

Reviews Article

architecture

## LA TEMPORANEITÀ DELL'ARCHITETTURA TESSILE INNOVAZIONI A CONFRONTO

### TEMPORARINESS OF TEXTILE ARCHITECTURE A COMPARATIVE STUDY ON INNOVATION

Carlotta Mazzola\*, Alessandro Liuti\*\*

#### ABSTRACT

*In risposta alla crescente richiesta di spazi temporanei, leggeri e adattabili per la città, l'articolo fornisce una lettura critica delle realizzazioni e ricerche sperimentali condotte in ambito internazionale nel settore emergente dell'architettura tessile temporanea. Sino dalle prime fasi progettuali, questi progetti bilanciano requisiti temporali, contestuali, e funzionali, legandosi univocamente alle scelte tipologiche, tecnologiche e costruttive più opportune. L'articolo discute come l'innovazione architettonica sia strettamente legata all'innovazione tecnologica e di come l'innovazione possa migliorare le performance e gli aspetti ambientali del progetto, e precludere ad un uso più consapevole delle risorse nel tempo.*

Due to the increasing demand in temporary and adaptable city spaces, this article discusses international projects and prototypes built in the emerging field of temporary textile architecture. On the one hand, these structures negotiate temporary, contextual, and functional requisites from early design stages; on the other, they wisely blend typological, technological, and constructive features. The discussion pivots around the tight link between architectural and technological innovation, and how this often generates improvements in functional and environmental performances while enabling a more conscious resource allocation throughout the lifespan of a project.

#### KEYWORDS

*architettura tessile, strutture temporanee, tecnologie leggere, tecnologia dell'architettura, innovazione*

textile architecture, temporary structure, lightweight technology, architectural technology, innovation



Fig. 1 - Yurta, Tajikistan (credit: M. Maslanka).

Le mutevoli dinamiche della società contemporanea richiedono un numero crescente di edifici temporanei di dimensioni ridotte sempre più adattabili e pronti all'uso (Kronenburg, 2014). In questo senso, le architetture temporanee assumono grande rilevanza nella pratica architettonica contemporanea, potendo essere semplici e veloci da montare, facilmente adattabili, caratterizzate prevalentemente da fondazioni leggere e assemblaggi a secco. La progettazione di strutture temporanee, quali spazi per eventi, installazioni artistiche, strutture di emergenza, manifestazioni sportive o residenze temporanee, richiede di definire chiaramente la durata di un progetto a partire dalle prime fasi di concepimento. Tale obiettivo presenta un duplice interesse: da un lato rispondere a bisogni, funzioni e ambienti mutevoli nel tempo; dall'altro usare responsabilmente le risorse, favorendo la reversibilità dell'edificio e la sostenibilità ambientale (Zanelli et alii, 2016).

Inoltre, l'architettura tessile può fornire prestazioni adattive, trasparenza ed espressività formale; questa intrinseca leggerezza libera l'architettura dai concetti di permanenza e peso associati all'atto del costruire, offrendo nuovi canoni che si discostano da quelli della tradizionale architettura massiva. L'architettura tessile non viene definita tale solo per l'utilizzo di materiale tessile ma per un diverso approccio al progetto caratterizzato da: a) leggerezza come facilità di installazione, permeabilità alla luce intesa come opportunità progettuale, minimizzazione dei sistemi strutturali di supporto; b) flessibilità del materiale, flessibilità tecnica e adattabilità d'uso; c) reversibilità costruttiva e progettuale, come riduzione dell'impatto ambientale del progetto sul contesto.

Un progetto di architettura tessile è definito tanto dal contesto, dalla temporalità (installazione effimera, costruzione stagionale o edificio permanente) e dalla funzione prevista. Definito tale quadro prestazionale, diviene quindi possibile delineare gli esiti architettonici e tipologici, le scelte tecnologiche e le modalità costruttive più opportune: se nell'ambito emergenziale o per installazioni effimere è necessario ridurre i tempi di costruzione e facilitare il montaggio e lo smontaggio, per strutture che accolgono eventi sportivi e di svago il comfort interno andrebbe controllato maggiormente per favorire la permanenza degli utenti in una condizione di benessere. La crescente presenza di strutture tessili nell'ambiente urbano dipende

da vari fattori, tra cui l'avanzamento dei metodi di progettazione/analisi strutturale, e lo sviluppo di nuovi metodi di fabbricazione/materiali altamente performanti. Una strettissima relazione tra forma e struttura richiede un'attenta scelta materica e tecnologica sin dalle fasi di progettazione concettuale, in cui vanno bilanciati i principi della ricerca di forma con esigenze funzionali e architettoniche. Questo fa sì che l'espressività dello spazio architettonico sia biunivocamente legata alla forma strutturale e al tipo di materiali utilizzato; tale legame tra metodi di progettazione, di produzione, e costruzione, crea una rapida via preferenziale per l'innovazione. Dalla sperimentazione in questi scenari, nascono scenari innovativi in termini di materialità, espressione strutturale e spazio architettonico (Capasso, 2013). Queste tra le ragioni che negli ultimi decenni hanno facilitato la proliferazione di interessanti architetture tessili ultraleggere nel panorama internazionale.

*Leggerezza e temporaneità nella storia* – Temporaneità e trasportabilità sono temi cari alla storia dell'architettura. Le architetture temporanee combinano da sempre materiali flessibili e tessili per la possibilità di rapido montaggio/smontaggio e per la facilità di trasporto da un luogo all'altro. Se si pensa alle tende usate dai popoli nomadici dell'Eurasia (come le Kutuk Iraniane, le Yamut turche, o le Yurt Mongole; Fig. 1), queste tipologie usano da secoli una minima quantità di materiale per creare coperture leggere e permettere a questi popoli nomadi di sopravvivere in condizioni climatiche estreme. Dal punto di vista tecnico, le tende combinano tecnologie low-tech come pelli, cordame, e stecche di legno intrecciate, per ottenere sofisticate strategie bioclimatiche e garantire il necessario comfort interno. Se si considera un'altra tipologia tessile temporanea, il Velarium, si nota come questa copertura cinetica usi un sistema di corde e vele di canapa scorrevoli, riuscendo ad adattarsi al percorso del sole per fornire un idoneo ombreggiamento nelle arene durante gli spettacoli all'aperto (Zanelli, 2003). Nonostante le interessanti applicazioni nella storia, ad ogni modo, l'architettura tessile non ha riscontrato importanti innovazioni fino alla introduzione di nuovi materiali quali le materie plastiche.

