

a cura di/edited by Alessandro Claudi de Saint Mihiel

Lo sviluppo delle costruzioni leggere a membrana e il ruolo dell'associazione europea TensiNet

Alessandro Claudi de St. Mihiel,

Responsabile della Rubrica Innovazione e sviluppo industriale

Nel 2004, Kurt W. Forster, curatore della Mostra Internazionale di Architettura della Biennale di Venezia, nel suo discorso di apertura, affronta i fondamentali cambiamenti in atto nell'architettura contemporanea, sia nel campo della teoria e della pratica progettuale, sia nell'uso delle nuove tecnologie costruttive, asserendo che gli edifici sono letteralmente "fatti di superfici". Superfici che si trasformano in interfacce, membrane osmotiche che regolano flussi complessi, da quelli ambientali (termici, luminosi, acustici) a quelli materici, fino a quelli figurativi, informativi e comunicativi che caratterizzano l'immagine degli spazi contemporanei.

I materiali tessili ben rappresentano questa realtà in continua trasformazione, tesa alla smaterializzazione del costruito e allo stesso tempo all'affermazione di una presenza fortemente caratterizzante lo spazio urbano.

L'impiego di queste tecnologie costruttive è stato per lungo tempo confinato alla realizzazione di manufatti effimeri, destinati a determinati settori come tende da campo, coperture e padiglioni temporanei. Con l'introduzione di nuovi materiali come le membrane per tensostrutture e i tessuti tecnici si sono ampliate notevolmente le possibilità di impiego dei tessili fino a pensarne l'utilizzo in edifici concepiti per durare nel tempo). Pur nei differenti impieghi, le membrane tessili hanno così visto ampliare i termini della durabilità e del controllo del ciclo di

The development of lightweight membrane constructions and the role of the European association TensiNet

In 2004, Kurt W. Forster, curator of the International Architecture Exhibition of the Venice Biennale, in his opening speech, addressed the fundamental changes taking place in contemporary architecture, both in the field of design theory and practice, and in the use of new construction technologies, asserting that buildings are literally "made of surfaces". Surfaces that are transformed into interfaces, osmotic membranes that regulate complex flows, from the environmental ones (thermal, light, acoustic) to the material ones, up to the figurative, informative and communicative ones that characterize the image of contemporary spaces. Textile materials well represent this

constantly changing reality, aimed at building dematerialization and at the same time at the stabilization in the urban space.

The use of these construction technologies has long been confined to the creation of ephemeral buildings, intended for certain sectors such as camp tents, roofs and temporary pavilions. With the introduction of new materials such as membranes for tensile structures and technical fabrics, the possibilities of use of textiles have considerably expanded to the point of considering their use in buildings designed to last over time.

Although in different uses, textile membranes have thus seen the extension of the terms of durability and control of the operating life cycle thanks to the technological innovations that have concerned the basic materials and their protection methods.

vita di esercizio grazie alle innovazioni tecnologiche che hanno riguardato i materiali di base e le loro modalità di protezione.

Oggi, lo sviluppo di nuovi materiali tessili e film sintetici e il progressivo miglioramento delle soluzioni costruttive e dei dettagli tecnici, convalidati dalla prassi e altamente reversibili, ampliano le possibilità del progettista che tende a proporre soluzioni dirimpenti, basate sul trasferimento di materiali potenzialmente interessanti (per estetica, funzionalità o prestazioni) da altri settori applicativi più avanzati rispetto al campo dell'architettura (Monticelli and Zanelli, 2018).

Nelle strutture così concepite l'evidente coincidenza di costruzione e forma si proietta nel superamento della sola condizione di necessità tecnica attraverso una tecnologia che consente di sviluppare originali punti di vista polivalenti per l'architettura (Losasso, 2013).

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 (Mazzola and Liuti, 2018).

Sembra quanto mai necessaria, quindi, un'adeguata cultura dell'informazione circa le caratteristiche e le potenzialità dei materiali e delle tecnologie attuali per l'involucro tessile in riferimento a segmenti di produzione industriale particolarmente dinamici, non solo in termini di innovazione di prodotto, ma anche per capacità di trasferimento di tecnologie da un campo applicativo a un altro. Ne è la riprova l'ambito edilizio, sempre più spesso terreno di approdo e di sperimentazione di innovativi materiali tessili messi a punto in settori più avanzati.

Today, the development of new textile materials and synthetic films and the progressive improvement of highly reversible construction solutions and technical details, expand the possibilities of the designer who tends to propose disruptive solutions, based on the transfer of potentially interesting materials (for aesthetics, functionality or performance) from other, more advanced, application fields (Monticelli and Zanelli, 2018).

