



Il Progetto nell'Era Digitale

Tecnologia
Natura
Cultura

a cura di
Massimo Perriccioli
Marina Rigillo
Sergio Russo Ermolli
Fabrizio Tucci

MASSIMO PERRICCIOLI
Professore ordinario di Tecnologia dell'Architettura
DiARC - Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Napoli Federico II

MARINA RIGILLO
Professore associato di Tecnologia dell'Architettura
DiARC - Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Napoli Federico II

SERGIO RUSSO ERMOLLI
Professore associato di Tecnologia dell'Architettura
DiARC - Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Napoli Federico II

FABRIZIO TUCCI
Professore ordinario di Tecnologia dell'Architettura
PDTA - Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura
Sapienza Università di Roma

ISBN 978-88-916-4327-8

© 2020 by Authors

Published in November 2020

Maggioli Editore is part of Maggioli S.p.A
ISO 9001 : 2015 Certified Company
47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8
Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

www.maggiolieditore.it

e-mail: clienti.editore@maggioli.it

All rights reserved. No part of this publication may be translated, reproduced, stored or introduced into a retrieval system, or transmitted, in any form, or by any means (electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise) without prior written permission from the publisher.



Call for paper promossa in occasione del Convegno Internazionale
“Design in the Digital Age. Technology, Nature, Culture”

Napoli, 1- 2 Luglio 2021

SITdA - Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura
DiARC - Dipartimento di Architettura - Università di Napoli Federico II

Comitato Scientifico/ Scientific Committee

Vicente Guallart, Guallart Architects

Thomas Herzog, Thomas Herzog Architekten, Socio Onorario SITdA

Matteo Lorito, Rettore dell'Università degli Studi di Napoli Federico II

Mario Losasso, Università degli Studi di Napoli Federico II, Past President SITdA

Maria Teresa Lucarelli, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Presidente SITdA

Gaetano Manfredi, Ministro dell'Università e della Ricerca

Fabrizio Schiaffonati, Politecnico di Milano, Socio Onorario SITdA

Bernard Stiegler, Institut de Recherche et d'Innovation, Paris

Martin Tamke, The Royal Danish Academy of Fine Arts, Copenhagen

Coordinamento Scientifico/ Scientific Coordination

Ernesto Antonini

Eliana Cangelli

Valeria D'Ambrosio

Laura Daglio

Pietromaria Davoli

Massimo Lauria

Elena Germana Mussinelli

Massimo Perriccioli

Sergio Russo Ermolli

Fabrizio Tucci

Segreteria SITdA/ SITdA Secretariat

Antonella Violano

Comitato organizzativo di Sede/ Coordination Committee of Naples

Paola Ascione

Erminia Attaianese

Eduardo Bassolino

Mariangela Bellomo

Alessandro Claudi de St. Mihiel

Valeria D'Ambrosio

Paola De Joanna

Katia Fabbriacci

Antonella Falotico

Mattia Leone

Pietro Nunziante

Massimo Perriccioli (responsabile)

Marina Rigillo

Sergio Russo Ermolli

Serena Viola

Coordinamento organizzativo/ Organizing Committee

Maria Azzalin

Enza Tersigni

Segreteria organizzativa/ Organizing Secretariat

Anita Bianco

Marina Block

Francesca Ciampa

Maria Fabrizia Clemente

Ivana Coletta

Federica Dell'Acqua

Giuliano Galluccio

Giovanni Nocerino

Giuseppe Vaccaro

Giovangiuseppe Vannelli

Sara Verde

Grafica e comunicazione multimediale/ Graphic and multimedia communication

Raffaele Catuogno

Vincenzo Pinto

Martino Milardi¹, Mariateresa Mandaglio²

Abstract

Il contributo si propone di operare un avanzamento nello studio e l'implementazione spaziale dei principi di biomimetica. Con l'espressione biomimetica o, nella sua più comune dicitura inglese, Biomimicry, si intende un approccio scientifico allo studio dei processi biologici e biomeccanici degli organismi e degli ecosistemi naturali al fine di estrarne principi da riprodurre, attraverso processi digitali, nella progettazione di artefatti antropici. Si tratta di un approccio multidisciplinare. La biomimetica applicata all'architettura riconduce al filone del progetto sostenibile, ma apporta una grande spinta di innovazione sia in termini di processi che di risultati.

Keywords: Biochemistry and Biomimicry approach, SMART Building Envelope, Integrated Multi-Target Design, Multifunctional and Adaptive Components, Building Energy Performance.

