

# ALCUNE ESPERIENZE NELLA PROGETTAZIONE DI GRANDI COPERTURE IN ACCIAIO: DAL FORM FINDING AL FREE FORM DESIGN (FFD)

Massimo Majowiecki – IUAV University of Venice, Italy

**Parole chiave:** *architettura strutturale, strutture di grande luce, affidabilità, analisi sperimentale, monitoraggio.*

## INTRODUZIONE

Nel corso della storia nei processi di costruzione e progettazione delle strutture, si è cercato di minimizzare il rapporto fra il peso della struttura portante (peso morto) e il carico portato (peso vivo). Questo rapporto viene indicato con la notazione DL/LL (sarebbe Dead Load/Live Load).

Dalle antiche e pesanti strutture ( $DL/LL \gg 1$ ) alle moderne e più leggere ( $DL/LL \ll 1$ ), il rapporto  $DL/LL$  è stato ridotto di più di 100 volte, grazie al maggior sfruttamento delle proprietà degli speciali materiali ad alta resistenza e alla realizzazione di sistemi strutturali in cui sono predominanti le sollecitazioni assiali (Tensostrutture). Grazie alla maggiore stabilità di una membratura sollecitata a trazione piuttosto che a compressione, le tensostrutture portano naturalmente a un'ottimizzazione dell'energia del sistema rispetto a strutture con membrature soggette a momento flettente o a sollecitazioni assiali che variano da trazione a compressione, come nel caso di strutture reticolari o a telaio.

Quindi, l'orientamento attuale nella progettazione delle strutture leggere è di combinare, per quanto possibile, un sistema meccanico che porti ad avere una tensione dominante nelle membrature e l'uso di materiali ad alta resistenza.

Nella Tabella 1 è possibile osservare l'eccezionale efficienza degli acciai convenzionali ed ad alta resistenza oltre che dei materiali innovativi, osservando il rapporto fra resistenza e peso ( $K = \sigma/\gamma$ ) se sottoposti a tensione ( $K_t$ ). Considerando anche il rapporto costo/peso e la maggiore affidabilità strutturale, l'acciaio rimane il materiale di riferimento per la costruzione di coperture di grande luce.

Materiali convenzionali	$\sigma_t R$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c R$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_k$ [N/m <sup>3</sup> ]	$K_t$ [m]	$K_c$ [m]
Mattoni		3	18		166
Legno	85	37.5	5	21.250	9.375
Calcestruzzo		30	25		1.200
Acciaio S 355	520		79.5	6.664	----
Acciaio S 460	640		79.5	8.050	----
Acciaio S 690	860		79.5	10.080	----
Acciaio S 850	1050		79.5	13.376	----
Titanio	900		45	20.000	----
Materiali non convenzionali	$\sigma_t R$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c R$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_k$ [N/m <sup>3</sup> ]	$K_t$ [m]	$K_c$ [m]
Fibre di carbonio unidirezionali	1400		15.5	90.000	----
Fibre di carbonio bidirezionali	800		15.5	52.000	----
Fibre aramidiche unidirezionali	1600		13	123.000	----
Fibre aramidiche bidirezionali	750		13	58.000	----

(Kevlar)					
Unidir. Glass fibres	1100		20	55.000	----
Textile glass fibres	450		20	22.500	----

*Tabella 1: Proprietà meccaniche dei materiali da costruzione convenzionali e non convenzionali*

Le coperture di grande luce libera sono oggi ampiamente impiegate in vari settori dell'architettura:

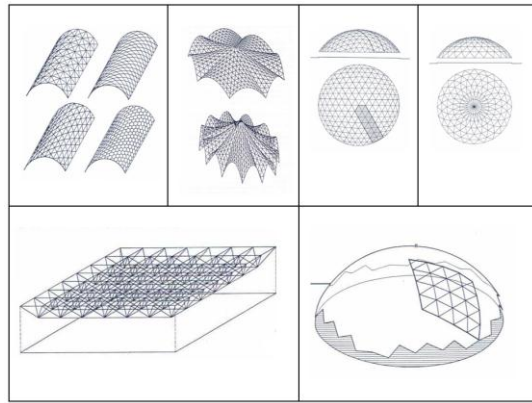
- Edifici sportivi:
  - Stadi
  - Palazzi dello sport
  - Piscine olimpiche
  - Piste da pattinaggio
  - Palazzi per atletica indoor
- Edifici di importanza sociale:
  - Padiglioni fieristici
  - Sale congressi
  - Auditorium e teatri
  - Attività a cielo aperto
- Edifici industriali
  - Hangars
  - Piscine
  - Terminali di aeroporti
- Edifici con funzione ecologica
  - Stoccaggio di materiali inquinanti
  - Barriere contro l'inquinamento