Dagli anni '40, l'introduzione di materiali sempre più performanti ed accessibili come fibre di carbonio, PVC, PE, Nylon, PTFE, PP ed ETFE ha

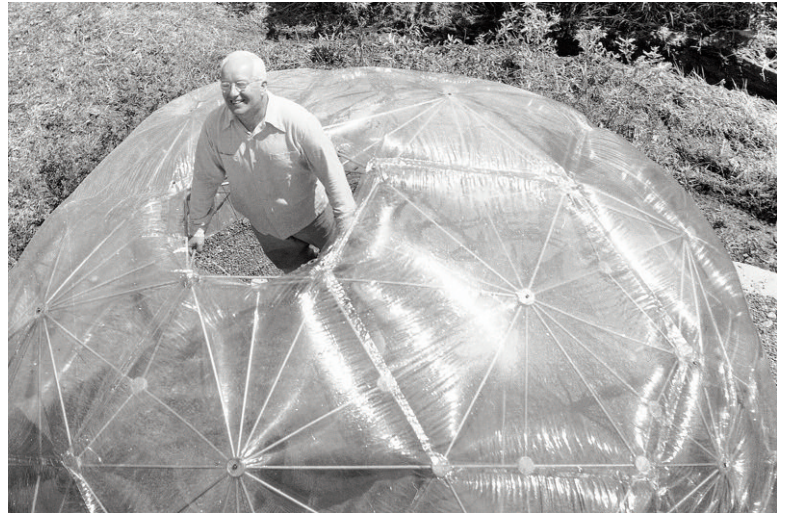


Fig. 2, 3 - Left: *Frei Otto, Tanzbrunnen, Cologne Federal Garden Exhibition, 1957* (credit: *Karlsruher Institut für Technologie, Wekarchiv Frei Otto*). Right: *Richard Buckminster Fuller inside its Geodesic Dome Garden of Eden, Black Mountain College 1947* (credit: *Estate of Hazel Larsen Archer and the Black Mountain College Museum + Arts Center*).

ispirato una fervente sperimentazione architettonica, aprendo nuove possibilità strutturali, espressive e tecnologiche (Knippers et alii, 2011). Tra i pionieri del campo, Walter Bird ha dimostrato come progettare, realizzare e commercializzare le prime architetture tessili pneumatiche di copertura. Con ben più ampia risonanza, Frei Otto è stato un altro fondamentale pioniere nel campo, sviluppando in particolare tensostrutture a membrana e cavi. Insieme al suo gruppo di ricerca multidisciplinare dell'Istituto di Strutture Leggere di Stoccarda, Frei Otto ha sviluppato una vasta serie di procedure sperimentali di ricerca di forma basate principalmente su modelli fisici (Otto, 1984; Goldsmith, 2016). Tali processi, derivati dall'analogia tra forma architettonica e organismi biologici, hanno permesso di ampliare il repertorio di forme progettuali, ponendo inoltre le basi per l'avvento della progettazione computazionale. Il Tanzbrunnen, una struttura stagionale costruita nel 1957 per ospitare balli e concerti e ancora utilizzata oggi (Fig. 2), è un esempio di come l'essenzialità strutturale si traduca in una forma armonica. La copertura, ispirata al drappeggio di un vestito nel vortice del ballo, ha una forma a stella: la membrana di cotone viene tesa tra il centro della struttura, i pali in compressione, ed un sistema di cavi radiale agganciato ai sei punti alti del telo e a sei punti bassi a terra. L'insieme di anello e cavi genera creste e valli tensionando il telo.

Negli Stati Uniti, fedele al motto 'doing more with less', Richard Buckminster Fuller ha combinato l'uso di membrane e strutture geodetiche per ridurre il peso dei materiali di involucro, standardizzarne i componenti, e agevolarne la trasportabilità e il montaggio. Le geodetiche costruite al Black Mountain College tra il 1947 e il 1950 e il Garden of Eden (Fig. 3) incarnano questi concetti, dimostrando anche come Fuller ha fatto cardine su questi principi per insegnare ai propri studenti una logica di progetto sperimentale, basata sul minimizzare i materiali utilizzati. La leggerezza e il linguaggio delle nuove membrane tessili hanno trovato una eco nell'architettura di avanguardia e di protesta degli anni '60.

Le esplorazioni utopiche di Cedric Price e Archigram hanno introdotto il concetto di architettura radicale in movimento, trasformando l'edifi-

cio monolitico in un organismo/mezzo di trasporto dotato di arti meccanici per muoversi autonomamente nella città. A seguire, negli Anni '70, la stagione delle Pneu (Fig. 4) ha visto la nascita di strutture pneumatiche (anche di notevoli dimensioni) atte ad ospitare raduni musicali e abitazioni trasportabili. In entrambi i casi, la natura effimera dei nuovi spazi pneumatici ha veicolato i concetti di architettura di protesta come opposizione ad un sistema oppressivo e statico (Dessauce and York, 1999). Fino agli anni '90, sebbene ci siano state numerose proposte sperimentali (realizzate o meno), la distanza tra una rapida evoluzione degli strumenti concettuali/progettuali e il lento sviluppo del settore delle costruzioni ha limitato con il tempo il numero di sperimentazioni legate ai temi di portabilità e temporaneità dell'abitare.

