

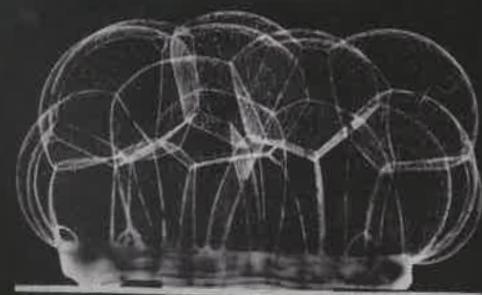
# BUBBLES & SPONGES: COME IN NATURA

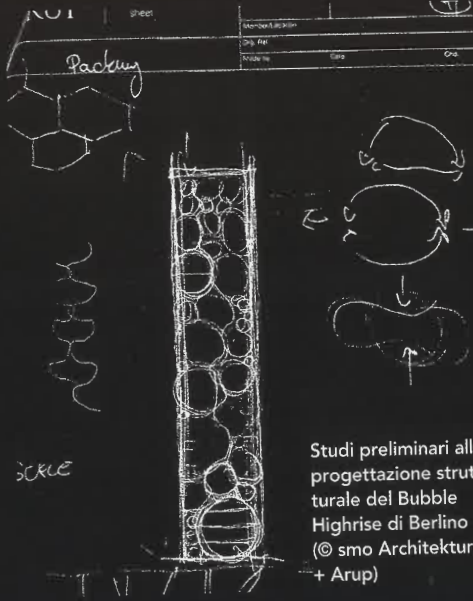
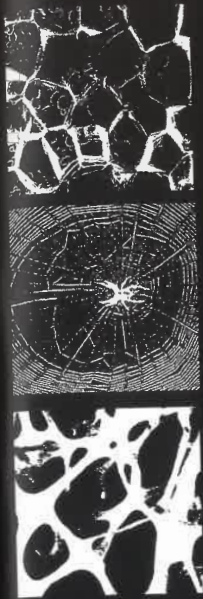
**Geometrie complesse, ad alta efficienza, parametrizzate e ridotte a componenti edili. Come si costruisce l'evanescenza della schiuma, la leggerezza delle bolle d'acqua. Opere internazionali eccellenti e un esempio italiano**

Giuliana Iannaccone

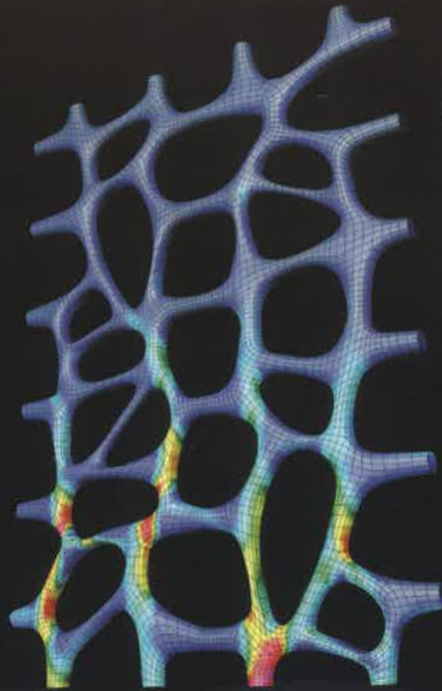
**N**el corso della storia dell'architettura, molti progettisti hanno subito il fascino delle straordinarie strutture presenti in natura, traendone ispirazione per la realizzazione delle loro opere. Forme e geometrie, anche complesse, desunte dagli elementi naturali, sono state oggetto di studi empirici che hanno poi portato alla realizzazione di modelli strutturali sperimentali da adottare nella progettazione. E, simmetricamente, gli avanzamenti nel campo della ingegneria strutturale hanno permesso di comprendere meglio i processi di formazione delle strutture naturali. Prendere in prestito modelli strutturali dalla natura, non significa soltanto ricercare nuove forme espressive, ma soprattutto individuare geometrie ad alte prestazioni che permettano di ottimizzare l'uso dei materiali. Era il 1961 quando, sulla base di tali presupposti, fu costituito a Berlino il gruppo di ricerca "Biologia ed Edilizia", che trovò poi una sede permanente all'Università di Stoccarda nel 1964 e che, per oltre trent'anni, ha lavorato intensamente sulle costruzioni naturali, sulle membrane e sulle costruzioni a rete.

Un render notturno del WaterCube di Pechino che ne evidenzia la struttura organica (© PTW Architects).