In base all'esperienza degli ultimi decenni, si può affermare che lo stato dell'arte per quanto riguarda le tecnologie di realizzazione delle coperture di grande luce sia basato su: reticolari spaziali, strutture di cavi, strutture a membrana e strutture realizzate con nuovi materiali particolarmente performanti.

Schemi tipologici strutturali associati ad alcune realizzazioni e progetti dello scrivente sono illustrati nelle figure seguenti:

## Strutture spaziali

- Reticolari monostrato
- Reticolari a doppio e pluristrato
- Reticolari spaziali a singola e doppia curvatura



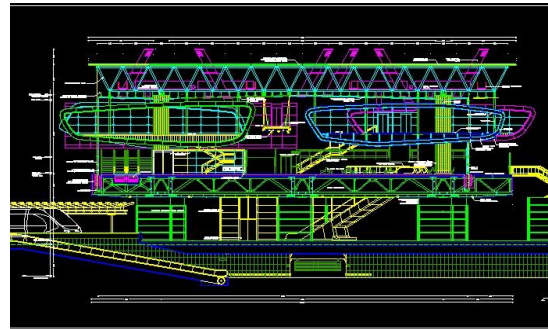
1



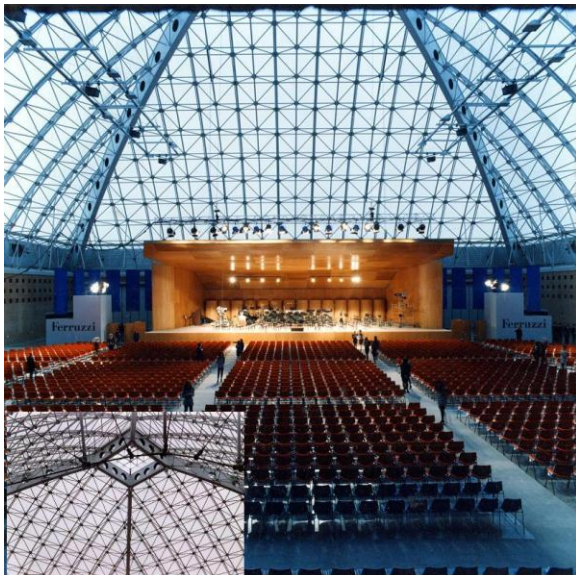
2



3



4



5



6

Tavola 1: 1) Hangar di Pratica di Mare; 2)-3)-4) Stazione TAV Tiburtina Roma; 5) Ravenna Pala D'Andrè; 6) Padiglione della nuova Fiera di Roma.

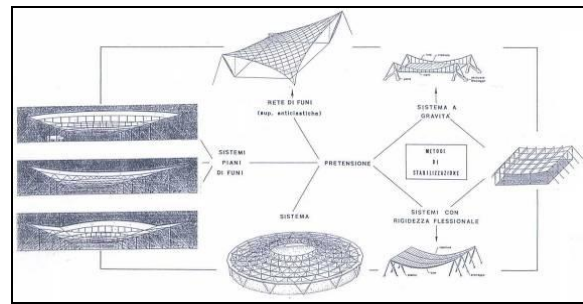


## Strutture di cavi

- coperture strallate
- coperture sospese
- travi di funi
- reti di funi a singolo e doppio strato