*Nuove frontiere e applicazioni* – Negli ultimi vent'anni, gli sviluppi nel settore dell'ingegneria dei materiali e il trasferimento tecnologico da altri settori industriali come l'automotive e la nautica hanno reso disponibili sul mercato nuovi materiali più leggeri e performanti (Beukers and van Hinte, 2005), permettendo sperimentazioni con materiali tessili e film plastici anche in ambito architettonico. Allo stesso tempo, la diffusione di strumenti parametrici e di interfaccia CAD/CAM ha generato un cambiamento significativo del processo progettuale, tradotto in un ampliamento delle possibilità formali ed espressive, e al contempo a un avvicinamento alla fase di produzione personalizzabile con tempi e prezzi ridotti. Come già accennato, l'iter di sviluppo del progetto dell'architettura tessile differisce da quello tradizionale poiché è caratterizzato da una filiera corta di tipo industriale, in cui le fasi di progettazione e fabbricazione condividono strumenti e operatori (Zanelli and Campioli, 2009); questa caratteristica fa sì che la fase di cantierizzazione diventi semplicemente la consegna e l'assemblaggio di parti prodotte altrove. In quest'ottica, la fase di disegno del dettaglio tecnico assume centrale importanza, in quanto crea le condizioni per poter fabbricare off-site e fornire un kit di componenti e sistemi di connessione adeguati, pronto per essere installato.

La vasta casistica di materiali, metodi di progetto, e funzioni, rendono il settore dell'architettura

ra tessile molto frammentato e disomogeneo, lasciando gli avanzamenti di ricerca e il *know-how* tecnico nelle mani di pochi specialisti<sup>1</sup>. Questo rende fondamentale il ruolo della sperimentazione e della prototipazione per sviluppare e divulgare conoscenza specialistica. Al fine di mappare tale variegata letteratura, si è scelto di raggruppare una selezione di progetti significativi in tre categorie: i) Architettura funzionale, ii) Architettura scultorea e iii) Architettura performante, evidenziandone le caratteristiche connotanti e le principali criticità.

*Architettura funzionale* – Le soluzioni 'funzionali' prediligono un consumo ridotto di risorse materiali ed economiche per facilitare le fasi di (s)montaggio, anche da persone non specializzate, e la trasportabilità degli elementi. Queste caratteristiche sono di grande valore negli ambiti militare e di emergenza umanitaria, in cui sono necessarie soluzioni temporanee di facile stoccaggio, approntamento, e distribuzione, per rispondere a situazioni estreme e spesso imprevedute. Questo è il caso delle classiche tende da campo (Fig. 5) distribuite in caso di calamità naturale o crisi umanitaria dalle ONG locali e da Croce Rossa Internazionale<sup>2</sup>, in cui tali caratteristiche spesso penalizzano la qualità spaziale ed il comfort abitativo. Nel settore emergenziale la ricerca e l'innovazione dovrebbero portare a soluzioni che superino le soluzioni standard prefabbricate (come la distribuzione di teli di tarpaulin distribuiti come primo riparo nelle fasi iniziali di emergenza), mirando allo stesso tempo a contenere i costi e migliorare la durabilità delle strutture. Come evoluzione di queste tipologie, sarebbe auspicabile prediligere delle soluzioni adattabili agli specifici contesti climatici e geomateriali, che inoltre favoriscano la personalizzazione dello shelter nel tempo (ad esempio mediante l'uso di componenti e connessioni riutilizzabili).

La struttura temporanea autoportante MOOM, ispirata alla tassellazione di un origami, è una struttura funzionale che sfrutta il principio di Tensegrity<sup>3</sup>; ciascuna delle 131 barre d'acciaio di diversa lunghezza è separata dalle altre ma al contempo collabora con la membrana in poliestere mettendola in tensione. La discontinuità tettonica della struttura crea l'effetto di uno spazio etereo e movimentato, rendendo il padiglione evocativo e semplice



Fig. 4, 5 - Left: *Coophimmel(l)au, Restless Sphere, Basel, 1971*. Right: *A refugee carries the UNHCR family tent kit, Al-Zaatri refugee camp, Mafraq (credit: M. Hamed)*.

da montare. Dopo aver disposto la membrana a terra e inserito le barre di acciaio all'interno delle tasche predisposte nel telo, i lati e la parte centrale vengono spinti verso l'alto e la struttura viene fissata a terra sui lati con l'aiuto di picchetti (Fig. 6, 7).

In maniera più strutturata, la gridshell Airshell dimostra come una membrana pneumatica possa integrare ricerca di forma e costruzione, veicolando l'erezione di una gridshell post-formata in legno (Fig. 8). Questo prototipo sfrutta la forza e la leggerezza dell'aria per automatizzare e facilitare la piegatura degli elementi strutturali della gridshell. In tal senso, leggerezza, precisione e ripetibilità costruttiva sono elementi chiave del progetto, che ottimizza molte delle diseconomie spesso legate alla ingegnerizzazione e costruzione che spesso sono fatte a-posteriori della fase concettuale (Liuti et alii, 2017).

*Architettura scultorea* – Una grande varietà di forme, colori e permeabilità alla luce fa delle architetture tessili un ambito privilegiato di impiego per le installazioni temporanee ed evocative. Queste strutture spesso nascono all'interfaccia tra architettura e arte, con l'obiettivo principale di sorprendere l'utente/visitatore tramite un effetto scenico e scenografico; di conseguenza, le 'architetture scultoree' si prestano bene ad essere un trampolino di sperimentazione per nuove forme, materiali e atmosfere. Queste strutture non convenzionali – in molti casi pensate da professionisti non appartenenti al settore delle strutture tessili – permettono un buon livello di sperimentazione/innovazione, spesso frutto della ricerca di soluzioni tecnicamente complicate.