Studi preliminari alla progettazione strutturale del Bubble Highrise di Berlino (© smo Architektur + Arup)



Schema di aggregazione dei moduli base della struttura a schiuma del complesso termale e alberghiero del Parco Levante (© Arturo Montanelli, Ezio Riva + Arup Italia)



Sono gli anni delle sperimentazioni di Frei Otto, che hanno segnato la nascita di una nuova comprensione della natura ed hanno aperto il campo a sperimentazioni progettuali ancora oggi non completamente esplorate. La ricerca di Frei Otto verteva sullo studio dei principi costruttivi che possono essere ricavati dalla natura per costruire in modo appropriato al contesto ambientale. Come mai dopo tutti questi anni si è ritornati a lavorare su forme e geometrie complesse derivate dalla natura? Ne abbiamo recentemente discusso con Ambrogio Angotzi, ingegnere di Arup Italia, consulente per le strutture di molte recenti ed importanti realizzazioni in Italia, tra cui il PalaHockey di Torino. Sicuramente, una delle ragioni deve essere ricercata nello sviluppo delle tecnologie computerizzate che hanno modificato radicalmente il modo di gestire il processo progettuale. Con il computer si riescono oggi a dominare, tramite discretizzazione e parametrizzazione, geometrie altamente complesse, dal progetto alla realizzazione dei componenti edili: nel processo costruttivo finale, infatti, i dati generati possono essere utilizzati per gestire macchine di produzione a controllo computerizzato. E' stata in questo modo resa possibile, ad esempio, la realizzazione di uno dei progetti più affascinanti degli ultimi anni: il centro natatorio nazionale realizzato per le Olimpiadi di Pechino, noto come WaterCube. La struttura del WaterCube è basata su un principio costruttivo unico derivato dalla struttura delle bolle di acqua nello stato di aggregazione riscontrabile nella schiuma. Dietro un'apparenza completamente casuale si cela una rigorosa geometria ad alta efficienza che si riscontra in molti sistemi naturali come cristalli, cellule e strutture molecolari. Il progetto strutturale deriva dalla fisica teorica: la struttura portante in acciaio è basata su quella che è nota come struttura di Weaire-Phelan che descrive il modo più efficiente di dividere lo spazio tridimensionale con cellule di eguale volume e con la minima dimensione superficiale, che è anche lo stesso modo con cui si orga-

nizzano le cellule organiche e con cui le bolle di sapone si dispongono nella schiuma. Già alla fine del diciannovesimo secolo Lord Kelvin aveva elaborato un modello, proponendo una struttura molto regolare caratterizzata da una forma di 14 lati (chiamata tetrakaidecaedro), tuttavia visivamente poco soddisfacente. Un secolo più tardi in Irlanda, nel 1993, il professor Denis Weaire e il suo assistente dott. Robert Phelan, mediante l'uso di programmi di calcolo avanzati, riuscirono ad individuare una soluzione fino al 2% più efficace di quella proposta da Kelvin, chiamata in seguito schiuma di Weaire-Phelan. Tale schiuma è costituita per il 75% da cellule con 14 facce uguali (tetrakaidecaedri) e per il 25% da dodecaedri con 12 facce. Fu presto scoperta una caratteristica di questa schiuma: nonostante la sua totale regolarità, se vista da un angolo arbitrario, essa appare completamente casuale ed organica. Il percorso seguito da Arup per definire la forma finale del WaterCube ha avuto inizio con la visualizzazione di un infinito raggruppamento di schiuma, ritagliando da esso un blocco avente dimensioni 177m x 177m x 31 m di altezza e rimuovendo i tre principali volumi interni. Laddove le celle della struttura di Weaire-Phelan appartengono a solo due tipologie - con 14 e 12 lati - la soluzione ingegneristica proposta per rendere il Water Cube una realtà ne ha richiesto oltre un centinaio differenti. Comunque, nonostante la loro apparente casualità, le bolle sempre si toccano l'un l'altra con una geometria regolare ed è questo semplice fatto che rende il progetto fattibile. Il WaterCube è il risultato reale di una vera integrazione tra architettura, struttura, progettazione sostenibile ed impianti. La sua innovativa struttura presa in prestito dalla natura, fa un uso efficiente del materiale e può essere trasferita ad altri progetti indipendentemente dalla scala. E' il caso, ad esempio, del progetto non realizzato di un grattacielo a Berlino e del Padiglione Moët&Chandon di Melbourne. Le strutture non sono state esplicitamente progettate, ma sono piuttosto il risultato della più efficiente suddivisione dello spazio tridimensionale che si trova in natura, come nelle cellule organiche, i cristalli minerali e la formazione naturale delle bolle di sapone. Se all'estero, e soprattutto nei paesi emergenti, non esistono difficoltà realizzative per strutture complesse, in quanto il prestigio derivante da molti progetti di architettura garantisce più ampi margini di operatività economica, in Italia, invece, dove gli appalti si aggiudicano con grossi sconti, le imprese, per rientrare nei costi, chiedono continue semplificazioni delle