¹ Martino Milardi Professore Associato presso Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento DARTE

² Mariateresa Mandaglio PHD presso Università Mediterranea di Reggio Calabria Dipartimento DARTE.

Background culturale e scientifico

I percorsi sui quali si è intrecciato, interrelandosi, lo sviluppo dell'agire architettonico sono costellati da innegabili e costanti riferimenti ai sistemi di funzionamento della natura. Questo assunto, in apparenza dato come paradigma "scontato" alla base dei processi realizzativi, spesso si è invece omogeneizzato con i diversi flussi del ciclo progettuale perdendone a volte propulsione e riconoscibilità.

Sembra comunque indubbio quanto oggi, crisi congiunturali, transizioni tematiche e soprattutto la presa in conto della necessità di trasformare le "questioni ambientali" in risposte operative alle varie scale e modalità, rimettano la complessità dei sistemi naturali al centro delle attenzioni dei sistemi antropici e artificiali.

In questo senso, soprattutto in questi ultimi anni, tra le strategie che fanno dell'emulazione dei funzionamenti naturali e ridanno forza alla traduzione di questo in apparati tecnici, si ascrivono gli approcci della Biomimetica e Biomimesi. Visione finalmente consolidata che rappresenta un affidabile solco per le sperimentazioni e applicazioni progettuali che hanno tra gli obiettivi cardinali la conformità ecologica e la qualità ambientale degli interventi.

Da molti versanti del progetto, si mette in luce che se la natura ha inventato sistemi perfettamente funzionanti, la Biomimetica sembra rappresentare la naturale evoluzione del progetto per vincere le sfide del futuro e realizzare, in tutti i campi, applicazioni in linea coi principi della sostenibilità.

Nella Storia dell'Architettura son fin troppo noti i riferimenti che facevano di questi approcci le basi delle loro esperienze. Ad esempio Gaudí con i suoi edifici ispirati alle forme vegetali e animali, Wright con la sua architettura organica degli anni '30. Ben prima, insomma, che si parlasse di "smart cities" e "smart buildings".

Ma dalla rivoluzione industriale ad oggi, lo scenario è inevitabilmente cambiato. I progressi maturati nell'ambito delle nuove tecnologie, e oggi sempre più "veloci", propongono nuove prospettive di relazioni tra progetto e biologia offrendone differenti possibilità grazie alle elevate attuali capacità tecniche di interpretazione ed emulazione della natura.

Tre le studiose che parlano di biomimetica c'è Janine Benyus¹, presidente del Biomimicry Institute e autrice di numerosi libri, che in un suo discorso al TED ha galvanizzato scienziati, architetti, designer e ingegneri spingendoli a esplorare nuovi modi in cui i successi della natura possono ispirare l'umanità, definendo tale disciplina come "l'emulazione cosciente del genio della vita".

Nel libro "Biomimicry in Architecture", Michael Pawlyn descrive la biomimetica come la "disciplina che imita le basi funzionali delle forme, dei processi e dei sistemi biologici per produrre soluzioni sostenibili".²

L'"inventore" Buckminster Fuller afferma in modo chiaro: «We do not seek to imitate nature, but rather to find the principles she uses»³. Non limitarsi dunque a copiare la natura ma trarne piuttosto un'ispirazione orientata a trasferirne i principi e le logiche biologiche.

Tra i primari esempi di biomimetismo più citati si pone il velcro, inventato nel 1941 da George de Mestral. L'ingegnere svizzero ispirato dai piccoli fiori che si attaccavano saldamente al pelo del suo cane: analizzandoli al microscopio, notò che ogni petalo presentava alla sommità un uncino capace di vincolarsi ovunque trovasse una superficie adatta. Fu così che dall'osservazione di tale strategia naturale e la sua riproposizione in elemento tecnico, si passò alla produzione di semplici strisce in nylon che hanno cambiato i sistemi di connessione tra alcuni tipi di superfici.

Gli ingegneri dell'US Air Force nel 1960 svolsero degli studi sulla struttura dell'occhio delle api. Il loro interesse era mosso dalla possibilità di usare in campo aeronautico il sistema di orientamento delle api che sfrutta la luce polarizzata.⁴

Un altro esempio di sicuro fascino è offerto dall'Eastgate Building Centre di Harare, in Zimbabwe. Un greenbuilding che ospita uffici e un grande centro commerciale, realizzato su progetto di Mick Pearce che, a fronte di un contesto climatico complesso non presenta alcun sistema di ventilazione convenzionale. applicando i principi dell'auto raffreddamento e della ventilazione, osservabili nelle tane delle termiti africane. I dati sul risparmio energetici dell'edificio sono di grande significato e sono oggi portati come esempio di efficienza energetica realmente ispirata dalla natura.

