

Architetture "convertibili"



Strutture che coprono e scoprono gli ampi spazi di stadi, impianti sportivi aree per lo spettacolo: tipologie, meccanismi, gestione

Massimiliano Muscio*

La complessità che contraddistingue la società contemporanea, caratterizzata da dinamicità e rapidi mutamenti, influisce in maniera determinante sulla costruzione delle nuove architetture che, attraverso tecnologie e materiali, tendono a separare, modificandoli, i concetti di spazio-contenuto e volume-contenitore. In questo scenario si inserisce il progetto delle configurazioni di tipo "convertible" che, per gli involucri mobili, è funzionale alla necessità dell'uomo di realizzare spazi vivibili capaci di adattarsi alle mutevoli condizioni ambientali.

A parte la sperimentazione sui teli retrattili (intrapresa da Frei Otto e dalla scuola dell'Istituto di Strutture Leggere di Stoccarda), lo sviluppo dei sistemi cinematici applicati alle coperture è cominciato agli inizi del Novecento con hangar e silos e, nell'architettura civile, con la costruzione della copertura per la piscina dello

Sportfondsenbad di Rotterdam - un tetto scivolante di 700 m² - rimasta in funzione per parecchi decenni prima di essere dismessa. Il primo sistema semovente complesso progettato da Mitchell e Ritchey per la Pittsburgh Civic Arena è del 1961. La cupola, dalla struttura in acciaio del diametro di 127 metri per un'altezza di 53, è discretizzata in 8 "spicchi" 2 dei quali bloccati. I setti mobili ruotano simmetricamente su di un pivot centrale sospeso ad una trave curvilinea reticolare a sbalzo e, in totale apertura - il

movimento richiede 2,5 minuti -, si stivano sotto le parti fisse. Per quasi 30 anni la struttura americana è stata uno degli esempi emblematici e principale punto di riferimento per le grandi strutture semoventi.

Oggi i sistemi mobili automatizzati utilizzati nella robotica e nell'ingegneria meccanica sono impiegati in architettura, poiché sia i processi di trasferimento tecnologico che lo

"The ancient architecture was movable...
The future architecture
will be movable too"

Felix Escrij, José Sanchez

* Architetto, Dottore di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura Università Federico II, Napoli.

Sopra, l'ombrello da 17x18 metri all'ingresso della SL, fabbrica specializzata nella progettazione e messa in opera di membrane pre-tese. Gli ombrelli urbani rappresentano la gran parte delle applicazioni relative ai teli retrattili.

Lo schema proposto dal gruppo di studio dello IASS, pubblicato nel 1996 (*Structural Design of Retractable roof structures*) rappresenta uno dei punti di riferimento per la moderna letteratura scientifica.



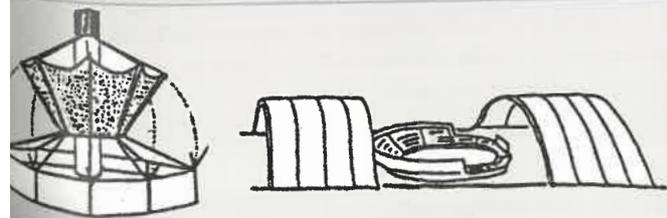
sviluppo delle tecnologie informatizzate di progettazione, gestione e controllo ha consentito un salto di scala dimensionale raggiungendo performances prima impensabili. Oltre alla caratterizzazione multifunzionale che rende competitivi gli spazi convertibili, perché adattabili ad ogni contesto ed a molteplici attività, è innegabile una forte componente di spettacolarità che deriva dalla suggestione indotta dal modificarsi di forme e volumi.

Escludendo le piccole strutture come gazebo, capote e tende, la nascita, la sperimentazione e l'applicazione di sistemi semoventi a grandi superfici è stata relativa, fino ad alcuni anni fa, a configurazioni leggere a membrana retrattile legate al concetto di costruzione effimera di cui le realizzazioni di Frei Otto e Taillibert, soprattutto in Europa, erano emblematiche (le costruzioni di Bad Hersfeld e Montreal per tutte). I teli, supportati da sistemi ad argani e carrucole o collegati a caterpillar elettrici, si muovevano sospesi su cavi reinterpretando, in tal modo, il concetto di velarium romano o di toldos spagnola.