## Progettazioni alternative

Abbiamo più volte segnalato in Modulo involucri con forte connotazione innovativa e pubblicato articoli di cultura tecnica sugli aspetti tecnologici e progettuali. Per chi volesse approfondire:

### Tra progetto e costruzione

Fabio Figlia Modulo n. 324 settembre 2006

### Facciate a membrana

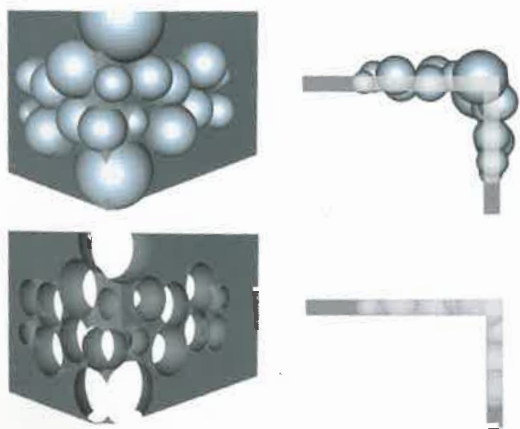
Jacopo Gaspari Modulo n. 315 ottobre 2005

### Nicholas Grimshaw

Marco Imperadori Modulo n. 374 maggio 2002

### Tensostrutture a membrana

G. Iannaccone, D. Marino, C. de Freitas Modulo n. 275 ottobre 2001



Modellazione tridimensionale del sistema strutturale del Bubble Highrise (© smo Architektur + Arup)



**Genesi della forma della struttura del complesso termale e alberghiero del Parco Levante**  
 (© Arturo Montanelli, Ezio Riva + Arup Italia)

soluzioni progettuali proposte, soprattutto se non convenzionali, che risultano in realtà impossibili da eseguire senza compromettere il tutto. Arup Italia ha recentemente sperimentato in Italia la progettazione strutturale ispirata alla natura, partecipando al concorso internazionale per il Complesso turistico del Parco Levante a Cesenatico. La struttura della Spa e dell'hotel, che costituiscono i principali edifici di tale complesso, è stata ispirata dalle spugne marine. La geometria della pelle dell'edificio è stata ottenuta proiettando sul piano bidimensionale la struttura delle spugne, ricon-

ducendo perciò ad una struttura molecolare bidimensionale una struttura tridimensionale più complessa. Il progetto della struttura, che connota fortemente il progetto, è frutto della integrazione multidisciplinare tra il team di progettisti e i consulenti strutturali ed impiantistici. L'idea di casualità apparente nasconde in realtà un principio aggregativo semplice dove tre moduli base (che si raddoppiano considerando i loro omologhi speculari) sono composti secondo schemi ripetitivi che danno luogo ad una struttura molto organica. I moduli funzionano come strutture Vierendeel con connessioni a incastro evitando così l'uso di controventi. Il progetto, classificatosi al secondo posto, non è stato realizzato, ma ha dato avvio a nuovi campi di esplorazione strutturale, tra cui il progetto presentato al concorso per il nuovo Padiglione italiano all'Expo di Shanghai 2010, recentemente conclusosi.

Giuliana Iannaccone, architetto, PhD, ricercatore di Architettura Tecnica, Politecnico di Milano - Dipartimento BEST.

## Visionary Architecture

### Intervista a Chris Bosse, direttore del Laboratory for Visionary Architecture (LAVA) - Asia Pacifico

Chris Bosse è professore aggiunto e ricercatore in Innovazione alla University of Technology di Sidney e tiene conferenze in tutto il mondo. Formatosi in Germania e in Svizzera, ha lavorato con diversi importanti architetti europei prima di trasferirsi a Sidney. Per alcuni anni è stato Associato dello studio PTW Architects di Sidney, portando a termine molti progetti in Cina, Vietnam, Medio Oriente e Giappone, compreso il WaterCube di Pechino. Il lavoro di Chris sul WaterCube ha ricevuto il prestigioso Atmosphere Award alla 9a Biennale di Venezia e Chris ha recentemente ricevuto un riconoscimento dal RIBA di Londra come architetto emergente sulla scena mondiale.

**Modulo:** A partire dagli anni Sessanta Frei Otto e il suo gruppo di ricerca ha condotto numerosi studi sulle relazioni tra struttura e forma in natura e in architettura. Ma il potenziale di questi studi non è stato ancora completamente esplorato. Negli ultimi anni il tuo lavoro sembra aver dato nuova linfa alle teorie di Frei Otto. Qual è la tua posizione in questo ambito e quali sono i tuoi riferimenti culturali ed architettonici?

