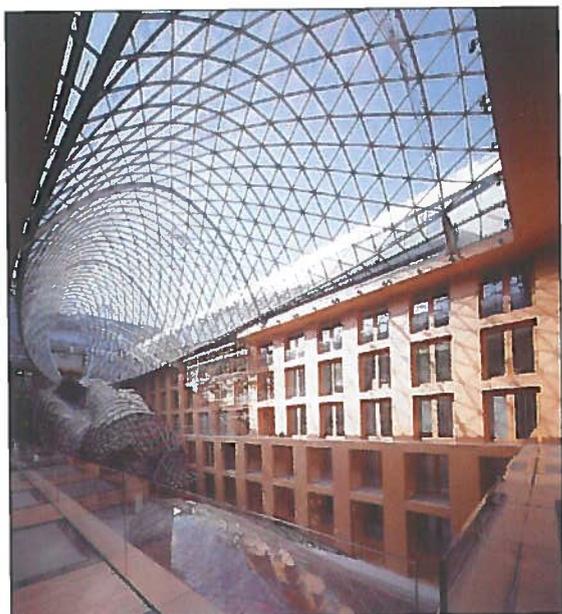


## Acciaio e forme complesse

### Gehry Associates, DG Bank, Berlino, 2000

**L**e forme architettoniche complesse rappresentano oggi un nuovo orizzonte per il progetto di architettura e impongono, sul versante della ricerca, la sperimentazione di nuovi materiali e tecnologie. La copertura vetrata della DG Bank realizzata a Berlino, nel 2000, su progetto di Frank O. Gehry costituisce un esempio di forma complessa costruita attraverso l'utilizzo di acciaio e vetro (figg. 1-2). Questa realizzazione è stata possibile grazie all'aprontamento di soluzioni tecniche innovative e agli avanzamenti nei software di modellazione tridimensionali, che permettono oggi di elaborare i componenti di un progetto, estraendo i dati necessari alla produzione direttamente dal modello di disegno, realizzato mediante sistemi computerizzati evoluti.



L'edificio DG Bank costituisce un esempio delle possibilità applicative dell'acciaio in forme complesse. L'atrio vetrato di forma curva è infatti realizzato, grazie all'innovazione nelle tecnologie informatiche e produttive, attraverso una particolare struttura in acciaio inox tamponata da vetri triangolari. Decisivi, per il buon esito di soluzioni tecnologicamente così avanzate, sono l'integrazione tra gli operatori sin dalle prime fasi di progetto, la ricerca applicata sulle possibilità tecniche dei materiali e l'ottimizzazione delle interfacce informatiche alle diverse fasi del progetto.

#### Steel and complex shapes.

#### Gehry Associates, DG Bank, Berlino, 2000

*The DG Bank project is an example of the use of glass and steel technologies for complex shapes. The curved glass atrium of the DG Bank is in fact built with a special steel and glass structure in triangular shapes, making use of innovative information technology and production techniques. Key points for the successful outcome of such advanced solutions are the close cooperation of all those involved from the very first design phases onwards, constant research into the technical possibilities of the materials and the optimisation of the software interfaces during the construction of the project.*

#### LA REALIZZAZIONE DELLE FORME COMPLESSE

Gli edifici di forme complesse non sono più riconducibili a geometrie cubiche, prismatiche o coniche, ma a forme che si sviluppano nello spazio in modo irregolare, attraverso superfici inclinate in diverse direzioni o spesso curve.

Tali forme scaturiscono in prima istanza dalla ricerca progettuale, desiderosa di sperimentare nuove spazialità. Molti i progetti dell'orizzonte contemporaneo che si sviluppano a partire da forme fluide, quasi al limite delle possibilità plastiche della materia.

Fig. 1: Gehry Associates, DG Bank, Berlino, 2000. Vista dell'atrio vetrato dalla forma complessa.