Se all'inizio del XX secolo le Esposizioni Universali erano la principale occasione di pellegrinaggio per conoscere le più nuove applicazioni, i padiglioni hanno poi trovato un nuovo ruolo come installazioni temporanee di musei e gallerie d'arte (Bergdoll, 2013). Il MoMA PS1 (Fig. 9) con il suo YAP (Young Architect Program) e la Serpentine Gallery sono sicuramente tra gli esempi più rappresentativi di questa tendenza, offrendo a un architetto per stagione un budget e uno spazio per sperimentare e costruire. La Serpentine Gallery 2015, installata a Hyde Park per tre settimane (Fig. 10), è pensata dagli architetti SelgasCano come una for-

ma organica ondulata in ETFE iridescente, materiale sviluppato ad hoc per ottenere la prestazione visiva richiesta. I progettisti hanno voluto studiare principalmente l'interazione che si crea tra la pelle architettonica ed il visitatore, creando un gioco di luci cangianti all'interno del padiglione. La complessa forma prismatica del padiglione ha richiesto un attento disegno di dettaglio del 'cutting pattern' e del sistema di connessione prima di poter procedere con la manifattura e l'installazione dei pannelli di ETFE sui portali in acciaio bianco.

L'architettura scenografica si lega al concetto di unicità e temporaneità dell'evento mirando a creare un'esperienza sensoriale immersiva per il visitatore. Ispirato dalla espressività e leggerezza dei materiali tessili, l'artista Anish Kapoor ha creato per Monumenta 2011 uno spazio nello spazio, con l'intento di far cambiare al visitatore la propria percezione di spazio. Questa scultorea membrana pneumatica in PVC invade l'interno vetrato del Grand Palais, come una immensa carena, invitando il visitatore a entrare all'interno dell'opera in cui filtra una luce riflessa dalla copertura color cremisi (Fig. 11, 12). Tuttavia, a differenza dei palloni aerostatici, non è presente alcuna struttura interna di supporto, e la membrana è sostenuta solamente dalla pressione dell'aria al suo interno. Il materiale della membrana autoportante, prodotto su misura per questa opera, utilizza la tecnologia Préconstraint® (brevetto dall'azienda Serge Ferrari); questo materiale consiste di uno strato di tessuto interno di poliestere, la cui trama e ordito vengono tensionati durante la fase di spalmatura del coating di rivestimento per ottenere maggiore durabilità e resistenza meccanica.

L'unicità delle architetture scultoree a membrana trova anche giustificazione in eventi culturali e performance, dove si prediligono l'impatto visivo e sensoriale rispetto alla funzionalità della struttura. Al limite tra architettura e arti performative, Loud Shadows è una struttura gonfiabile soffice e trasparente che Plastique Fantastique ha installato in un bosco per ospitare un festival di musica e arte. La struttura, seppur monumentale, si inserisce delicatamente nello spazio naturale circostante e la sua pelle traslucida crea un dialogo costante tra gli eventi che si svolgono all'interno e l'intorno silvestre (Fig. 13, 14).

*Architettura performante* – Le strutture temporanee sono un campo di sperimentazione privilegiato anche per una grande varietà di sistemi costruttivi intelligenti ed ultra-performanti. I numerosi padiglioni e prototipi sperimentali realizzati nell'ultimo decennio in Università e Centri di ricerca di élite (tra cui i tedeschi ITKE/ICD, il danese CITA e lo statunitense MIT) esplorano nuovi linguaggi formali, tecnologici, e strutturali attraverso l'innovazione di materiali, strumenti e processo. Il progetto Isoropia, presentato alla Biennale di Venezia 2018 è un esempio di struttura ibrida che combina il comportamento bending active degli elementi flessibili in vetroresina a quello in tensione di una membrana tessile 'knitted'. La relazione di reciproco equilibrio resa possibile dal comportamento dei materiali e della struttura porta a un alleggerimento notevole del peso della copertura, permettendole di ancorarsi delicatamente ai muri del padiglione danese esistente (Fig. 15, 16). Con una nuova estetica, questo padiglione propone nuovi processi progettuali e metodi di fabbricazione che integrano il comportamento del materiale all'interno di strumenti di modellazione digitale.

Poiché membrane e film possiedono oramai proprietà meccaniche affidabili e caratteristiche fisiche durevoli (Mollaert, Dimova and Denton, 2016), esse sono sovente usate per sistemi avanzati di involucro anche in edifici permanenti (Paech, 2016). La relazione tra involucro semi-trasparente e luce naturale trasforma la membrana tessile in un filtro che divide l'interno dall'esterno; tuttavia, considerato lo spessore trascurabile dei materiali utilizzati, queste pelli richiedono ancora sviluppo, ricerca e innovazione in merito al difficile controllo del comfort termo-ottico e acustico. Tra le molte linee di ricerca in questo filone sono da segnalare quelle relative ad involucri multi-strato, materiali isolanti trasparenti e sistemi adattivi/cinetici.

Tra i prototipi realizzati ad oggi, è degno di nota menzionare il Media TIC a Barcellona, costruzione permanente che usa un innovativo sistema di schermatura solare costituito da cuscini pneumatici di ETFE. La progettazione del sistema è studiata in base all'orientamento dell'edificio; le schermature delle facciate sud-ovest e sud-est hanno permesso di sviluppare due brevetti d'innovazione all'azienda produttrice. In primis, i cuscini



Figg. 6, 7 - Kojima Laboratory e Tokyo University of Science, MOOM Temporary Pavilion, Tokyo 2012 (credits: S. Hotta).

ni di ETFE a triplo strato consistono in un layer intermedio serigrafato con una geometria in positivo e un layer esterno serigrafato in negativo; modificando la pressione interna di questo cuscino, diventa possibile controllare la schermatura dalla radiazione luminosa (sgonfiamento per totale schermatura, gonfiamento per permeabilità). Il secondo sistema consiste nell'insufflaggio di azoto nel cuscino esterno per opacizzarne l'involucro e, quindi, proteggerlo dalla radiazione solare nelle ore di maggiore esposizione. Altro interessante esempio è la Serpentine Sackler Gallery progettata nel 2013 da Zaha Hadid, prima estensione permanente delle Serpentine Galleries che concentra lo studio su sistemi multi-strato di materiali membranosi e riflettenti per aumentare l'isolamento termo-acustico dell'involucro (Fig. 17).

