

**POLITECNICO DI MILANO**

**Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni**

**Corso di Laurea in Ingegneria dei sistemi edilizi**



**NUOVI CONCEPT PER UN INVOLUCRO EDILIZIO  
ADATTIVO E AD ALTE PRESTAZIONI**

Relatore: Prof.ssa Tiziana POLI

**Tesi di Laurea di:**

Antonio IULIANO Matr. 823443

Elena GINI Matr. 823594

Anno Accademico 2014 / 2015



## ABSTRACT

Il settore delle costruzioni è, oggi, caratterizzato da profondi e continui cambiamenti. Numerosi sono i motori dell'innovazione: nuovi materiali, riduzione dei costi, diminuzione dell'impatto ambientale. Tra questi si è scelto lo sviluppo di componenti ad alte prestazioni, per migliorare anche il fabbisogno energetico degli edifici. Lo scopo di questa tesi è quello di studiare nuovi concept per l'involucro, traendo spunto da ambiti anche lontani dal mondo dell'edilizia secondo principi di biomimetica, in modo da attribuire caratteristiche nuove anche all'elemento più semplice che compone il sistema edificio per migliorarne principalmente il comportamento estivo. Nello specifico, l'obiettivo è quello di sfruttare le risorse naturali disponibili come l'acqua, la radiazione sia termica sia luminosa proveniente dal sole, senza dimenticare l'azione esercitata dal vento. Da una parte si cerca di ottenere alte prestazioni sfruttando un comportamento dinamico, dall'altra investendo sulle proprietà e sulle configurazioni del sistema. Proprio da questo atteggiamento nascono i numerosi spunti progettuali proposti, due dei quali hanno subito un'analisi più dettagliata e precisa. Il primo propone di sfruttare semplici forme geometriche con riduzione di sezione lungo il loro sviluppo, quali coni, piramidi e rombi, al fine di incrementare l'effetto benefico derivante da un moto ascendente di aria in prossimità del perimetro esterno, opaco o trasparente, dell'edificio. I risultati dimostrano che l'approccio prestazionale consente di esplorare configurazioni differenti che determinano un effettivo aumento del coefficiente di scambio termico-convettivo. Ciò produce una diminuzione del carico termico entrante e di conseguenza migliora sensibilmente le condizioni dell'ambiente interno. Le analisi dimostrano poi che il comfort è più che garantito, senza sacrificare la percezione visiva. Da un altro punto di vista, osservando e comprendendo i metodi di adattamento e sopravvivenza propri del mondo naturale si propone un pannello che sia in grado di riprodurre i meccanismi biologici di sopravvivenza propri delle specie vegetali che vivono in condizioni climatiche estreme: i cactus. Interessante si è dimostrata la scelta di utilizzare un insieme di superfici coniche con particolari finiture superficiali in grado di esercitare un trasporto di massa delle particelle di acqua, la cui successiva evaporazione potrebbe permettere il controllo della temperatura superficiale. Questa ricerca ci ha consentito di esplorare, quindi, nuove soluzioni e di approfondire alcuni meccanismi propri della natura e non solo.