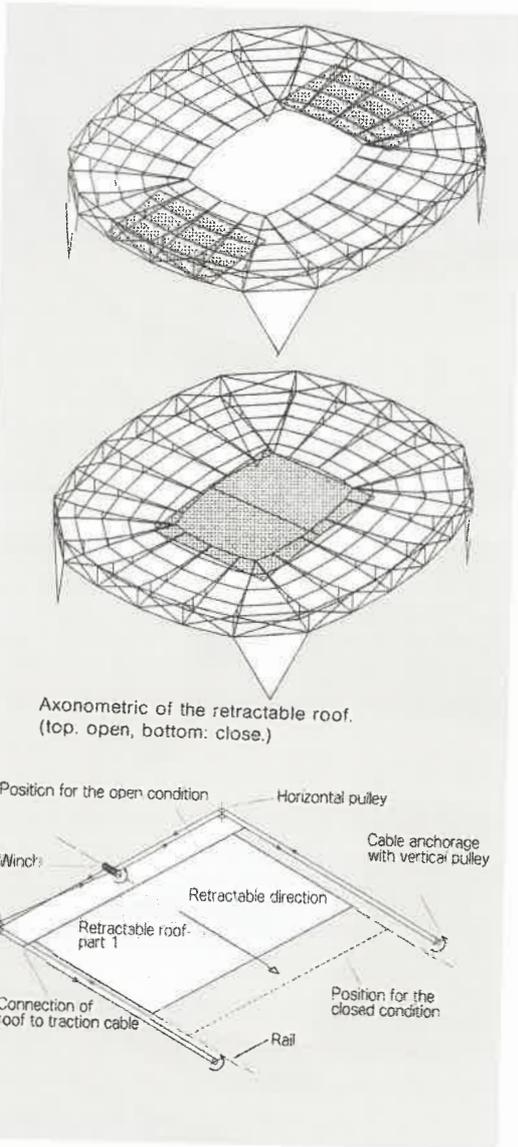
Ragioni pratiche e funzionali, legate più che altro al logorio dei tessuti dovuto ai continui movimenti di apertura e chiusura ed alle forti sollecitazioni imposte da sistemi traenti eccessivamente pesanti, ne hanno limitato l'uso a casi specifici. Con l'esclusione degli ombrelli "urbani" per i quali i forti investimenti in tecnologie e materiali stanno consentendo la realizzazione di strutture di notevoli dimensioni e grande effetto, le membrane retrattili sono preferibilmente usate nel caso di coperture temporanee di spazi outdoor in condizioni climatiche favorevoli.

Le tipologie

Allo stato attuale i grandi sistemi semoventi per la copertura di impianti sportivi, teatri, padiglioni espositivi e spazi multifunzionali, possono essere suddivisi tipologicamente in tre classi che ne caratterizzano la destinazio-