In the so conceived structures, the connection between construction and form is overcoming the sole condition of technical necessity through a technology that allows the development of original polyvalent points of view for architecture (Losasso, 2013).

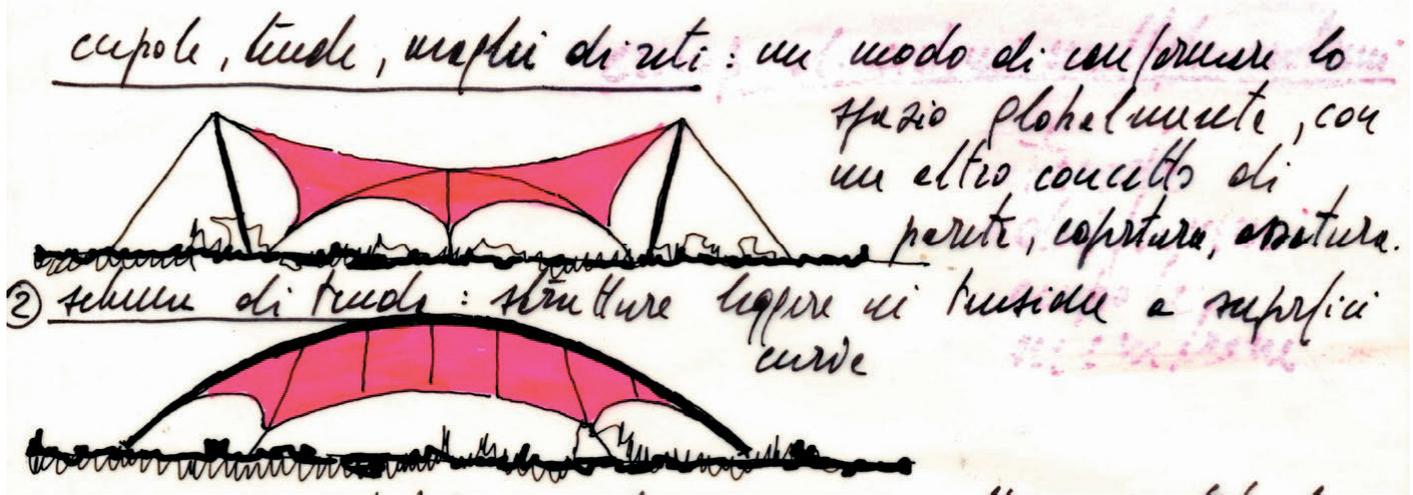
Furthermore, textile architecture can provide adaptive performance, transparency and formal expressiveness; this intrinsic lightness frees architec-

ture from the concepts of permanence and weight associated with the act of building, offering new standards that differ from the traditional massive architecture ones (Mazzola and Liuti, 2018).

Therefore, an adequate information culture about the characteristics and potential of current materials and technologies for textile envelope seems very necessary in reference to particularly dynamic industrial production segments, not only in terms of product innovation, but also for the ability to transfer technologies from one application field to another. The construction sector becomes an experimentation territory for innovative textile materials developed in more advanced sectors.

In the last twenty years, the developments in the materials engineering sector and the technological transfer

01 |



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. 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).

from other industrial sectors, such as the automotive and nautical sectors, have made new lighter and more performing materials available on the market (Beukers and Van Hinte, 2005), leading to experiments with textile materials and plastic films also in the architectural field. At the same time, the spread of parametric and CAD/CAM interface tools has generated a significant change in the design process, translated into an expansion of formal and expressive possibilities, and at the same time an enhancement of the production phase, customizable with reduced times and prices.

The development process of textile architecture project differs from the traditional one because it is characterized by a short industrial chain, in which the design and manufacturing phases share tools and operators (Zanelli and Campioli, 2009).

If lightness is undoubtedly the characteristic feature of these construction systems, the designer who intends to use them must be able to enhance all those aspects related to the thinness of the textile layer, such as the great permeability to natural light, which in some cases can even reach transparency, flexibility and deformability, which translate into opportunities for use and reuse of structures or even just into ease of assembly and disassembly. This trend justifies the demand for ever more performing textile systems, from a thermal, acoustic and optical point of view.

Manufacturers of technical textiles for architecture (polymeric films, membranes in coated fabrics, non-woven fabrics, knits) are moving towards eco-efficiency, developing new products, in order to reconcile both the control of hazardous emissions (initial phase),

Se la leggerezza è senza dubbio la cifra caratteristica di tali sistemi costruttivi, il progettista che intenda utilizzarli deve saper valorizzare tutti quegli aspetti correlati all'esilità dello strato tessile, quali la grande permeabilità alla luce naturale, che in alcuni casi può arrivare anche alla trasparenza e la flessibilità e deformabilità che si traducono in opportunità di uso e riuso delle strutture o anche solo di facilità di assemblaggio e smontaggio. Questa tendenza giustifica la richiesta di sistemi tessili sempre più performanti, dal punto di vista termico, acustico e ottico.

