorso a questa tipologia di prodotti richiede, generalmente, al progettista, un bagaglio ampio di know-how specifici che lo scoraggiano all'impiego nei propri progetti

Altro \_\_\_\_\_

---

---

---

---

## 2. Produzione

2.1) Quali paradigmi sono applicati nella Vostra azienda?

- Serie
- Customized
- Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

*[In caso di risposta multipla]*

2.1.1) In quale rapporto tra loro?

- \_\_\_\_\_ % Produzione di serie
- \_\_\_\_\_ % Produzione customized
- \_\_\_\_\_ % Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

2.1.2) Quali sono le ragioni della Vostra azienda a ricorrere ad un sistema di produzione misto?

- Incontrare le differenti richieste del mercato
- Obsolescenza tecnologica di alcuni settori produttivi dell'azienda
- Incapacità di riorganizzazione del processo produttivo
- Limitare il prezzo finale dei prodotti
- Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

2.2) Per quali tipologie edilizie vengono impiegati, con maggiore frequenza, i processi di produzione customized di componenti e i sistemi?

- Edifici per l'istruzione
- Edifici residenziali
- Edifici industriali
- Edifici commerciali
- Edifici per uffici
- Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

2.3) Per la realizzazione di quali sistemi dell'edificio vengono richiesti, con maggiore

frequenza, l'impiego dei processi produttivi customized?

- Struttura
- Rivestimento esterno di facciata
- Rivestimenti interni
- Sistemi di chiusura verticale
- Sistemi di chiusura orizzontale
- Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

2.4) Quali aspetti orientano le richieste del committente nella scelta di impiegare i processi di produzione customized per la realizzazione dei componenti e dei sistemi?

- Formali - espressive
- Prestazionali
- Tipologia dell'intervento
- Normativi
- Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

2.5) Come viene realizzata la customizzazione nella Vostra azienda?

- La produzione standardizzata è accompagnata da servizi di supporto personalizzati al cliente
- La produzione standardizzata, realizzata in azienda, provvede alla fornitura dei componenti richiesti, la cui personalizzazione viene affidata a terzi
- Produzione di ampie gamme di prodotti da combinare insieme alla realizzazione di configurazioni sempre nuove
- Produzione su richiesta di componenti e sistemi non appartenenti alle linee prodotte dall'azienda
- Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

2.6) Come avviene il processo di produzione customized? (fasi di riorganizzazione della produzione, tempistiche, macchinari impiegati e loro programmazione)



---

---

---

---

---

2.7) Esistono dei limiti di customizzazione di componenti e sistemi nella Vostra azienda?

- Sì
- No

*[In caso di risposta affermativa]*

2.7.1) Quali sono?

- Dimensioni degli elementi da produrre
- Numero dei pezzi da produrre
- Tempi di riorganizzazione della produzione
- Tipologie di lavorazione delle superfici
- Materiali da impiegare
- Altro \_\_\_\_\_

---

---

---

---

2.7.2) Da quali fattori sono determinati?

- Limiti dei macchinari di produzione
- Aumento considerevole dei costi produzione
- Mancanza di know-how
- Altro \_\_\_\_\_

---

---

---

---

2.8) Al fine della produzione customized di componenti e sistemi per l'edilizia la Vostra azienda collabora, o ha mai collaborato, con altre aziende per la realizzazione dei prodotti?

- Sì
- No

*[In caso di risposta affermativa]*

2.8.1) E' possibile specificare con quali aziende collaborate, o avete collaborato?

---

---

---

---

2.8.2) Quali sono i motivi della collaborazione con altre aziende produttrici?

- Condivisione di know-how e ciò che è necessario alla produzione dei componenti o sistemi che da sola, l'azienda non potrebbe produrre
- Fornitura di componenti o sistemi che l'azienda non ha la capacità di produrre
- Acquisire nuove quote di mercato
- Condivisione dei rischi legati alla produzione
- Altro \_\_\_\_\_

---

---

---

---

### 3. Ricerca e sviluppo

3.1) Chi svolge, all'interno della Vostra Azienda, l'attività di ricerca e sviluppo relativa ai prodotti e/o ai processi di produzione customized?

- Ricercatori
- Operatori impiegata nel settore della produzione
- Dirigenti
- Nessuno
- Altro \_\_\_\_\_

---

---

---

---

[in caso di risposta differente dalla prima o multipla]

3.1.1) Quali sono i motivi per coinvolgere nell'attività di ricerca e sviluppo il personale impiegato in diversi settori della produzione?

---

---

---

---

3.2) Sono coinvolti nelle attività di ricerca e sviluppo del settore della produzione customized anche operatori esterni all'azienda?

- Sì
- No

[in caso di risposta affermativa]

3.2.1) A quale delle seguenti tipologie di operatori appartengono?

- Università
- Ricercatori esterni
- Progettisti
- Aziende produttrici
- Altro \_\_\_\_\_

---

---

---

---

3.2.2) Quali sono le ragioni della collaborazione?

- Aumentare la rete di ricercatori impegnati

in diverse discipline e ambienti lavorativi al fine di ottenere maggiori risultati da impiegare come risorsa preziosa all'interno dell'azienda

- Affidare le ricerche specifiche ad esperti del determinato settore
- Acquisire competenze che l'azienda non possiede
- Sviluppare prodotti da commercializzare in seguito
- Realizzare joint-venture

Altro \_\_\_\_\_

---

---

---

---

3.3) A quale tipo di innovazione, la Vostra azienda, rivolge le proprie ricerche?

- Innovazione di prodotto
- Innovazione di processo
- Altro \_\_\_\_\_

---

---

---

---

[Innovazione di prodotto]

3.3.1) A quale sistema funzionale dell'edificio viene concentrata l'attenzione della ricerca per lo sviluppo di componenti o sistemi customized?