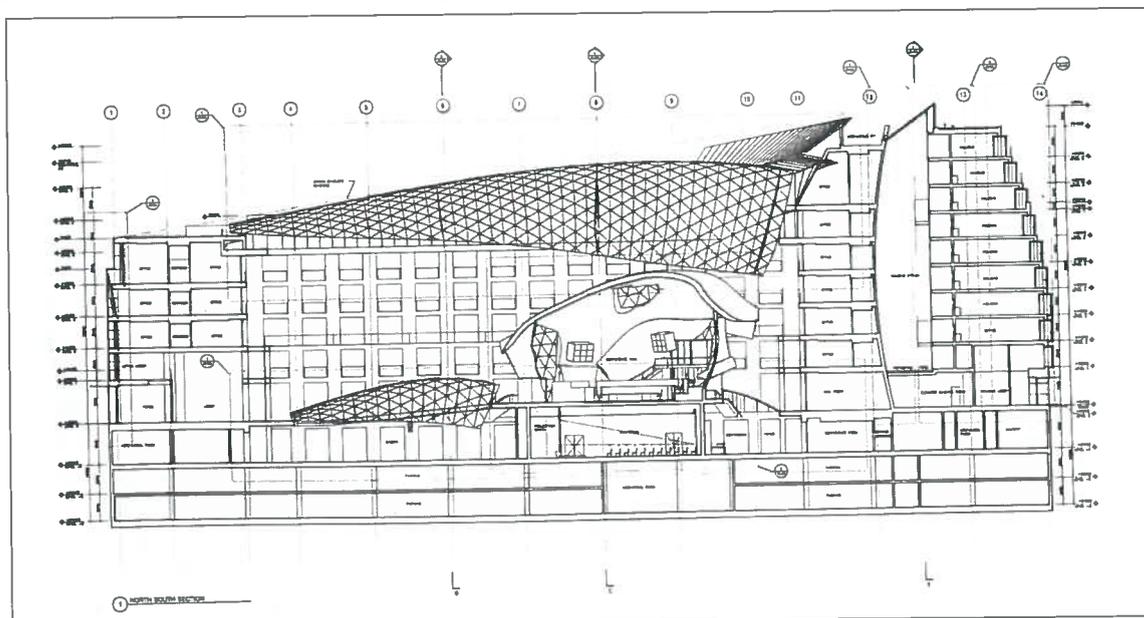


Fig. 2: Sezione longitudinale dell'atrio. La forma curva ha presupposto una stretta collaborazione tra progettista e produttore.



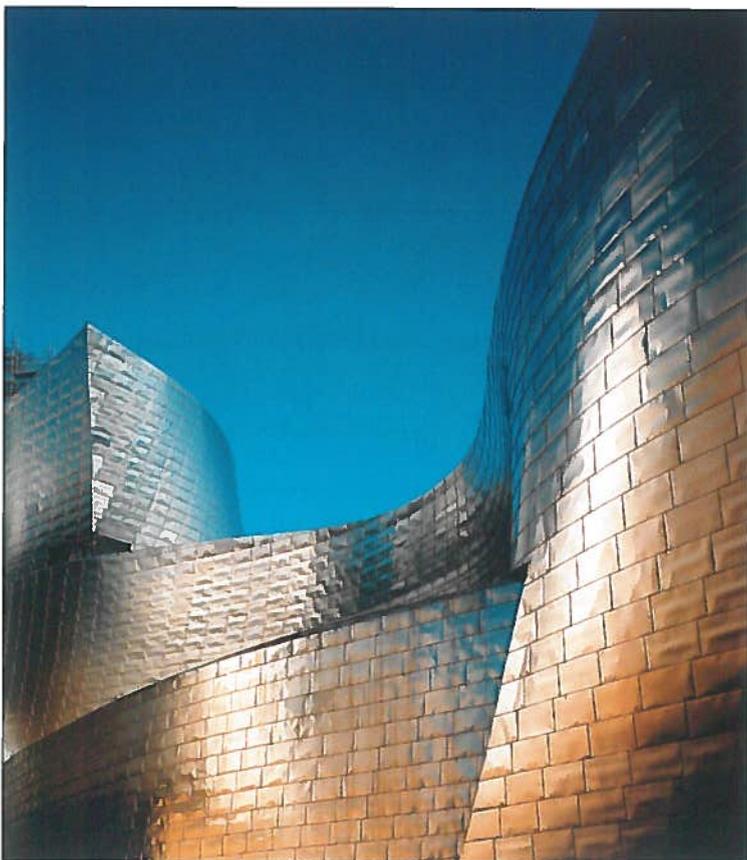
*Fig. 3: Peter Cook, Colin Fournier, progetto di auditorium dalla forma fluida; queste forme sono realizzate grazie al supporto informatico.*

A supporto di tali sperimentazioni vi sono gli strumenti informatici, che permettono oggi di elaborare modelli virtuali, forme complesse e superfici fluide attraverso sofisticati strumenti di calcolo e visualizzazione (fig. 3).

L'allontanamento dalle forme geometriche tradizionali, reso possibile e facilitato da potenti strumenti di disegno, pone tuttavia in primo piano la delicata questione della realizzazione tecnica.

Modelli fluidi e involucri complessi, elaborati al computer, per poter essere costruiti devono necessariamente fare riferimento a tecnologie adeguate e altrettanto complesse.

Un primo orizzonte è costituito dallo sviluppo esponenziale dei sistemi software, che consentono



*Fig. 4: Gehry Associates, Guggenheim Museum, Bilbao, 1998. Il progettista ha sperimentato in questo edificio l'uso del software Catia per la progettazione del rivestimento in titanio.*

la trasposizione reale di volumi complessi, un secondo, dalla ricerca sviluppata nei sistemi e componenti da parte dell'industria, che mette oggi a disposizione del progettista non solo prodotti, ma anche un bagaglio di conoscenze ad alto contenuto tecnologico e spesso innovativo.

Se le intenzioni progettuali sono il motore primo della creazione di forme complesse è vero tuttavia che esse si alimentano di continuo dell'evoluzione nei sistemi software, che spesso cercano di anticipare esigenze e richieste progettuali. Tra queste esigenze figurano con sempre maggior frequenza, flessibilità tecnologica, produzione personalizzata in relazione al progetto, organizzazione efficiente delle fasi di costruzione.

La mutua contaminazione tra idee progettuali e dotazioni innovative dello strumento informatico rappresenta il nodo chiave per la verifica e la sperimentazione di forme complesse.