I produttori di tessili tecnici per l'architettura (film polimerici, membrane in tessuti rivestiti, non-tessuti, maglie) si stanno orientando verso l'eco-efficienza, sviluppando nuovi prodotti, al fine di conciliare sia il controllo delle emissioni pericolose (fase iniziale), sia il miglioramento delle prestazioni dei sistemi costruttivi leggeri (in fase d'uso), che l'ampliamento delle tecnologie di riciclaggio (a fine vita) (Fournier, 2013 and Maywald, 2014).

the improvement of the performance of lightweight construction systems (in use phase), and the expansion of recycling technologies (end-of-life phase) (Fournier, 2013; Maywald, 2014).

In the context of academic research on membrane structures, eco-efficiency is becoming a pivotal theme in order to acquire full awareness of the embodied energy and eco-profile of lightweight materials and construction systems, to be taken into consideration from the earliest stages of design. Most of the scientific results strongly detect the final eco-performance properties of a lightweight membrane structure, rather than information confined to the single material (Monticelli *et al.*, 2013). The convergence of technology, market, research and industry now makes it essential to affirm the concept of lightness as an environmental project theme. The ideas of lightness and

temporality should be understood as design semantics, in order to empower all parties involved in the project and minimize the use of resources required by the translation of design ideas into the construction process. The temporal connotation of these structures, together with the strong integration of design and construction phases – which involve designers, manufacturers and installers – makes it easier to trace the impact of use and reuse of suitable resources for a conscientious life-cycle planning of the structure (Mazzola and Liuti, 2018).

The sharing of skills, techniques and data, thanks to already active networks and working groups, will allow to reach a technical consensus and to move towards standardized procedures for the analysis, design and construction of eco-efficient membrane structures for multifunctional buildings and perma-

Nell'ambito dell'attività di ricerca accademica sulle strutture a membrana l'eco-efficienza sta diventando un tema cardine al fine di acquisire piena consapevolezza dell'energia incorporata e dell'eco-profilo dei materiali leggeri e dei sistemi di costruzione, da prendere in considerazione fin dalle prime fasi della progettazione. La maggior parte dei risultati scientifici rileva con forza le proprietà finali di eco-performance di una struttura leggera a membrana, piuttosto che le informazioni circoscritte al singolo materiale (Monticelli *et al.*, 2013).

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 coinvolte 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 (Mazzola and Liuti, 2018).

La condivisione di competenze, tecniche, strutture e dati grazie a network e gruppi di lavoro già attivi, consentirà di raggiungere un consenso tecnico e di orientarsi alla standardizzazione europea per l'analisi, la progettazione e la realizzazione di strutture a membrana eco-efficienti per edifici multifunzionali e usi permanenti perseguendo in futuro l'obiettivo di e introdurre procedure di valutazione del comfort termico, ottico e acustico in un processo di standardizzazione europea, come succede per altri materiali d'involucro (Monticelli and Zanelli, 2018).

ment uses, pursuing in the future procedures for the assessment of thermal, optical and acoustic comfort in a European standardization process, like for any other envelope materials (Monticelli and Zanelli, 2018).

The foundation of the European association TensiNet, which gathers all stakeholders in the tensile membrane constructions field, has greatly contributed to this goal.

The TensiNet network was activated in March 2001 and in its initial stages it was supported by the contribution of the European Commission, through the Competitive and Sustainable Growth Program within the Fifth Framework Program. The thematic network was created with the primary objective of sharing and exchanging knowledge on the entire life cycle of tensile membrane structures and more generally of textile and polymeric

coatings through the involvement – in the design of tensile architecture – of architects, designers, engineers, producers and packers of materials, contractors and builders, exponents of the university world and various research institutes. Currently TensiNet has redefined its statute transforming itself into a non-profit association under the coordination of the Board of Directors: Bernd Stimpfle, Roberto Canobbio and Marijke Mollaert.

In addition to the publication of specific Design Guides to testify the design, industrial and basic research advances, the TensiNews newsletter, published twice a year, and the international conference which is hosted every two years at a partner university represent other important tools for sharing the progress achieved in the various sub-domains of the membrane construction industry.