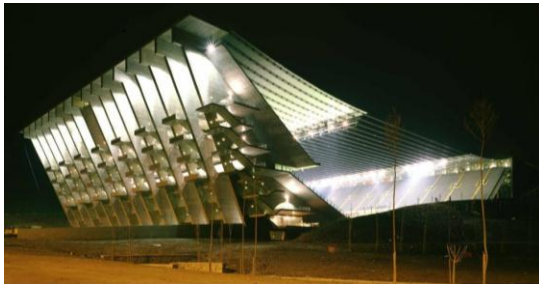
1



2



3



4



5



6



7



8



9

Tavola 2: 1)Palazzo dello sport di Atene; 2)Stadio Olimpico di Roma; 3)Stadio Delle Alpi di Torino; 4)Stadio di Braga; 5)Nuovo stadio della Juventus a Torino; 6)Ponte sul fiume Polcevera a Genova; 7)Mercato di Genova; 8)-9)Passerelle pedonali a Bologna.

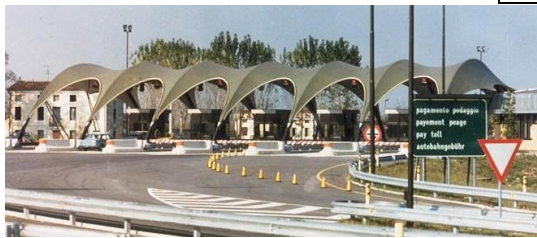
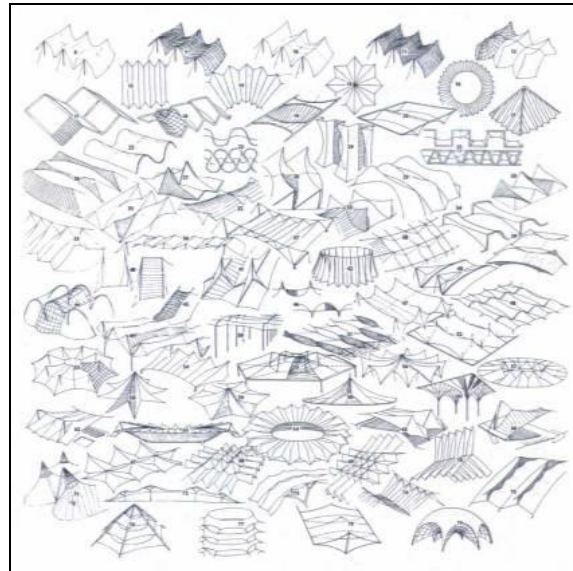


## Strutture a membrane

- Membrane anticlastiche presollecitate
- Membrane pneumatiche



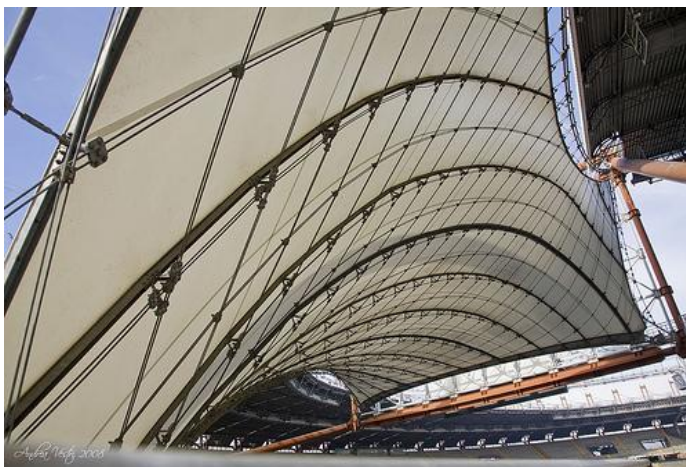
1



2



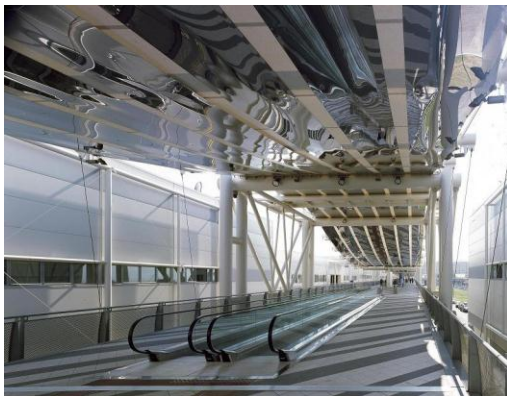
3



4



5



6



7

Tavola 3: 1)Stadio Olympiakos F.C.; 2)Casello di Valdastico; 3)Stadio Panathinaikos ad Atene; 4)Stadio Delle Alpi di Torino; 5)Fiera di Milano; 6)Copertura della passerella pedonale della Fiera di Roma; 7)Porto di Lisbona.