In particolare gli strumenti che meglio rispondono a queste esigenze sono i software 3D di tipo parametrico. Essi possiedono caratteristiche tali per cui le modifiche fatte su un elemento in un dato disegno o modello, vengono riportate automaticamente in tutti gli altri disegni, essendo uno solo il modello base di riferimento. Inoltre, questi software possiedono un'interfaccia CAM (Computer Aided Manufacturing) per la produzione, che permette di passare i dati direttamente alle macchine a controllo numerico, relazionandosi in modo diretto con la produzione.

Anche nel settore delle costruzioni, nel passaggio dalla produzione standardizzata a quella snella di tipo post-fordista, la produzione industriale di componenti e semilavorati sembra accettare che il paradigma più adatto per rispondere alle esigenze di progettisti e committenti sia la "mass customization".

La "mass customization" permette di unire le caratteristiche del pezzo unico al pezzo su misura, grazie allo sviluppo delle modalità di produzione con macchine a controllo numerico.

Questi macchinari, grazie all'interfaccia CAM, possono produrre pezzi diversi variando i dati inseriti nel sistema operativo, operazione che non comporta un incremento del costo.

La "customization" ben si adatta in architettura ai componenti che sono già stati oggetto di processi di industrializzazione spinta, come per esempio gli involucri evoluti e le forme complesse realizzate attraverso componenti prefabbricati. In particolare, i materiali metallici, per il tipo di lavorazione a cui sono sottoposti, si prestano alla sperimentazione di nuove tecnologie di produzione industriale.

Le forme complesse sono dunque sviluppate attraverso sistemi informatici e attraverso di essi realizzate. La filiera progettazione, produzione, costruzione è completamente trasmutata: se un tempo a progetto definito venivano consultati fornitori e impresa generale, oggi la verifica della fattibilità tecnica deve avvenire in parallelo con l'elaborazione del progetto, sin dalle prime fasi.

#### **GEHRY ASSOCIATES:**

#### **LA RICERCA SULLE SUPERFICI FLUIDE**

Tra gli studi di architettura impegnati nelle ricerche su forme complesse, lo studio Gehry Associates sta

verificando da molto tempo la realizzazione di forme articolate e superfici curve, sperimentando di volta in volta i software e i materiali utilizzabili.

Perfezionando l'accoppiamento tra fase concettuale e modellazione solida la trascrizione della complessità delle geometrie si velocizza, rendendo la verifica rapida e precisa. Il primo passo consiste nella digitalizzazione del modello fisico che viene poi rifinito attraverso i sistemi informatici: il programma utilizzato dallo studio è il software di modellazione Catia. Studiato dalla Dassault insieme all'IBM, è uno strumento di modellazione utilizzato in via prioritaria nei settori aerospaziali, navali e automobilistici per la produzione di pezzi speciali. Il primo edificio nel quale è stato sperimentato l'uso di Catia, è stato il Guggenheim Museum di Bilbao, finito nel 1998, dove il progettista aveva elaborato superfici fluide, rivestite di lastre di titanio che si adattassero alle forme curve e convesse dell'edificio (fig. 4).

L'uso pionieristico del software da parte del progettista e dell'azienda che ha realizzato il rivestimento, la Gartner GmbH, specializzata in involucri architettonici, ha permesso di costruire lastre con misure molto diverse, circa 200 tipologie, che una volta prodotte attraverso i dati pervenuti dal sistema informatico stesso, sono state rimontate nello spazio virtuale nella maniera in cui sarebbero poi state messe in opera, allo scopo di verificare l'esatta geometria dei solidi.

E' importante notare che lo studio Gehry Associates non usa lo strumento informatico per amplificare effetti scenografici, tanto è vero che non vi sono rendering degli edifici progettati, quanto piuttosto per velocizzare l'operazione di trasposizione reale delle forme ideate in materiali producibili.

Il principale vantaggio dell'utilizzo di software come Catia riguarda infatti la compressione del tempo di progettazione.

Il software ha proprietà WYSIWYG (What You See Is What You Get), vale a dire che gli oggetti vengono visualizzati con tutti i dettagli necessari e possiede un'interfaccia CAM, utile, come visto, per verificare il momento produttivo, monitorando il tempo e il costo necessario a produrre una determinata parte di edificio.

La differenza sostanziale con i sistemi a tre dimensioni di utilizzo convenzionale è che è concepito per una filiera di processo concezione, fabbricazione, analisi dei risultati, quindi una filiera molto più complessa e ripetitiva rispetto a quella progettuale che comprende le fasi di disegno e assemblaggio.

Ciò comporta che il passaggio di scala, dalla fase definitiva a quella esecutiva e operativa, necessita oggi, ancora di un ritorno a un software in due dimensioni. Questo problema, nel passaggio di scala, evidenzia come l'interfaccia tra software sia uno dei punti cruciali per la diffusione di sistemi informatici avanzati nel settore delle costruzioni.

Le forme complesse implicano una rigorosa ricerca anche sulle possibilità tecniche e morfologiche dei materiali. Essi sono studiati in relazione alle loro caratteristiche e in applicazioni che prevedono il massimo sfruttamento delle loro proprietà: nel titanio la duttilità, nell'acciaio inox la resistenza e le molte possibilità di trattamento delle superfici, nel vetro la trasparenza, solo per citarne alcuni.