A questo traguardo ha grandemente contribuito la fondazione dell'associazione europea TensiNet che raccoglie tutti i portatori di interesse nell'ambito delle costruzioni tensili a membrana. Il network TensiNet è stato attivato nel marzo 2001 e nelle sue fasi iniziali è stato supportato dal contributo della Commissione Europea, attraverso il programma di ricerca *Competitive and Sustainable Growth Program* all'interno del Quinto Programma Quadro. Il network tematico nasce con l'obiettivo prioritario di condividere e scambiare le conoscenze sull'intero ciclo di vita delle strutture tensili membranali e più in generale dei rivestimenti tessili e polimerici attraverso il coinvolgimento – nella progettazione dell'architettura tensile – di architetti, designers, ingegneri, produttori e confezionatori di materiali, appaltatori e costruttori, esponenti del mondo universitario e di vari istituti di ricerca. Attualmente TensiNet ha ridefinito il suo statuto trasformandosi in associazione no-profit sotto il coordinamento del Board dei Direttori: Bernd Stimpfle, Roberto Canobbio e Marijke Mollaert.

Oltre alla pubblicazione di specifiche *Design Guide* per testimoniare gli avanzamenti progettuali, industriali e di ricerca di base, altri importanti strumenti di condivisione dei progressi raggiunti nei diversi sotto-ambiti dell'industria delle costruzioni a membrana sono costituiti dal giornale bimestrale TensiNews e dal convegno internazionale che a cadenza biennale viene ospitato presso una sede universitaria consociata.

Il prossimo congresso, il TensiNet Symposium 2023, intitolato "Membrane architecture: the seventh established building material. Designing reliable and sustainable structures for the urban environment" verrà ospitato in Francia dall'Università di Nantes, dal 7 al 9 giugno del 2023.

The next congress, the TensiNet Symposium 2023, entitled "Membrane architecture: the seventh established building material. Designing reliable and sustainable structures for the urban environment" will be held at Nantes University (France) from 7th till 9th June 2023.

In the following pages, through a dialogue with the Board of Directors, we will address a reasoning concerning the research and development lines carried out by TensiNet.

1. The European research network TensiNet, active since 2004, works to share knowledge between different specialists and to overcome the inevitable fragmentation that is created in a textile-manufacturing sector characterized by continuous innovation and technology transfer. However, membrane structures are still considered a niche sector, reserved for

specialists; is there any sign of change, addressing the acquired know-how towards a larger audience of designers and builders?

All over the world, lifestyles are increasingly bringing out the need for flexibility, speed and dematerialization and these changes, albeit in a slower way, also involve the construction sector. Tensile membrane structures as super-light constructions have been playing a key role in recent decades whenever the key requirement is the reduction of time from the conception of the project to its inauguration (international expo, temporary events), but also when speed of installation and hyper-lightness of the roofing system are an added value.

Faced with a sudden advance of textile and polymeric materials for the sector, the design has often suffered from the lack of harmonization of structural

02 | Foto di Gruppo tra i partecipanti al TensiNet Symposium del giugno 2019 – *Softening the Habitats. Sustainable innovations in Minimal Mass Structures and Lightweight Architectures*; alle spalle dei partecipanti il padiglione ultraleggero Tempor-Active (Mazzola et al., 2021) realizzato in occasione del convegno grazie alla sinergia tra i ricercatori del Textile Architecture Network del Politecnico di Milano, lo studio di ingegneria Tedesco Form-TL e l'azienda italiana Canobbio Engineering.

Group photo among the participants of the TensiNet Symposium in June 2019 – Softening the Habitats. Sustainable innovations in Minimal Mass Structures and Lightweight Architectures; behind the participants, the ultralight Tempor-Active pavilion (Mazzola et alii, 2021) created for the conference thanks to the synergy between the researchers of the Textile Architecture Network of the Politecnico di Milano, the German engineering firm Form-TL and the Italian company Canobbio Engineering.

Nelle pagine seguenti, attraverso un dialogo con il Board dei Direttori saranno sviluppati alcuni ragionamenti inerenti le linee di ricerca e sviluppo portate avanti da TensiNet.

1. La rete di ricerca europea TensiNet, attiva dal 2004, opera per la condivisione delle conoscenze tra specialismi differenti e per il superamento delle inevitabili frammentazioni che si creano in un comparto tessile-manifatturiero caratterizzato da continua innovazione e trasferimento tecnologico.

Tuttavia le costruzioni a membrana sono considerate ancora un settore di nicchia riservato a specialisti; c'è qualche segnale che ciò stia cambiando in un'ottica di indirizzamento del know-how acquisito verso una platea maggiore di progettisti e costruttori?

In tutto il mondo, gli stili di vita fanno emergere sempre più le esigenze di flessibilità, velocità e dematerializzazione e questi cambiamenti, anche se in modo più lento, coinvolgono anche il settore delle costruzioni. Le strutture tensili a membrana in quanto costruzioni super-leggere, stanno giocando in questi decenni un ruolo chiave ogniqualvolta il requisito chiave è la riduzione dei tempi dalla concezione del progetto all'inaugurazione dell'opera (expo internazionali, eventi temporanei), ma anche quando velocità di installazione e iper-leggerezza del sistema di copertura sono un valore aggiunto.

