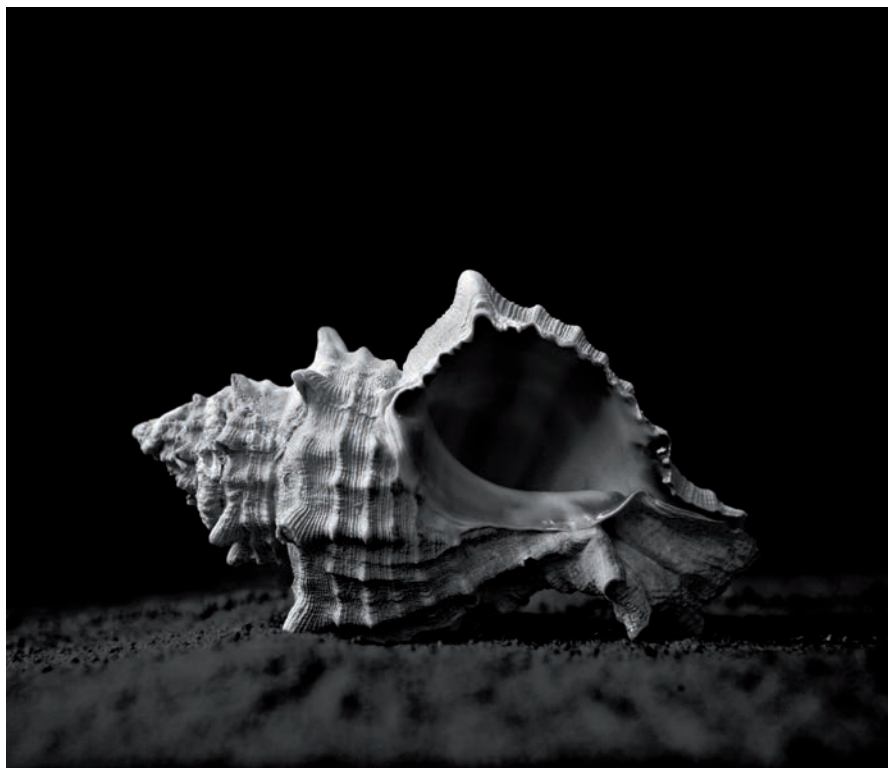


Roberto Pagani, Giacomo Chiesa,  
Jean-Marc Tulliani

# Biomimetica e Architettura

**Come la natura domina la tecnologia**



Ricerche di tecnologia dell'architettura  
FRANCOANGELI



## RICERCHE DI TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

*diretta da* Giovanni Zannoni (Università di Ferrara)

### *Comitato scientifico:*

Andrea Boeri (Università di Bologna), Carlos A. Brebbia (Wessex Institute of Technology, Southampton), Joseph Galea (University of Malta), Maria Luisa Germanà (Università di Palermo), Giorgio Giallocosta (Università di Genova), Maria Chiara Torricelli (Università di Firenze), Jan Tywoniak (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

La collana *Ricerche di tecnologia dell'architettura* tratta prevalentemente i temi della progettazione tecnologica dell'architettura e del design con particolare attenzione alla costruibilità del progetto. In particolare gli strumenti, i metodi e le tecniche per il progetto di architettura alle scale esecutive e quindi le modalità di realizzazione, trasformazione, manutenzione, gestione e recupero dell'ambiente costruito.

I contenuti scientifici comprendono la storia e la cultura tecnologica della progettazione e della costruzione; lo studio delle tecnologie edilizie e dei sistemi costruttivi; lo studio dei materiali naturali e artificiali; la progettazione e la sperimentazione di materiali, elementi, componenti e sistemi costruttivi.

Nel campo del design i contenuti riguardano le teorie, i metodi, le tecniche e gli strumenti del progetto di artefatti e i caratteri produttivi-costruttivi propri dei sistemi industriali.

I settori nei quali attingere per le pubblicazioni sono quelli dei progetti di ricerca nazionali e internazionali specie di tipo sperimentale, le tesi di dottorato di ricerca, le analisi sul costruito e le possibilità di intervento, la progettazione architettonica cosciente del processo costruttivo.

In questi ambiti la collana pubblica progetti che abbiano finalità di divulgazione scientifica e pratica manualistica e quindi ricchi di spunti operativi per la professione di architetto.

La collana nasce sotto la direzione di Raffaella Crespi e Guido Nardi nel 1974.