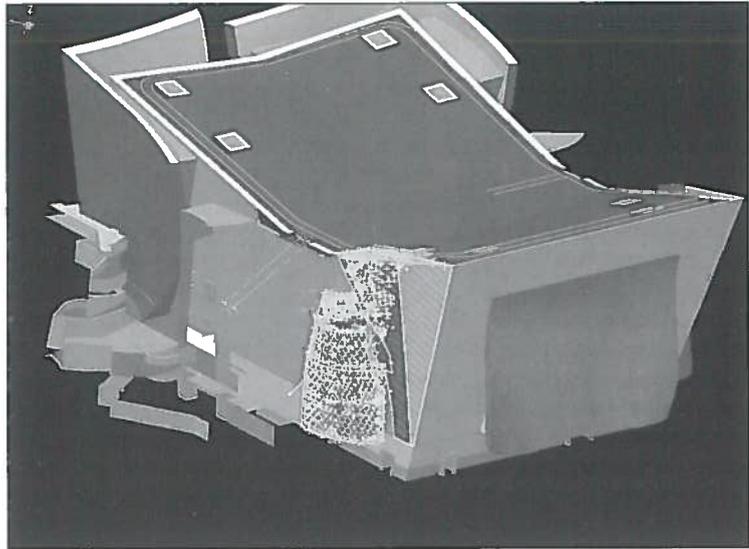
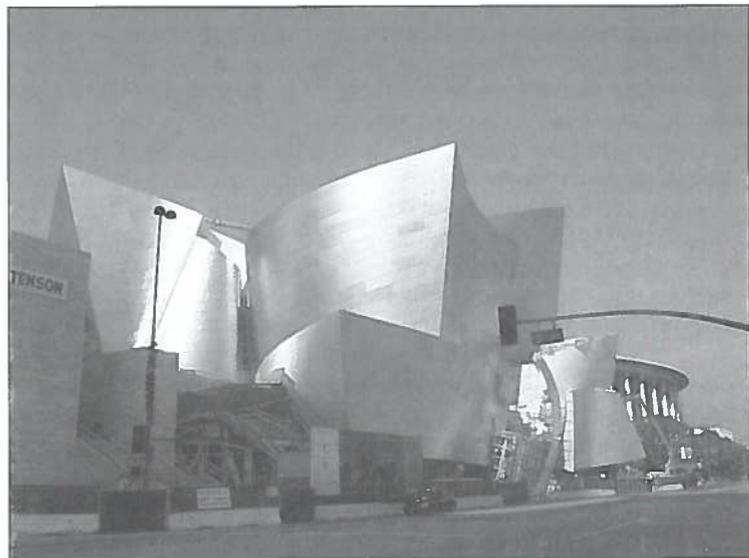


Fig. 5: Gehry Associates, Walt Disney Concert Hall, Los Angeles, 2003. Modello tridimensionale realizzato con il software Catia.



Il momento cruciale è rappresentato dall'unione tra proprietà dei materiali e tecnologie costruttive, dove le indicazioni del progettista devono coniugarsi con le possibilità e i limiti della produzione industriale. Per la Disney Concert Hall di Los Angeles, per esempio, l'individuazione del fornitore è particolarmente difficoltosa a causa della necessità di integrare richieste del progettista e possibilità produttive.

La Permasteelisa Usa, consultata per il lavoro, ha accettato di portare avanti il progetto e di definire la struttura e il rivestimento, imponendo tuttavia un preciso vincolo: le lastre di acciaio non sarebbero mai state superfici a doppia curvatura, ma sempre superfici rullate. La rullatura presuppone che un asse rimanga sempre fisso e l'altro invece possa essere libero di variare.

Lo studio Gehry ha accettato questo vincolo dettato dalla produzione industriale, e ha conformato le superfici tenendo conto dell'indicazione tecnica, lasciando al produttore la risoluzione tecnologica degli agganci, del sistema di montaggio e delle chiusure dei rivestimenti. Sono stati necessari cinquanta modelli in 3D per definire le differenti parti dell'edificio (figg.5-6).

Fig. 6: Gehry Associates, Walt Disney Concert Hall, Los Angeles, 2003. Le superfici sono state realizzate coniugando desideri del progettista e vincoli della produzione industriale.

