

Abstract in italiano

Questo lavoro di tesi dottorale affronta lo studio della meccanica, della cinematica e della prototipazione rapida di nuovi moduli strutturali con architettura tensegrity, sviluppati per applicazioni avanzate di ingegneria strutturale. Tali moduli sono concepiti come sistemi adattivi, in grado di modificare configurazione e risposta meccanica attraverso il controllo di un numero limitato di cavi, le cui lunghezze residue vengono opportunamente regolate al fine di consentire il dispiegamento della struttura e la formazione di configurazioni tensegrity stabili. Le proprietà meccaniche dei moduli, in termini di rigidità e capacità di carico, vengono regolate mediante la modulazione della pretensione dei cavi di attuazione, una volta che il moto di dispiegamento risulta vincolato. Il lavoro analizza in modo sistematico la cinematica e la meccanica delle strutture proposte, facendo ricorso a modelli analitici e numerici, e ne indaga il comportamento in diverse configurazioni operative. Particolare attenzione è dedicata allo sviluppo e alla validazione di procedure di prototipazione rapida, basate su tecnologie di stampa 3d, finalizzate alla realizzazione di modelli fisici e alla verifica sperimentale delle prestazioni strutturali. Le principali applicazioni dei sistemi strutturali studiati riguardano strutture adattive per la cattura dell'energia solare, con specifico riferimento a dispositivi integrabili in involucri edilizi o sistemi modulari. Tuttavia, l'approccio progettuale e le soluzioni strutturali sviluppate risultano estendibili a una più ampia gamma di ambiti applicativi, includendo sistemi per l'ingegneria delle strutture intelligenti, dispositivi di controllo passivo e semi-attivo della risposta strutturale, nonché applicazioni nel campo dell'ingegneria sismica.

Abstract in inglese

This doctoral dissertation investigates the mechanics, kinematics, and rapid prototyping of novel structural modules with tensegrity architecture, developed for advanced applications in structural engineering. These modules are conceived as adaptive systems capable of modifying their configuration and mechanical response through the control of a limited number of cables, whose rest lengths are appropriately adjusted to enable structural deployment and the formation of stable tensegrity configurations.

The mechanical properties of the modules, in terms of stiffness and load-carrying capacity, are regulated by modulating the pretension of the actuation cables once the deployment motion is constrained. The dissertation presents a systematic analysis of the kinematics and mechanics of the proposed structures, based on both analytical and numerical modeling, and investigates their behavior under different operational configurations. Particular emphasis is placed on the development and validation of rapid prototyping procedures, based on additive manufacturing technologies, aimed at the fabrication of physical models and the experimental assessment of structural performance.

The primary applications of the investigated structural systems concern adaptive structures for solar energy harvesting, with specific reference to devices that can be integrated into building envelopes or modular systems. However, the proposed design approach and the developed structural solutions are broadly applicable to a wider range of engineering contexts, including smart structural systems, passive and semi-active control devices for structural response, as well as applications in the field of seismic engineering.