- Struttura
- Rivestimento esterna di facciata
- Infissi
- Rivestimento interno
- Altro \_\_\_\_\_

---

---

---

---

3.3.2) Quali sono i motivi di tale interesse?

- Risposta alle richieste del mercato
- Conquista di nuove quote di mercato
- Sviluppo dell'ampia gamma di prodotti già in produzione
- Altro \_\_\_\_\_

---

---

---

---

3.3.3) Quali aspetti del prodotto interessano alla ricerca nella Vostra azienda?

- Espressività
  - Prestazioni
  - Sostenibilità
  - Novità
  - Flessibilità di impiego
  - Altro \_\_\_\_\_
- 
- 
- 
- 

*[Innovazione di processo]*

3.3.4) Quale aspetto del processo di produzione di componenti e/o sistemi customized si ricerca di migliorare allo scopo di aumentare l'efficienza della Vostra azienda?

- Riduzione dei costi di produzione
  - Riduzione dei costi di gestione
  - Contenimento dei tempi riorganizzazione della produzione
  - Contenimento dei tempi di produzione
  - Riduzione dell'impatto della produzione sull'ambiente
  - Flessibilità della produzione
  - Altro \_\_\_\_\_
- 
- 
- 
- 

3.4) Quali sono i motivi della scelta operata dalla Vostra azienda riguardo gli orientamenti della ricerca?

---

---

---

---

---

#### 4. Servizi di supporto

4.1) La Vostra azienda offre un servizio di supporto tecnico ai diversi operatori durante il processo di sviluppo e di produzione customized dei componenti o sistemi?

- Sì
- No

4.2) Quali servizi di supporto sono disponibili a chi si rivolge alla produzione customized?

- Progettazione
- Sviluppo tecnologico
- Verifica prestazionale
- Verifica e controllo della rispondenza alle richieste della normativa
- Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

4.3) Quali operatori, usualmente, sono i vostri interlocutori durante il processo di sviluppo e di produzione customized dei componenti o sistemi richiesti?

- Progettisti
- Committenti
- Imprese costruttrici
- Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

4.4) Come vengono ripartiti i compiti, solitamente, tra i progettisti che richiedono di collaborare con la Vostra azienda, al fine di realizzare prodotti customized per uno specifico intervento?

- Al progettista è lasciata solo l'ideazione progettuale del prodotto mentre la parte di sviluppo tecnologico del componente o del sistema è affidato all'azienda
- Al progettista vengono forniti dall'azienda i know-how necessari allo sviluppo, anche tecnologico, del prodotto, offrendosi, quindi, solo come consulente esterno al progettista
- Lo sviluppo del prodotto viene effettuato mediante lo scambio continuo di informazioni e disegni tra il progettista e la Vostra azienda, i quali operano sinergicamente alla progettazione e alla

verifica delle caratteristiche del prodotto

- Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

4.5) Attraverso quali modalità avviene lo scambio di informazioni e know-how necessari allo svolgimento della collaborazione tra la Vostra azienda e i progettisti?

- L'aggiornamento avviene solamente mediante incontri tra gli operatori della Vostra azienda e il progettista o i suoi delegati
- L'aggiornamento avviene mediante lo scambio telematico dei dati, i quali vengono analizzati, al fine di riportare le modifiche ai modelli su cui si lavora allo sviluppo del sistema o del componente da realizzare
- L'aggiornamento avviene mediante l'impiego di softwares collegati alla rete, i quali aggiornano in tempo reale il modello su cui, sia il progettista che l'azienda, lavorano contemporaneamente allo sviluppo del componente o del sistema da realizzare, potendo verificare continuamente l'intera complessità del processo
- Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

4.6) Come giudicate, mediamente, le conoscenze, dei progettisti con cui avete fino ad ora collaborato, riguardo alle tecniche e i processi di sviluppo dei prodotti customized?

- Scarso
- Sufficiente
- Buono
- Ottimo
- Altro \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

4.7) In quale fase di progetto siete solitamente chiamati a prendere parte allo sviluppo dei prodotti ideati dai progettisti che andranno a realizzare l'edificio?

- Preliminare
  - Definitivo
  - Esecutivo
  - Altro \_\_\_\_\_
- 
- 
- 
- 

---



---



---



---

4.8) Quali softwares impiegate, nella Vostra azienda, durante la collaborazione con progettisti esterni al processo di sviluppo di componenti e sistemi customized?

- Autocad
  - Archicad
  - All Plan
  - Microstation
  - Revitt
  - Rhinoceros
  - 3d studio
  - Katia
  - Maya
  - Altro \_\_\_\_\_
- 
- 
- 
- 

4.11) Quali sono i motivi della Vostra scelta dei softwares informatici da voi indicati nelle risposte precedenti?

- Diffusione a tutti gli operatori di mercato
  - Compatibilità con altri programmi informatici
  - Per le specifiche prestazioni esclusive
  - Altro \_\_\_\_\_
- 
- 
- 
- 

4.12) I softwares da voi impiegati a supporto del processo di sviluppo dei componenti e sistemi customized soddisfano pienamente le vostre esigenze?

- Si
- No

4.9) Quale delle seguenti funzioni assolvono i softwares informatici da impiegati?

- Digitale per il calcolo
  - Digitale per la progettazione
  - Digitale per la rappresentazione
  - Digitale per la computazione
  - Digitale per l'integrazione e la velocizzazione del processo
  - Altro \_\_\_\_\_
- 
- 
- 
- 

*[in caso di risposta negativa]*

4.12.1) Quale aspetto migliorereste dei softwares da voi impiegati?