Questi esempi illustrano quanto considerare la durata temporale d'esercizio di una struttura tessile sia cruciale per valutare i fattori economici, di fattibilità e di impatto ambientale di un progetto, e soprattutto valutare se questi involucri tecnologici siano adatti all'utilizzo previsto, poiché per gli edifici di breve durata l'impatto delle scelte tecnologiche può essere molto elevato e non giustificato quando se ne trascura la pianificazione nella fase progettuale (Monticelli and Zanelli, 2016). In un'ottica di eco-efficienza, ad esempio, non è sempre necessario prevedere sistemi controllati di riscaldamento e raffreddamento per una struttura temporanea; inoltre, se i materiali e componenti scelti hanno un'elevata energia incorporata ma una buona durabilità, è opportuno prevederne il riuso o il riciclo per mitigarne l'impatto nel tempo.

*Conclusioni e sviluppi futuri* – Vista la crescente richiesta di strutture temporanee o semplicemente adattabili, le membrane strutturali possono fornire una interessante risposta architettonica. Il progresso tecnologico di materiali e tecniche progettuali/costruttive suggerisce una graduale crescita delle performance strutturali e di comfort interno anche per involucri estremamente sottili, prospettando una ampia diffusione di queste strutture oltre ai limiti sperimentali ad oggi confinati all'ambito di archetipi e prototipi. La convergenza di tecnologia, mercato, ricerca e industria, rende ora essenziale proiettare il concetto di leggerezza anche come tema ambientale di progetto. Le idee di leggerezza e temporalità vanno intese come semantica progettuale, al fine di responsabilizzare tutte le parti coin-

volte nel progetto e minimizzare l'uso di risorse richieste dalla traduzione delle idee progettuali in processo costruttivo. La connotazione temporale di queste strutture, assieme alla forte integrazione di fasi progettuali e costruttive – che vedono coinvolti progettisti, manifattori e installatori – rende più facilmente tracciabile l'impatto di uso e riuso delle risorse che si prestano bene per una coscienziosa programmazione del ciclo di vita della struttura.

#### ENGLISH

*The current everchanging socio-political dynamics demand an increasing number of temporary buildings, which are required to provide ready-to-use and adaptive solutions of small size (Kronenburg, 2014). Temporary architectures thus gain pivotal relevance in contemporary practice, as they provide adaptability and fast and easy mounting/dismantling processes – i.e. with dry assembly techniques and light footing systems. The design of temporary structures, whether addressing spaces for events, artistic installations, emergencies, sports events, or provisional houses, requires the definition of each project's lifespan since the early design stages. Such design requirement embodies a twofold interest: on the one hand, it responds to the changing functions and spaces through time; on the other, it fosters a responsible use of resources, pivoting on construction reversibility and environmental sustainability (Zanelli et alii, 2016).*

*Textile architecture can be suitable for temporary applications when blending adaptive performances, translucency, and expressiveness. The inherent lightness of technical textiles breaks the preconceived ideas of weight and permanence, often associated with the art of building, while shaping a new architectural aesthetic and new standards of beauty. Textile architecture is characterised by both the use of fabric and a specific design approach, consisting of: a) lightness (easy installation, translucency as a design opportunity, and reduction of the structural support systems); b) material flexibility (technological flexibility and functional adaptability); c) construction reversibility (reduction of the carbon footprint and impacts).*

*A textile architecture designer must balance design context, lifespan (ephemeral, seasonal, or permanent), and functional program with the intent to define project requirements. The refinement of such framework thus clarifies which architectural*

*typologies, technologies, and construction methods to adopt. For instance, the assembly/disassembly of emergency structures requires reduced times and straightforward procedures; conversely, the design and construction of sports facilities mainly require to provide internal comfort for its users.*

*The increasing popularity of textile architecture in the built environment can be related to several advancements in both design/structural analysis and manufacturing methods, and advanced highly-performative materials. The close relationship between form and structural performance demands careful consideration of material and technological choices; thus, the design must account for both form-finding and programmatic principles since the early conceptual stages. This univocal relationship bonds the architectural space with structural form and material; the tight connection among means of design, fabrication, and construction creates a fast track for innovation, often achieved through experimental explorations (Capasso, 2013). This milieu has facilitated compelling textile structures across the international scene in the past few decades.*

*Lightness and temporariness throughout history – Temporariness and transportability are topics dear to architectural history. Temporary architectures often combine flexible and textile materials to provide a fast mounting/dismantling process, while facilitating transportability from place to place. Let's consider the tents of Eurasian nomadic people (such as the Iranian Kutuk, the Turkish Yamut, or the Mongolian Yurt; Fig. 1). Throughout the centuries, these typologies have exploited minimal amounts of material to provide lightweight shelters and allow for the survival of these populations in extreme climatic conditions. From a technical point of view, these tents combine low-tech technologies, such as animal skins, cordage, and interlaced sticks, to achieve sophisticated bioclimatic performances and deliver a desirable internal comfort. In a different context, the Velarium is a kinetic lightweight shading structure consisting of a system of hemp ropes and sails sliding on each other to adapt to the sun position and shade the audience during outdoor events (Zanelli, 2003). Despite the several applications of textile architecture, however, history shows little radical innovation in the field until the introduction of new materials such as plastics and polymers.*

Since the 1940s, materials of increasing performance and accessibility such as carbon fibres, PVC, PE, Nylon, PTFE, PP and ETFE has inspired fervent architectural experimentations, generating new structural, expressive, and technological possibilities (Knippers et alii, 2011). Among the pioneers in this field, Walter Bird showed how to design, build, and market early pneumatic textile cover structures. At an even higher level, Frei Otto was another pioneer in the field of lightweight structures, providing fundamental advancements on cable structures and membrane structures. Within the Institute of Lightweight Structures in Stuttgart, Frei Otto developed a comprehensive series of experimental form-finding methods, essentially based on physical models and natural analogies (Eight, 1984; Goldsmith, 2016). Such a parallel between architectural forms and biological structures broadened the range of design shapes available to architects, while also paving the way for the advent of computational design. The Tanzbrunnen was built in 1957 to perform as a seasonal venue for concerts/dancehall (Fig. 2); this structure, which is used still nowadays, shows how structural minimalism can embody a harmonic form. This star-shaped cover structure resembles a draping dress framed in the act of spinning in a dance twirl: the cotton textile is tensioned between its central ring, an array of six perimetric struts, used as anchoring point for the six high points on the textile, and six ground connections. The collaboration of the central ring and the cable creates crests and valleys, tensioning the membrane.