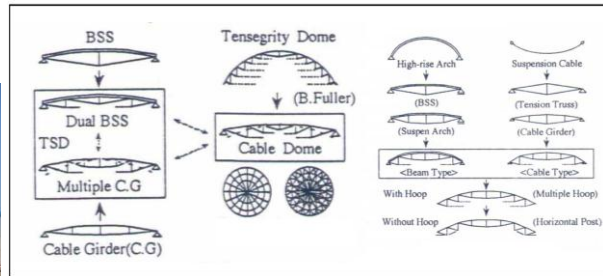


## Strutture ibride

- Sistema tensegrity
- Sistema a trave armata



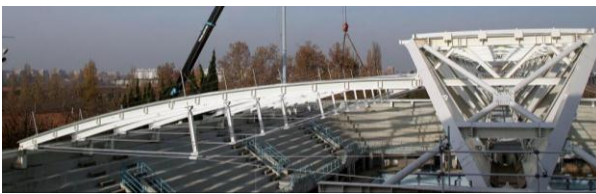
1



2



3



4



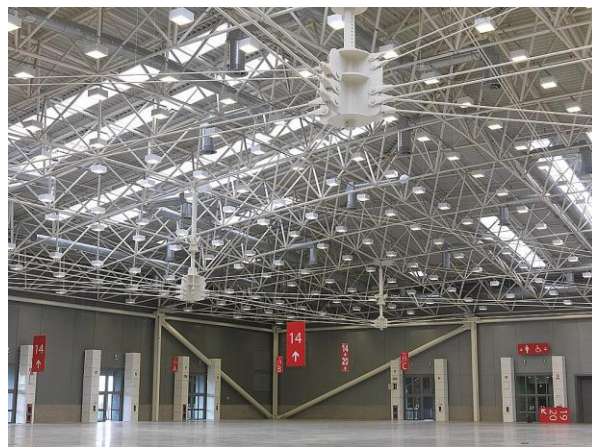
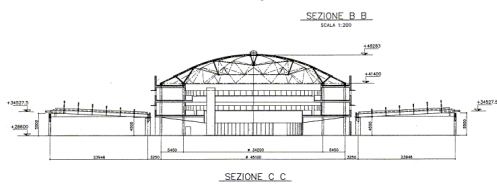
5



6



7



9

8

Tavola 4: 1) Padiglione 16-18 della Fiera di Bologna; 2)-3) Padiglione 19-20 della Fiera di Bologna; 4)-5)-6) Piscina Carmen Longo di Bologna; 7)-8) Mercato di Rimini; 9) Padiglione 14-15 della Fiera di Bologna.