- Precisione
  - Velocità di calcolo
  - Facilità d'uso
  - Compatibilità con altri softwares
  - Flessibilità di impiego
  - Altro \_\_\_\_\_
- 
- 
- 
- 

5.10) Avete sviluppato software specifici al supporto ai progettisti che intendano sviluppare componenti e sistemi customized con la Vostra azienda?

- Si
- No

*[in caso di risposta affermativa]*

4.10.1) Quali vantaggi avete ricavato dai software specificatamente elaborati per la scelta e lo sviluppo dei vostri prodotti?



**Bibliografia**

## Bibliografia per argomenti

### Condizione del pensiero

Baudrillard, J., *Le système des objets*, Paris: Gallimard, 1968; trad. it. di S. Esposito, *Il sistema degli oggetti*, Milano: Bompiani: 1972.

Baudrillard, J., Nouvel, Jean, *Architettura e nulla: oggetti singolari*, Milano: Electa, 2003.

Maldonado, T., *Il futuro della modernità*, Milano: Feltrinelli, 1987.

Maldonado, T., *Reale e virtuale*, Feltrinelli: Milano, 1993.

Morin, E., *Le vie della complessità*, in Bocchi, G., Ceruti, M. (a cura di), *La sfida della complessità*, Milano: Feltrinelli, 1985.

Rella, F., *Miti e figure del moderno. Letteratura, arte e filosofia*, Parma: Pratiche Editrice, 1981. (2° ed., *Miti e figure del moderno. Letteratura, arte e filosofia*, Milano: Feltrinelli Editore, 2003.)

Severino, E, Rizzi, R. (a cura di), *Tecnica e Architettura*, Milano: Raffaello Cortina, 2003.

Vattimo, G., Rovatti, P.A., *Il pensiero debole*, Milano: Feltrinelli, 1983.

Vattimo, G., *La società trasparente*, Milano: Garzanti 1989.

### Scenario digitale

Burkhardt, F., L'architettura delle reti digitali, in *Rassegna*, N.81, 2005, pp. 5-7.

Burkhardt, F., L'architetto inventore, in *Rassegna*, N.80, 2005, pp. 5-7.

Burkhardt, F., Virilio, P., Il rischioso volo dell'architetto digitale: Francois Burkhardt intervista Paul Virilio, in *Rassegna*, N.81, 2005, pp. 8-13.

Cache, B., In difesa di Euclide, in <http://architettura.supereva.com/extended/19990501/index.htm>.

Conciali, S., *Architettura Digitale = Nuova Architettura?*, Greco, A., Quagliarini, E. (a cura di), *L'involucro edilizio: una progettazione complessa*, Firenze: Alinea, 2007.

Converso, S., *Spreading Digital*, Tesi di dottorato internazionale di architettura.



tura Villard de Honnecourt discussa presso l'Università IUAV, Venezia, A.A. 2006-2007.

Costa, M., *L'estetica dei media*, Roma: Castelvechi, 1999.

Donà, T., Non-Standard Architecture, <http://architettura.supereva.com/sopraluoghi/20040104/index.htm>.

Gargano, M., *Forma e materia. Ratiocinatio e Fabrica nell'architettura dell'età moderna*, Roma: Officina edizioni, 2007.

Gershenfeld, N., *Fab. The Coming Revolution on Your Desktop – From Personal Computers to Personal Fabrication*, New York: Basic Books, 2005 (tr. it. a cura di Manzoni, I., Romoli, J., *Fab. Dal personal computer al personal fabricator*, Torino: Codice edizione, 2005.)

Mancia, P.G., *Architecture&PC*, Milano: Hoepli, 2004.

Prestinenz Puglisi, L., *Tre parole per un prossimo futuro*, Roma: Meltemi, 2002.

Reiser + Umemoto, *Atlas of novel tectonics*, New York: Princeton architectural press, 2006.

Rifkin, J., *The age of access*, New York: Penguin Putman, 2000 (tr. It. Di Canton, P., *L'era dell'accesso. La rivoluzione della new economy*, Milano: Mondadori, 2002).

Sacchi, L., Unali, M. (a cura di), *Architettura e cultura digitale*, Milano: Skira Editore, 2003.

Saggio, A., *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, Roma: Carrocci, 2004.

Steele, J., *Architecture and Computers: action and reaction in the digital design revolution*, London: Laurence King Publishing, 2001, (trad. it a cura di Piemontese, A., *Architettura e computer: azione e reazione nella rivoluzione digitale*, Roma: Gangemi, 2004)

*Terra.trema: mostra di architettura digitale*: Gemona Del Friuli, Palazzo Elti, 21 marzo 002-1 aprile 002, Gemona del Friuli: Pro Loco Pro Glemona, 2002.

Toselli, L., *Il progettista multimediale*, Torino: Bollati Boringheri, 1998.

Yu-Tung, L., Chor-Kheng, L. (a cura di), *New Tectonics. Towards a New Theory of Digital Architecture: 7th Feidad Award*, Basel, Boston, Berlin: Birkhauser: Basel, 2009.

Yu-Tung, L. (a cura di), *Demonstrating digital architecture: 5. Far Eastern International Digital Design Architectural Design Award*, Birkhauser: Basel; Boston; Berlin, 2005

Yu-Tung, L. (a cura di), *Distinguish digital architecture: 6. Far Eastern International Digital Design Architectural Design Award*, Basel: Birkhauser, 2007.

Yu-Tung, L. (a cura di), *Diversifying Digital Architecture: 2003 FEIDAD Award*, Basel: Birkhauser; Boston; Berlin, 2007.

Zambelli, M., *Tecniche di invenzione in architettura, gli anni del costruttivismo*, Venezia: Marsilio, 2007.

Zellini, P., *La natura ibrida dell'algoritmo. Un processo mentale che avvicina matematica, informatica e design*, in *Rassegna*, N. 81, 2005, pp.122-125.

