



**Politecnico  
di Torino**

**ScuDo**  
Scuola di Dottorato ~ Doctoral School  
WHAT YOU ARE, TAKES YOU FAR

**Dottorato in Architettura. Storia e Progetto (DASP)**

XXXVII ciclo

**L'approccio biomimetico: affrontare la complessità nel  
progetto di sistemi d'involucro edilizio adattivi al clima.  
Stato dell'arte, strumenti metodologici e analisi critica**

**Luca Saverio Valzano**

M.Sc. in Building Engineering

M.Sc. in Architecture. Construction, City

Second-Level Master's Degree in Design and Construction of Tall Buildings

Supervisor

Prof. Ph.D. Arch. Valentino Manni

Prof. Ph.D. Arch. Guido Gallegari

Politecnico di Torino

Novembre 2025

## ABSTRACT

*La presente tesi di dottorato affronta la progettazione di sistemi d'involucro edilizio adattivi al clima (CABS) nel contesto delle pressanti sfide poste dal cambiamento climatico, dall'urbanizzazione globale e dal crescente fabbisogno energetico.*

*Tali criticità sanciscono l'inadeguatezza dei paradigmi progettuali tradizionali e sollecitano la transizione verso un'architettura intrinsecamente sistemica, dinamica e adattiva. È in questa prospettiva che i sistemi d'involucro adattivi si affermano non solo come soluzione tecnologica, ma come una delle più promettenti frontiere della ricerca architettonica contemporanea.*

*Tuttavia, nonostante il loro significativo potenziale in termini di efficienza energetica, miglioramento dei livelli di comfort interno e resilienza climatica del manufatto architettonico, la progettazione e la gestione operativa degli involucri adattivi sono ostacolate dalla loro intrinseca complessità.*

*Tale complessità, di natura multidimensionale, emerge dalle interazioni dinamiche e sistemiche tra ambiente, tecnologia e utente, e ha finora limitato sia la loro diffusione nel panorama architettonico contemporaneo, sia la piena espressione delle loro potenzialità.*

*Muovendo dalla disamina dei fondamenti scientifici e dall'analisi critica dello stato dell'arte, la ricerca affronta la complessità intrinseca degli involucri adattivi e le loro declinazioni tecnologiche, adottando un approccio prevalentemente teorico-critico e qualitativo.*

*Il suo cuore metodologico è un'estesa revisione transdisciplinare della letteratura scientifica, che spazia da discipline fondative come l'epistemologia della complessità, la cibernetica e la biologia, fino ai domini più tecnici dell'architettura, dell'ingegneria e delle scienze dell'intelligenza artificiale. Tale indagine teorica è integrata dall'analisi critica di un corpus di casi studio significativi, esaminati non per le loro puntuali metriche prestazionali, ma in quanto modelli emblematici delle strategie progettuali e di gestione della complessità.*

*Da questa indagine scaturisce un duplice contributo originale: una nuova chiave di lettura del problema e, soprattutto, la proposta di un innovativo framework metodologico che si avvale dell'applicazione dell'approccio biomimetico al design computazionale evolutivo per tradurre l'intelligenza dei sistemi naturali in soluzioni progettuali performanti per l'involucro adattivo.*

*L'originalità del contributo risiede dunque nell'affrontare il tema del progetto degli involucri adattivi al clima attraverso la lente analitica della complessità, proponendo l'approccio biomimetico come paradigma metodologico per la sua gestione mirata.*

*Tale approccio non solo offre un framework operativo, ma fornisce anche spunti per una ridefinizione del concetto stesso di edificio, alla luce delle sfide imposte dal cambiamento climatico e delle potenzialità offerte e dei rischi prospettati dalle tecnologie abilitanti la digitalizzazione e la datificazione.*

*Il lavoro si conclude con una discussione critica di limiti e potenzialità di questo approccio, esaminati alla luce dell'ambivalente orizzonte tracciato dall'attuale innovazione tecnologica, che dischiude tanto inedite potenzialità quanto complesse sfide etiche.*

*Da questa disamina emergono promettenti indirizzi per la ricerca futura, volti a sistematizzare ulteriormente il dialogo tra la formalizzazione dell'ispirazione biologica e il processo progettuale.*

## **ABSTRACT**

*This PhD dissertation addresses the design of Climate-Adaptive Building Systems (CABS) within the context of pressing challenges posed by climate change, global urbanization, and increasing energy demands.*

*These critical issues highlight the inadequacy of traditional design paradigms and necessitate a transition toward an architecture that is inherently systemic, dynamic, and adaptive. It is in this perspective that adaptive building envelopes emerge not only as a technological solution but as one of the most promising frontiers in contemporary architectural research.*

*However, despite their significant potential in terms of energy efficiency, improvement of indoor comfort levels, and climatic resilience of the architectural artifact, the design and operational management of adaptive envelopes are hampered by their intrinsic complexity.*

*This complexity, which is multidimensional in nature, arises from the dynamic and systemic interactions among the environment, technology, and user, and has so far limited both their widespread adoption in the contemporary architectural landscape and the full expression of their potential.*

*Starting from an examination of the scientific foundations and a critical analysis of the state-of-the-art, this research confronts the intrinsic complexity of adaptive envelopes and their technological variations, adopting a predominantly theoretical-critical and qualitative approach.*

*The methodological core of the study is an extensive transdisciplinary review of scientific literature, spanning foundational disciplines such as the epistemology of complexity, cybernetics, and biology, through to the more technical domains of architecture, engineering, and artificial intelligence sciences. This theoretical investigation is complemented by a critical analysis of a corpus of significant case studies, examined not for their precise performance metrics, but as emblematic models of design strategies and complexity management.*

*This investigation yields a dual original contribution: a new analytical framework for the problem and, most importantly, the proposal of an innovative methodological framework that leverages the application of the biomimetic approach to evolutionary computational design to translate the intelligence of natural systems into high-performing design solutions for the adaptive envelope.*

*The originality of this contribution thus lies in tackling the design of climate-adaptive envelopes through the analytical lens of complexity, proposing the biomimetic approach as the methodological paradigm for its targeted management.*

*This approach not only offers an operational framework but also provides insights for a redefinition of the very concept of a building, in light of the challenges imposed by climate change and the opportunities—as well as the risks—presented by the enabling technologies of digitalization and datafication.*

*The work concludes with a critical discussion of the limits and potential of this approach, examined in light of the ambivalent horizon traced by current technological innovation, which simultaneously unlocks unprecedented potential and poses complex ethical challenges. This examination yields promising directions for future research aimed at further systematizing the dialogue between the formalization of biological inspiration and the design process.*