**C. Bosse:** Quando studiavo all'Università di Stoccarda, negli anni Novanta, esistevano due filoni di ricerca. In primo luogo, Frei Otto stava ricercando da molti anni nel suo Istituto per le

Strutture leggere le strutture della natura. In secondo luogo, arrivò in Germania la rivoluzione digitale e noi stavamo investigando il potenziale degli spazi digitali e la simulazione di crescita nel computer. Oggi io combino queste due idee nel mio lavoro. Il lavoro di Frei Otto è oggi per me più attuale che mai con nuove possibilità offerte dai computer per governare la complessità.

**Modulo:** Quali sono i materiali che ritieni più adatti alla esplorazione di nuove forme in architettura?

**C. Bosse:** Mi piace l'idea di una unità tra struttura, spazio ed espressione architettonica. Perciò ogni materiale che esprime le forze al suo interno è adatto a questo. Le membrane si tendono secondo il flusso delle forze sulle loro superfici, così che assumono naturalmente belle forme organiche. I miei lavori sui padiglioni sono esempi di ciò. Il cemento, se usato nel modo giusto, esprime anche la struttura. Laddove abbiamo usato acciaio, nella struttura del WaterCube, l'acciaio esprime le connessioni geometriche delle bolle di sapone.

**Modulo:** I "bubble-projects" si presentano come architetture molto complesse. Quali sono le specifiche competenze professionali richieste sia in fase di progetto che di costruzione? E come si caratterizza il processo progettuale?

**C. Bosse:** Le competenze professionali si sono sempre sviluppate nel corso dei secoli. Il processo progettuale è una combinazione di ricerca in natura e ricerca nella scienza dei computer; mol-



te persone stanno svolgendo ricerca in tale ambito, ma soltanto in pochissimi hanno costruito.

**Modulo:** Come superare le difficoltà legate a strutture così insolite?

**C. Bosse:** La maggiore difficoltà è la paura di essere considerato differente dal cliente. Ognuno vuole essere cauto e avere qualcosa che sa che funzioni. Comunque la novità viene fuori dalla sperimentazione e la ricompensa nella unicità. Naturalmente non facciamo cose se non funzionano, ma ci spingiamo sempre al confine.

**Modulo:** Quali sono i tuoi progetti per il futuro?

**C. Bosse:** Ho fondato uno studio di architettura in Germania, Dubai e Sidney con il mio socio Tobias Wallisser. E' denominato LAVA - Laboratory for Visionary Architecture. Lo studio cerca continuamente di definire nuovi confini nella creazione di visioni architettoniche e spazi urbani.