Sistema cavo senza fine



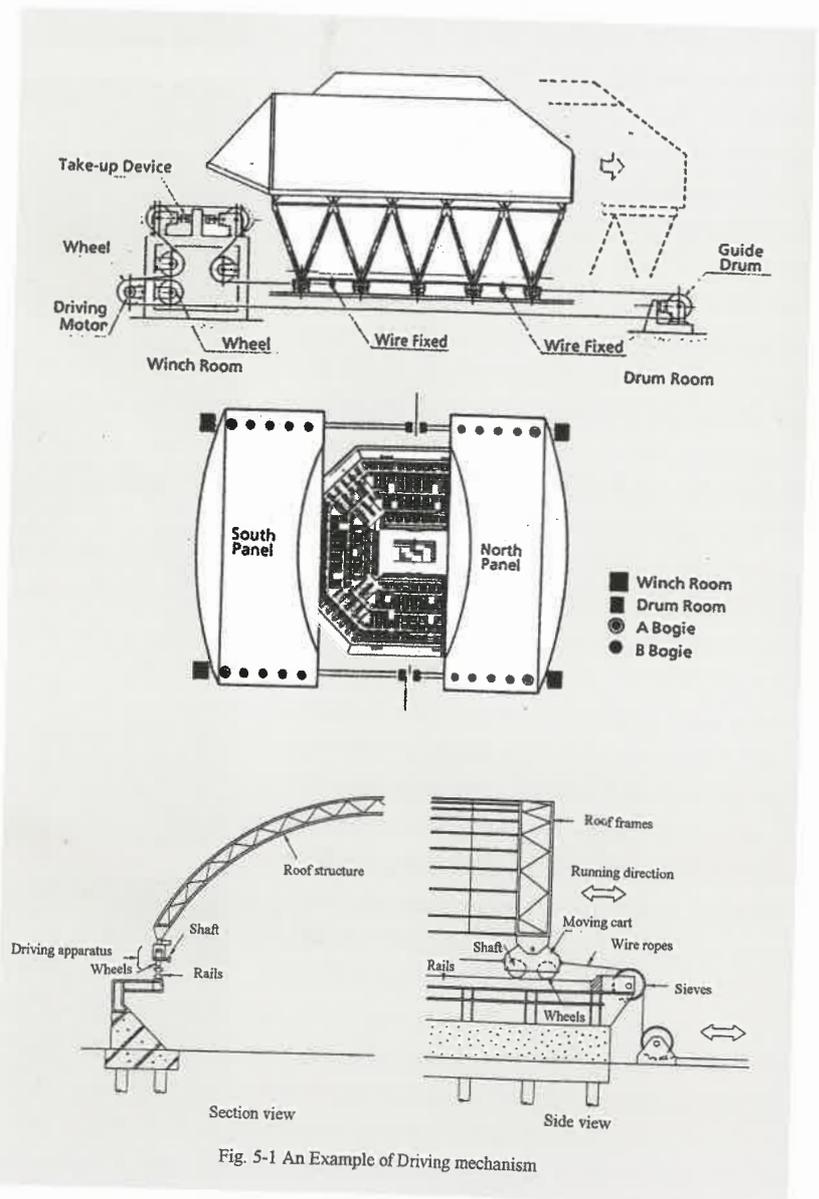
Il Gerry Weber Stadion, famoso campo da tennis, ha una copertura convertibile di grande leggerezza e semplicità che, utilizzando l'Hostafon ET, permette il quasi completo filtraggio di tutta la luce naturale. I due pannelli che coprono il campo vengono retratti secondo un meccanismo elementare, quello del cavo senza fine che, collegato a più carrucole, permette alle sezioni di traslare scivolando sugli appoggi laterali.



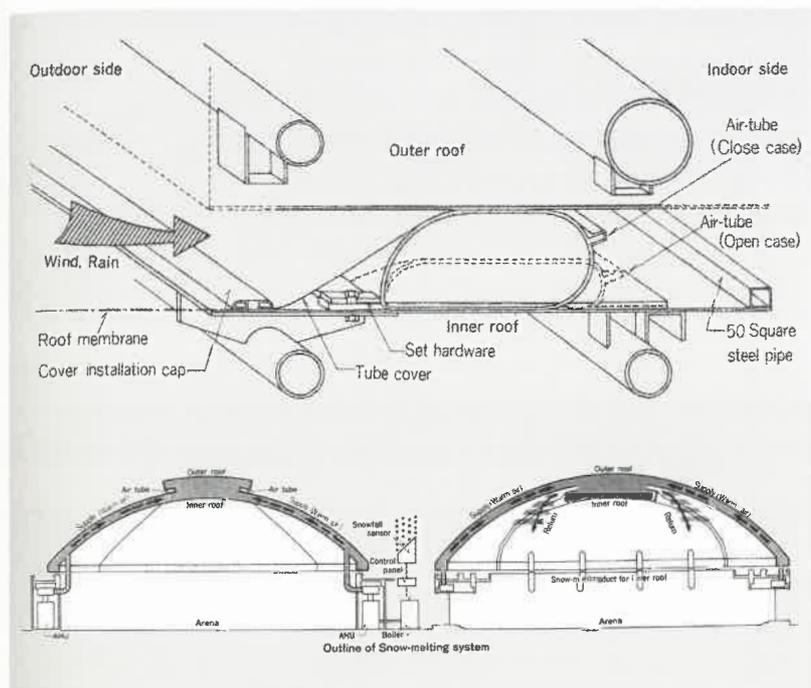
destinazione d'uso:

- strutture per ambienti indoor da rendere temporaneamente outdoor, per le quali l'ambito maggiore di applicazione è quello delle costruzioni multifunzionali, piscine, palazzetti per lo sport e teatri;
- strutture di tipo prevalentemente outdoor da poter coprire nel caso ricorrano condizioni climatiche sfavorevoli, come avviene nella quasi totalità degli stadi;
- strutture utilizzate frequentemente con