In the United States, loyal to the motto 'doing more with less'; Richard Buckminster Fuller led manifold experimentations combining membranes and geodesic structures; the aim was to reduce the weight of materials and the number of building components, and thus facilitate transportability and assembly. The 1947-1950 Black Mountain College geodesic domes and the Garden of Eden (Fig. 3) well illustrate this concept, while representing how Fuller also conveyed to his students an attitude to experimental design and to the minimisation of materials usage.

Utopian and avanguard architecture provided a further chamber of resonance to textile architecture in the '60s. Cedric Price and Archigram explored radical concepts around architecture in motion and subverted the concept of fixed monolithic building into a living organism with mechanical limbs that could freely move across the city as a means of transportation. Soon after, the '70s witnessed the rise of Pneu architecture (Fig. 4), namely pneumatic structures functioning as covered venues for musical concerts and portable houses of both small and large size. These early ephemeral structures embodied the ideals of an architecture of political protest, which aimed to contrast an oppressive and static system by proposing new formal and spatial explorations (Dessauce and York, 1999). Up to the '90s, different experimental projects were either proposed or built; however, these showed a considerable gap between the advancements available to namely design and construction techniques. Such gap often limited the quantity and quality of experiments in the areas of building portability and temporariness.

New frontiers and applications – In the past twenty

years, several factors have made available to the market new lightweight and high-strength materials. Considerable advancements in material science and engineering, as well as transfers of technological knowledge from industries such as the automotive and the nautical, enabled the architectural disciplines to experiment with textiles and films (Beukers and van Hinte, 2005). In parallel, the increasing availability of parametric design tools and CAD/CAM interfaces have triggered significant shifts in the design process, which broadened the repertoire of formal and aesthetic solutions, while also shrinking the gap between design and production tasks. In several cases, the reconciliation between the design and production stages enabled to reduce production time and costs, thus improving the overall workflow. It is worth emphasising that, unlike traditional architecture, textile architecture features a short industrial supply chain, whose design, manufacturing, and construction stages share tools and operators (Zanelli and Campioli, 2009); this implies that construction often resolves into the delivery on site and the assembly of a precise kit of parts, which were, however, prefabricated off-site. This workflow heavily depends on technical drawing and detailing, as such media must inform all the parties on how to produce and assemble the components, the connections, and the installation of the kit.

However, the wide variety of materials, design methods, and functions creates a figurative fragmentation in the field of architectural textiles, as few highly-skilled specialists<sup>1</sup> often polarises advancements and technical know-how. This scenario makes experimentation and prototyping fundamental in the development and sharing of scientific knowledge. It thus appears appropriate to map such a nuanced literature by selecting, clustering, and discuss the main features and criticalities of three projects categories: i) functional architecture, ii) sculptural architecture, and iii) performing architecture.

Functional architecture – 'Functional' solutions prioritise applications geared towards the reduction of material and economical resources involved in tasks of both (dis)assembly and transportation (often carried out by unskilled workers). These features are highly valued in the army and the field of humanitarian emergencies, where ease storage and distribution are a priority, and structures must quickly perform in unforeseen and extreme conditions. NGOs and the International Red Cross<sup>2</sup> often provide standardised camp tents in case of natural disaster or humanitarian crisis;



Fig. 8 - A. Liuti, Airshell, 2017.

however, despite being ready-to-use and install, these structures perform poorly in terms of spatial quality and climatic comfort. Innovation in emergency architecture should foster solutions that overcome the limits of standardisation/prefabrication (such as the provision of tarps in the early emergency stages), while containing costs and improving durability. A clever evolution of this typology would deliver solutions which could adapt to specific climatic and geo-material contexts while enabling users to customise the shelter in time through reusable components and connections.

The self-bearing temporary structure MOOM takes inspiration from origami tessellation and is a functional structure based on the Tensegrity<sup>3</sup> principle. Each one of the 131 structural steel bars features a different length and connects to the other bars only by tensioning a collaborative polyester membrane. This tectonic discontinuity evokes an ethereal and lively space, while making the pavilion easy to assemble. Firstly, the membrane is laid on the ground, to facilitate the operation of sliding the bars in its pockets. Secondly, the assembly is pushed upwards while restraining its edges, to eventually restrain the ground connections with pegs (Figg. 6, 7).

In a similar but more structured fashion, the Airshell gridshell demonstrates how a (pneumatic) membrane can further facilitate the integration between design, form-finding, and construction (Fig. 8). The erection of this timber gridshell prototype took advantage of the strength and lightness of air to automate and ease the bending of the structural laths. This example illustrates how textiles can provide a lightweight, precise, and standardisable means of design and construction, while optimising some of the diseconomies that often arise after doing a-posteriori engineering of early conceptual design (Liuti et alii, 2017).

Sculptural architecture – A wide range of forms, colours, and response to light, making these systems highly valued in the field of evocative and 'sculptural' temporary installations. Sculptural lightweight structures are often conceived at the interface between architecture and art, mainly aiming to surprise its users through scenic and scenographic effects. Sculptural structures often enable for a good degree of experimentation in terms of new materials, structural forms, and spatial experiences. Sculptural textiles are thus commonly non-standard and experimental, and often drafted by designers foreign to the discipline; where feasibility is often the main criterion to privilege in these interdisciplinary design to construction process, there are favourable margins for innovation in means of design, manufacturing, and installation.