# WATERCUBE – NATIONAL SWIMMING CENTRE

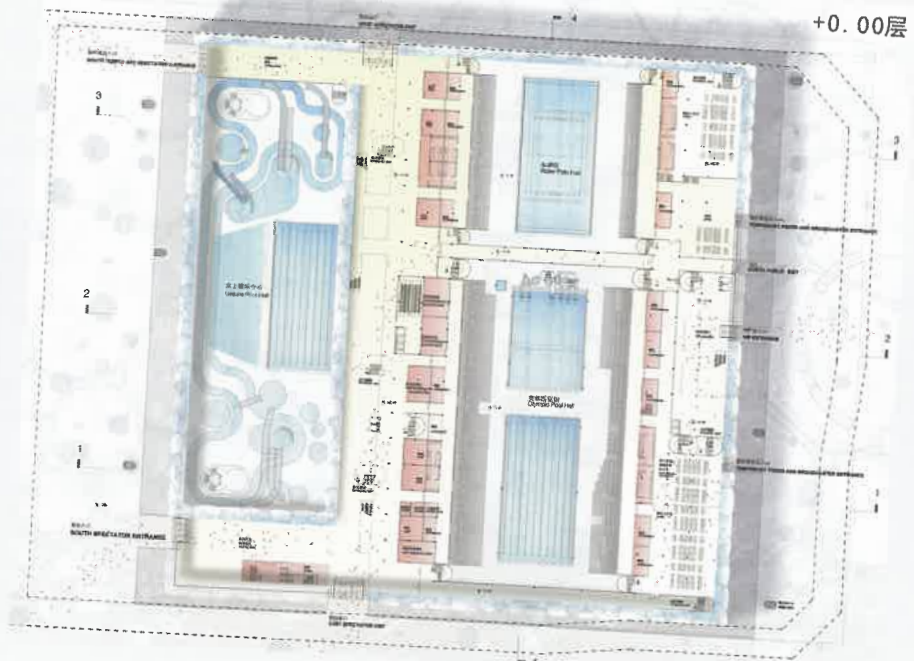
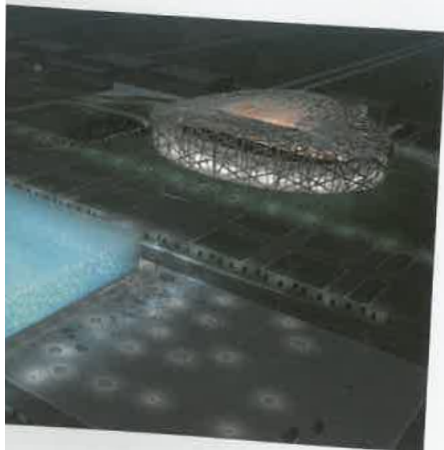
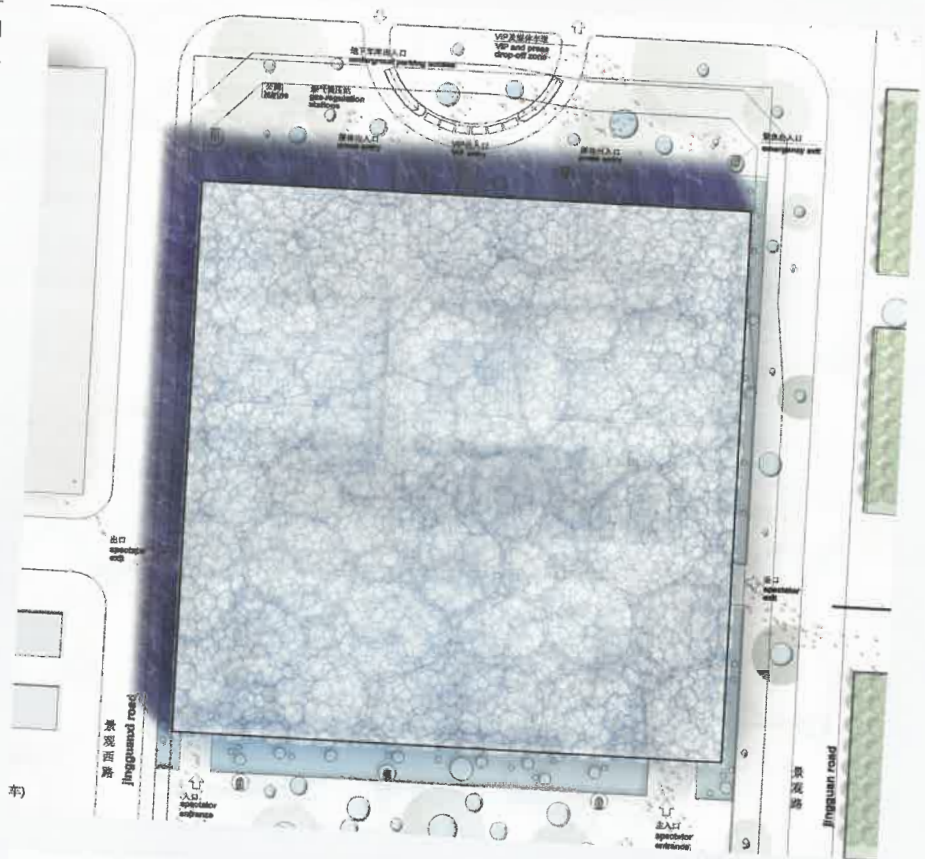
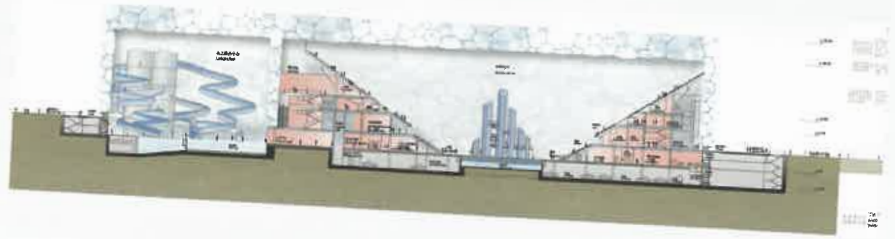
## 22.000 PICCOLE TRAVI DI ACCIAIO

Realizzato grazie ad i finanziamenti della comunità di cinesi all'estero, questo edificio ospita un centro divertimenti, un centro benessere e fitness, una pista di pattinaggio su ghiaccio, oltre ad attività commerciali che possano assicurare la sostenibilità finanziaria anche dopo la chiusura dei Giochi Olimpici. Inoltre, al fine di garantire la completa funzionalità dell'edificio sia prima che dopo le Olimpiadi, fino alla sua destinazione finale, il progetto è stato informato ai principi di adattabilità e flessibilità. Il WaterCube associa l'elemento acqua, principio generatore concettuale e strutturale, alla geometria del quadrato, forma primitiva della casa nella tradizione e mitologia cinese. Situato accanto allo stadio di Herzog & de Meuron, stabilisce con esso una contrapposizione Yin e Yang, fuoco ed acqua, con tutte le relative tensioni ed attrazioni.