**Parole chiave:** innovazione, involucro, controllo prestazionale, biomimetica.

## ABSTRACT

Nowadays the construction industry is affected by deep and continuous changes . The main innovation drivers are new materials, cost reduction, low environmental impact of the construction. Among them, we have chosen the development of high performance components suitable to reduce more and more the building energy requirements. The purpose of this thesis is to study new concepts for the building envelope taking suggestions even from areas far from the construction world according to biomimicry principles. In this way it is possible to assign new features even at the simplest element that makes up the building system in order to improve mainly its behaviour during summer. The aim is to make the most of the available natural resources such as water, thermal and light radiations coming from the sun, wind action. We try to get high performances using a dynamic behavior as well as investing on the system properties and configurations. From these considerations several design ideas arose. Two of them have undergone a more detailed and precise analysis. The first one proposes to take advantage of simple geometric shapes with reduced section along their development, such as cones, pyramids and rhombus, to increase the beneficial effect arising from an upward motion of the air near the outer opaque or transparent perimeter of the building. The results demonstrate that an approach based on performances allows to explore different configurations which lead to an actual increase of the convective heat transfer coefficient. It results in a decrease of incoming heat load, thus significantly improving the conditions of the internal environment. Analyses show that interior comfort and visual perception are actually assured. From another point of view, the adjustment and survival methods of the natural world have been observed and understood. A panel is proposed that is able to reproduce the exact survival mechanisms of plant species living in extreme climatic conditions such as cactus. The decision to use a set of conical surfaces with special surface finishes give interesting results. They are able to effect a mass transit of water particles. Their subsequent evaporation could permit to control the surface temperature. This research has allowed us to explore, therefore, new solutions and understand natural or not behaviors.

**Key words:** innovation, building envelope, performance control, biomimicry



# INDICE

1	Introduzione.....	1
1.1	Innovazione e involucro edilizio.....	2
2	Un approccio innovativo: due tendenze.....	7
2.1	Innovazione, involucro e energia.....	9
2.2	L'approccio biomimetico.....	13
2.3	L'ambiente esterno: le risorse da sfruttare.....	18
2.3.1	L'acqua.....	20
2.3.2	Il vento.....	21
2.3.3	La radiazione luminosa.....	23
2.3.4	La radiazione termica.....	24
2.4	L'ambiente esterno: i fattori da controllare.....	27
2.4.1	L'inquinamento acustico.....	29
2.4.2	L'inquinamento atmosferico.....	31
3	I concept di involucro.....	33
4	L'individuazione della filosofia innovativa.....	60
4.1	L'obiettivo primario.....	60
4.2	La scelta del contesto di analisi e di applicazione.....	63
4.3	I principi e il controllo del funzionamento.....	64
4.3.1	Il raffrescamento per ventilazione.....	66
4.3.2	Il raffrescamento per evaporazione.....	67
5	Involucro "cactus".....	70
5.1	I principi di funzionamento.....	71
5.1.1	L'evaporazione superficiale in natura.....	72
5.1.2	La traspirazione naturale.....	74
5.2	La struttura e la morfologia delle cactacee.....	76
5.2.1	Il portamento.....	76
5.2.2	Il fusto e i rami.....	77
5.2.3	Le foglie.....	77
5.2.4	La cuticola cerosa.....	80

5.2.5	Gli stomi .....	80
5.2.6	Le spine .....	80
5.2.7	L'areola.....	83
5.2.8	Il tricoma .....	84
5.2.9	Il tubercolo .....	84
5.2.10	La parenchima.....	84
5.2.11	Il cilindro vascolare .....	85
5.3	Gli adattamenti fisiologici delle cactacee .....	86
5.3.1	La riduzione del ciclo biologico .....	86
5.3.2	L'estivazione.....	86
5.3.3	La regolazione attiva delle aperture stomatiche .....	86
5.3.4	Il potenziale idrico nel terreno e nella foglia .....	87
5.3.5	La fotosintesi CAM .....	87
5.3.6	La disidratazione .....	88
5.4	Dal principio al modello di funzionamento sull'involucro .....	88
5.4.1	La raccolta di condensa: panoramica generale sull'aria umida.....	89
5.4.2	Il titolo di vapore .....	91
5.4.3	L'acqua precipitabile .....	91
5.4.4	I collettori di nebbia .....	93
5.5	Il trasporto di massa.....	105
5.5.1	La forza di energia di superficie libera .....	105
5.5.2	La forza di Laplace .....	114
5.6	Valutazione teorica dell'evaporazione superficiale di una goccia.....	134
5.7	Dalla natura alle spine artificiali.....	135
5.7.1	Disposizione .....	135
5.7.2	Caratteristiche superficiali .....	141
5.7.3	Forma e dimensioni .....	147
5.7.4	Orientamento.....	148
5.7.5	Produzione artificiale .....	149
5.8	Valutazione sperimentale della raccolta di condensa .....	151
5.9	Valutazione sperimentale dell'evaporazione superficiale di una goccia.....	157