I numerosi volumi pubblicati in questi anni delineano un efficace panorama dello stato e dell'evoluzione della ricerca nel settore della Tecnologia dell'architettura con alcuni testi che sono diventati delle basi fondative della disciplina.

A partire dal 2012 la valutazione delle proposte è stata affidata a un Comitato scientifico, diretto da Giovanni Zannoni, con lo scopo di individuare e selezionare i contributi più interessanti nell'ambito della Tecnologia dell'architettura e proseguire l'importante opera di divulgazione iniziata quarant'anni prima.

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet [www.francoangeli.it](http://www.francoangeli.it) e iscriversi nella home page al servizio “Informatemi” per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

Roberto Pagani, Giacomo Chiesa,  
Jean-Marc Tulliani

# **Biomimetica e Architettura**

**Come la natura domina la tecnologia**

Ricerche di tecnologia dell'architettura  
FRANCOANGELI

Copyright © 2015 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

*L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito [www.francoangeli.it](http://www.francoangeli.it).*

# *Indice*

<b>Quale natura ci dominerà?</b> di <i>Giovanni Zannoni</i>	pag.	7
<b>Prefazione</b> , di <i>Lorenzo Matteoli</i>	»	9
<b>Introduzione</b>	»	13
<b>1. Architettura e biomimetica: il percorso della sostenibilità</b>	»	17
Abstract	»	17
1.1. Un tempo si chiamava “architettura bioclimatica”	»	17
1.2. L’architettura sostenibile diventa trend	»	20
1.3. Architettura sostenibile in una città “smart”	»	23
1.4. La biomimetica incalza	»	26
1.5. Bionica e biomimetica	»	29
1.6. Imparare dagli errori	»	33
1.7. Bibliografia	»	35
<b>2. La biomimetica. Definizione, metodi e processi</b>	»	37
2.1. La biomimetica	»	37

2.2. Motivazioni biomimetiche	pag.	42
2.3. Biomimetica come innovazione	»	46
2.4. Il metodo biomimetico	»	50
2.5. Implicazioni e visioni	»	53
2.6. Bibliografia	»	59
<b>3. Scienza e tecnologia dei materiali e biomimetica: il percorso dell'innovazione</b>	»	63
3.1. Introduzione	»	63
3.2. Caratteristiche dei materiali naturali	»	67
3.3. Materiali biologici costituiti da tessuti duri	»	72
3.4. Strutture alleggerite resistenti in flessione, alla torsione ed allo svergolamento	»	79
3.5. Il legno	»	83
3.6. Materiali superidrofobici/superidrofilii	»	85
3.7. Adesivi ispirati al gecko	»	90
3.8. Isolanti ispirati al pelo dell'orso	»	92
3.9. Calcestruzzi autoriparanti	»	93
3.10. Bibliografia	»	94
3.11. Glossario	»	96
<b>4. Materiali biomimetici: schede prodotto</b> di <i>Giacomo Chiesa e Alberto Mauro</i>	»	100
<b>5. Architetture biomimetiche: schede progetto</b> di <i>Giacomo Chiesa e Alberto Mauro</i>	»	228
<b>Bibliografia e sitografia</b>	»	287

## *Quale natura ci dominerà?*

di *Giovanni Zannoni*

La collana *Ricerche di Tecnologia dell'Architettura* affronta da tempo, e con largo respiro, tematiche legate allo sviluppo e alla applicazione di nuove tecnologie e sistemi avanzati per la progettazione e la costruzione di una architettura che risponda al contempo alle esigenze dell'abitare della specie umana e a quelle di uno sviluppo, come si usa dire, "sostenibile".

La biomimetica (imitazione della natura) ha l'obbiettivo di applicare le regole e le procedure dei processi naturali ad altri processi, vorrei poter dire altrettanto naturali, nei quali però l'uomo interviene con delle proprie modalità e secondo delle proprie esigenze. Si tratta quindi di una disciplina che costituisce una delle punte avanzate delle Ricerche di Tecnologia dell'Architettura.

Studiare, utilizzare, imitare la natura è un processo che da sempre ha guidato l'esistenza dell'uomo perché è dalla natura che l'uomo trae informazioni e conoscenza. La natura ci guida e ci istruisce, ci fornisce spunti e ispirazioni e appare importante allinearsi ai suoi ritmi e ai suoi processi naturali, ai principi e alle leggi che ne regolano fenomeni e accadimenti.