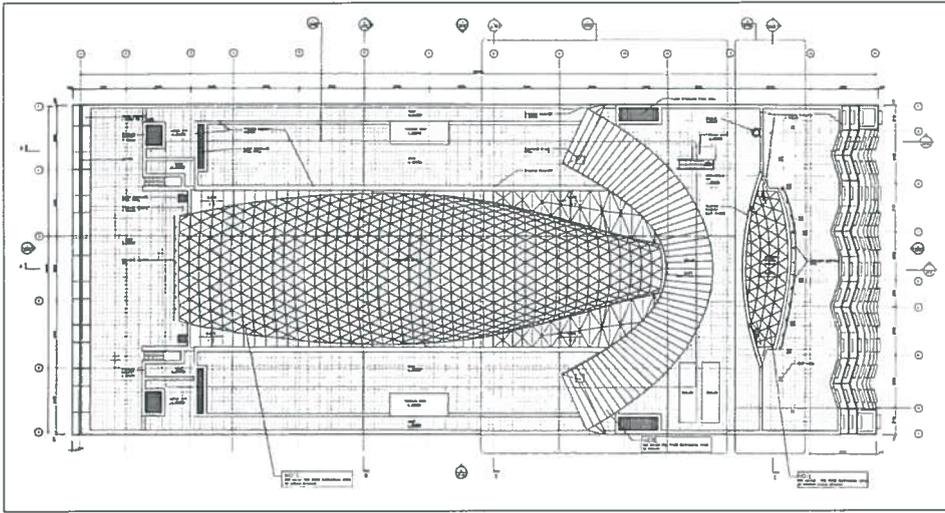


Fig. 7: Pianta della copertura. La forma sinuosa è stata realizzata con una struttura in acciaio, tamponata con vetri in forma triangolare.

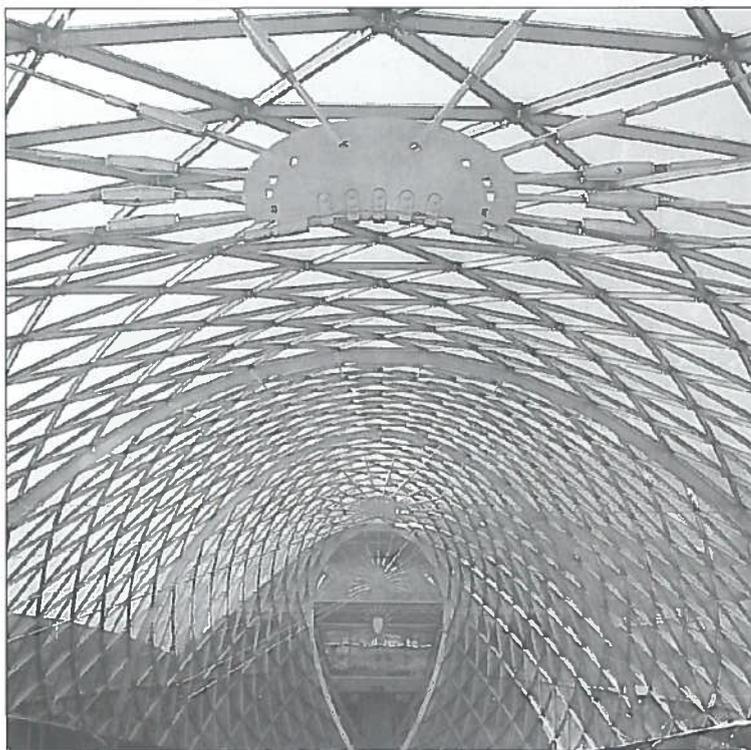


Fig. 8: Vista di dettaglio dell'arco di irrigidimento della struttura.

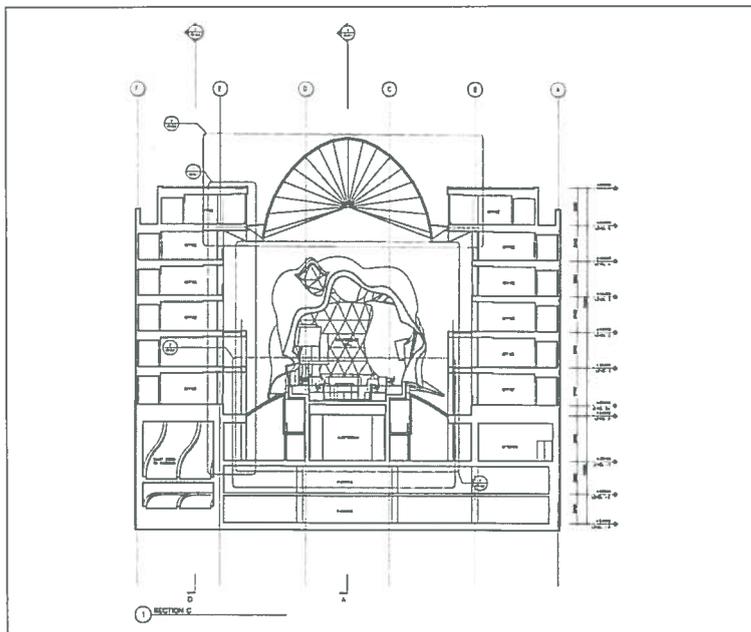


Fig. 9: Sezione trasversale dell'arco. Si nota il raggio non regolare della curvatura e i tiranti di irrigidimento.

### DG BANK: ACCIAIO E VETRO PER UNA COPERTURA CURVA

L'edificio realizzato per la DG Bank da Frank Gehry a Berlino nel 2000, si trova in una zona molto centrale della città e contiene diverse funzioni: uffici, residenze e spazi pubblici di rappresentanza.

Il rigore nel trattamento dei prospetti si contrappone all'imponente copertura vetrata dell'atrio interno: una superficie curva che si estende per 61x21 m, con una forma sinuosa completamente realizzata in vetro e acciaio.