A fronte di un repentino avanzamento dei materiali tessili e polimerici per il settore, la progettualità ha sovente sofferto della mancanza di armonizzazione dei metodi di progettazione strutturale. Il TensiNet ha avuto un ruolo fondamentale per

02 |



superare questo collo di bottiglia e promuove la condivisione delle migliori pratiche per poi arrivare alla proposta di una normativa specifica.

A quasi settant'anni dall'avvio dell'industria delle costruzioni tensili a membrana, un significativo risultato delle sinergie create dall'associazione, frutto del lavoro congiunto di tutte le professionalità che ruotano attorno alla progettazione, produzione industriale e costruzione e manutenzione delle strutture a membrana, è certamente stata la creazione di un tavolo tecnico per la stesura di un eurocodice specifico sulla progettazione delle strutture a membrana. Nel 2016 sotto la supervisione del JRC della Commissione Europea è stato pubblicato il primo SaP Report inerente le linee guida per la progettazione strutturale dei sistemi tensili a membrana (Mollaert *et al.*, 2016); mentre sono nella fase conclusiva i lavori del CEN/TC250 Structural Eurocodes relativi alle strutture a membrana. Inoltre dal 2019 l'Europa tramite lo standard EN 17117 ha anche normalizzato le modalità di verifica della qualità dei materiali tessili rivestiti, introducendo la necessità di uniformare le procedure per eseguire i test meccanici biassiali su tutti i prodotti tessili e polimerici impiegabili nelle costruzioni a membrana.

2. Quali sono dunque le traiettorie di sviluppo più promettenti di questa tecnologia costruttiva? E quali possono ritenersi i requisiti connotanti a cui le architetture tessili rispondono in termini prestazionali?

Da oltre un decennio si è consolidato l'uso delle membrane tessili e dei film fluoro-polimerici come superfici di rivestimento degli edifici e non più soltanto come parte di sistemi tenso-

design methods. TensiNet has played a fundamental role in overcoming this bottleneck, promoting best practices sharing to then arrive at the proposal of specific legislation.

Almost seventy years after the start of the tensile membranes construction industry, a significant result of the synergies created by the association, thanks to the joint work of all the professionals that revolve around the design, industrial production, construction and maintenance of membrane structures, was certainly the creation of a technical table for the drafting of a specific Eurocode for the design of membrane structures. In 2016, under the supervision of the European Commission's JRC, the first SaP-Report concerning the guidelines for a european structural design of tensile membrane structures was published (Mollaert *et al.*, 2016); meanwhile,

the CEN/TC250 Structural Eurocodes relating to membrane structures are nearing completion. Furthermore, since 2019, the EN 17117 European standard has also normalized the methods of checking the quality of coated fabrics, introducing the need to standardize the procedures for performing biaxial mechanical tests on all textile and polymeric products that can be used in membrane structures.

2. What are, therefore, the most promising development trajectories of this construction technology? And what are the connotating requirements to which textile architectures respond in terms of performance?

For over a decade, the use of textile membranes and fluoro-polymeric films as cladding surfaces for buildings has been consolidating, no longer only as part of medium-large span tensile-

strutturali di media-grande luce da un lato o di strutture temporanee di facile smontabilità dall'altro.

Il passaggio dall'uso esclusivo di tali materiali in sistemi tenso-strutturali all'impiego più diffuso nella pelle degli edifici può essere interpretato come la conseguenza di due cambiamenti tutt'ora in atto.

Da un lato i progettisti stanno via più prendendo confidenza con una materialità iper-sottile, traslucente, a volte persino trasparente come nel caso del materiale ETFE. Dall'altro, anche l'evoluzione del linguaggio architettonico che va alla ricerca di forme sempre più complesse e di sviluppi geometrici senza soluzione di continuità, ha decretato l'introduzione a pieno titolo del tessile come materiale privilegiato con cui realizzare volumi nei quali si perde il distinguo tra coperture e chiusure, tra le superfici verticali e orizzontali o inclinate, assecondando così la creatività del progettista e sfruttando le potenzialità di sofisticati strumenti di disegno architettonico.

Inoltre l'incremento di durabilità dei componenti costituenti questo sistema costruttivo ha coinciso con il passaggio da membrane dichiaratamente effimere e per i esercizi temporanei alla realizzazione di membrane più resistenti e per questo spesso inserite in maniera integrata in architetture realizzate con altre tecniche realizzative.