Zellnel, P., *Hybrid space: new forms in digital architecture*, London: Thames & Hudson, 1999.

#### Tecnologia e progetto

Acocella, A., *Involucri in cotto. Sistemi innovativi per il rivestimento in architettura*, Impruneta (FI): Sannini Impruneta, 2008.

Aymerich, C., *Architettura e Tecnologia*, Cagliari: Cuec, 1992.

Ciibini, G. (a cura di), *Tecnologie della costruzione*, Roma: NIS, 1992.

Ciibini, G., *Tecnologia e progetto: argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, Torino: Celid, 1984.

Colajanni, B., Pellitteri, G., Conciali, S., *Involucro, crocevia di segni, mode e tecnologia*, in Greco, A., Quagliarini, E. (a cura di), *L'involucro edilizio: una progettazione complessa*, Firenze: Alinea, 2007.

Dal Lago, A. (a cura di), *Progettare e costruire nel ventunesimo secolo*, Milano: Abitare Segesta, 2000.

De Fusco, R., *La storia quale sostegno del nuovo artigianato*, in *Domus*, N. 796, 1997, pp. 121-125.

Moussavi, F., Kubo, M., *The function of ornament*, Barcellona: Actar, 2006.

Losasso, M., *Architettura, tecnologia e complessità*, Napoli: CLEAN, 1991.

Mangiarotti, A., *Il progetto di architettura. Dall'euristico all'esecutivo*, Milano: Clup, 2000.

Mangiarotti, A., *Proposte di architettura: interpretazioni tecnologiche e sperimentazioni progettuali*, Milano: Clup, 2005.

Mazzocchi, F., Bertagni, S., *Forme architettoniche complesse per l'involucro edilizio: rapporti tra progetto e costruzione*, in Greco, A., Quagliarini, E. (a cura di), *L'involucro edilizio: una progettazione complessa*, Firenze: Alinea 2007.

Nardi, G., *Le nuove radici antiche: saggio sulla questione delle tecniche esecutive in architettura*, Milano: Franco Angeli, 1986.

Nardi, G., Campioli, A., Mangiarotti, A., *Frammenti di coscienza tecnica. Tecniche esecutive e cultura del costruire*, Milano: Franco Angeli, 1991.

Sebestyen, G., *New architecture and technology*, Oxford: Architectural Press, 2003.

Spadolini, P. (a cura di), *Design e tecnologia: un approccio progettuale all'edilizia industrializzata*, Bologna: L.Parma, 1974.

Sinopoli, N., *La tecnologia invisibile: il processo di produzione dell'architettura e le sue regie*, Milano: Franco Angeli, 1997.

Vitale, A., *Argomenti per il costruire contemporaneo*, Milano: Franco Angeli, 1995.

Zaffagnini, M. (a cura di), *Progettare nel processo edilizio: la realtà come scenario per l'edilizia residenziale*, Bologna: Parma, 1981.

Zanelli, A., *Ricerche di architettura*, Milano: Clup, 2000.

Zennaro, P., *Architettura senza: micro esegesi della riduzione negli edifici contemporanei*, Milano: Franco Angeli, 2009.

### **Innovazione tecnica e trasferimento**

A.A.V.V., *Continuità, innovazione, sperimentazione*, Bologna: SAIE, 1997.

Burkhardt, F., Herzog, J., *La reinvenzione come processo di ricerca continua: Francois Burkhardt intervista Jacques Herzog*, in *Rassegna*, N.80, 2005, pp. 9-13.

Campioli, A., *I presagi di un nuovo costruire: il linguaggio delle tecniche esecutive nell'architettura della seconda età della macchina*, Milano: Franco Angeli, 1988

Campioli, A., *Il contesto del progetto: il costruire contemporaneo tra sperimen-*

*talismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali*, Milano: F. Angeli, 1993.

Campioli, A., *Idea, Progetto, Cantiere*, in Pignataro, M. (a cura di), *Innovazione di prodotto e architetture di forma complessa*, Milano: CLUP, 2005.

Campioli, A., *Idea, progetto, dettaglio*, in Losasso, M. (a cura di), *Progetto e Innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Napoli: CLEAN, 2005.

Caturano, U., *Sollecitazioni e tendenze dell'innovazione tecnologica*, in Gangemi, V. (a cura di), *Cultura e impegno progettuale*, Milano: Franco Angeli, 1992.

Celento, D., *Innovate or Perish. New Technologies and Architecture's Future*, in *Harvard Design Magazine*, N. 26, 2007, pp. 70-82.

Cetica, P.A., *L'edilizia di terza generazione: breviario di poetica per il progetto nella strategia del costruire*, Milano: Franco Angeli, 1993.

Claudi de Saint Michel, C., *L'innovazione dei processi costruttivi*, in Lo Sasso, M. (a cura di), *Progetto e innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Napoli: Clean, pp. 97-104.

Claudi de Saint Michel, C., *Trasferire e diffondere*, in *Modulo*, N. 293, 2003, pp. 592-594.

De Masi, D., *Verso la formazione post-industriale*, Milano: Franco Angeli, 1993.

Flichy, P., *L'innovation technique*, Paris: Edition La Découverte, 1995 (tr. It. Di Guareschi, M., *L'innovazione tecnologica*, Milano: Feltrinelli, 1996).

Giallocosta, G., *Riflessioni sull'innovazione. Architettura e produzione edilizia nei regimi di complessità delle fasi storiche di sviluppo del costruire*, Firenze: Alinea, 2004.

Iannaccone, G., *L'altra faccia dell'innovazione*, in *Modulo*, N. 293, 2003, pp. 593-594.