World Expo pavilions used to be the main venues for innovation in the early XX century; ever since, innovative pavilions and temporary installation have also found their way in museums and art galleries (Bergdoll, 2013). Both the MoMA PSI YAP (Young Architect Program; Fig. 9) and the Serpentine Gallery are two pivotal references in this environment, providing a designed architect every year with the budget and the space to develop and realise a relevant architectural concept. SelgasCano architects realised the 2015 Serpentine Gallery installation (Fig. 10), which exhibited in Hyde Park for three weeks; the core idea of the project consisted of exploring the interaction that generates between a translucent archi-



Fig. 9, 10 - From the top: Jenny Sabin Studio, LUMEN, MoMa PS1, New York 2017 (credit: P. Enriquez); Selgas-Cano (with Stage One and Architekten Landrell), Serpentine Pavilion 2015, London (credit: I. Baan).

tectural skin and the visitors. This translated in an architectural space permeated of a changing interplay of light, which was shaped as an undulated organic shape of iridescent ETFE. This translucent skin was custom-made to provide a specific visual performance, responding to the architectural concept. The engineering of such complex prismatic shape required careful design and detailing operations, which focused on the implementation of appropriate ground connections, structural steel frames, and cutting patterns for the ETFE panels.

Sculptural and scenographic architecture respond to the uniqueness and ephemerality of specific events, thus aiming to create an immersive sensory experience for (often one-time) visitors. These media have seldom fascinated the mind of

architects and artists; artist Anish Kapoor created for Monumenta 2011 a 'space within the space', aiming to question and challenge the visitor's perception of space while engaging with the installation. This sculptural PVC membrane resembles a mastodontic hull stretching across the glazed space of the Grand Palais; this shape invites visitors to enter the inner part of the installation, which is permeated by a scattered crimson skylight (Fig. 11, 12). As opposed to air balloons, which are generally sustained by an auxiliary inner structure, the membrane is self-supported by the sole internal air pressure; this required a careful and bespoke membrane engineering, which was realised with a Serge Ferrari Précontraint® – a patented composite material made by an inner layer of polystyrene, which is manufactured by firstly tensioning warp and

weft, and subsequently coated in PVC to provide better durability and mechanical strength.

The unique features of membrane structures also well suit cultural events and artistic performances, where visual impact is often prioritised over functional features. Loud Shadows is a soft and transparent inflatable structure realised by Plastique Fantastique in the context of a music and arts festival held within a forest. This structure hybridises performative architecture and arts; despite its monumental scale, the membrane gently blends with the natural surroundings, while creating a compelling dialogue between its translucent skin and the events happening in its sylvan surroundings (Fig. 13, 14).

Performative architecture – The field of temporary structures enables critical experiments in terms of smart construction systems or ultra-performative structures. The past few decades have witnessed Universities and elite research hubs worldwide (i.e. the German ITKE/ICD, the Danish CITA, and the American MIT) developing a climax of highly specialised temporary prototypes. These innovative applications are commonly geared towards the exploration of innovative materials, structural typologies, formal solutions, and design to construction workflows. Isoropia is a project showcased at the 2018 Venice Biennale; this hybrid structure combines, on the one hand, the bending-active behaviour of flexible glass-fibre rods and, on the other, the tensioning action of a knitted textile. The edge-cutting combination of these advanced materials generated a structure in global equilibrium, which performed with a dramatically reduced self-weight. To begin with, the ultra-lightweight of the whole installation made it possible to install it on site by gently attaching it to the perimetric walls of the pre-existing Danish pavilion (Fig. 15, 16). Most importantly, furthermore, this project showcased how advancements in (and most importantly the integration of) digital design and manufacturing methods can inspire innovation in architectural aesthetics.

Architectural membranes and films nowadays feature reliable mechanical properties and good durability (Mollaert, Dimova and Denton, 2016). These features make textiles also suitable for permanent and adaptive cover structures in more conventional trilitic buildings (Paech, 2016). The interplay between a semi-transparent cover and natural light transforms the textile membrane into a buffer filter between internal and external spaces. However, the negligible material thickness of such elements comes at the cost of providing a limited physical performance, which translate into a limited control over the thermal, optical, and acoustic comfort. The research and development carried out in these areas is providing promising results; among these several successful advancements, it is worth mentioning the area of multi-layer skins, transparent insulating membranes, and kinetic/adaptive systems.

Among the several built projects available from the literature, the Media TIC in Barcellona illustrates the innovative use of a triple-layered skin of transparent ETFE cushions, which were design according to the building orientation to provide an optimal sun-shading system. The system covers the South-Western and the South-Eastern building facades and features two patents. Firstly, the internal chamber consists of an inter-

mediate skin with a positive pattern printed on; the skin below is imprinted with the negative of such pattern, so that, by swelling the internal chamber, it becomes possible to control light transmission. Secondly, the outer chamber can be pumped with nitrogen to frost the skin and further screen solar radiation in radiation peak-hours. Zaha Hadid's 2013 extension of the Serpentine Sackler Gallery also uses a multi-layer system of flexible and fabric materials to control the thermo-acoustic performance of the project (Fig. 17).

These examples well illustrate the crucial role of accounting for textile structures' operational lifespan. Structural feasibility, economical affordability, and environmental impact tightly bond functional and technological choices; this complex decision-making process requires careful planning throughout each design stage, as the impact of technological choices in the overall process can be dramatic in ephemeral structures (Monticelli and Zanelli, 2016). From an eco-efficiency point of view, for instance, a temporary structure it is not always required to provide efficient heating/cooling systems; conversely, if materials and components feature a high carbon footprint and durability, it becomes convenient to plan reuse and recycling as a part of the project to mitigate environmental impact through time.