## Coperture mobile

- sistema sovrapponibile e scorrevole
- sistema a pivot
- sistema ripiegabile

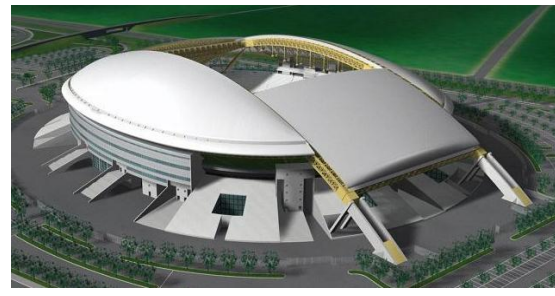
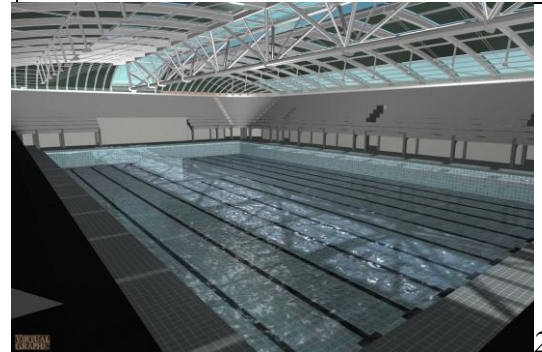
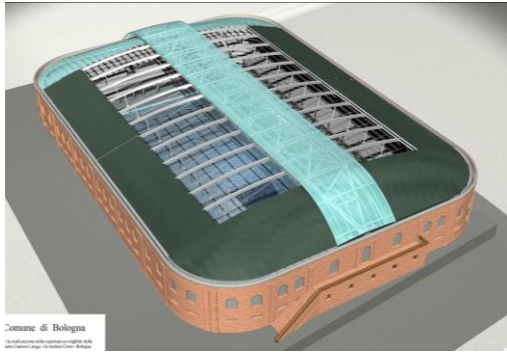
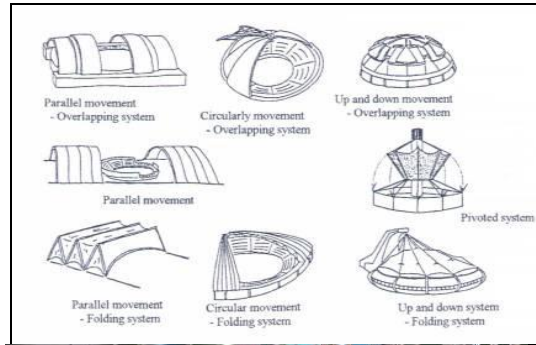
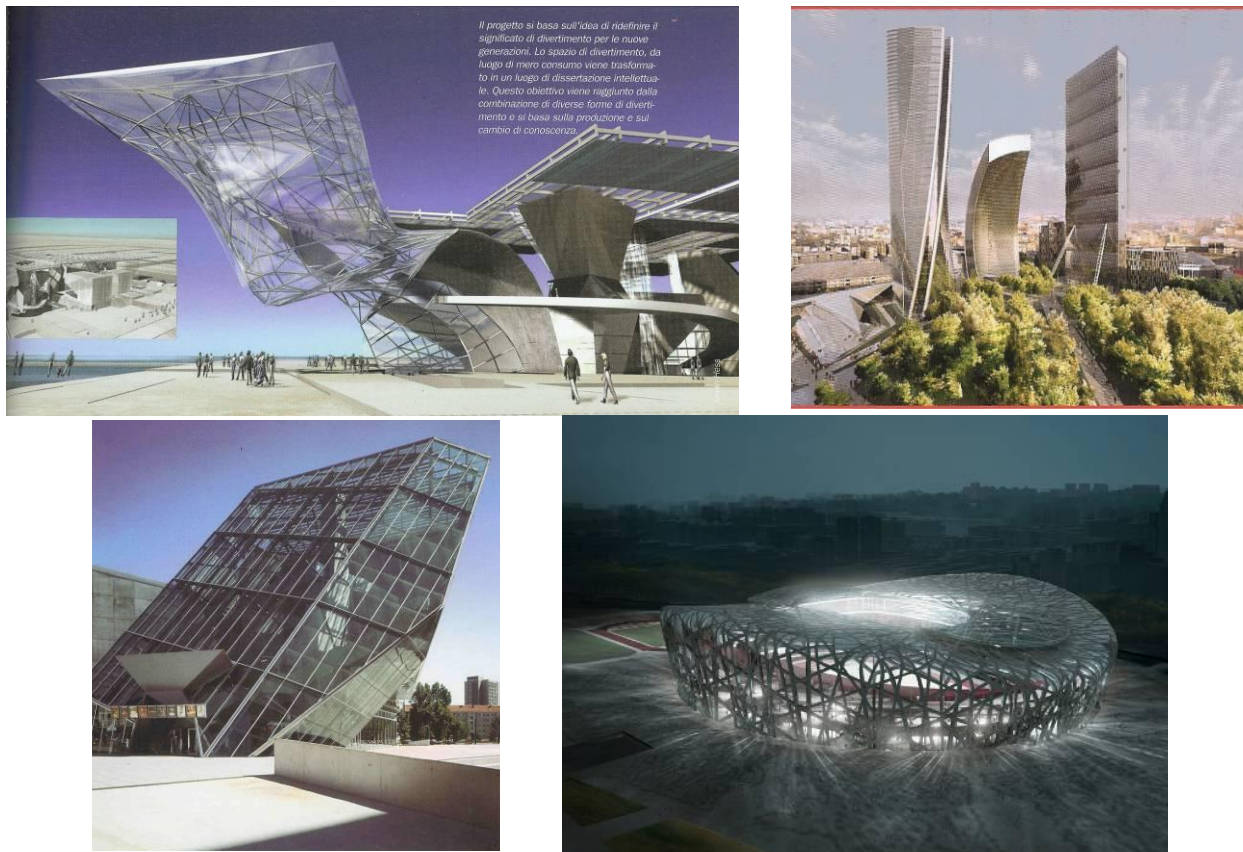