Tra gli aspetti critici che emergono comunque dal dibattito, si ascrive il possibile equivoco riguardo l'utilizzo di materiali organici o "viventi" come nel caso delle architetture a forte connotazione "green". Nel senso che è noto come a differenza di questa, la biomimetica non impiega esseri viventi ma si limita ad imitarli; non prevede l'uso esclusivo di materiali naturali, anzi, a volte i risultati sono di matrice artificiale anche se riproducono meccanismi dei sistemi viventi.

"La biomimetica ci introduce in un'era basata non su cosa possiamo estrarre dalla natura, ma su cosa possiamo imparare da essa. Spostare l'attenzione dall'imparare a proposito della natura all'imparare dalla natura richiede un nuovo metodo di indagine, un nuovo set di lenti, e soprattutto una nuova umiltà".⁵

Un approccio quindi multi-disciplinare che non replica, forzandole, le forme della natura, ma si ispira ai meccanismi che la governano per applicarli ai diversi ambiti supportando gli obiettivi di produzione di una nuova e alta qualità ambientale.

Approccio e metodologia

Come noto, nei suoi intenti fondativi la biomimetica non si propone come un approccio alternativo, ma piuttosto integrativo, dell'intero complesso di ambiti e campi che hanno il benessere, la salubrità e l'ecologicità dei processi come obiettivi per fare fronte in modo efficace alle diffuse e cruciali criticità che investono oggi il Pianeta.

Ad esempio, il tema dell'efficienza energetica è un campo di ampia diffusione sia per ragioni di cogenza normativa sia per il reale consolidamento degli obiettivi di controllo degli esiti ambientali dei cicli socio-economici e produttivi. Ma a differenza del tenore diffuso, il tema è solo un aspetto limitato rispetto a

1 Benyus J.M. 2002, Biomimicry. Innovation Inspired by Nature ed. Morrow, New York

2 Pawlyn M. 2011, Biomimicry in Architecture, ed. RIBA, London pp 2

3 Nell'era in rapida crescita della necessaria responsabilità ambientale, l'architettura fiorirà se sostituisce la metafora altera degli edifici come macchine con la metafora olistica degli edifici come fiori. In futuro, le case in cui viviamo e gli uffici in cui lavoriamo saranno progettati per funzionare come organismi viventi, specificamente adattati al luogo e in grado di attingere a tutte le loro esigenze di energia e acqua dal sole, dal vento e dalla pioggia circostanti. L'architettura del futuro trarrà ispirazione non dalle macchine del XX secolo ma dai bellissimi fiori che crescono nel paesaggio circostante in "L'edificio vivente" di Berkebile, Robert J., McLennan, Jason F.

4 La Rocca F. 1997, Tecniche della Natura in architettura, Maggioli Editore, Rimini, p. 11

5 Benyus M. Janine 2011, The Biomimicry Institute and Biomimicry Guild

un problema più complesso. La biosfera è composta da piccole unità ovvero gli ecosistemi, il cui metabolismo è un circuito chiuso all'interno del quale un "rifiuto" diventa un nutriente. Un ciclo che permette l'equilibrio fra tutte le risorse. La comprensione delle attività dei cicli naturali, la logica ecosistemica delle azioni e reazioni tra esseri viventi ed ambienti non viventi, inclusi quelli antropici, sono forse il presupposto principale per gli interventi tesi ad un effettivo bilanciamento e integrazione tra l'agire umano e la complessità ambientale dei contesti. E' in questa luce che intendono collocarsi i concetti e le strategie tecniche di biomimesi in architettura.

Trasferendo al campo del progetto il requisito di capacità adattiva, emerge come da sempre stata rilevata come una caratteristica fondamentale per la sopravvivenza di una specie all'interno di un dato ecosistema. Il progetto di architettura, in quest'ottica, non fa eccezione: la sua capacità di trovare e mantenere un equilibrio all'interno del sistema è fondamentale per la sua sopravvivenza sul lungo periodo. Se le condizioni del sistema (urbano, sociale, economico, ecologico) all'interno del quale il progetto si colloca sono infatti note al momento della sua costruzione, è difficile prevedere per il progettista in che modo queste evolveranno. È dunque importante che l'edificio sia in grado di raggiungere un equilibrio omeostatico: uno stato in cui, anche al variare delle condizioni esterne, si possano mettere in atto meccanismi autoregolatori, soprattutto oggi viste le emergenze relative ai cambiamenti climatici.