Janes, I., *Dal pezzo unico al mercato diffuso: innovazione ed evoluzione di alcune tecnologie dell'architettura contemporanea*, Tesi di Laurea discussa alla Facoltà di Architettura presso l'Università IUAV, Venezia, A.A. 1998-1999.

La Creta, R., *Prefazione*, in Losasso, M., *Progetto e innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Napoli:

Clean, 2005.

Lavagna, M., Lucchi, E., Paoletti, I., Proserpio, T., Contaminazioni Architettoniche, Milano: Clup, 2002.

Losasso, M. (a cura di), Progetto e innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico, Napoli: CLEAN, 2005.

Mangiarotti, A., L'innovazione nel progetto. Esempi di architettura contemporanea, Milano: Franco Angeli, 1991

Martegnani, P., Architettura, componente, computer, Roma: Officina, 1990.

Nardi, G., Aspettando il progetto, Milano: Franco Angeli, 1997.

Paoletti, I., Costruire le forme complesse. Innovazione, industrializzazione e trasferimento per il progetto di architettura, Milano: Libreria CLUP, 2006.

Paoletti, I., L'innovazione tecnica nel progetto di architetture. Paradigmi delle tecnologie evolute e costruito diffuso nell'era informatica, in Lavagna, M., Lucchi, E., Paoletti, I., Proserpio, T., Contaminazioni architettoniche, Milano: Clup, 2002.

Paoletti, I., Una finestra sul trasferimento. Tecnologie innovative per l'architettura, Milano: Libreria CLUP, 2003.

Paoletti, I., L'innovazione nei sistemi di involucro: Quattro casi studio, in Zanelli, A., Ricerche di tecnologia dell'architettura, Clup: Milano, 2000.

Penati, A., Seassaro, A. (a cura di), Progetto Processo Prodotto. Variabili di innovazione. Milano: Edizione Angelo Guerini e Associati SpA. 1998.

Pignataro, M. (a cura di), Innovazione di prodotto e architettura di forma complessa. Questioni a confronto: tecnologia e disegno, Milano: CLUP, 2005.

Rigamonti, E., L'innovazione nascosta, Milano: Franco Angeli, 1998.

Roda, R. (a cura di), Abitare il futuro: innovazione, tecnologia, architettura, Milano: Bema 2003.

Sinopoli, N., Tatano, V. (a cura di), Sulle tracce dell'innovazione: tra tecniche e architettura, Milano : F. Angeli, 2002.

Truppi, C., Continuità e mutamento: il tempo dell'innovazione delle tecniche e nell'evoluzione dell'architettura, Milano: Franco Angeli, 1994.

Utterback, J., Mastering the Dynamics of Innovation, Cambridge: Harvard Business School Press, 1996, (tr. It. Di Merlini, R., Padroneggiare le dinami-

che dell'innovazione industriale, Milano: Franco Angeli, 2005).

Zanini, A., Fadini, U. (a cura di), *Lessico postfordista. Dizionario di ide della mutazione*, Milano: Feltrinelli, 2001.

### **L'evoluzione del settore delle costruzioni**

AA. VV. Nuove tendenze: la serialità artigianale, in *Modulo*, N. 325, 2006, pp. 1032-1035.

Amin, A., *Post-Fordism*, Oxford: Blacwell, 1994.

Betchold, M., On Shells and Blobs, in *Harvard Design Magazine*, N. 19, Fall 2003/ Winter 2004, pp. 68-72.

Bassan, M. (a cura di), *Progettazione e realizzazione di componenti e sistemi basati sull'impiego di tecnologie innovative per l'industria*, Milano: F. Angeli, 1994.

Burkardt, F., Perché un nuovo artigianato, in *Domus*, N. 796, 1997, p. 2.

De Masi, D., *Verso la formazione post-industriale*, Milano: Franco Angeli, 1993.

Giovannelli, G., *L'industrializzazione dell'edilizia*, Firenze: Alinea Editrice s.r.l., 1993.

Kieren, S., Timberlake, J., *Refabricating architecture: how manufacturing methodologies are poised to transform building construction*, New York: McGraw-Hill, 2004.

Lucchi, E., Nuova Prefabbricazione, *Modulo*, n. 335, 2007, pp.1043-1048.

Mangiarotti, A., *Le tecniche dell'architettura contemporanea: evoluzione e innovazione degli elementi costruttivi*, Milano: Franco Angeli, 1995.

Mangiarotti, A., Paoletti, I. (a cura di), *Dall'idea al cantiere: progettare, produrre e costruire progetti complessi*, Milano: Hoepli, 2008.

Maggi, P.,N., Turchini, G., Zambelli, E., *Dall'industrializzazione dell'edilizia alla produzione industriale per l'edilizia*, in A.A.V.V., *Edilizia, innovazione, crisi economica*, Bologna: Ente autonomo Fiera, 1983.

Morabito, G., *Forme e tecniche dell'architettura moderna*, Roma: Officina Edizioni, 1990.

Nardi, G., *Tecnologia dell'architettura e industrializzazione edilizia*, Milano: Franco Angeli, 1980.

Olivieri, G., *Prefabbricazione o metaprogetto edilizio*, Milano: ETAS Kompass, 1968.

Paoletti, I., "think globally, act locally", l'esperienza Permasteelisa, in *Modulo*, N. 283, 2002, pp. 646-647.

Pedrotti, L., *La flessibilità tecnologica dei sistemi di facciata*, Milano: Franco Angeli, 1995.

Pine, J., *Mass-Customization. The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press: Cambridge, 1992 (tr. It di Formaggio, M., *Mass-Customization: dal prodotto di massa all'industriale su misura. Il nuovo paradigma manageriale*, Milano: Franco Angeli, 1997.)

Righetti, P., "Indietro di una rivoluzione", in *Modulo*, n.269, mar, pp. 164-168.