Sistema ad argani e caterpillar



Un classico schema di movimentazione di una grande cupola (quella dell'Ariake Coliseum) che prevede l'utilizzo integrato di sistemi di argani e caterpillar. La posizione delle carrucole consente di demoltiplicare gli sforzi dovuti ai pesanti carichi da trasportare; Un classico schema di funzionamento che utilizza la tecnologia dei caterpillar. La copertura, direttamente appoggiata alla macchina trascinata su travi binario in acciaio o calcestruzzo armato appoggiate al suolo o su appropriate strutture di supporto;



La Ball-Dome è stata costruita nel distretto giapponese di Toyama, famoso per le abbondanti nevicate. L'insufflaggio di aria calda nella doppia membrana, che permette lo scioglimento di neve e ghiaccio accumulati, viene riciclato per riscaldare l'interno della struttura.

La membrana a doppio strato della Ball-Dome. Il PTFE all'esterno garantisce migliori performances tecnologiche e funzionali. Lo spazio tecnico compreso tra la doppia copertura è occupato da un tubo gonfiabile che evita il passaggio di aria e polveri all'interno.

entrambi gli stati di chiusura e apertura, caratterizzate dall'essere indoor oppure outdoor, situazione ricorrente nei padiglioni espositivi, per i servizi ed il terziario in genere.

Distinguendo, per semplificare, il movimento con tecnologia a membrana retrattile da quello dei sistemi rigidi (che al variare di dimensioni, materiali e schemi statici sono costruiti come gusci o lastre) esistono diverse catalogazioni delle strutture convertibili riferite alla tipologia del cinematismo adottato. Una tra le più interessanti e completa è stata elaborata nel 1996 dal Working Group 16 dello IASS -International Association of Shell and Spatial Structures- perfezionando quella pubblicata nel 1972 dal gruppo di ricerca tedesco dell'IL.

Sia per le strutture a telo -folding system-, delle quali fanno parte anche gli ombrelli, che per quelle ad involucro rigido -overlapping system-, i cinematismi vengono classificati in circolare e parallelo, più una variante che potremmo definire basculante. In tal

modo, considerando le possibili combinazioni, si individua la quasi totalità dei movimenti. I sistemi che adottano il cinematismo parallelo sono sicuramente quelli più utilizzati perché permettono la composizione di movimenti "lineari" e controllabili anche in condizioni difficili come vento e sisma. Un esempio è quello della prima grande cupola di ultima generazione, la Toronto Sky Dome, progettata da Rod Robbie e costruita nel 1989 a copertura di un complesso sportivo. Con due setti mobili scivolanti che, in 20 minuti, si sovrappongono alla parte fissa lo stadio canadese rientra nella categoria delle "sliding structures" la cui progettazione deve tener conto dei problemi relativi ad una costruzione semovente di grande luce, dagli impianti alla sicurezza di strutture e persone.

A prescindere dal cinematismo seguito, i sistemi rigidi semoventi a guscio o lastra sono generalmente costituiti da una struttura di supporto metallica a travatura reticolare, ad ordito piano o spaziale, protetta da membrane pre-tese piuttosto che da pannellature (quelle maggiormente utilizzate sono in titanio ed alluminio) e questo per le indiscusse doti di leggerezza e traslucenza dei teli polimerici che diventano determinanti per la resa non solo formale ma anche funzionale della copertura.

Le membrane possono essere utilizzate anche in "pacchetti" costituiti da più strati (compatti o no) di tessuto. La copertura della "Ball Dome 50", un centro sportivo di medie dimensioni costruito nel 1991, è realizzata con archi reticolari d'acciaio involucri da due teli separati. La membrana esterna è formata da PTFE e fiberglass, performante e durabile, quella interna è in PVC e fiberglass.