Uno dei primi problemi affrontati per realizzare un edificio così ambizioso è stato quello di progettare una struttura costituita da 22.000 travi, dove ogni elemento doveva risultare quanto più piccolo possibile per ridurre al minimo il peso di acciaio. Infatti, nelle strutture di copertura a grande campata, il peso proprio è un elemento di grande criticità, laddove la copertura impegna gran parte del proprio sforzo semplicemente per reggere se stessa.

Allo stesso tempo, la struttura doveva essere in grado di rispondere a tutti i requisiti sismici previsti a Pechino. La questione fondamentale era se progettare la copertura con sezioni compatte, che si comportassero plasticamente sotto carico sismico, o se usare sezioni snelle con irrigidimenti, per sfruttarne il comportamento elastico sotto carico. Per determinare quale sistema utilizzare, per la prima volta al mondo è stata compiuta una analisi della deformazione anelastica di compressione sulla sezione trasversale utilizzando una metodologia unica sviluppata da Arup.

La soluzione adottata prevede sezioni compatte, assumendo come vantaggiosa la duttilità plastica sotto carico sismico.



## IL PROGETTO

**Luogo:** Beijing Olympic Green, Pechino, Repubblica Popolare Cinese

**Gruppo di Progettazione:** PTW Architects in associazione con CSCEC (China State Construction and Engineering Company) e ARUP

**Cliente:** People's Government of Beijing Municipality, Beijing State-owned Assets Management Co., Ltd



Arup ha sviluppato un software ad hoc che ha eseguito l'analisi strutturale, l'ottimizzazione degli elementi ed il progetto. Il programma ha analizzato 22.000 variabili di sezione di travi e 57 milioni di vincoli progettuali. Durante la fase di ottimizzazione, ogni membro di acciaio è stato testato sotto 190 differenti condizioni di carico. Il lavoro è consistito nel testare la struttura in acciaio in base a possibili scenari, cercando di renderla più forte e, allo stesso tempo, più leggera possibile. Per garantire che tutti gli elementi del modello di analisi fossero importati correttamente nel modello 3D CAD, Arup ha creato uno specifico programma di conversione. Il programma ha modellato l'intera struttura in soli 25 minuti (laddove normalmente sono necessari mesi) e da esso è stato possibile estrarre tutti i prospetti, le sezioni ed i dettagli necessari per la documentazione grafica finale. A differenza di molte altre megastrutture per edifici sportivi, con grandi elementi portanti e un sistema di involucro indipendente, qui spazio architettonico, struttura e facciata sono inti-

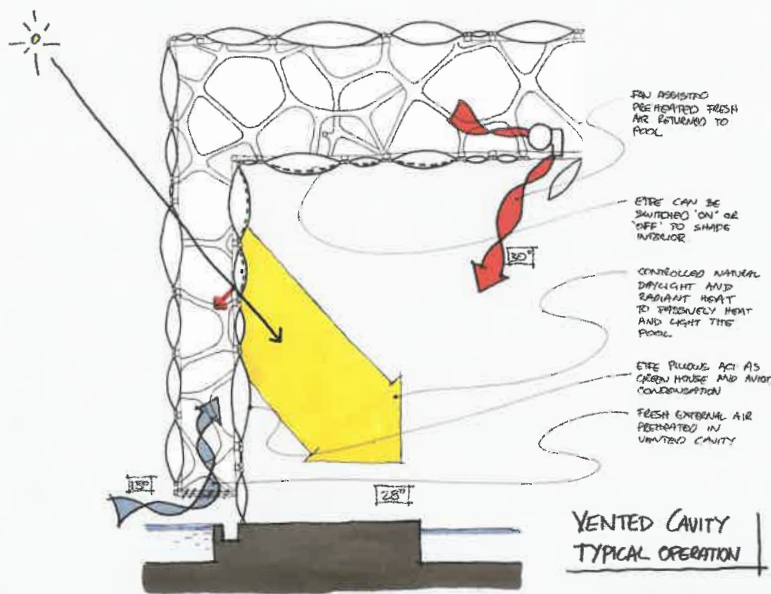
mamente legati in un unico elemento. Nel Water Cube pareti, copertura, elementi strutturali ed estetica si fondono: la struttura risultante è una forma continua.