Applichiamo costantemente le leggi della natura, dalla successione di Fibonacci, già presente nella disposizione dei semi del girasole, alla disposizione a nido d'ape degli alveari, applicate ai pannelli di rivestimento in alluminio, alle strutture reticolari geodetiche simili alle molecole di alcuni virus, alle superfici dei vetri autopulenti ispirati alle foglie del fiore di loto, ecc.

E quindi non c'è da stupirsi se una disciplina elabora e teorizza l'applicazione di queste regole della natura alle attività umane, perfino in quelle forme d'arte nelle quali, apparentemente, la regola non esiste ma solo l'estro, la visione e l'ispirazione. "Ogni cosa che puoi immaginare, la natura l'ha già creata", sosteneva Einstein.



Ma dato che, secondo diverse definizioni, la natura è: ... *il complesso di tutte le cose e di tutti gli esseri viventi esistenti nell'universo, animali e vegetali ma anche delle cose inanimate, la cui esistenza è regolata da leggi proprie...*, perché escludere l'uomo da questo "complesso di cose e di esseri viventi esistenti nell'universo"? Anche le attività antropiche non dovrebbero essere considerate naturali, anche laddove vadano a discapito di altre cose naturali? Le termiti che invadono e distruggono un albero sono naturali? Il naturale tsunami provocato dal naturale terremoto al largo del Giappone del 2011 che ha distrutto una vasta porzione di natura è naturale? Non sempre la natura è positiva e amica e non sempre l'attività umana è contro natura e negativa.

Vale invece la diffusa convinzione che naturale sia tutto ciò che nella propria esistenza non vede l'intervento umano mentre siano artificiali tutte le cose nelle quali l'uomo sia intervenuto, nella convinzione che egli abbia alterato il naturale corso degli avvenimenti.

Orbene questa dicotomia fra naturale e artificiale, con e senza l'uomo, andrebbe a mio avviso approfondita per capire fino a che punto e in che modo l'uomo può intervenire sulla natura in modo naturale. Probabilmente in nessun modo o forse in tutti i modi. Potremmo dire che "tutto è naturale/naturale non esiste"?

Se paragonassimo la vita della terra a un anno solare, l'uomo compare sul pianeta pochi minuti prima della mezzanotte del 31 dicembre. Cosa è accaduto nel resto dell'anno? E cosa farà della specie umana la natura in futuro? L'uomo è parte della natura e si appropria di altre parti della natura a proprio uso e vantaggio allo stesso modo di altri esseri viventi che utilizzano la natura per proprie finalità. Quante specie viventi sono andate perse in milioni di anni prima ancora dell'esistenza dell'uomo? Quanti mutamenti del territorio e distruzioni di foreste e inquinamento delle acque? Noi non siamo il "punto zero", forse al momento occupiamo uno dei gradini più alti ma è bene ricordare che *l'uomo esiste sulla terra per un momentaneo consenso geologico, pronto a essere revocato in qualsiasi momento senza preavviso* (W. Durant).

La natura bilancia sempre se stessa e l'uomo è una pedina in questa partita a scacchi, magari probabilmente la Regina, la pedina più forte, ma alla fine è il Re che conta.

# *Prefazione*

di *Lorenzo Matteoli*

A memoria d'uomo per sopravvivere sul Pianeta la nostra Specie ha dovuto confrontarsi con la Natura. Dalla sfida quotidiana e mortale dei primi cacciatori fino alla complessa organizzazione della attuale moderna società tecnologica il confronto con la Natura è stato il luogo centrale della sfida esistenziale.

A differenza delle altre specie che con noi abitano il Pianeta, grazie a un fantastico accidente dell'evoluzione darwiniana, noi abbiamo avuto il privilegio della "ragione," della curiosità intellettuale, della memoria, della parola e della scrittura, per acquisire e per trasmettere conoscenza.

Per decine forse centinaia di secoli con questi formidabili strumenti e privilegi abbiamo gestito il nostro "confronto" con la Natura. Abbiamo osservato, studiato, capito i fenomeni, i cicli, le dinamiche, i cambiamenti dell'ambiente fisico, atmosferico, vegetale e animale intorno a noi. Abbiamo utilizzato l'intelligenza e comprensione per utilizzare e per difenderci dalla Natura; per addomesticare animali, per coltivare i campi, per costruire case, esplorare, viaggiare, commerciare, combattere, uccidere e conquistare.