Rullani, E., Romano, L. (a cura di), *Il postfordismo. Idee per il capitalismo prossimo venturo*, Milano, EtasLibri, 1998.

Sapers, C., Toward Architectural Practice in the 21st Century, in *Harvard Design Magazine*, N. 19, Fall 2003/ Winter 2004, 80-85.

Travi, V., *Tecnologie avanzate. Costruire nell'era elettronica*, Torino: Testo&Immagine, 2002.

Tirelli, T., L'acciaio nel Free-Form Design tra architettura ed ingegneria, [http://www.constructalia.com/it\\_IT/news/actualidad\\_detalle.jsp?idDoc=3263600&idCat=2728241](http://www.constructalia.com/it_IT/news/actualidad_detalle.jsp?idDoc=3263600&idCat=2728241)

### **Architetti e architetture digitali**

Balmond, C., Dalla retta alla rete, in *Casabella*, N. 711, 2003, pp. 6-13.

Brandolini, S., Museo Guggenheim, Bilbao, in *Domus*, N. 798, novembre 1997, pp. 10-19.

Biagi, M., La logica del dettaglio nell'oggetto architettonico come opera unica, In *Casabella: rivista mensile di architettura e tecnica*, N. 763 (2008), p. 94-115

Biagi, M., Nel ventre del cetaceo, in *Casabella: rivista mensile di architettura e tecnica*, N. 768, 2008, pp. 19-22.

Blassel, J. F., *Engineering in a performative environment*, in Kolarevich, B., Malkawi, A.M. (a cura di), *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*,

New York: Spon Press, 2005, pp. 136-148.

Brandolini, S., La sostenibile leggerezza dell'involucro, in *Modulo*, N., 273, 2001, pp. 592-595.

Chen, A., Dalla notte al giorno, in *Rassegna*, N. 80, 2005, pp. 86-90.

Converso, S., *SHoP Works. Collaborazioni costruttive in digitale*, Roma: Ed-  
ilStampa, 2008.

Converso, S., Oosterhuis unisce studio e azienda, *Il Giornale dell'architettura*,  
N. 58, Gennaio 2008, Rapporto metalli, p. 5.

Crippa, D., Di prete, B., La costruzione dell'immaginario, *Rassegna*, N. 81,  
2005, pp. 57-61.

Dal Co, F., Uno spettacolo "osceno e commestibile": Disney Concert Hall, Los  
Angeles, *Casabella*, N. 717-718, 2003-2004, pp. 90-103.

Dal Co, F., Forster, K., W., Soutter Arnold, H. (a cura di), *Frank O. Gehry: tutte  
le opere*, Electa: Milano, 1998.

Donati, C., Doppia curvatura, in *Modulo*, N., 316, 2005, pp. 1100-1104.

Donati, C., DRLTEN Pavillion, in *Modulo*, N. 343, 2008, pp. 706-709.

Douglis, E., *Autogenic Structures*, Taylor & Francis: New York, 2009.

Eco, C., Stazioni della funicolare, testo in [http://www.archinfo.it/stazioni-per-  
la-funicolare-di-innsbruck-zaha-hadid/0,1254,53\\_ART\\_197279,00.html](http://www.archinfo.it/stazioni-per-la-funicolare-di-innsbruck-zaha-hadid/0,1254,53_ART_197279,00.html)

Fereiss, K. (a cura di), *Dynamic Forces: Coop Himmelb(l)au, BMW Welt Mu-  
nich*, Monaco. Berlino. Londra. New York: Prestel Verlag, 2007.

Franken, B., *Real as Data*, in Kolarevich, B., *Manufacturing Material Effects:  
Rethinking Design and making in architecture*, New York: Routledge, 2008,  
pp.122-138

Gandolfi, E., Museo Mercedes-Benz, in *The Plan*, N. 014, 2006, pp. 46-51.

Gandolfi, E., Interview with Ben Van Berkel, in *The Plan*, N. 014, 2006, pp.  
52-60.

Gasperi, J., (Di)Segni metallici, in *Modulo*, N. 312, 2005, pp.524-530.

Gehry, F., Walt Disney Concert Hall, *Casabella*, N. 673-674, 1999-2000, pp.  
57-61.

Giurdanella, V., Acciaio in addizione, *Costruzioni Metalliche*, N.,2, 2006, pp.  
23-35.

Gramazio & Kohler, *Digital materiality in architecture*, Baden: Lars Muller,



2008.

Grandi, G., Acciaio e Hylite, in *Costruzioni metalliche*, N., 4, 2004, pp.25-39.

Grandi, G., Acciaio e vetro, in *Costruzioni metalliche*, N.3, 2005, pp.19-32.

Iannaccone, G., Bubbles & Sponges: come in natura, in *Modulo*, N., 342, 2008, pp. 568-575.

Ito, T., Architettura o non-architettura? L'architetto e l'ingegnere, in *Casabella*, N. 711, 2003, p. 4-5.

Lindesy, B., *Digital Gehry. Material Resistance / Digital Construction*, Basel, Boston, Berlin: Birkauer, 2001 (tr.it a cura di Saggio, A., *Gehry digitale. Resistenza materiale / Costruzione digitale*, Torino: Testo&Immagine, 2002.)

Lynn, G., *Animate form*, New York: Princeton architectural press, 1999.

Lootsma, B., Spuybroek, L., Padiglione dell'acqua e installazione interattiva, in *Domus*, N. 796, 1997, pp.28-31.

Maffei, A., Vibrazioni opaline, in *Rassegna*, N. 80, 2005, pp. 34-43.

Morgan, C. L., *Franken Architekten : spatial narratives*, Ludwigsburg : AVEdition, 2008

Nicolin, P., Lo smembramento di Orfeo, in *Lotus international*, N 98, settembre 1998, pp. 11-25.