All'interno di questa, vasta, tematica, assume un ruolo centrale l'obiettivo di definire processi e tecnologie orientate alla comprensione e al controllo delle relazioni biunivoche che si instaurano tra edificio e contesto. In particolare e secondo opinione largamente condivisa, il miglioramento delle qualità e delle performance degli involucri diventa una delle strategie cardine delle politiche inerenti il controllo degli impatti dell'ambiente costruito. Su questi versanti si è rivolta la ricerca applicata e la sperimentazione di involucri efficienti, adattivi, integrati, responsivi, dinamici, "smart" e, appunto, biomimetici. Un ampio ventaglio innovativo che tuttavia richiede maggiori azioni di verifica in fase di progettazione, anche, quando possibile attraverso l'auspicabile prototipazione, testing, customizzazione, e messa in produzione.

In questa luce infatti, il ruolo degli strumenti di rilevazione fenomenologica e, soprattutto, dei centri che svolgono attività di testing che riproducono i fenomeni assumono particolare rilevanza. L'approccio operativo basato su test di misura e valutazione prestazionale in regime simulato, sembra risultare strategico per tutti gli attori del settore edilizio, progettisti, produzione, PA, committenza, impresa, utenza, ecc.

In particolare, proprio per le caratteristiche complesse derivanti dalla profonda innovazione che ha investito il campo dell'involucro negli ultimi anni, anche i protocolli unificati di testing richiedono nuove modalità ed attrezzature in grado di offrire spettri di indagine in linea con gli aspetti tracciati dall'innovazione. Ciò al fine ultimo di supportare la realizzazione di nuovi componenti ad alte prestazioni, possibilmente, basati su basi materiche di nuova concezione come ad esempio quelli di matrice biomimetica.⁶

6 In questo panorama si colloca il BFL (Building Future Lab), una grande infrastruttura laboratoriale dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria che mira proprio a supportare la realizzazione di nuovi componenti ad alte prestazioni, attraverso simulazioni e sperimentazioni con protocolli standardizzati. A tal fine l'unità operativa di Reggio Calabria si è orientata verso lo sviluppo di test su componenti, avendo l'opportunità di poter disporre di un laboratorio finalizzato al testing avanzato degli involucri edilizi. Tale infrastruttura, ovvero la Sezione TCLab del BFL, consente di sperimentare nuovi sistemi tecnici per l'edificio del futuro, rappresentando una fertile occasione di ricerca e sperimentazione avanzata. Attraverso strumentazioni che riproducono sollecitazioni climatiche estreme su mock-up di involucri, è possibile studiarne non solo le risposte prestazionali ma anche misurare le caratteristiche resilienti degli stessi. Questo, consente in larga misura di configurare i vari scenari di adattività degli edifici orientando le decisioni progettuali verso le opzioni più congruenti ai diversi contesti di riferimento e relazione. Nello specifico si svolgono esperienze di test su facciate e involucri, sia in regime di certificazione che di sperimentazione.

7 Leonardo Fibonacci

8 Butera F.M. 2007, *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente, Milano

Aspetti analitici, inquadramento critico

Le diverse congiunture che anno investito il settore delle costruzioni, comprese quelle relative ai cambiamenti climatici, hanno arricchito il progetto di architettura di nuovi classi di requisiti come l'interazione intelligente con le variabili contestuali. Quest'ultimo, assume l'involucro come uno strato epidermico dinamico che cambia e muta in funzione delle stagioni, si adatta alle diverse condizioni, alle istanze degli utenti e, a volte, condiziona esso stesso il suo contesto. Un involucro, quindi, capace di adattarsi alle diverse esigenze come un elemento naturale di cui emula le strategie di risposta adattiva .

Secondo questo approccio, ogni idea, disegno o calcolo non può essere svincolata dal contesto in cui si collocherà. Ogni costruzione è un frammento di "paesaggio complesso" di cui ne subisce e allo stesso tempo ne modifica gli effetti. In termini di approccio biomimetico, il "sistema - edificio" viene scomposto in elementi e subsistemi per facilitare sia la caratterizzazione degli stessi sia le relazioni che si instaurano tra loro.