Tavola 5: 1)-2)Piscina Carmen Longo con copertura mobile (Bologna); 3)-4) Stadio di Ohita (Giappone); 5)-6)Stadio Marco Polo (Venezia); 7)-8)Stadio di Messina.;

## ALCUNE ESPERIENZE NEL FREE-FORM-DESIGN (FFD)

Si assiste attualmente ad una libera espressività formale che origina “oggetti architettonici” la cui forma, nella maggior parte dei casi, non ha nessun nesso con principi di tipo strutturale (Figura 1)



*Figura 1: Alcuni esempi di Free-Form-Design*

In linea con la filosofia tecnico-scientifica espressa da Eiffel/Torroja/Nervi e altri, che progettavano guardando innanzitutto e principalmente alla costruzione, sicuri che il rispetto delle leggi dell'ingegneria statica fosse di per sé una garanzia per il raggiungimento di risultati estetici, gli esempi di FFD non sarebbero altro che delle falsificazioni strutturali. Tuttavia, molti di questi nuovi “oggetti architettonici” ci hanno meravigliato e, nel nome della definizione stessa del termine architettura, quale attività tecnico-intellettuale volta a modificare l'ambiente fisico in relazione alle esigenze della vita associata, sono stati largamente apprezzati; non si può negare che alcune costruzioni raggiungono livelli di arte architettonico-scultorea e che il ruolo della struttura diventi unicamente quello di ente resistente dell'oggetto di “design architettonico”. Queste nuove realtà architettoniche, basate essenzialmente su capacità artistiche individuali (quali la Sydney Opera House di Utzon, 1957-1973 ed il Guggenheim Museum Bilbao, 1991-1997 di Gehry) possono, d'altro canto, risultare didatticamente devianti inducendo ad elaborare imitazioni progettuali che, pur partendo da Aspera possono, senza arrivare ad Astra, fermarsi a Mediocritas e introdurre pericolosi “equilibrismi” in campo strutturale; mentre le artistiche aggregazioni morfologiche di alcuni progetti ispirati al cosiddetto “effetto Bilbao” possono fare ritenere fuori moda ogni edificio a configurazione prismatica.



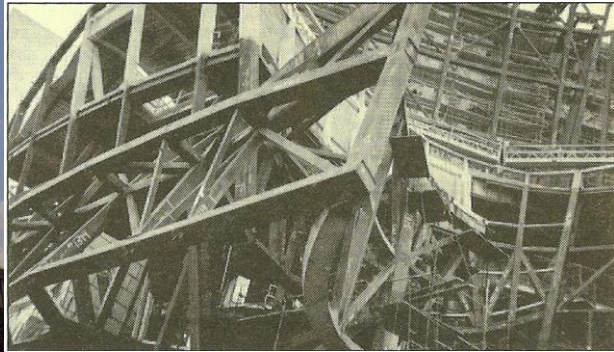


1



2

*Figura 2: Due esempi di FFD: 1) Sydney Opera House; 2) Bilbao Guggenheim Museum*



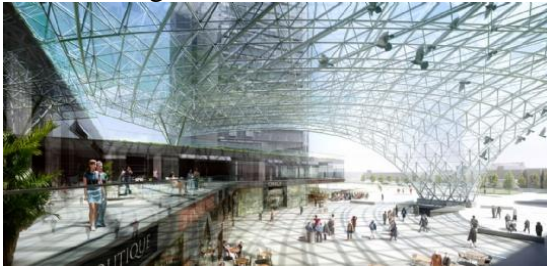
*Figura 3: Vista esterna e della struttura portante del Walt Disney Concert Hall*