5.9.1	Intervalli generali di comportamento .....	160
5.10	Applicazione a tre contesti climatici specifici .....	167
5.10.1	Contesto climatico 1 : Nairobi.....	167
5.10.2	Contesto climatico 2: Il Cairo .....	170
5.10.3	Contesto climatico 3: Milano .....	173
5.11	Altre possibili applicazioni.....	176
6	Involucro “rombo” .....	179
6.1	La ventilazione .....	179
6.1.1	Il principio di funzionamento: l’effetto camino .....	180
6.1.2	Applicazioni .....	181
6.1.3	I vantaggi .....	182
6.1.4	Gli svantaggi.....	183
6.2	Il progetto dell’ottimizzazione della ventilazione .....	185
6.2.1	Nuove regole per la partizione .....	185
6.2.2	Nuove forme .....	186
6.2.3	La cooperazione con altri parti del sistema edificio: il collegamento con il piano interrato .....	188
6.3	La forma per una ventilazione più efficace.....	189
6.4	Le possibili configurazioni .....	190
6.4.1	La macroscala.....	190
6.4.2	La microscala.....	193
6.4.3	Canale primario e secondario .....	195
6.4.4	La microscala fuori piano .....	197
6.5	Il limite del sistema: l’uniformità .....	200
6.5.1	Le funzioni aggiuntive: il controllo della radiazione .....	201
6.5.2	Gli input dalla natura: le squame di pesce.....	205
6.5.3	Dal naturale all’artificiale: la forma romboidale.....	207
6.6	Un componente multi prestazionale .....	208
6.6.1	La macroscala sul trasparente .....	209
6.6.2	La microscala sul trasparente .....	210
6.6.3	Il fuori piano sul trasparente.....	211



6.6.4	Elementi scatolari.....	213
6.6.5	La forma diventa più complessa .....	214
6.6.6	La forma romboidale.....	217
6.6.7	La forma a Y.....	219
6.7	Analisi del comportamento del sistema: la ventilazione .....	220
6.8	Valutazione teorica del moto in prossimità di una finestra .....	221
6.9	Valutazione teorica del moto nel condotto di ventilazione .....	224
6.10	Valutazione sperimentale del moto in prossimità di una finestra .....	229
6.11	Valutazione sperimentale del moto nel condotto di ventilazione .....	230
6.11.1	Spessore .....	230
6.11.2	Larghezza e altezza.....	231
6.11.3	Il sito scelto .....	233
6.11.4	La tipologia scelta per le analisi .....	233
6.11.5	Il confronto tra convezione naturale e convezione forzata.....	235
6.12	Il controllo del flusso luminoso .....	239
6.12.1	Riferimenti normativi .....	240
6.12.2	Obiettivi prestazionali .....	241
6.12.3	Impostazione del modello di riferimento .....	243
6.12.4	Il Fattore di luce diurna .....	245
6.12.5	Il settaggio dei materiali.....	247
6.12.6	Combinazioni materiche .....	256
6.12.7	Settaggio dei parametri di calcolo .....	257
6.12.8	Applicazione del settaggio definitivo ad alcuni casi tipo .....	260
6.12.9	L'influenza delle singole superfici sul valore di FLD.....	261
6.12.10	Configurazione completa dell'elemento e calcolo FLD.....	263
6.12.11	Valutazione dell'Irraggiamento naturale .....	264
6.12.12	Valutazione dell'illuminamento naturale utile (UDI) .....	272
6.12.13	Il Daylight Autonomy .....	274
6.12.14	La valutazione dell'abbagliamento annuale.....	276
6.12.15	Conclusioni .....	277
6.12.16	Altri casi di studio .....	278

7 Conclusioni.....286