La presenza di una gerarchia e di un'organizzazione complessa (e matematica) è noto sia presente anche in natura, ove ricorrono elementi quali la serialità e la modularità, oltre che l'evoluzione di queste. Ad esempio, gli studi sui frattali, sulle crescite logaritmiche, sulla serie di numeri ⁷, sono in grado di descrivere forme e fenomeni presenti e in fase di sviluppo. Inoltre, I frattali sono caratterizzati dall'autosimilarità e dal "closest packaging", ovvero dalla presenza di massima efficienza in uno spazio minuscolo.

La biomimesi è l'applicazione di questi principi osservati e indagati, presenti in natura e organizzabili in strutture base combinabili che, come afferma Pearce, generano "minimum inventory, maximum diversity"; analogamente agli elementi modulari presenti nell'ambiente costruito, siano essi parti di edificio, quartieri o città.

La città stessa è un sistema che può essere gestito con approcci top-down o bottom-up. Gli stessi tipi di approcci si ritrovano nella progettazione biomimetica: partire da un'esigenza "in alto" per trovare strategie utili per un progetto, oppure partire dall'osservazione "in basso" di ciò che già esiste per comprendere come produrre qualcosa di nuovo. Questo potrebbe supportare la sfera decisionale inerente le esigenze di nuove modalità gestionali dell'ambiente costruito poichè, come è noto "...la città è un sistema aperto molto complesso, in cui gli input sono l'energia, i materiali e l'informazione e gli output altra informazione - pura o incorporata in altri materiali - e rifiuti in molte forme diverse. Quello che fa la differenza con la situazione passata è la drammatica crescita della quantità di input e, di conseguenza, di output..."⁸.

Rilevanza del tema trattato

Come sopra detto, l'edificio è un sistema dinamico soggetto ad azioni e sollecitazioni esterne ed interne con le quali è in continua relazione e reazione al fine del raggiungimento e mantenimento di un equilibrio possibilmente a bassa richiesta di energia. Quando questo si ottiene attraverso caratteristiche di adattività

dell'intero sistema, e potendone misurare i livelli di risposta si potrebbe anche definirne la capacità resiliente dello stesso, e quindi la possibilità di valutarne in modo affidabile nuovi e oggi richiesti livelli qualitativi.

Diversi studi di settore, dimostrano come l'involucro architettonico adattivo (e in particolare quello di ispirazione biomimetica) contribuisca in maniera sostanziale alle necessità di una rinnovata e aumentata offerta prestazionale richiesta oggi agli edifici.

Tale necessità parte dall'analisi dell'evoluzione delle prestazioni dell'involucro architettonico da passivo ad attivo, indagando i processi tecnologici d'innovazione che hanno permesso di sviluppare il passaggio etimologico e prestazionale dal concetto di chiusura a quello di facciata ed infine a quello di involucro dinamico e intelligente basato su funzionamenti biomimetici.

La tematica affrontata da una ricerca in progress svolta nell'ambito delle attività del Laboratorio TCLab del BFL, vuole inserirsi nel campo degli studi condotti sulle nuove prestazioni dinamiche dell'involucro architettonico, che sono offerte non soltanto da elementi meccanici o dalla passività tipologica, stratigrafica e materica, ma soprattutto dal panorama di strategie biomimetiche.

La finalità è individuare e definire le modalità dei possibili "trasferimenti" delle dinamicità biomimetiche agli elementi edilizi. In particolare, si intende superare il concetto di emulazione strategica attraverso un passaggio scalare che riguarda lo studio dei funzionamenti materici di alcuni organismi del mondo animale e vegetale, in risposta alle sollecitazioni esterne. Quindi uno studio sistematico delle caratteristiche materiche di questi organismi che sfruttando le loro qualità molecolari intrinseche (e apparentemente passive), si organizzano in modo intelligente in forme strategiche e dinamiche.

Quindi dalla scala nanomaterica a quella macroscopica al fine di costruire un repertorio tematico e interattivo utile a supportare la definizione progettuale, nonché possibilmente prototipale, di nuovi elementi che possono realizzare involucri edilizi adattivi, integrati, dinamici e responsivi a base biomimetica.

Nelle sue fasi istruttorie, la ricerca indaga l'evoluzione dello stato dell'arte, tentando non solo di sistematizzarne i punti salienti e aggiornare dove possibile le informazioni ma, anche, di costruire un abaco dei nodi critici e problemi aperti asportabili per le azioni di ricerca. Quindi si approfondiscono le tematiche legate al concetto di dinamicità ed interattività dell'involucro (anche in chiave energetica) attraverso lo studio del dibattito scientifico legato all'evoluzione costruttiva, all'impiego di tecnologie e materiali avanzati per le facciate, nonché dei sistemi informatici per la gestione prestazionale degli edifici, anche in ambiente o logiche di smart building.

