

BIO-INSPIRED DESIGN

Le prospettive di un Design per la Sostenibilità Ambientale guidato dalla Natura

INDICE

Introduzione

Oltre il biomorfismo: l'approccio biomimetico per un design sostenibile
di Lucia Pietroni 9

PARTE PRIMA

Il rinnovato interesse per la Natura e il contributo dell'approccio bio-ispirato alla cultura del design

L'analogia biologica tra natura e design 15
Una nuova visione delle dinamiche naturali: le nanoscienze e nanotecnologie 21
Dalla sostenibilità alla rigenerazione: l'analogia biologica applicata ai modelli di sviluppo economico e sociale 27
Biomimesi: la natura come fonte d'ispirazione per l'innovazione e il design del futuro 33
La stampa tridimensionale come processo naturale di produzione 39
Prodotti e sistemi bio-ispirati: oltre il biomorfismo 45

PARTE SECONDA

La complessità della Natura come paradigma evolutivo del prodotto industriale

La materioteca intorno a noi: comprendere e replicare i materiali naturali 57
Materia e materiale, oltre la dicotomia naturale e artificiale 63
Le qualità complesse della natura: adattamento, rigenerazione e resilienza 67
L'adattamento come mezzo per il fitting prestazionale 71
Rigenerazione e obsolescenza programmata 75
Resilienza: da prestazione meccanica a parametro di sostenibilità ambientale 79

Conclusioni

84

Riferimenti bibliografici

87

INTRODUZIONE

Oltre il biomorfismo: l'approccio biomimetico per un design sostenibile

Lucia Pietroni

Il design può dare un contributo rilevante per orientare, con responsabilità, i processi di innovazione e sviluppo e gli stili di vita in una direzione più sostenibile. I designer possono fare molto, realizzando soluzioni progettuali innovative ma sostenibili, ovvero “capaci di futuro”, che sappiano coniugare, con equilibrio e visione, la dimensione ambientale, socio-culturale ed economica della sostenibilità. Oggi siamo pienamente consapevoli che, come scriveva nel 2008 John Thackara nel suo libro *In The Bubble*, “l’impatto ambientale dei prodotti, dei servizi e delle infrastrutture che ci circondano si determina, fino all’ottanta per cento, in fase di progetto. Le scelte operate in questa fase modellano i processi che sono alla base dei prodotti che usiamo, dei materiali e dell’energia necessari a realizzarli, delle diverse modalità del loro utilizzo quotidiano e di ciò che accade loro nel momento in cui non ci servono più”¹.

1. Thackara J. 2008.

Per sviluppare e promuovere una cultura del design e modelli di progettazione realmente sostenibili, che possano incidere efficacemente e moltiplicare i propri effetti positivi, è necessario il supporto continuo della ricerca, della sperimentazione, dello scambio e della condivisione interdisciplinare delle conoscenze.

Nell’attuale fase di maturità della sfida ambientale, più che mai, c’è bisogno di valutare tutti gli sviluppi della scienza e della ricerca applicata significativi per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale, sempre più impegnativi da ottenere a livello globale.

In questa prospettiva, uno dei contributi della ricerca scientifica, che recentemente sembra emergere come particolarmente promettente all’interno del dibattito sulla sostenibilità ambientale e sul design sostenibile, è l’apporto della “Biomimesi” o “Biomimetica”, ovvero di quella “scienza che studia i sistemi biologici naturali emulandone forme, processi, meccanismi d’azione, strategie, per risolvere le sfide di ogni giorno, per trovare le soluzioni più sostenibili ai problemi progettuali e tecnologici dell’uomo, per replicarne disegni e processi in nuove soluzioni tecnologiche per l’industria e la ricerca”, come la definisce la biologa statunitense Janine Benyus².