Una caratteristica interessante di questo progetto, raramente raffrontabile in altri, è la possibilità di avere una apertura completa, in 11 minuti, per effetto di un cinematismo "sliding" combinato di roto-traslazione. La copertura, dalla forma di una palla da baseball, suddivisa in due parti realizza un doppio movimento diacronico, prima una rotazione relativa della semi-cupola inferiore, poi una traslazione di tutto l'insieme. La chiusura e l'apertura possono essere anche parziali (40% della superficie totale) e nel caso lo spazio venga reso completamente outdoor,

la sezione mobile va a stivarsi lateralmente. Tra le due semi-cupole vi è uno spazio di tolleranza di 25 cm. occupato, in posizione di chiusura, da un tubo gonfiabile per prevenire l'infiltrazione di aria e polveri. L'intero complesso, progettato e costruito dalla società proprietaria, la giapponese Sato Kogyo Co., sperimenta un tipo di tecnologia per realizzare un prototipo di convertibile da utilizzare in aree caratterizzate da forti precipitazioni nevose non rinunciando all'impiego in copertura di membrane pre-tese. La neve è percepita da un sensore esterno il quale tramite un boiler attiva un sistema che insuffla aria calda tra le membrane raggiungendo il duplice scopo di sciogliere la neve e climatizzare l'interno del complesso sportivo.

Vi sono anche particolari sistemi semi-rigidi realizzati da cuscini pneumatici. Questa tecnologia consente di avere leggerezza, traslucenza e flessibilità d'uso evitando gli stress propri dei teli retrattili e l'accumulo di polveri e sedimenti nelle piegature. Per la copertura del Gerry Weber Center Court di Schlaich Bergemann i pannelli sono realizzati da due lastre simmetriche, di 32 metri di luce scivolanti sulle travi di bordo in acciaio, composte da cuscini ad aria in Hostafon ET -un polimero che assicura una elevata traslucenza- pressurizzati a 300 mbar grazie a speciali ventilatori da 200 watt costantemente in funzione. Anche per il Toyota Stadium di Kisho Kurokawa la copertura curvilinea che ne caratterizza lo skyline è in membrana di fibra di poliestere e PVC e forma una serie di cuscinetti pneumatici continui e scorrevoli tramite un sistema a cremagliera sui binari laterali.

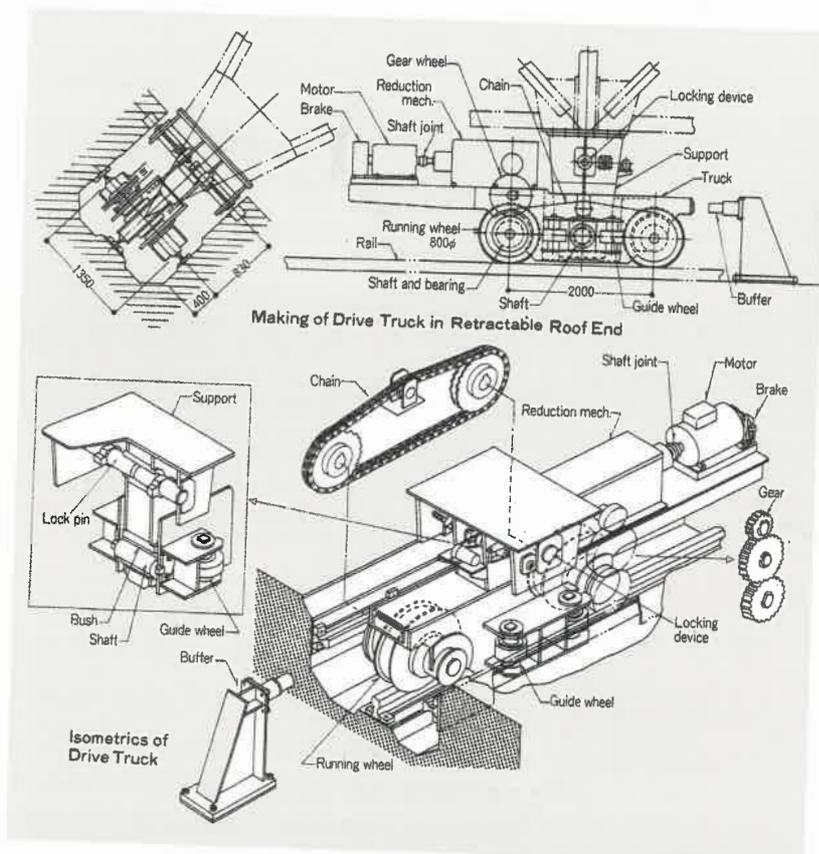
I meccanismi

Al variare dei materiali da utilizzare, delle luci da coprire e dei cinematismi appropriati, i meccanismi che consentono il movimento delle coperture o degli involucri, in genere, sono riconducibili o derivano dalla combinazione delle tre tipologie di seguito specificate. Pulegge ed argani: utilizzati nella movimentazione di toldos e velum sono i primi sistemi traenti della storia che, grazie alla possibilità di demoltiplicare gli sforzi attraverso la predisposizione di più carrucole, impiegano argani elettrici, per la loro solidità ed efficacia, in combinazione con altri impianti di trazione o per realizzare sistemi

di sicurezza.