Esso ha presentato difficoltà tecniche per la forma complessa, caratterizzata dal massiccio utilizzo del vetro in forme triangolari, che ha presupposto un accurato studio dei nodi di interconnessione della struttura in acciaio (fig. 7). L'atrio è stato realizzato con 1500 lastre di vetro intelaiate da una struttura in acciaio inox realizzata con profili a T fissati attraverso imbullonatura e saldatura. La struttura è irrigidita tramite cavi di acciaio posizionati a raggiera su alcune campate ad assi intervallati: 4, 6, 8, 10. I cavi servono per dare rigidità alla struttura, che altrimenti potrebbe muoversi lateralmente (figg. 8-9).

Lo studio della struttura, e quindi della distribuzione degli sforzi, evidenziava tuttavia punti molto sollecitati e punti quasi scarichi. È stato quindi necessario studiare la composizione dell'acciaio che sarebbe stato utilizzato per i nodi e i profili che compongono la struttura in modo differenziato. L'ottimizzazione statica è stata raggiunta attraverso l'impiego di tre acciai differenti, dove ogni tipo di materiale è utilizzato in relazione allo sforzo a cui deve resistere. In particolare le tipologie di acciaio sono le seguenti secondo la nuova normativa europea EN 10088-1 e EN 10269: 1.4301-S235, 1.4031-S355 e due tipi di AISI 304 con 1.4462 (conosciuto come 2205 acciaio inossidabile doppio). Quest'ultima lega è caratterizzata da ottime proprietà strutturali, essa viene comunemente utilizzata nel settore navale, tuttavia presenta un costo elevato, quasi doppio rispetto a un normale acciaio da carpenteria. La lega tra l'acciaio AISI 304 e l'acciaio 1.4462 ha permesso di

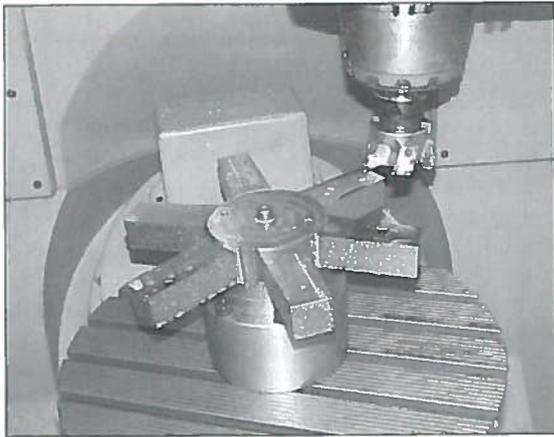


Fig. 10: La macchina da fresa a cinque assi ha prodotto 826 nodi diversi, grazie alle tecnologie a controllo numerico.

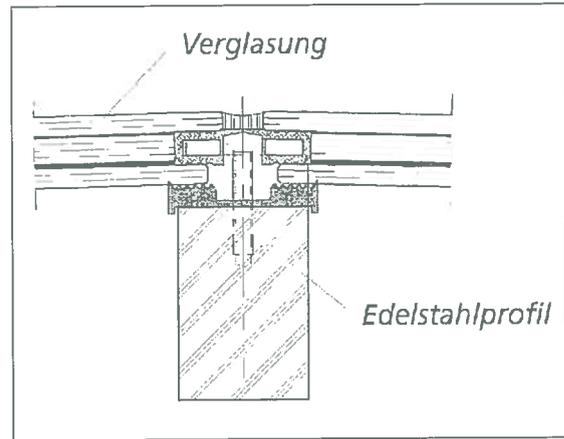


Fig. 11: Sezione trasversale del profilo e del fissaggio dei vetri.

ottenere un materiale con elevate prestazioni a un costo contenuto.

Sono stati realizzati 2000 profili e 826 nodi suddivisi per tipologie e tagliati da barre in acciaio da 70 mm. Il taglio è avvenuto tramite macchine a getto d'acqua, a cui sono stati fatti seguire due passaggi di fresatura per ottimizzare la forma dei pezzi (fig. 10). Le sezioni delle barre tagliate sono di quattro tipologie diverse; rimane costante la sezione di appoggio da 60 mm e varia la sezione verticale rispettivamente da 40, 50, 60 e 70 mm. I fissaggi sono stati realizzati attraverso diversi tipi di viti a bulloni (con fori da M12, M14, M16), e in alcuni casi, per saldatura (fig. 11).

I vetri, costituiti da un pacchetto stratificato composto da vetri temperati chiari di forma triangolare, sono stati fissati a pressione interponendo una guarnizione e ultimando la chiusura con capsule. A causa della forma triangolare dei vetri i nodi in acciaio hanno una conformazione a stella, dovendo comprendere sei bracci di connessione ai profili (fig. 12).

Data la complessità dell'atrio lo studio della struttura si è basato sul supporto informatico, in particolare per la produzione dei nodi di acciaio. Il software per lo sviluppo del sistema è stato inizialmente Autocad con i suoi applicativi 3D, mentre per lo sviluppo delle parti complesse è stato utilizzato Catia. Al momento del progetto la Gartner non disponeva ancora di tecnici esperti in Catia, non avendo ancora lavorato con Gehry Associates, e ha dovuto quindi avvalersi di una consulenza esterna, la Smith & Sheppard, per soddisfare le esigenze del progettista (fig. 13).