2. Benyus J. 2002.

Si tratta di un ambito scientifico interdisciplinare relativamente recente, ma che negli ultimi anni ha assunto un particolare rilievo. Già nel 1958 l’ingegnere aeronautico Jack Steele aveva coniato il termine “Bionica” (Biologia + Tecnica) per intendere una “scienza dei sistemi il cui funzionamento è basato su quello dei sistemi naturali”. Rispetto agli sviluppi della Bionica, molto proficui soprattutto negli anni ’70 e ’80, la Biomimesi o Biomimetica non si limita ad imitare le forme e le strutture efficienti degli organismi viventi, ma trae spunto e ispirazione dalle strategie, dai processi e dalle logiche di funzionamento e di organizzazione che sono alla base del successo evolutivo

dei sistemi biologici. Il termine “Biomimesi” è stato utilizzato per la prima volta, nel 1968, dal fisico Otto Schmitt, per definire “una disciplina che simula le strutture biologiche per realizzare prodotti più efficienti”. Nel 1974 “Biomimesi” compare nel dizionario di lingua inglese *Merriam-Webster*.

Negli anni ‘80 e ‘90 la Biomimesi inizia ad essere insegnata nelle Università e nei centri di ricerca di diversi paesi del mondo: in Inghilterra, dove il Prof. Julian Vincent fonda il *Centre of Biomimetics* dell’Università di Reading e dell’Università di Bath; in Germania, dove il Prof. Thomas Speck istituisce corsi di Biomimesi all’Università di Friburgo; negli USA, dove nascono numerosi centri di ricerca, formazione e consulenza, come il *CBID-Centre for Biologically Inspired Design* al *Georgia Institute of Technology* o il *Biomimicry Institute* fondato dalla biologa Janine Benyus nel Montana; più recentemente sono sorti centri di ricerca sulla Biomimesi in molti altri paesi del mondo³.

3. Salvia G. et al. 2009.

Pertanto, attraverso gli sviluppi delle ricerche sulla Biomimesi, si è tornati a discutere e riflettere sulla natura come fonte primaria d’ispirazione per la risoluzione dei problemi tecnologici e progettuali dell’uomo; come “modello, misura e mentore” nello sviluppo di soluzioni progettuali innovative e realmente sostenibili; come straordinaria banca-dati di espedienti biologici e di innovazioni utili a designer, ingegneri, architetti, da trasferire nella progettazione e produzione dei propri artefatti; come laboratorio di idee per uno sviluppo innovativo e sostenibile. Come sostiene Janine Benyus, nel suo libro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, “la Biomimesi nasce proprio dalla consapevolezza che la Natura è una banca dati di innovazioni progettuali sostenibili, un archivio di brevetti disponibili immediatamente, un laboratorio di ricerca e sviluppo a nostra disposizione”⁴.

4. Benyus J. 2002.
op. cit.

Da sempre l’uomo ha imitato e si è ispirato alla natura per trovare soluzioni efficaci ed efficienti, prima per la sua sopravvivenza sul pianeta, poi per l’accrescimento del comfort e della qualità del proprio habitat e della propria vita. Nell’ideazione e progettazione dei propri artefatti ha imitato continuamente strutture, forme, proporzioni geometriche, colori, ritmi, simmetrie, funzioni degli organismi biologici con differenti finalità. Ma allora quale è il motivo, oggi, di un rinnovato interesse per la natura? Quali nuovi fattori riaprono il dibattito della cultura del progetto sulla necessità di tornare ad apprendere gli insegnamenti di “madre natura come contributo per il raggiungimento degli obiettivi della sostenibilità ambientale”?

5. Salvia G. et al. 2009.
Montana Hoyos C.A. 2010.
Pietroni L. 2011.

La risposta a questi interrogativi non è scontata né semplice. L’ipotesi, delineata da alcuni autori⁵ e che in questo libro viene sostenuta e rafforzata, è che dall’attuale scenario scientifico-culturale emergono due principali fattori che consentono di considerare in modo nuovo l’approccio progettuale biomimetico o bio-ispirato, evolvendolo ben oltre il “biomorfismo”, ovvero superando le analogie morfologico-strutturali, ormai consolidate nella cultura del design.