In ultimo e avvalendosi della chiave disciplinare della biomimetica, lo scopo è quello di affrontare, nel settore dei componenti di facciata "evoluiti", l'approfondimento relativo allo studio dei sistemi di movimento e variabilità del sistema di chiusura, lo studio di materiali innovativi, gli aspetti prestazionali ed i controlli di qualità necessari sia per aggiornare lo stato dell'arte, sia per proporre nuove soluzioni di integrazione architettonica di componenti, anche "energeticamente" intelligenti, su base di un reale, affidabile e misurabile, funzionamento biomimetico.

Possibili ricadute culturali, scientifiche e operative

La realizzazione di "edifici viventi" sembra essere l'obiettivo del richiesto cambiamento di paradigma culturale e progettuale. In questo, è indicato come ricoprente ruolo fondamentale la "lezione" che arriva dal mondo vivente, dalla natura, ritenuta

sicuro punto di riferimento per ogni nuova progettazione, che sappia conservare condizioni omeostatiche idonee affinché i processi fisiologici di utenti e ambienti mantengano uno stato di equilibrio ottimale.

Una progettazione che intende seguire le leggi che regolano i processi e cicli vitali. Trarre spunto dalla natura implicherà quindi la presa in conto che la dinamica vitale non può essere assimilabile a quello di una macchina, per cui, come affermano i tavoli di indirizzo planetario in tema di qualità ambientale, si raggiungerà una reale sostenibilità quando si sarà raggiunto una vera e propria integrazione tra i sistemi viventi o comunque naturali.

Riferendo questo al tema del contributo, una delle opportunità più fertili della biomimetica è infatti trasferire i comportamenti della natura per ottenere prodotti efficienti che funzionano passivamente senza richiedere energia non rinnovabile, utilizzando le variazioni ambientali che avvengono naturalmente nei diversi contesti di relazione.

L'innovazione tecnologica e i "campi driver" da questa sottesi, fanno passi sostanziali e fortunatamente alle velocità richieste dall'attuale congiuntura, per cui i progetti biomimetici che venti anni fa non potevano essere realizzati oggi trovano tecnologie mature e in grado di concretizzare quel trasferimento.

Si fa dunque sempre più ricco e complesso lo scenario evolutivo dei sistemi tecnici e prodotti che, grazie all'uso di nuove tecnologie e materiali (ad esempio in logica smart), diventano man mano più dinamici, adattabili, sensibili e multifunzionali, offrendo la possibilità di estendere il significativo contributo dei paradigmi, assunti e modalità di matrice biomimetica, al sempre più ampio e centrale progetto di architettura.

References

- AA. VV. (2016) "Architetture biomimetiche. Le soluzioni messe a punto dalla natura diventano soluzioni progettuali", *IoArch*, n. 65, disponibile online all'indirizzo: https://issuu.com/redazioneioarch/docs/ioarch_65_issuu
- Chiesa G. (2010) "Biomimetica, tecnologia e innovazione per l'architettura", *Celid*, Torino
- Estevez A. T. (2017) "Biodigital Architecture and Genetics", *Actar*, Barcellona
- Folke C., Carpenter S., Elmqvist T., Gunderson L., Holling C.S. & Walker B. 2002. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio* 31(5), pp. 437-440.
- Gruber P., Bruckner C., Hellmich C., Schmiedmayer H., Stachelberger C., Gebeshuber I. C. (2011b) "Biomimetics - Materials, Structures and Processes: Examples, Ideas and Case Studies", Springer, Vienna-New York
- Santulli C., Langella C., "Study and development of concepts of auxetic structures in bio-inspired design", *International Journal of Sustainable Design*, n. 3.1, 2016, pp. 20-37.
- Smit B., Wandel J., *Adaptation, adaptive capacity and vulnerability in Global Environmental Change* 16 (2006) 282-292, March 2006.
- Tucci, F. *Involucro, Clima, Energia. Qualità bioclimatica ed efficienza energetica in architettura nel progetto tecnologico ambientale della pelle degli edifici / Envelope, Climate, Energy. Bioclimatic quality and energy efficiency in architecture in the environmental technological design of building skins*, AltraLineaEdizioni, Firenze, Italia 2014.
- Zari M. P. (2007) "Biomimetic Approaches to Architectural Design for Increased Sustainability", *Regional Sustainable Building Conference Proceedings*, Auckland