Per molti secoli i fenomeni della Natura non hanno avuto spiegazione scientifica. Erano manifestazioni attribuite a divinità buone o cattive, amministrate come premi o come punizioni e per questo subite come tali, invocate o scongiurate con liturgie, preghiere, sacrifici. Con il tempo, lo studio, la strumentazione e l'analisi scientifica hanno spiegato tutti i fenomeni naturali e gli "dei" sono scomparsi dal nostro dialogo con la Natura.

Non sappiamo esattamente "quando" è avvenuto questo cambiamento perché è maturato nel corso dei secoli. Il Rinascimento forse è stato il momento della sua espressione più cosciente, ma il processo è ancora in corso.

Siamo diventati i “signori” del Pianeta, il dialogo è diventato richiesta, pretesa, dominio, controllo. L'utilizzazione delle risorse è diventata sfruttamento.

L'entusiasmo per la “magnifiche sorti e progressive,” gli innegabili enormi successi della scienza, le brillanti invenzioni tecniche e le soluzioni tecnologiche ci hanno ammaliato. La hubrys dell'enorme potenza acquisita ci ha isolato.

Gli ultimi cento anni di “confronto” con la natura hanno sconvolto il Pianeta. L'agricoltura intensiva ha prodotto il cibo per i 7,3 miliardi di abitanti del Pianeta, ma ha compromesso il patrimonio di superfici fertili. L'enorme quantità di energia convertita per muovere la “macchina” produttiva dell'industria planetaria sta sovvertendo gli equilibri fisici e chimici dell'atmosfera, probabilmente insieme a cambiamenti di assetti astronomici del Pianeta finora ritenuti irrilevanti. Le conseguenze sul clima imprevedibili e quasi certamente catastrofiche. La disponibilità di cibo e la necessità di manodopera per gestire la “macchina” planetaria hanno spinto la crescita demografica su tendenze esponenziali insostenibili. Ogni intervento di apparente soluzione nella logica di questo paradigma inevitabilmente apre nuovi problemi in una sequenza perversa.

Il privilegio della “ragione” e dell'intelligenza, regalo accidentale alla nostra Specie e motivo del nostro apparente successo, nascondeva una maledizione velenosa: ci impediva la comprensione della incredibile complessità della Natura.

Ci è mancata la percezione della enorme complessità dell'interlocutore naturale. A fronte di questa complessità la conoscenza e la padronanza degli strumenti tecnici a disposizione della Specie si sono rivelati minimi e assolutamente insufficienti. Le dinamiche globali e le loro interazioni sono una sfida impossibile per i nostri strumenti conoscitivi. Il dialogo, il confronto, l'utilizzazione delle risorse sono diventati il modello dell'aggressione ambientale della quale oggi si vedono le prime preoccupanti conseguenze. La sindrome del “dominio” è chiaramente una sindrome infondata, terminale. Oggi la Specie si trova nella emergenza drammatica, e mai sperimentata prima nella sua storia pluri-millenaria, di dover cambiare radicalmente le modalità del “confronto” con la Natura, non più oggetto da dominare, da conquistare, da sottomettere come nel sogno scientifico rinascimentale, ma soggetto potente e autorevole, depositario di conoscenze empiriche stratificate attraverso milioni di anni di pratica sperimentale e di conseguente selezione. Conoscenze di impossibile acquisizione anche con i nostri strumenti. L'unica cosa che possiamo fare è studiare e “imitare” sperando che

l'imitazione ci consenta di concepire e realizzare strumenti e tecnologie che della Natura abbiano la saggia consistenza e congruenza ambientale. Questo il campo della "*bio-mimetica*", una disciplina in rapida affermazione di enorme potenzialità specialmente nel settore che assorbe direttamente o indirettamente il 99% degli investimenti della nostra Specie sul Pianeta: quello dell'insediamento residenziale, dei suoi servizi, dei suoi processi e delle sue infrastrutture.



## *Introduzione*

Le attuali conoscenze scientifiche permettono di prevedere la nascita di un nuovo paradigma culturale nella relazione che intercorre tra il mondo naturale e quello artificiale. Se per millenni l'uomo ha utilizzato la tecnica per torturare la natura applicando il metodo galileiano e il *regnum hominis* baconiano, negli ultimi anni una nuova disciplina scientifica, la biomimetica, ha dimostrato che è possibile superare se stessi e vedere nella natura una fonte di ispirazione e di conoscenza. Una delle strade più innovative e interessanti per affrontare l'emergenza ambientale contemporanea e rispondere alle mutate esigenze degli essere umani è proprio quella biomimetica, che fonda nei 4 miliardi di anni di evoluzione, il suo bagaglio conoscitivo.

