

# **MODELING AND DEVELOPMENT OF INNOVATIVE STRUCTURES FOR SMART FAÇADES OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS**

## **Abstract**

Recent studies have proposed the use of tensegrity structures in the field of Energy Efficient Buildings for the construction of dynamic shading systems of new generation intelligent buildings, thanks to the special ability of such structures to act as systems for deployment and to provide minimal mass structures for a variety of loading conditions.

This dissertation presents a mechanical study on the use of tensegrity lattices for the design of energy efficient sun screens. Tensegrity systems are lattice structures whose compression elements (or bars) can be described as rigid partially deformable bodies, while cables (or strings) are tensile elements and are usually pre-stretched to stabilize compressed members.

Inspired by the dynamic solar façades of the Al Bahar Towers in Abu Dhabi we studied a tensegrity solution for the solar screen module and simulated the mechanical analysis with the related numerical results. The analyzed screens origami modules formed by the repetition of a basic tensegrity system that constitutes an eye of the façade. The actuation of each module is controlled through the stretching of the perimeter strings, which form macro-triangles moving parallel to the building, while all the bars and the fabric mesh infills form micro-triangles that are allowed to move rigidly in space. We developed an analytic formulation of the deformation mapping associated with such an actuation motion, giving rise to a morphing-type behavior. We also estimated the energy required to activate the analyzed shading system, and established a comparison between its weight and that of the original screens of the Al Bahar Towers.

The basic module of the examined screens includes tensegrity units with displacement amplification properties that are equipped with piezoelectric cables. A numerical procedure for the simulation of the dynamic response of the examined sunscreens under arbitrary loading is formulated. The proposed model is employed to study the actuation motion exhibited by the elementary origami module, and its vibrations under the action of wind forces. The peculiar ability of tensegrity shading systems to harvest the mechanical energy stored in the strings is investigated, by drawing comparison with the energy harvesting abilities of photovoltaic panels and microeolic turbines. The proposed tensegrity design concept leads to the realization of shading screens that are markedly lightweight, operate on very low energy consumption and can be usefully employed to harvest solar and wind energies.

# **Modellazione e sviluppo di strutture innovative per facciate intelligenti di edifici a risparmio energetico**

## **Abstract**

Studi recenti hanno proposto l'uso di strutture tensegrity nel campo dell'EEB per la costruzione di sistemi di schermatura dinamica di edifici intelligenti di nuova generazione, grazie alla speciale capacità di dispiegamento/ripiegamento di tali strutture e la possibilità di garantire minima massa strutturale per una varietà di condizioni di carico.

Questa tesi presenta uno studio meccanico sull'uso dei reticoli tensegrity per la progettazione di schermi solari ad alta efficienza energetica. I sistemi tensegrity sono strutture reticolari i cui elementi di compressione (o barre) possono essere descritti come corpi rigidi parzialmente deformabili, mentre i cavi (o stringhe) sono elementi di trazione e di solito sono pre-tesi per stabilizzare gli elementi compressi.

Ispirati alle facciate solari dinamiche delle Torri Al Bahar di Abu Dhabi, abbiamo studiato una soluzione tensegrity per il modulo dello schermo solare e simulato l'analisi meccanica con i relativi risultati numerici. Gli schermi analizzati modellano gli origami formati dalla ripetizione di un sistema di base tensegrity che costituisce un occhio della facciata. L'attuazione di ciascun modulo è controllata attraverso l'allungamento delle stringhe perimetrali, che formano macro-triangoli i quali si muovono parallelamente all'edificio, mentre tutte le barre possono muoversi rigidamente nello spazio. Abbiamo sviluppato una formulazione analitica della mappatura della deformazione associata a tale movimento di attuazione, dando origine a un comportamento di tipo morphing. Abbiamo anche stimato l'energia necessaria per attivare il sistema di ombreggiatura analizzato e stabilito un confronto tra il suo peso e quello degli schermi originali delle Torri Al Bahar.

Il modulo di base delle schermate esaminate include unità tensegrity con proprietà di amplificazione di spostamento che sono dotate di cavi piezoelettrici. Viene formulata una procedura numerica per la simulazione della risposta dinamica dei filtri solari esaminati sotto carico arbitrario. Il modello proposto viene utilizzato per studiare il movimento di attuazione mostrato dal modulo elementare origami e le sue vibrazioni

sotto l'azione delle forze del vento. Viene studiata la peculiare capacità dei sistemi di oscuramento tensegrity di raccogliere l'energia meccanica immagazzinata nelle stringhe, confrontando le capacità di raccolta dell'energia dei pannelli fotovoltaici e delle turbine microeoliche. Il concetto di design tensegrity proposto porta alla realizzazione di schermi ombreggianti che sono marcatamente leggeri, che operano a bassissimo consumo di energia e che possono essere utilmente impiegati per raccogliere energia solare ed eolica.