Oosterhuis, K., *Ipercorpi: verso un'architettura e-motiva*, Roma: EdilStampa, 2007.

Pagliari, F., BMW Welt. Munich, Germany, in *The Plan: Architecture and Technologies in detail*, N. 23, 2007, p. 76-93.

Pongratz, C., Perbellini, M. R., *Nati con il computer: giovani architetti americani*, Torino: Testo & immagine, 2000.

Paoletti, I., A quota 2300 in meno di 20 minuti, in *Il Giornale dell'Architettura*, n., 59, Febbraio 2005, p.11.

Paoletti, I., Acciaio file to factory: le stazioni a Innsbruck di Zaha Hadid, *Costruzioni Metalliche*, n.2, 2008, pp. 21-27.

Paoletti, I., Future Systems, in *Modulo*, N. 335, 2008, pp.970-981.

Paoletti, I., L'involucro si racconta attraverso le opere, *Il giornale dell'architettura*, n.31, Luglio-agosto, 2005, pp. 2-3.

Paoletti, I., Massimiliano Fuksas, *Modulo*, N. 309, 2005, pp. 128-136.

Paoletti, I., Tornado Bmw, *La Nuova Finestra*, N., 12, 2004, p. 100.

- Paoletti, I., Un distillato di tecnologie evolute per Nardini, in *Il Giornale dell'Architettura*, N. 26, 2005, p.17.
- Paoletti, I., Zaha Hadid, in *Modulo*, N., 345, 2008, pp. 974-989.
- Paoletti, I., Verso il terzo millennio, in *Modulo*, N., 293, 2003, pp.628-631.
- Reboli, M., Assemblato al computer, in *Casabella*, n.744, 2006, pp.16-19
- Redazionale, Porter House, in *Lotus International*, n.133, 2008, pp.28-31.
- Schumacher, P., *Hadid Digitale. Paesaggi in movimento*, Torino: Testo&Immagine, 2004.
- Spuybroek, L., *NOX. Machining Architecture*, Londra: Thames and Hudson, 2004
- Sudic, D., *Future Systems*, London, New York: , Phaidon, 2006.
- Weinstock, M., Can Architectural design be research? Fabricating Complexity, *Architectural design*, Volume 78, issue 4, 2008, pp 126-129.

### **Fabbricazione digitale**

- Beaucé, P., Cache, B., Verso un mondo di produzione non-standard, <http://architettura.supereva.com/Extended/20040214/index.htm>
- Brizzi, M., Bernard Cache. Negli universi della precisione, in <http://architettura.supereva.com/files/20000131/index.htm>.
- Callicott, N., *Computer-Aided Manufacture in Architecture: The Pursuit of Novelty*, Oxford: Architectural, 2001.
- Chaszar, A., *Blurring the lines: Computer-Aided Design and Manufacturing in Contemporary Building. (Architecture in Practice)*, Chichester: Wiley Academy, 2006.
- Grimaldi, F., *Manuale delle macchine utensili a CNC*, Milano: Hoepli, 2007.
- lawamoto, L., *Digital Fabrication. Architectural and Material Techniques*, New York: Princeton Architectural Press, 2009.
- Kolarevic, B. (a cura di), *Architecture in the digital age: design and manufacturing*, New York, London: Taylor & Francis, 2003.
- Kolarevic, B., Malkawi, A.M. (a cura di), *Performative Architecture. Beyond Instrumentality*, New York: Spon Press, 2005, pp.136-148.
- Kolarevic, B. (a cura di), *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design*

*and Making in Architecture*, New York: Routledge, 2008.

Levit, Contemporary "Ornament": The Return of the Symbolic Repressed, in *Harvard Design Magazine*, N. 28, 2008, pp.70-85.

Menges, A., Manufacturing Diversity, in *Architectural Design*, Vol. 76, N. 2, 2006, pp. 70-77.

Mitchell, M., J., *Digital design media*, New York: , Van Nostrand Reinhold, 1995.

Schodek, D., Bechthold, M., Griggs, J., K., Kenneth, K., Steinberg, M., *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2005.

Sheil, B., *Desing Through Making: An Introduction*, in *Architectural Design*, N. 4, Vol 75, 2005, pp. 5-12.

Thornton, J., Fabrication Research, in *Architectural Design*, N. 4, Vol 75, 2005, pp. 100-103.

### **Nuovi strumenti per il controllo del progetto**

Batcheler, B., Howell, I., Building Information Modeling Two Years Later – Huge Potential, Some Success and Several Limitation, [www.laiserin.com/features/bim/newforma\\_bim.pdf](http://www.laiserin.com/features/bim/newforma_bim.pdf).

Castle, H. (guest editor). Closing the Gap. *Architactural Design*. Vol 79, n. 72, 2005.

Ceccarelli, N., *Progettare nell'era digitale: il nuovo rapporto tra design e modello*, Venezia: Marsilio, 2002.

Crippa, C, Di Prete, B., *Modello, informatica e Progetto di architettura*, Milano: Libreria Clup, 2005.

Converso, S., La forma oltre il software. La ricerca applicata del "Product Architecture Lab" di John Nastasi, <http://architettura.supereva.com/extended/20080924/index.htm>

De Luca, F., Nardini, M., *Dietro le quinte. Tecniche d'avanguardia nella progettazione contemporanea*, Torino: Testo&Immagina, 2003.

Emmer, M., *Mathland. Dal mondo piatto alle ipersuperfici*, Torino: Testo&iimagine, 2003.