L'emergenza ambientale ha alimentato l'interesse verso le scienze della sostenibilità, portando al centro del dibattito scientifico la necessità di progettare e pensare alla tecnologia tramite logiche capaci di preservare nel lungo periodo la vita sul pianeta. Il tradizionale approccio "senza limiti" ha decantato la visione di una tecnica dominatrice, capace di sfruttare la natura ed eventualmente contenere i danni provocati dalle azioni umane. La biomimetica si pone invece come un superamento di questo concetto, portando ad individuare una strada alternativa, dove con la natura si può dominare la tecnologia.

La biomimetica si caratterizza per essere una disciplina osmotica, fortemente variegata e interrelata con numerosi campi del sapere. Essa si occupa di riprodurre artificialmente e consapevolmente idee, soluzioni e processi propri del mondo naturale.

Il libro *Biomimetica e Architettura. Come la natura domina la tecnologia* si propone di descrivere la nuova scienza biomimetica con particolare

riguardo ai settori dell'architettura e della scienza e tecnologia dei materiali per l'edilizia secondo un approccio scientificamente rigoroso adatto ai professionisti del settore. Questo contributo si pone come guida orientativa a tale ambito di ricerca, senza tuttavia prefiggersi l'obiettivo di tracciare il fondamento teorico per lo sviluppo futuro della disciplina. Il presente contributo si pone, infatti, come guida orientativa al nuovo panorama biomimetico, per quanto la trattazione sintetica e le necessarie scelte effettuate dagli autori abbiano necessariamente tralasciato alcuni risvolti della disciplina.

Lo sviluppo del volume ha visto un lavoro di strutturazione collegiale, che ha portato a trattazioni specifiche. Nel primo capitolo Roberto Pagani, partendo dalle avanguardie degli anni '70 e arrivando ai giorni nostri, delinea il contesto culturale della sostenibilità in architettura individuandone le principali linee di ricerca, le famiglie di termini e i differenti approcci che la caratterizzano. Questi sono identificati dalle espressioni: architettura bioclimatica, energeticamente efficiente, passiva, solare, ecologica, organica, sostenibile, fino all'architettura biomimetica. In questo capitolo verrà affrontata la questione di come la biomimetica costituisca una scelta metodologica forte nei confronti di un nuovo paradigma tra natura e tecnologia per riportare il mondo nella soglia di equilibrio.

Nel secondo capitolo Giacomo Chiesa descrive cosa significa il termine biomimetica, come si configura il metodo bio-ispirato, in cosa consiste l'innovazione biomimetica e quali implicazioni possa avere sulle visioni future di architetture e città. Inoltre, verranno introdotti i termini affini e ne verranno indagate le differenze (bionica, biomimica, bio-ispirato). Nel corso del capitolo si indaga la valenza innovativa della scienza biomimetica, confrontandola con approcci tradizionali e con la visione sostenibile "classica". Il confronto permette di evidenziare come l'innovazione biomimetica non si limiti allo sviluppo di oggetti innovativi, ma comporti un cambiamento metodologico e teorico. Questa analisi è correlata dallo studio di implicazioni e strumenti per supportare il progettista nella realizzazione di progetti di natura biomimetica. È, inoltre, analizzato il metodo di sviluppo di prodotti, processi e progetti in un'ottica biomimetica. Si introducono le riflessioni in corso sugli standard rivolti a normare i principi di questa nuova disciplina a livello internazionale. Si riportano, infine, alcune implicazioni biomimetiche sulle visioni future di architetture e città dedotte da bibliografia.