Il rivestimento con cuscini pneumatici di ETFE (l'edificio finito ne contiene 4000 tra copertura e pareti interne ed esterne) consente al WaterCube di funzionare come una gigantesca serra. L'involucro cattura l'energia solare per il riscaldamento degli ambienti e per il riscaldamento dell'acqua e per consentire elevati livelli di illuminazione naturale all'interno dell'edificio. Per ridurre ulteriormente i consumi energetici, il progetto ha incorporato molti sistemi di recupero dell'energia, come il recupero di calore dall'aria calda esausta per pre-riscal-

dare l'aria di ricambio proveniente dall'esterno.

Un altro obiettivo fondamentale sotteso alla filosofia di progetto del WaterCube è stato quello del risparmio idrico. A Pechino, una combinazione di scarsa disponibilità di acqua, alti livelli di utilizzazione, inquinamento, evapo-traspirazione, incerti fattori climatici, hanno spinto alla adozione di un impianto idrico che massimizzasse il riuso e le opportunità di riciclo.

Il Water Cube per i Giochi Olimpici di Pechino è considerato una pietra miliare dell'architettura nel campo della progettazione e costruzione computazionale e si prevede che possa rappresentare uno dei più importanti edifici del 21° secolo.



Melbourne, Australia - 2005

## PADIGLIONE MOËT & CHANDON

### INVOLUCRO IN LYCRA

Il Padiglione Moët & Chandon è stato progettato in occasione della Melbourne Cup 2005, la più grande corsa di cavalli con cadenza annuale in Australia. Pur apparendo solida, la struttura è leggera e flessibile e crea spazi molto insoliti che prendono vita con giochi di proiezioni e luci. Per ottenere ciò il team di progetto ha usato le più recenti tecnologie digitali, dalla ideazione alla realizzazione.

Il progetto rinuncia alla applicazione di una struttura in senso tradizionale: lo spazio risulta, invece, riempito da una leggera scultura tridimensionale, una struttura soltanto basata sulla tensione di superficie minima, liberamente tesa tra le pareti, il soffitto ed il pavimento. La membrana leggera in Lycra segue, infatti, le linee e la tensione superficiale delle bolle di sapone, trasferite in un organico spazio tridimensionale. L'utilizzo di un materiale leggero e flessibile che asseconda le forze di gravità, tensione e crescita, permette di riprendere i processi di formazione simili a quelli della tela del ragno o della scogliere coralline.

La membrana esterna del padiglione, una classica tenda per manifestazioni all'aperto, è costituita da un telo separato in PVC perforato con un disegno di bolle ottenuto mediante taglio digitale. Taiyo Membrane Corporation ha ingegnerizzato e installato la membrana interna tesa in tessuto nylon di Lycra, prodotta direttamente dal modello al computer.

Il soffitto perforato filtra la luce naturale e la direziona verso l'interno attraverso il tessuto di Lycra, creando profondità e traslucenza dello spazio. I livelli di luminosità cambiano costantemente durante il giorno con il movimento delle nuvole ed il cambiamento delle condizioni atmosferiche.

La tenda, che pesa appena 35 kg, può essere

piegata per essere riposta in una normale borsa sportiva. Il padiglione 10x10 m può essere assemblato in meno di un'ora ed è completamente riutilizzabile dopo lo smontaggio.

Il progetto percorre una nuova modalità di flusso di lavoro digitale, che rende possibile la generazione dello spazio a partire da un materiale leggero in un ridottissimo intervallo di tempo. Il modello elaborato al computer, basato sulla simulazione delle complesse

#### IL PROGETTO

Luogo:	Flemington Racecourse, Melbourne, Australia
Progettisti:	PTW Architects
Cliente:	Moët & Chandon
Data:	2005

strutture dei sistemi evolutivi naturali, viene trasferito direttamente ad un software per il taglio di vele nautiche. Lasciando parzialmente penetrare la luce del sole attraverso la membrana, il padiglione si trasforma in una esperienza effimera e surreale.