Oggi la sfida è innanzitutto indirizzata, con gli oggetti architettonici del free-form design; blobs, altissimi edifici inclinati ed a spirale, ponti “landmark”, ecc., ad ottenere una forma spettacolare e impressionante. Un interessante contributo riguardante le tendenze dell’architettura dopo “l’effetto Bilbao” viene da Martin Filler che distingue finemente tra architettura FFD e kitsch. Con la stessa sensibilità, il Financial Times (Gen.2006) distingue tra architettura residenziale creativa e architettura “free form” a discapito della funzionalità.

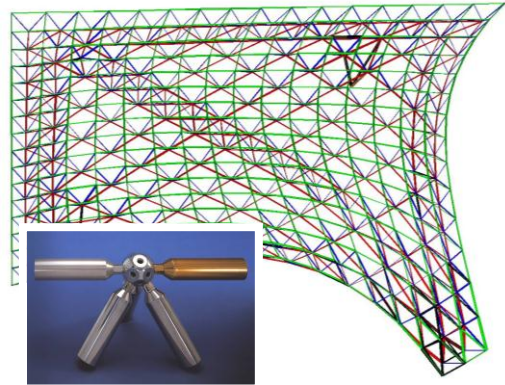
Per ottenere le forme desiderate dall’ impostazione concettuale architettonica, sono state necessarie implementazioni di tecnologie adatte.

## Coperture free form

- Reticolari spaziali
- Profili sagomati e saldati



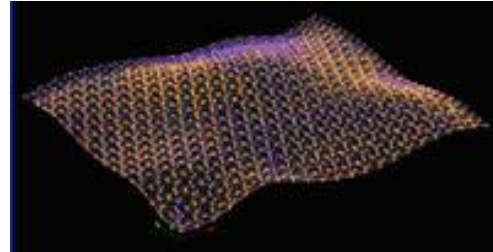
1



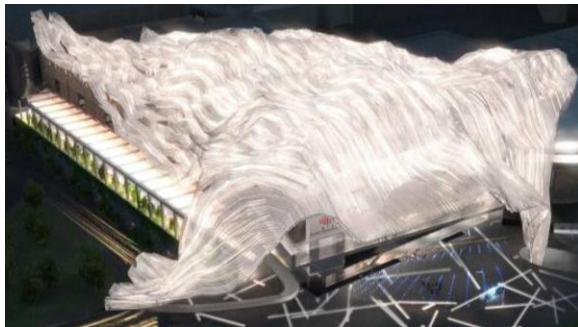
2



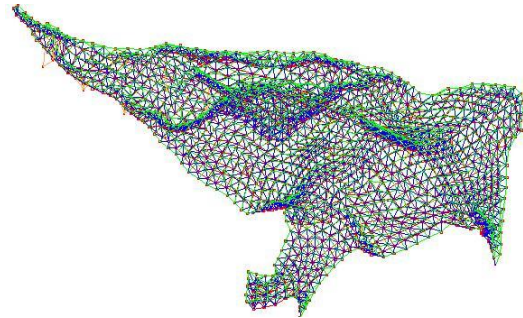
3



4



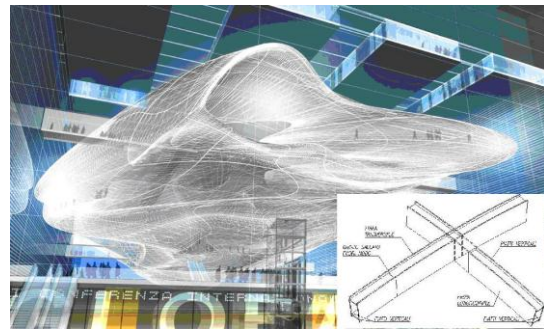
5



6



7



8

Tavola 6: 1)-2)Vela sul piazzale della torre Unipol a Bologna; 3)-4)Coperura di un cortile interno del museo Louvre (Parigi); 5)-6)“Cometa” a Fiera Milano Portello (Arch. Bellini); 7)-8)“Nuvola” nel centro congressi EUR a Roma (Arch. Fuksas).