Il terzo capitolo, scritto da Jean Marc Tulliani, analizza l'innovazione biomimetica nel contesto della scienza e tecnologia dei materiali, riportando innovazioni di metodo, di processo e di prodotto. Nel corso del capitolo si

indaga il peculiare approccio alla biologia basato sullo studio dei sistemi naturali secondo un'ottica ingegneristica, strutturale e propria della scienza e tecnologia dei materiali. Questo approccio peculiare, spesso dimenticato dai biologici, è all'origine di importanti innovazioni di carattere ingegneristico e industriale nell'ambito della scienza e tecnologia dei materiali. Si riportano, in particolare, gli studi e gli avanzamenti scientifici riguardanti gli *smart materials*, ovvero quei materiali caratterizzati dalla capacità di rispondere intelligentemente a specifici stimoli dell'ambiente interno e esterno. Essi sono capaci di percepire, rivelare e identificare l'intensità degli stimoli di diversa natura cui sono sottoposti (es. elettrici, luminosi, termici, meccanici, chimici). Sono in grado di rispondere ai cambiamenti delle condizioni al contorno controllando la loro capacità di risposta in accordo con le modalità con cui sono stati progettati. Le risposte sono tempestive, adeguate e adattabili alle specificità dello stimolo e dell'ambiente. Questi materiali sono, infine, capaci di ripristinare il loro stato originario al terminare dello stimolo. Gli *smart materials* trovano origine nell'approccio biomimetico, infatti, lo studio dei materiali intelligenti si basa sulla volontà di artificializzare soluzioni e funzioni proprie degli organismi viventi. I materiali attualmente esistenti sono, tuttavia, generalmente troppo semplici per poter rispondere al quadro esigenziale proprio degli *smart materials*. Il capitolo riporta alcuni esempi specifici e i risultati di ricerche in corso a livello internazionale.

Il quarto capitolo, scritto da Giacomo Chiesa e Alberto Mauro, è costituito da una collezione di 40 schede prodotto (materiali) che riportano uno spaccato di cosa è oggi disponibile sul mercato o è in fase di sperimentazione in ambito biomimetico. Le schede analizzano il principio di ispirazione naturale e le modalità di artificializzazione dei prodotti innovativi presentati avvalendosi di una nutrita bibliografia internazionale. In aggiunta a questo database, al capitolo cinque, di Giacomo Chiesa e Alberto Mauro, sono presentate 16 schede architettoniche volte a mostrare l'integrazione di processo, prodotto e progetto di soluzioni biomimetiche in architettura. I due database proposti hanno la funzione di proporre idee, visioni e spunti utili per applicare all'architettura e al progetto in genere implicazioni di natura biomimetica.





# *1. Architettura e biomimetica: il percorso della sostenibilità*

di *Roberto Pagani*

## **Abstract**

Partendo dalle avanguardie degli anni '70 ai giorni nostri, il capitolo descrive il contesto culturale della sostenibilità in architettura individuandone le principali linee di ricerca, le famiglie di termini e i differenti approcci che li caratterizzano. Questi sono identificati dalle diverse espressioni di architettura: bioclimatica, solare, passiva, ecologica, organica, sostenibile, fino all'architettura biomimetica. Viene affrontata la questione di come la biomimetica costituisca una scelta metodologica forte nei confronti di un nuovo paradigma tra natura e tecnologia per riportare i nostri sistemi insediativi nella soglia di equilibrio.

### **1.1. Un tempo si chiamava “architettura bioclimatica”**

La crisi ambientale delle nostre aree metropolitane, dell'ovest e dell'est del mondo, ci fa riflettere sulla necessità di ridefinire il ruolo del sistema antropico nei confronti del sistema naturale su cui insiste. Diventa sempre più impellente attribuire un valore economico alle risorse ambientali o, in altri termini, riferirsi agli ecosistemi per interpretare e riorganizzare le attività insediative. Da tempo abbiamo imparato che i sistemi sono tra loro interrelati, che è estremamente difficile capire il funzionamento di una singola parte di un sistema, senza avere il quadro di riferimento complessivo, ma quasi mai abbiamo davvero applicato questi semplici concetti (Matteoli, 1977).

In effetti, quando nel passato si progettava e si costruiva “ecologicamente” non era per nulla necessario specificarlo. La differenza era e deve

ancora essere tra buona e cattiva progettazione (Fitch, 1991). Nella selva delle definizioni occorre peraltro chiarire tre aspetti che demarcano aree di interesse: il benessere / la salute / l'impatto ambientale con le loro relazioni e associazioni (AA.VV., 1999).

### **benessere    bioclimatica**

La disciplina bioclimatica ha costituito una partenza. Si è consolidata con l'interesse di ricercatori e progettisti nel corso degli anni. Progettare l'architettura con i vincoli del clima è stata la sfida che ha coinvolto i pionieri della disciplina negli anni '70 del secolo scorso. L'architettura muove i primi passi dall'interpretazione del contesto, all'interno del quale ogni edificio prende forma. Il microclima esterno dialoga con il microclima interno attraverso frontiere edilizie passive/attive/ibride e il progetto delle frontiere, dell'involucro assume il ruolo cruciale di mediatore.