Conclusions and further developments – Architectural textiles can provide suitable means to address the increasing demand for temporary and portable structures. Design and construction methods can currently benefit from increasing technical and technological advancements, which are concurrently improving both the structural and the performative features of textiles; after a long stage of archotyping and prototyping, these extremely thin structures appear now ready to gain market shares in more mainstream and commercially profitable scenarios. The convergence of technology, market, research, and industry, now underpins the importance of lightness as a design aim. Lightness and temporariness shall become semantics means of design to nurture a higher level of sustainability in all the actors involved in a project – meaning minimising the use of resources in the translation of the design concept into a material system. The temporary lifespan of these structures, along with the high level of design-to-construction integration, facilitates monitoring and planning for sustainable resource management to embrace a more conscientious and lightweight lifecycle.

#### NOTES

- 1) The European Association TensiNet (which includes research centres, design practices, and industry partners who are interested in architectural membranes; on the other) and COST Action TU 1303 (Novel Structural Skins: improving sustainability and efficiency through new structural textile materials and designs), are working to harmonise and share knowledge about architectural textiles – otherwise an elitist and uneven field, and to write the upcoming Eurocode covering the structural design of membrane structures.
- 2) Fowler, J. (ed.) (2014), *Shelter project 2003-2014*, UNHCR-IFRC-UN-HABITAT. [Online] Available at: <http://www.sheltercasestudies.org/> [Accessed October 15th 2018].
- 3) Term introduced in the '60s by Richard Buckminster



Fig. 11, 12 - Anish Kapoor (with Hightex GmbH and Serge Ferrari), Leviathan, Monumenta 2011, Paris (credits: D. Plowy).

Fuller, who combined the words Tension and Integrity to define a structural principle which exploits the collaboration of a system of different members working in compression (commonly rods or struts) and a complementary system of elements working in tension (commonly cables or membranes).

#### REFERENCES

- Bergdoll, B. (2013), "The pavilion and the expanded possibilities of architecture", in *Detail*, n. 10, pp. 1060-1068.
- Beukers, A. and van Hinte, E. (2005, II), *Lightness: The inevitable renaissance of minimum energy structures*, 010 Publishers, Rotterdam.
- Capasso, A. (2013), *Architettura atipica e tensostrutture a membrana. Segno e segni del nuovo archetipo costruttivo tra etica e forma. Atopic architecture and membrane structures. Sign and signs of a new building archetype between ethics and form*, CLEAN, Napoli.

- COST Action TU1303, *Novel Structural Skins. Improving sustainability and efficiency through new structural textile materials and designs (2013-2017)*. [Online] Available at: [www.novelstructuralskins.eu](http://www.novelstructuralskins.eu) [Accessed October 15th 2018].
- Dessauce, M. and York, A. L. o. N. (1999), *The Inflatable Moment: Pneumatics and Protest in '68*, Princeton Architectural Press.
- Goldsmith, N. (2016), "The physical modeling legacy of Frei Otto", in *International Journal of Space Structures*, n. 31 (1), pp. 25-30.
- Knippers, J., Cremers, J., Gabler, M. and Lienhard, J. (2011), *Construction manual for polymers+ membranes: materials, semi-finished products, form-finding, design*, Birkhäuser Verlag, Basel.
- Kronenburg, R. (2014), *Architecture in Motion: The history and development of portable building*, Routledge, London.
- Liuti, A., Pugnale, A. and Colabella, S. (2017), "The Airshell prototype: a timber gridshell erected through a



Fig. 13, 14 - *Plastique Fantastique, Loud Shadows* | *Liquid Events, Oerol Festival, Terschelling 2017* (credits: M. Canevacci, M. Turik and J. Kuer).

Fig. 15, 16 - *CITA (with Structure)*, Isoropia, *Biennale di Venezia 2018* (credits: A. Ingvarstsen).

pneumatic formwork”, in *Interfaces: architecture. engineering.science. International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Annual Symposium, Hamburg*. Mollaert, M., Dimova, S. and Denton, S. (eds) (2016), *Prospect for European guidance for the structural design of tensile membrane structures*, European Commission, Joint Research Centre.

Monticelli, C. and Zanelli, A. (2016), “Life cycle design and efficiency principles for membrane architecture. Towards a new set of eco-design strategies”, in *Procedia Engineering*, vol. 155, pp. 416-425.

Otto, F. (1984), *L'Architettura della natura: forme e costruzioni della natura e della tecnica e processi della loro formazione*, Il Saggiatore, Milano.

Paech, C. (2016), “Structural membranes used in modern building facades”, in *Procedia Engineering*, vol. 155, pp. 61-70.

Zanelli, A., Spinelli, L., Monticelli, C. and Pedrali, P. (2016), *Lightweight landscape: Enhancing design through minimal mass structures*, Springer International Publishing.

Zanelli, A. and Campioli, A. (2009), *Architettura tessile*



Fig. 17 - *Zaha Hadid Architects (with Architekten Landrell)*, *Serpentine Sackler Gallery, London 2013* (credit: L. Hayes).

*progettare e costruire membrane e scocche*, Il sole-24 ore, Milano.

Zanelli, A. (2003), *Trasportabile trasformabile idee e tecniche per architetture in movimento*, CLUP, Milano. [www.tensinet.com](http://www.tensinet.com) [Accessed October 15th 2018].

\* *CARLOTTA MAZZOLA, Architect, is PhD Student at Architecture, Built Environment and Construction Engineering Department, Politecnico di Milano, Italy. She conducts research in the field of lightweight and ultra-lightweight textile-based structures. Tel. +39 340/22.66.089. E-mail: carlotta.mazzola@polimi.it*

\*\* *ALESSANDRO LIUTI is Postdoctoral researcher at Faculty of Architecture, Building and Planning, MSD University of Melbourne, Australia. E-mail: aliuti@student.unimelb.edu.au*