- Genovese, P., V., *Dalla decostruzione alla cyber-architettura e oltre: l'uso del computer nella progettazione degli spazi non-euclidei*, Napoli: Liguori, 2005.
- Hensel, M., Menges, A., Weinstock, M. (a cura di), *Techniques and technologies in Morphogenetic Design [Architectural Design: 76:2]*, London: Wiley Academy, 2006.
- Kymmell, W., *Building Information Modelling: Planning and Managing Construction with 4D CAD and Simulation*, McGraw-Hill Construction Series: 2008.
- Leach, N. (a cura di), *Designing For A Digital World*, London: Wiley-Academy, 2002.
- Lucchi E., CAD e BIM, in *Modulo*, N. 345, 2008, pp. 1029-1035.
- Lucchi, E., Liberi di progettare, *Modulo*, N. 335, 2007, pp.1055-1062.
- Menges, A., Instrumental Geometry, in *Architectural Design*, Vol 76, N. 2, 2006, pp. 42-53.
- Muntoni, A., *Architettura nell'era elettronica*, Roma Mancosu, 2005
- Paoletti, I. (a cura di), *Innovative Design and Construction Technologies*, Rimini: Maggioli Editore, 2008.
- Paoletti, I., *L'innovazione tecnica nel progetto di architettura*. Paradigmi delle tecnologie evolute e costruito diffuso nell'era informatica, in Lavagna, M., Lucchi, E., Paoletti, I., Proserpio, T., *Contaminazioni Architettoniche*, Milano: Clup, 2002.
- Paoletti, I., La quarta dimensione, in *Modulo*, N. 292, 2003, pp. 498-504.
- Rocker, I., M., When Code Matters, in *Architectural Design*, N. 4, Vol. 76, 2006, pp. 16-25.
- Saggio, A., Informazione come materia prima dell'architettura, Arch'it, <http://architettura.supereva.com/coffeebreak/20040318/index.htm>, 2004.
- Saggio, A., Nuova soggettività. L'architettura tra comunicazione e informazione, Arch'it, <http://architettura.supereva.com/coffeebreak/20040718/index.htm>, 2004.
- Sakamoto, T., Ferre, A., *From Control to design: Parametric/Algorithmic Architecture*, Barcellona: Actar, 2008.
- Salvioni, G., *Architettura & Computer. Strumenti digitali per la gestione e la redazione del progetto di architettura*, Roma: Edizioni Kappa, 2000.

Scanlon, J., Frank Gehry for the rest of us, *WRED* n. 12.11, Novembre, 2004.

Shelden, D., R., Tectonics, Economics and the Reconfiguration of Practice: The Case for Process Change by Digital Means, in *Architectural Design*, N. 4, Vol. 76, 2006, pp. 82-88.

Szalapaj, P., *Contemporary Architecture and the Digital Design Process*, Oxford: Architectural Press, 2005

Torre, A., *Dal tecnigrafo elettronico al modello digitale: progettare in ambito BIM*, in *Costruire in Laterizio*, N. 127, 2009. pp.XIII-XVI.

Torre, A., *La struttura assente: introduzione al concetto di BIM*, in Torre, A., Speziani, M. (a cura di), *Strutture: cinque casi di utilizzo del sistema Building information modeling per la progettazione integrata*, Milano: Il sole-24 ore, 2009.

Valenti, R., *Architettura e simulazione: la rappresentazione dell'idea dal modello fisico al modello virtuale*, Cannitello (Rc): Biblioteca del Cenide, 2003.

Weinstock, M., Stathopoulos, N., Advanced Simulation in Design, in *Architectural Design*, Vol. 76, N. 2, 2006, pp. 54-59.

Willis, D., Woodward, t., Diminishing Difficulty. Mass Customization and the Digital Production of Architecture, in *Harvard Design Magazine*, N. 23, 2005-2006, pp.71-83.

Zellini, P., La natura ibrida dell'algoritmo, in *Rassegna*, N. 81, 2005, pp.122-124.

### **Cultura del progetto**

Arona, A., Frontiera, M., "Costruzioni, business solo per i big", *Edilizia e Territorio*, n.47 anno X, p.1.

Biraghi, M. ( a cura di), *Architettura nella seconda età della macchina: scritti 1955-1988 di Reyner Banham*, Milano: Electa, 2004.

Bosoni, G.P. (a cura di), *Il modo Italiano: design e avanguardie artistiche in Italia nel XX secolo*, Milano: Skira, 2007.

Bottero, B. (a cura di), *Progettare e costruire nella complessità*, Napoli: Liguri, 1990.

- Branzi, A. (a cura di), *Il design Italiano: 1964-1990*, Milano: Electa, 1996.
- De Fusco, R., *"Artifici" per la storia del costruire*, Napoli: Edizioni scientifiche italiane, 1998.
- Gangemi, V. (a cura di), *Cultura e impegno progettuale*, Milano: Franco Angeli, 1992.
- Gregotti, V., *Il disegno del prodotto industriale: Italia 1860.1980*, Milano: Electa, 1986.
- Koolhaas, R., Mastriqli, G. (a cura di), *Junkspace: per un ripensamento radicale dello spazio urbano*, Macerata: Quodilbet, 2006.
- Kwinter, S., Rainò, M., *Rem Koolhaas. Verso un'architettura estrema*, Milano: Postmedia, 2002.
- Lo Ricco, G., Michieli, S., *Lo spettacolo dell'architettura. Profilo dell'archistar©*, Milano: Paravia Bruno Mondadori Edizioni, 2003.
- Portoghesi, P., *Postmodern: l'architettura nella società post-industriale*, Milano: Electa, 1982.
- Prestinenzza Pugliesi, L., *Silenziose avanguardie: una storia dell'architettura 1976-2001*, Torino: Testo & Immagine, 2001.
- Tagliagambe, S., *L'albero flessibile. La cultura della progettualità*, Milano: Dunod-Masson, 1998.