In questo scenario la pelle tessile o polimerica può assumere configurazioni differenti in relazione a un ampio spettro di prestazioni; in tutti i casi, si tratta di una pelle sottile e ultra-leggera (Sobek, 2016; Mazzola, 2020) in raffronto alle più note tecnologie costruttive per l'involucro edilizio. La barriera protettiva traslucida della membrana tessile rappresenta un filtro di luce che deve però essere interpretato con sapienza tecnica e con una ag-

structural systems or temporary structures easily disassemblable.

The transition from the exclusive use of these materials in tensile-structural systems to the more widespread use in buildings envelope can be interpreted as the consequence of two changes still underway.

On the one hand, designers are becoming more familiar with a hyper-thin, translucent material, sometimes even transparent, as in the case of the ETFE. On the other hand, also the evolution of the architectural language that goes in search of increasingly complex shapes and continuous geometries, has decreed the full introduction of textiles as a privileged material to create volumes in which there's no distinction between roofs and walls, vertical and horizontal or inclined surfaces, thus supporting the designer's creativity and exploiting the

potential of sophisticated architectural drawing tools.

In addition, the increase in durability of the constituent components of this construction system coincided with the transition from openly ephemeral membranes for temporary uses to the creation of more resistant membranes, often integrated with other construction techniques.

In this scenario, the textile or polymeric skin can assume different configurations in relation to a broad spectrum of performances; in all cases, it is a thin and ultra-light skin (Sobek, 2016; Mazzola 2020) in comparison with the most well-known construction technologies for the building envelope. The translucent protective barrier of textile membranes represents a light filter that must, however, be interpreted with technical skill and with an up-to-date knowledge of the

giornata conoscenza dei continui avanzamenti dell'industria dei tessili tecnici. Definire la pelle di un edificio implica rapportarsi con il contesto circostante l'edificio, ovvero porsi il problema di come integrare la nuova materialità nell'ambiente costruito. Tale aspetto a volte ha costituito un freno all'impiego dei tessili e dei polimeri nelle facciate degli edifici che fanno parte di un costruito storico o di un tessuto consolidato, mentre ha rappresentato uno stimolo in più nella sperimentazione di nuove forme architettoniche in tutte quelle situazioni progettuali in cui l'edificio si presenta come un unicum isolato del quale si intende esaltare la stereometria.

In alcuni casi la membrana può essere impiegata in un solo *layer* di poche centinaia di micron di millimetro; altre volte viene stratificata per accrescere le proprietà di isolamento termico e acustico, creando involucri edilizi chiusi di 20-40 cm. In recenti esperienze progettuali la duplice o triplice *soft skin* viene pressurizzata al suo interno, sfruttando l'aria come elemento stabilizzante la struttura ma anche in minima parte come isolante; infine i pannelli tessili dell'involucro possono essere integrati con dispositivi elettronici e meccanici, così che l'involucro possa assumere una variabilità di assetto in relazione ai cambiamenti climatici o stagionali.

In sintesi si può affermare che una delle direzioni predominanti l'attuale sviluppo industriale e manifatturiero in ambito di costruzioni a membrana vada a supporto del rinnovamento non solo delle cosiddette *soft structures* ma anche delle *soft skins*. Auspicabile è che le due linee di sviluppo si nutrano di sinergie alimentate da quell'intelligente approccio di concezione strutturale che ha caratterizzato le costruzioni a membrana degli esordi e dei pionieri della cosiddetta *tent-like architecture* (Fa-

continuous advancements of technical textile industry. Defining the skin of a building implies relating to the building context, or solving the problem of how to integrate the new materials into the built environment. This aspect has sometimes constituted a brake in the use of textiles and polymers materials for buildings facades, that are part of a historic evolution or of a consolidated fabric; it has represented instead an additional stimulus in the experimentation of new architectural forms for isolated buildings, with the aim to enhance their stereometry.

In some cases, the membrane can be used in a single layer of a few hundred microns of a millimetre; other times it is stratified to increase the thermal and acoustic insulation properties, creating closed building envelopes of 20-40 cm. In recent design experiences, the double or triple soft skin is pressurized

inside, using the air as a stabilizing element for the structure but also, minimally, as an insulator; additionally, textile panels can be integrated in the envelope with electronic and mechanical devices, in order to vary according to climatic or seasonal changes.

In summary, we can say that one of the predominant directions of the current industrial and manufacturing development in the membrane structures field supports the renewal not only of the so-called soft structures but also of the soft skins. Possibly the two lines of development feed on synergies fueled by that intelligent structural design approach that characterized the first membrane structures, the so-called tent-like architecture (Fabricius, 2016); a design approach attentive to minimizing the material resources, in order to maximize both structural and energy efficiency.

bricius, 2016); un approccio progettuale attento alla minimizzazione delle risorse materiali incorporate nella costruzione, al fine di massimizzarne l'efficienza sia strutturale che energetica.