Il primo fattore è il recente sviluppo di nuove conoscenze scientifiche e di nuovi strumenti tecnologici capaci di analizzare, descrivere, e persino riprodurre, aspetti, fenomeni, processi

della natura finora inediti ed inesplorati: in particolare gli importanti contributi delle nanoscienze e delle nanotecnologie che consentono di comprendere la realtà e di produrre artefatti alla scala nanometrica. Infatti, le nanoscienze studiano i fenomeni e la manipolazione di materiali su scala atomica e molecolare, dove le proprietà differiscono notevolmente da quelle osservate su scale maggiori, e la creazione di materiali, sistemi e dispositivi attraverso il controllo della materia su scala nanometrica è ciò che correntemente si intende con il termine “nanotecnologie”. La dimensione nanometrica del materiale manipolato dischiude orizzonti applicativi impensabili in passato, perché le proprietà osservabili a tale dimensione si prestano ad essere utilizzate, anche su scala diversa, per sviluppare processi e prodotti caratterizzati da nuove prestazioni in un numero tendenzialmente illimitato di settori. Pertanto oggi siamo in grado di prendere ispirazione dalla natura non solo per gli aspetti morfologico-strutturali, ma anche per i suoi modelli strategici, organizzativi, comportamentali e di processo, estremamente efficienti e sostenibili (ad es. auto-assemblaggio, auto-riparazione, auto-organizzazione, ecc.).

Il secondo fattore è l'attuale fase di maturità del dibattito sulla sostenibilità ambientale caratterizzato da nuove consapevolezze: la necessità, da un lato, di un cambiamento radicale del modello di sviluppo e di una drastica riduzione del consumo di risorse ambientali delle società industriali mature e la constatazione, dall'altro, della lentezza e dell'inefficienza dei cambiamenti nella direzione della sostenibilità, nonostante le notevoli risorse finanziarie, tecnologiche e umane, messe in campo. Infatti, tra i teorici e gli studiosi⁶ della transizione verso la sostenibilità ambientale emerge con forza la consapevolezza che per risolvere gli attuali problemi economici, energetici e ambientali non è sufficiente lo sviluppo di efficienti tecnologie pulite e di processi e prodotti più sostenibili o di strategie ambientali di business, ma è necessario ed indispensabile un radicale cambiamento dell'attuale sistema di produzione e consumo, del modello di sviluppo economico e dei nostri stili di vita, perseguibile soprattutto attraverso innovazioni radicali e non incrementali. I tempi e i modi con cui si stanno percorrendo le strade verso la sostenibilità ambientale sono troppo lenti ed inefficienti. Si ha la consapevolezza che dovremmo ridurre i nostri consumi di risorse naturali di circa il 90% rispetto agli attuali, ma ogni anno stiamo consumando il 20% in più di risorse rispetto a quelle che la natura è in grado di rigenerare.

Alla luce dei recenti sviluppi e delle enormi potenzialità delle nanoscienze e delle nanotecnologie e nell'attuale fase di maturità del dibattito sulla sostenibilità ambientale l'approccio biomimetico o bio-ispirato al design appare molto promettente e destinato in futuro ad offrire un contributo ancora più significativo e determinante.

Oggi, infatti, attraverso gli sviluppi della Biomimesi, architetti, ingegneri, designer hanno a disposizione gli “esperimenti” che l'evoluzione naturale ha perfezionato in milioni di anni, basandosi sul principio del “minimo investimento per il massimo rendimento”, ovvero gli organismi naturali non sprecano, non

6. Manzini E. e Vezzoli C. 2007.

producono rifiuti e utilizzano sempre la quantità minima di energia possibile per le loro attività al fine di garantire maggiori prestazioni per la perpetuazione della specie. Il numero di espedienti biologici utili per il design sostenibile è potenzialmente illimitato ed è chiaro come i progettisti possano ricavare dalla natura sempre più proficui suggerimenti per la realizzazione dei propri artefatti, mantenendo al contempo un vantaggioso rapporto tra costi e benefici.