L'utilizzo del software Catia, con interfaccia CAM per la produzione, ha permesso di trasmettere direttamente alle macchine a controllo numerico i dati per il taglio dei pezzi, realizzati attraverso una macchina sofisticata con 5 assi di fresatura. Una volta fresati, i nodi sono stati di seguito preparati per l'assemblaggio (fig. 14).

Un problema rilevante in questo progetto è stato il montaggio della struttura, che è stato attuato attraverso un pre-assemblaggio in fabbrica, sino a realizzare elementi di dimensioni trasportabili, poi posizionati in cantiere (figg. 15-17). Sugli spicchi sono state applicate delle dime prima di inserire i vetri, per controllare che a seguito dell'assemblaggio gli spazi triangolari non si fossero deformati, cosa che avrebbe compromesso il montaggio delle superfici trasparenti.

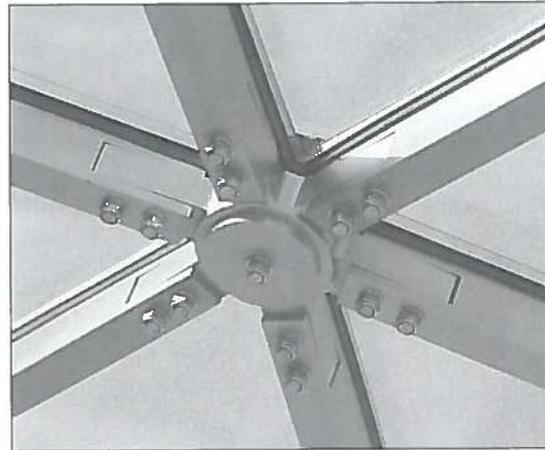


Fig. 12: Vista del nodo a sei bracci, imbullonato e saldato.

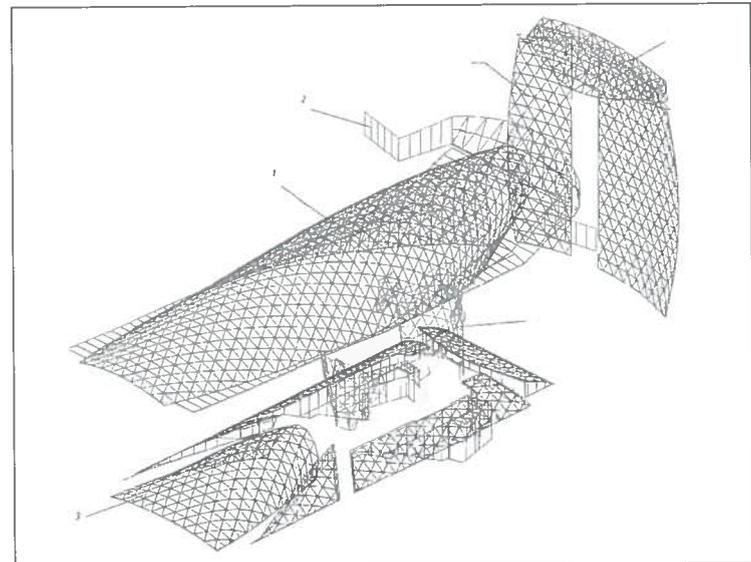


Fig. 13: Modello delle parti dell'atrio realizzate attraverso il software Catia.

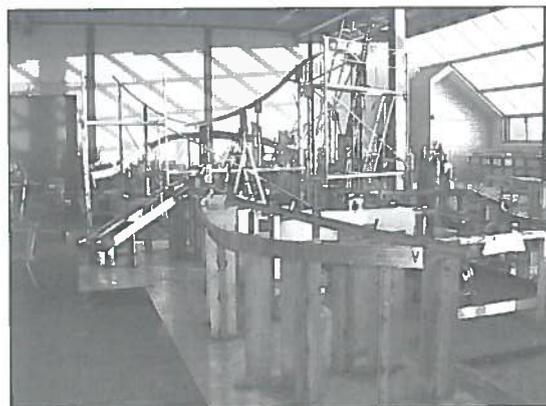


Fig. 14: Montaggio dei nodi in officina. Grazie a delle dime la struttura è stata preassemblata in stabilimento.

Fig. 15: Montaggio della struttura. Essa è stata fissata in modo temporaneo e realizzata in parti con dimensioni trasportabili.



Fig. 16: Le parti più delicate da montare sono state quelle curve perimetrali, che dovevano essere predisposte per l'aggancio al tetto piano.

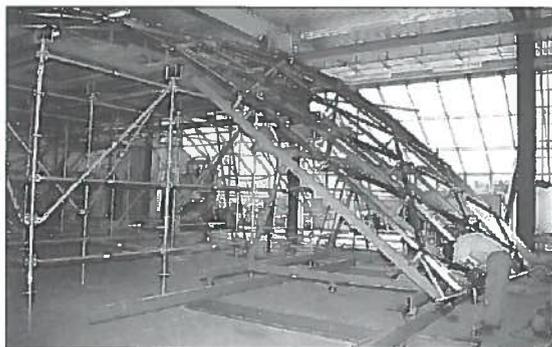
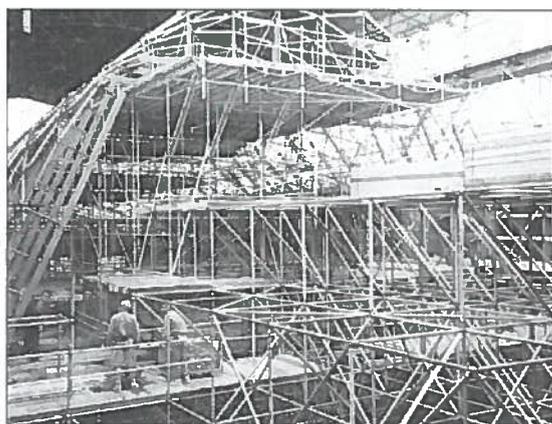


Fig. 17: Vista del montaggio in cantiere. Le tolleranze sono state dell'ordine del millimetro.