Carrelli -caterpillar-: molto diffusi perché la tecnologia di realizzazione ed utilizzo delle macchine è abbastanza consolidata derivando dal carro-ponte industriale; sistemi di questo tipo vengono continuamente testati ed esistono normative specifiche e standards internazionali che ne regolano la pro-

Sistema semovente a caterpillar



La copertura dell'Ocean Dome rappresenta una delle prime architetture convertibili di grandi dimensioni. I quattro pannelli centrali, scivolando su potenti caterpillar, si stivano sulle parti laterali fisse della copertura (Fabrics, Dicembre 1993). Il grande caterpillar della Ocean Dome viaggia inclinato in un binario di calcestruzzo armato per distribuire meglio il peso della struttura. I carrelli, utilizzati come sistema di trazione principale, sono diretta derivazione dei sistemi a carro-ponte industriali e di quelli utilizzati sulle gru edili.



La "Flor Para El Mundo" copre uno spazio destinato ad esposizione. Il cinematismo, originale e di grande effetto, ricorda il movimento di un fiore nell'atto di sbocciare.

Il modello, ridotto in scala, del progetto di Vivas viene testato in galleria del vento per ottimizzare forma e proporzioni della struttura finale.

Date le dimensioni dei "petali" (lunghi quasi 16 metri) i pistoni idraulici devono essere solidi ed affidabili.



gettazione e l'uso; possono essere autopropellenti, elettrici o a carburante, oppure integrati a sistemi di pulegge e argani.

Pistoni (oleopneumatici o idraulici): escludendo le tipologie ad ombrello vengono meno frequentemente impiegati ed il loro range di utilizzo è individuato su strutture con luce di non elevatissime dimensioni; applicazioni di questo tipo sono rivolte a cupole discretizzate nelle quali gli elementi vengono spinti/ tirati da braccia meccaniche su snodi di tipo cerniera.

Un sistema semovente a caterpillar (macchine lunghe 2,5 ed alte 1,5 m) è stato utilizzato per gli impianti traenti dell'Ocean Dome a Miyazaki. Costruita nel 1993 è probabilmente la piscina artificiale più grande del mondo all'interno della quale si è tentato di ambientare un tratto di costa tropicale. La Cupola dell'Oceano è progettata per reite-

rare più volte il movimento di retrazione, essendo un impianto da utilizzare indifferenzialmente indoor o outdoor, ed i suoi quattro setti semoventi (archi reticolari in acciaio di quasi 100 metri di luce coperti da una membrana in PTFE e fiberglass) appoggiano ognuno su una serie di 5 caterpillar, di cui i primi due self-propelled, che scorrono inclinati, per una migliore aderenza, sul piano trasversale di una trave-binario in calcestruzzo armato ad una velocità di 0,15 m/s garantendo un tempo totale di retrazione di circa 10 minuti.

Tra i sistemi a pistone un esempio di sicuro rilievo è rappresentato da "Una Flor Para el Mundo" di Fruto Vivas. Costruita come padiglione del Venezuela per la Expo di Hannover del 2000 ed attualmente riconvertita a struttura espositiva permanente nella città di Caracas, la copertura del "Fiore" è costituita da una serie di 16 petali