© PTW Architects



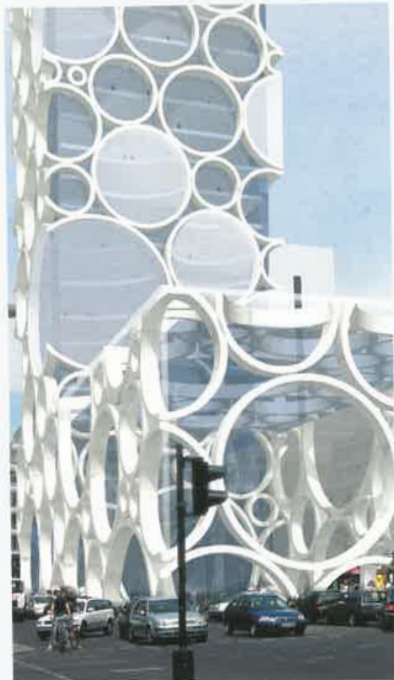
© PTW Architects

Berlino, Germania - 2002

## BUBBLE-HIGHRISE UN GRATTACIELO DI BOLLE

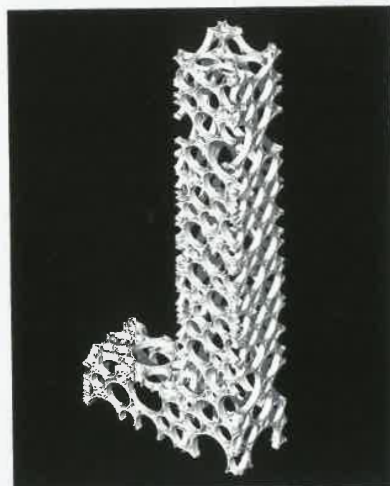
Il grattacielo di bolle era stato progettato per occupare un lotto nel pieno centro di Berlino, lungo il monumentale viale Unter den Linden. La novità proposta da questo grattacielo, alto circa 180 m, consiste nella esplorazione di una tipologia strutturale non convenzionale per edifici a torre che trae ispirazione dai sistemi naturali come coralli, schiume, scheletri

La struttura, tutta portata verso l'esterno, è stata ottenuta attraverso l'impacchettamento di bolle di differenti dimensioni all'interno di un volume ed il loro successivo taglio in una gabbia strutturale: è stata così definita una zona strutturale fortemente efficiente che libera lo spazio interno dagli elementi verticali portanti, garantendo quindi ampia flessibilità funzionale. All'esterno l'edificio, anziché essere caratterizzato da un costoso sistema di facciata high-tech, che svolge il ruolo di semplice rivestimento, rivela con chiarezza la struttura che lo sorregge e che diventa quindi anche mezzo espressivo dell'architettura. Anche in questo esempio, architettura, involucro e struttura si fondono in un insieme continuo.



### IL PROGETTO

Luogo: Berlino, Germania  
Progettisti: smo Architektur (S. M. Oreyzi, Chris Bosse, Anette Essam) + ARUP London (Charles Walker)  
Cliente: gsp-städtebau, Berlino  
Data: 2002



Cesenatico, Italia - 2002

## COMPLESSO TURISTICO PARCO LEVANTE EFFETTO SPUGNA, CLS CON POLVERE DI MARMO

Il vasto progetto del complesso turistico comprende un albergo, un edificio termale, un villaggio di bungalow, una galleria commerciale, un centro sportivo e parcheggi. L'immagine della spugna, associata al tema dell'acqua che pervade tutto il progetto, costituisce la matrice progettuale che prende forma nell'edificio delle terme e dell'albergo all'interno del complesso turistico. La struttura è stata concepita secondo una matrice organica ricondotta a moduli elementari prefabbricati prodotti in stabilimento e assemblati in opera. Le tre famiglie di pannelli prefabbricati sono realizzate con calcestruzzo additivato gettato in casseri lignei con armature in fibre di vetro. La struttura è organizzata in due layout di fibre: uno ad andamento pressoché verticale lungo il quale il flusso delle forze raggiunge la fondazione, ed uno orizzontale che svolge la duplice funzione di supporto alla finitura vetrata e di redistribuzione degli sforzi. Il calcestruzzo utilizzato è ottenuto con una miscela contenente matrice fine di polvere di marmo, per garantire una superficie chiara quasi bianca, e aggiunta di fibre di vetro per migliorarne le caratteristiche di resistenza

meccanica. La scelta di opportuni aggregati potrà garantire la resistenza alle sostanze presenti in ambiente termale e agli agenti atmosferici. Lo stesso tipo di pannelli viene utilizzato sia per il centro termale che per l'albergo. Anche la copertura è costituita da pannelli prefabbricati a struttura viereendeel assemblati in cantiere e opportunamente collegati con le facciate laterali. Nella Spa i moduli sono disposti su due piani verticali a definire una doppia pelle. Le due facciate sono collegate tra loro attraverso degli elementi di connessione che possono essere realizzati o con braccetti metallici



### IL PROGETTO

Località: Cesenatico (FC), Italia  
Ente banditore del concorso: Parco Levante srl  
Progettisti: Arturo Montanelli, Ezio Riva + Arup Italia

o con elementi prefabbricati cilindrici di cemento. Nel caso dell'albergo i pannelli, pur richiamando la struttura portante dell'edificio termale, svolgono una funzione essenzialmente architettonica. La struttura organica del muro di spugna completa il sistema di travi e pilastri in cemento armato, stabilizzato dai nuclei scala e ascensori ubicati agli estremi dell'edificio, e fornisce ulteriore ancoraggio ai solai.

© Arturo Montanelli, Ezio Riva + Arup Italia