Perno dell'architettura bioclimatica è il benessere dell'individuo-utente, influenzato da molti fattori: attività, età, genere, abbigliamento e da aspetti del microclima interno, quali la temperatura dell'aria e delle superfici, l'irraggiamento, l'umidità, i movimenti dell'aria (Olgay, 1963).

I principi ispiratori della bioclimatica non sono diversi dalla semplice regola della "buona architettura", ma emergono distinzioni, terminologie e prefissi sempre più complessi: bio, eco, bio-eco, eco-compatibile.

### **salute    bioedilizia**

Il tema salute entra prepotentemente in causa negli anni '80 con la tematica prima sconosciuta della cosiddetta "sindrome dell'edificio malato" e dei danni sull'uomo provocati da sistemi di condizionamento obsoleti e scarsamente mantenuti, materiali fortemente inquinanti, emissioni dal suolo (es. Radon).

L'ambiente interno non attentamente progettato può generare conseguenze gravi per la salute degli occupanti: può contenere sostanze tossiche o allergeniche; può essere insalubre o produrre stress; può facilitare la trasmissione patogena (AA.VV., 1999).

Nel 1986 a seguito della catastrofe nucleare di Chernobyl tutti gli impianti solari ad aria della dimostrazione di 500 case solari in Piemonte dovettero essere controllati con contatori Geiger. Una iniziativa pionieristica che premiava la salubrità delle abitazioni attraverso la prima ventilazione centralizzata igienico-sanitaria a energia solare nel residenziale in Italia rischiava di essere compromessa da un incidente nucleare a oltre 2000 km di distanza! Fortunatamente non si registrarono accumuli, ma aumentò la sensibilità di

tutti i ricercatori nei confronti della salubrità degli edifici (AA.VV., 1990).

La “bioedilizia” emerge da queste problematiche e arricchisce l’approccio bioclimatico dei precedenti decenni, contraddistinguendo l’apparato progettuale del movimento dei bio-architetti, con i colleghi tedeschi e alto-atesini fra gli iniziatori. La salute come parametro di progetto tocca i temi della qualità dell’aria indoor, i materiali, la luce naturale, l’acustica. Questi parametri integrano quelli del benessere e spostano l’interesse sulla prevenzione dai danni fisiologici per la potenziale aggressività del contesto costruito. Il tema della bioedilizia fa emergere il più ampio approccio ecologico, rispetto alla focalizzazione climatico-energetica della precedente generazione. I materiali naturali, la qualità dell’aria interna, i processi circolari diventano fattori di innovazione.

### **impatto ambientale    sostenibilità**

Si può definire “innovazione” un processo di cambiamento con massa critica tale da superare l’inerzia del sistema ortodosso. Innovare nell’architettura, nel renderla compatibile con l’ambiente, coerente e sostenibile è la nuova sfida generazionale. La qualità è associata all’aggettivo totale e in questo concetto, l’architettura, l’impatto ambientale, il ciclo di vita dei materiali impiegati, la loro bio-compatibilità, l’energia consumata, l’acqua, l’aria, i rifiuti prodotti, non sono più costi inesigibili, sono parte della strategia (Odum, 2000).

Il tema impatto ambientale/sostenibilità emerge in Europa negli anni ’90, quando l’energia trova il complemento nei processi, nei materiali, e il globale prende il sopravvento sul locale, integrandolo nel termine “glocal”. Entrano in causa nuovi requisiti e tecnologie conseguenti:

- per l’acqua: la riduzione, il riuso, il recupero dell’acqua piovana
- per il suolo: la permeabilità, la protezione da radioattività latente
- per i rifiuti: la riduzione, la preselezione, il compostaggio
- per l’aria: la riduzione delle emissioni inquinanti e la riduzione della CO<sub>2</sub>
- per la biodiversità: la piantumazione di vegetazione autoctona, i tetti verdi
- per la costruzione: i materiali a basso impatto, i materiali di recupero

In Europa, come è ampiamente noto, il settore residenziale/terziario occupa il 40% del bilancio energetico. È una dimensione enorme che mette in secondo piano l’industria e i trasporti. Il problema nell’agire sull’edilizia