sovrapposti, alternativamente concavi e convessi, in membrana

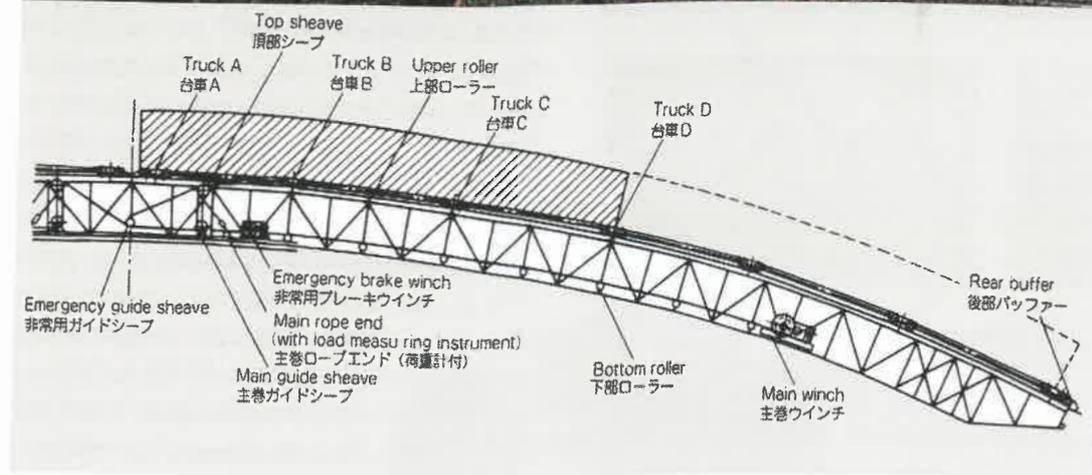
pre-tesa in PTFE e PVC su struttura reticolare in acciaio.

Ognuno dei petali è collegato da un pistone idraulico al capitelletto della torre in tubolari d'acciaio che regge tutto il complesso, e si muove sincronicamente

agli altri nelle operazioni di apertura e chiusura. Le braccia meccaniche, il cui controllo centralizzato avviene grazie ad una sala pompe che mantiene costantemente i liquidi in pressione, sviluppano una forza variabile da 75 a 175 kN per abbassare o sollevare i quasi 1600 kg di peso di ogni singolo petalo. Nell'ambito dei grandi sistemi convertibili un'attenzione particolare meritano le procedure di emergenza -file-safe design- ed i meccanismi di riserva adottati nei casi, abbastanza rari, di cedimenti meccanici e malfunzionamenti dovuti ad eventi calamitosi oppure a semplici fatalità. Le tipologie di "convertible roofs" viste in precedenza, oltre che reggere carichi dinamici anche notevoli (l'Ocean Dome resta operativa con un sisma di 180 gal e riesce a sopportare accelerazioni fino a 360 gal, il "Flor" venezuelano è progettato per resistere a venti fino a 137 km/h) sono dotate di anemometri che misurano l'intensità della pressione eolica e sensori che avvertono anche le minime accelerazioni sismiche, oltre che di impianti e



Lo skyline della Komatsu Dome. Due pannelli a cinematismo parallelo chiudono il profilo della sagoma ribassata. Tutta la copertura è discretizzata in spicchi dalla forma a "V", larghi 6 metri ed alti 3, a sezione longitudinale inclinata di 25° per permettere il migliore displuvio delle acque meteoriche. Il cinematismo dei pannelli, simmetrico e sincrono, è realizzato da una serie di argani -main winch- azionati elettronicamente ai quali, tramite un trefolo, sono collegati i carrelli -truck-. Al variare del movimento di apertura o chiusura l'argano cede o avvolge il trefolo.



dispositivi di monitoraggio e controllo che attivano procedure automatiche di emergenza. In tal senso la Komatsu Dome è un esempio particolarmente rappresentativo. A 54 metri di altezza i due pannelli mobili della cupola, in acciaio e membrana di PTFE e fibreglass, un ellissoide di assi 162 e 148 metri, sono retratti da un impianto meccanico programmato per un ciclo di 200 aperture annue garantite per un periodo di 50 anni -expected lifetime-. Il sistema prevede l'uso di caterpillar (quattro coppie alle quali si appoggia un singolo pannello) trainati, ad una velocità di 3.6 m/m, tramite un trefolo in acciaio da quattro argani principali. Il cinematismo avviene su travi-binario curvilinee e gli argani, avvolgendo cavo, richiamano i pannelli verso il centro in posizione di chiusura. In apertura un impulso a spinta iniziale ne favorisce il distacco e lo scivolamento a gravità. La Komatsu Dome ha una control-room dalla quale un operatore può verificare il funzionamento degli impianti attraverso sistemi di telecamere a circuito chiuso e gestire i sensori di rilevazione potendo attivare le procedure tipiche in caso di danni o malfunzionamenti dovuti ad errori umani o

ad avarie -power failure-. Per valori superiori a quelli di sicurezza (15 m/s per il vento e 25 gal per il sisma) il cinematismo viene automaticamente inibito o, con parti in movimento, bloccato. Un impianto meccanico di riserva, collegato ad un interruttore manuale, permette ad una carrucola centrale di emergenza di intervenire in caso di guasti del sistema principale, freni elettromagnetici e stop si attivano per deragliamento dei carrelli.