Sono stati necessariamente preparati dei fissaggi provvisori, sostituiti in cantiere da fissaggi definitivi, mantenendo una tolleranza di montaggio di 0.1 cm. In questo modo è stato possibile completare l'assemblaggio dell'atrio in soli quattro mesi. In questo progetto sono state molte le interazioni oltre che tra progettista e produttore, anche tra produttore e subfornitori che si sono messi "in rete" nella ricerca della migliore configurazione: è stato creato una specie di "virtual team" tra progettista, Gehry Associates, produttore, Gartner, e specialisti nell'ambito delle tecnologie dell'acciaio.

*Il materiale iconografico e la documentazione tecnica sono stati cortesemente messi a disposizione dalla Gartner Permasteelisa Group.*

#### SCHEDA DEL PROGETTO

Committente:	Pariser Platz 3 Grundbesitzgesellschaft mbH & Co., Berlino
Progettista:	Frank O. Gehry & Associates Inc., Santa Monica, California
Consulenti:	Müller-Altvaetter, Bauunternehmung GmbH & Co, Stoccarda e Planungs AG für Bauwesen Neufert Mittmann Graf Partner, Köln
Progetto strutturale:	Schlaich Bergermann + Partner, Stoccarda
Progetto facciate:	Gartner Permasteelisa Group, project manager Sigmar Linder

#### NUOVE FRONTIERE

Le prospettive di sviluppo, nella realizzazione di forme complesse, sono in continua evoluzione.

Prima di tutto, nell'evoluzione dei sistemi software necessari alla realizzazione di queste forme. Se nei primi progetti il sistema software è stato utilizzato per le sue capacità di modellazione e di calcolo, oggi il suo uso si sta evolvendo verso un approccio globale all'interno della costruzione del progetto. Esso infatti è utilizzato con una duplice funzione: da un lato come modellatore 3D dalle potenzialità esponenziali per l'architettura, dall'altro come strumento contrattuale. I modelli realizzati all'interno dello studio Gehry vengono infatti inviati al main contractor e ai diversi fornitori, i quali, presa visione del modello (che in una prima fase consiste in volumi e strutture indicative) possono rifinire l'offerta e al contempo proporre le soluzioni tecniche per le strutture indicate.

Il 3D diventa quindi parte fondante dei rapporti contrattuali. Ogni operatore estrae le necessarie informazioni al suo specifico settore, potendo tuttavia conoscere e avvalersi delle informazioni di altre figure coinvolte nel processo, sfruttando a pieno l'interfaccia con le macchine a controllo numerico.

Oggi d'altra parte proprio grazie a queste macchine i produttori industriali possono realizzare componenti e semilavorati "mass customized": nel caso DG Bank è stato infatti possibile produrre 826 nodi diversi senza incrementare il costo di ogni personalizzazione. L'integrazione tra software permette anche di sfruttare a pieno le caratteristiche del materiale, acciaio in questo caso, che è stato studiato in relazione ai calcoli strutturali effettuati attraverso sistemi software, e verificato direttamente, creando prototipi attraverso le macchine a controllo numerico.

Infine è fondamentale che a un'accurata fase di progettazione e produzione si affianchino tecniche di assemblaggio in cantiere altrettanto rigorose. Questo nodo cruciale può infatti compromettere la buona riuscita di un'opera architettonica, date spesso le tolleranze molto basse di sistemi costruttivi evoluti (da 2 mm a 1-2 cm a seconda del materiale). Diventa a questo punto difficile scindere produttore e installatore, data spesso la mancanza di manodopera specializzata in cantiere.

L'atrio della banca è infatti stato gestito completamente dalla Gartner Permasteelisa Group che ha svolto il disegno esecutivo, la produzione e l'installazione della struttura, per evitare che un montaggio poco accurato potesse ripercuotersi sulla staticità o sulla tenuta agli agenti atmosferici della copertura.

In conclusione le possibilità espressive del progetto contemporaneo trovano oggi, sul versante delle soluzioni tecnologiche, risposte sempre più articolate e specifiche, in un panorama produttivo che cerca di rispondere in modo appropriato e spesso innovativo alle richieste di forme complesse, realizzate attraverso acciaio o altri materiali.

#### Dr. arch. Ingrid Paoletti

*Dipartimento e Tecnologie dell'Ambiente Costruito (BEST, Building Environment Science & Technology) del Politecnico di Milano, Laboratorio di Sperimentazione dell'Architettura 2*