3. Con la riduzione del materiale e dell'energia incorporata e con un elevato rapporto tra peso portato e portante le strutture leggere contribuiscono alla riduzione degli impatti ambientali esprimendo principi concettuali e costruttivi a elevato valore di sostenibilità. Questo principio è ancora più significativo se si considera che tali strutture sono l'esito di assemblaggi a secco e di tecniche costruttive conformabili e reversibili. Quali sono, in tal senso, le linee di ricerca e sperimentazione nel campo della sostenibilità dell'architettura tessile?

I temi di principale dibattito da parte dei produttori di materie prime del comparto delle costruzioni tessili – tessuti tecnici da un lato, polimeri e fluoropolimerici dall'altro – riguardano l'innalzamento del livello prestazionale dei sistemi edilizi, a fronte dell'accresciuta domanda di sistemi permanenti, di lunga durata. Negli ultimi decenni i produttori di membrane hanno migliorato le prestazioni dei materiali di base in modo da poter innalzare la garanzia dei loro materiali da una media di 10 anni a una attuale media di 25. Ciò ha portato le membrane a ricoprire un ruolo nuovo nel campo dei materiali strutturali. L'armonizzazione degli standard di progettazione è un ulteriore passo avanti nella direzione di poter considerare le membrane davvero come il più leggero materiale da costruzione.

Se la prestazione meccanica oramai non è più in dubbio, ora l'attenzione degli sviluppatori è sulla transizione verso metodi e procedure di lavorazione industriale più sostenibili e meno impattanti sull'ambiente.

3. With the reduction of the material and the embodied energy and with a high ratio between carried and load-bearing weight, light structures contribute to the reduction of environmental impacts by expressing conceptual and constructive principles with a high sustainability value. This principle is even more significant if we consider that these structures are the result of dry assembly and conformable and reversible construction techniques. In this sense, what are the lines of research and experimentation in the field of textile architecture sustainability?

The main debate issues by the producers of raw materials in the textile construction sector – technical fabrics on the one hand, polymers and fluoropolymers on the other – concern the increase of the performance level of building systems, as a result of the increased demand for permanent,

long lasting systems. In recent decades, membrane manufacturers have improved the performance of basic materials in order to raise their warranty from an average of 10 years to a current average of 25. This has led membranes to play a new role in the field of structural materials. The harmonization of design standards is a further step in the direction of being able to truly consider membranes as the lightest building material.

If the mechanical performance is no longer in doubt, now the attention of the developers is on the transition towards more sustainable and less impactful industrial methods and procedures on the environment.

Almost all the technical textiles used in the textile architecture sector today are of chemical synthesis and petroleum origin. It therefore becomes urgent to evaluate alternative strategies to create

La quasi totalità dei tessili tecnici impiegati nel settore dell'architettura tessile oggi è di sintesi chimica e di origine petrolifera. Diventa dunque urgente valutare strategie alternative per creare polimeri nuovi, di origine biologica e, al tempo stesso, valutare la possibilità di recupero di scarti interni alla filiera e/o anche esterni ad essa, in un approccio di economia circolare (Zanelli *et al.*, 2020).

Nonostante lo stimolante continuo avanzamento tecnologico è importante, infatti, che il settore delle strutture leggere non dimentichi la preziosa lezione del passato. Gli antichi usi dei tessuti nelle diverse culture sono stati orientati e guidati dai concetti di risparmio ed efficienza dei materiali, che oggi possono essere letti come concetti ispiratori di sostenibilità ambientale intrinseca per l'architettura tessile di domani. Infatti, un sistema leggero dovrebbe continuare a essere sempre progettato con un naturale senso del limite; per dirsi tale, un sistema costruttivo leggero a membrana dovrà continuare a essere progettato come un *kit* costruttivo "di necessità" dove nulla è superfluo e ogni parte è essenziale di un sistema integrato nell'ambiente (Knippers and Speck, 2012; Zanelli *et al.*, 2022).

L'associazione TensiNet vede in questi anni un'intensa attività del gruppo di lavoro *WG Sustainability and Comfort* per uno sviluppo che vuole porre le basi verso una maggiore sostenibilità dell'intero comparto produttivo, condividendo metodiche di valutazione basate sull'approccio LCA dei componenti edilizi a membrana e lavorando al progressivo efficientamento e alla riduzione degli impatti ambientali dei sistemi edilizi tessili lungo l'intero ciclo di vita, dalla produzione industriale fino alla loro dismissione (Monticelli, 2021).