I problemi strutturali e di sicurezza che, per le sliding structures, derivano dal movimento di grosse sezioni e carichi eccezionali vengono superati nella Sapporo Dome per la quale il concetto di mobilità appartenente ai sistemi convenzionali risulta completamente ribaltato. Per questo progetto, infatti, non è l'involucro ad essere semovente ma il terreno. La struttura può essere considerata il primo involucro convertibile sospeso -hovering stage- applicato ad un'architettura che realizza il movimento di un'area delle dimensioni di quasi 10000 metri quadrati!

Completato nel 2001 nella città di Sapporo, progettato da Hiroshi Hara+Atelier Ø e Atelier Bnk e costruito dalla Takenaka

La cupola progettata da Bodo Rash con Kamail Ismail per le corti piccole della Moschea del Profeta a Medina.

Totalmente integrata con la struttura del tempio islamico è dotata di un meccanismo scivolante che ne consente la completa scomparsa.

Corporation, alto complessivamente 6 piani, di cui due al di sotto del livello del suolo, è uno stadio per il calcio ed il baseball, oltre che uno spazio multifunzionale per manifestazioni e concerti. La struttura, del peso di oltre 8300 t, è semovente grazie all'utilizzo di sistemi flottanti tipo hovercraft.

Appoggiata a carrelli trainati da un cavo di 90 metri, i cuscini ad aria riducono il carico da trasportare di oltre il 90%, ed in 5 ore modificano completamente la destinazione d'uso degli ambienti. Il meccanismo di funzionamento, in questo caso, potrebbe essere considerato un movimento relativo dello spazio rispetto alla copertura quindi del contenuto rispetto al contenitore. Questa tipologia ha una resa funzionale sostanzialmente simile alle precedenti (reversibilità degli spazi protetti) ma potrebbe risultare strutturalmente e tecnologicamente più vantaggiosa. Nel panorama articolato di questi e molti altri progetti, dalle soluzioni variamente strutturate di Calatrava che attraverso la composizione di meccanismi relativamente semplici articola movimenti complessi e raffinati giochi formali, come nella Shadow Machine o nel padiglione del Kuwait, alle cupole giapponesi più utilitaristiche e "minimal" ed espressione di sofisticate tecnologie di avanguardia, un grande numero di involucri mobili e coperture è costruito



nel mondo. Diversi sono i sistemi retrattili utilizzati che si distinguono anche in base all'uso che ne viene fatto. Le cupole scivolanti disegnate da Bodo Rash per le corti piccole della Moschea del Profeta a Medina permettono la mitigazione della calura tipica di quelle latitudini, nella Ocean Dome il movimento di apertura consente illuminazione e climatizzazione naturali mentre nel Milwaukee Art Museum la copertura mobile diventa un enorme brisè-soleil funzionale alla percezione di luci e forme dello spazio interno ed al gioco volumetrico delle architetture che connotano lo skyline di tutto il complesso.

Quale che sia il loro funzionamento le strutture convertibili di ultima generazione sono frutto di una progettazione attenta e fortemente tecnologica. Semplici congegni meccanici, la cui aggregazione restituisce macchine complicate, sono di uso comune e, a partire dal design e dalle piccole strutture urbane, vengono applicati nei settori più disparati. Le strutture mobili, espressioni di un'architettura antica, tra le prime realizzate dall'uomo, sono destinate a giocare un ruolo importante nello sviluppo delle città e prefigurano scenari multiformi ed in continua evoluzione per i quali dinamicità ed adattabilità diventeranno i punti di riferimento di una società rinnovata.

Sistema flottante tipo hovercraft

Vista assonometrica della Sapporo Dome.

La struttura giapponese "hovering stage" consente il movimento del doppio campo - calcio e baseball - e la rotazione delle tribune interne.

Fronte esterno della cupola di Sapporo. Sovvertendo gli schemi classici del movimento delle strutture convertibili.