new polymers, of biological origin and, at the same time, to evaluate the possibility of recovering waste in the supply chain, following a circular economy approach (Zanelli *et al.*, 2020). Despite the stimulating continuous technological advancement, it is indeed important that the sector of light structures does not forget the precious lesson of the past. The ancient uses of fabrics in different cultures have been oriented and guided by the concepts of saving and materials efficiency, which today can be read as inspiring concepts of intrinsic environmental sustainability for the textile architecture of tomorrow. Indeed, a lightweight system should always continue to be designed with a natural sense of limit; to say so, a lightweight membrane construction system will have to continue to be designed as a "necessity" construction kit where nothing is superfluous and each

part is essential for an integrated system in the environment (Knippers and Speck, 2012; Zanelli *et al.*, 2022). The TensiNet association has seen in recent years an intense activity of the WG Sustainability and Comfort working group for a development that wants to lay the foundations towards greater sustainability of the entire production sector, sharing evaluation methods based on the LCA approach of building membrane components and working on the progressive efficiency and reduction of the environmental impacts of textile building systems along the entire life cycle, from industrial production to their disposal (Monticelli, 2021).

REFERENCES

- Beukers, A., Van Hinte, E. (2005), *Lightness: The inevitable renaissance of minimum energy structures*, 010 Publishers, Rotterdam, Netherlands.
- Fournier, F. (2013), "LCA of PRECONSTRAINT composite membranes and TEXYLOOP recycling cases studies", in Bogner-Balz, H., Mollaert, M. and Pusat, E. (Eds.), *[RE]THINKING Lightweight Structures*, Tensinet Symposium Proceedings, Istanbul, Turkey, pp. 487-496.
- Fabricius, D. (2016), "Architecture before Architecture: Frei Otto's 'Deep History'", in *Journal of Architecture*, Vol. 21, n.8, pp. 1253-73.
- Forster, B., Mollaert M. (Eds.) (2004), *European Design Guide for Tensile Surface Structures*, TensiNet publication, Brussels, Belgium.
- Knippers, J. and Speck, T. (2012), "Design and Construction Principles in Nature and Architecture" *Bioinspiration & biomimetics*, Vol. 7, n.1, 015002.
- Losasso, M. (2013), "Per una visione leggera della tecnologia", in Capasso A. (Ed.), *Architettura atipica e tensostrutture a membrana*, CLEAN Edizioni, Napoli, Italia.
- Maywald, C. (2014), "Vector Foiltec's activities in the field of sustainability and the experience of the EPD", *Oresentation and contribute*, EU COST 1303, Bruxelles meeting.
- Mazzola, C. and Liuti, A. (2018), "La temporaneità dell'architettura tessile, innovazioni a confronto", in *AGATHÓN International Journal of Architecture, Art and Design*, pp. 195-202.
- Mazzola, C., Zanelli, A., Stimpfle, B. and Canobbio, R. (2021), "Temporary pavilion: second design to construction loop of an ultra-light weight temporary architecture", in *Architectural Engineering and Design Management*, Vol. 17, n. 3-4, pp. 216-228.
- Mollaert, M., Dimova, S. and Denton, S. (Eds.) (2016), *Prospect for european guidance for the structural design of tensile membrane structures. Science and Policy Report (SaP-Report)*, Draft version, Joint Research Centre.
- Monticelli, C., Zanelli, A. and Campioli, A. (2013), "Life cycle assessment of textile facades, beyond the current cladding systems", in Bogner-Balz, H., Mollaert, M. and Pusat, E. (Eds.), *[RE]Thinking Lightweight Structures*, Tensinet Symposium Proceedings, Istanbul, Turkey, pp. 467-476.
- Monticelli, C. and Zanelli, A. (2018), "Le membrane strutturali in architettura: una soluzione eco-efficiente per il futuro?", *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 16, pp. 235-246.
- Monticelli, C. and Zanelli, A. (2021), "Materialsaving and building component efficiency as main eco-design principles for membrane architecture: case - studies of ETFE enclosures", *Architectural Engineering and Design Management*, Vol.17, pp. 264-280.
- Sobek, W. 2016, "Ultra-lightweight construction", *International Journal of Space Structures*, Vol. 31, n.1, pp. 74-80.
- Zanelli, A. and Campioli, A. (2009), "Architettura tessile progettare e costruire membrane e scocche", *Il sole-24 ore*, Milano, Italia.
- Zanelli, A., Monticelli, C. and Viscuso, S. (2020), *Closing the loop in Textile Architecture: Innovative Strategies and Limits of Introducing Biopolymers in Membrane Structure*, in Della Torre *et al.* (Eds), *Regeneration of the Built Environment from a Circular Economy Perspective*, Springer, pp. 263-276.
- Zanelli A., Monticelli C., Jakica N. and Fan Z. (2022), *Lightweight Energy. Membrane architecture exploiting natural renewable resources*, Springer Nature, in press.