Infine, per ottenere risultati veramente apprezzabili in termini di sostenibilità ambientale attraverso la progettazione bio-ispirata sarebbe auspicabile formare gruppi interdisciplinari di progetto; guardare e interrogare la natura in modo nuovo e con nuovi strumenti scientifici e culturali; e, soprattutto, integrare efficacemente i principi e gli strumenti della Biomimesi con i metodi e le strategie più consolidati del Design per la sostenibilità. In tal modo, l'approccio biomimetico potrà in un futuro prossimo fornire alla cultura del design un contributo non solo promettente, ma realmente strategico per lo sviluppo di soluzioni progettuali sostenibili, innovative e capaci di futuro, o per dirla con Victor Papanek "ecologicamente responsabili e socialmente rispondenti, rivoluzionarie e radicali nel senso più vero dei termini"⁷.

7. Papanek V. 1973.

*Jardin des Plantes di Parigi (2014)
Zampa del gecko gigante della
Nuova Caledonia (Rhacodactylus
leachianus), il gecko e la sua ca-
pacità di adesione su qualunque
tipo di superficie sono un esempio
emblematico dell'approccio biomi-
metico allo studio e all'imitazione
della natura.*



L'ANALOGIA BIOLOGICA TRA NATURA E DESIGN

Guardare la natura per imparare a fare ciò che ha sviluppato in miliardi di anni è una sfida per l'uomo che si ripropone da secoli. Le più importanti invenzioni tecnologiche del genere umano sono spesso scaturite dalla sua osservazione: dagli studi sul volo di Leonardo da Vinci alle avveniristiche architetture di Richard Buckminster Fuller, quello che continua a sorprendere è la complessità delle regole che governano il mondo intorno a noi e al tempo stesso l'affascinante semplicità dei risultati che, attraverso di esse, la natura produce. Dalla notte dei tempi, quando il primo ominide fabbricò il primo artefatto e diede matericità alla prima intenzione progettuale della storia, tra l'uomo e il suo ambiente si è instaurato un rapporto dialettico e conflittuale al tempo stesso; se, come sostiene Vilém Flusser¹, si riconosce al termine design l'accezione associata alle idee di "astuzia" e "insidia", o più esplicitamente alla risoluzione di un'insidia (problema progettuale) per mezzo dell'astuzia (soluzione progettuale). In questo senso, alla base della cultura dell'uomo ci sarebbe l'intento (design) di ingannare la natura, sostituendo per mezzo della tecnica il naturale con l'artificiale e giungere, così, all'obiettivo finale di essere liberi dalle leggi che ci governano. Benché nella cultura del design confluiscano molteplici discipline, dalla semiotica all'ingegneria passando attraverso la filosofia, la letteratura, la sociologia, la chimica e la fisica, solo per citarne alcune, la natura ha sempre rappresentato per il designer il modello ideale a cui riferirsi per la soluzione dei molteplici problemi che si pongono in un processo progettuale: forma, struttura, tecnologia, comunicazione, sostenibilità, ecc.

*"I concetti di "completezza", "coerenza", "correlazione" e "integrazione", usati per esprimere le relazioni non certo casuali tra le parti di un organismo biologico, possono essere utilizzati per descrivere simili qualità nei manufatti progettati con criterio. L'adattamento e la perfetta corrispondenza dell'organismo all'ambiente in cui esso vive, possono essere paragonati all'armoniosa relazione tra una costruzione e lo spazio circostante e, più astrattamente, alla concordanza tra il design di ogni oggetto e i vari scopi cui esso è stato destinato. Probabilmente, fra tutte le scienze, è la biologia quella che per prima, più significativamente, affronta il problema centrale della teleologia, del design in natura; quindi, per questo motivo, è perfettamente naturale che, fra tutte le scienze, sia la biologia quella che debba attrarre l'interesse dei designers."*²

La biologia è l'insieme delle scienze che studiano l'essere vivente e le relazioni che questo stabilisce con l'ambiente in cui è immerso. Cosa accomuna, quindi, la biologia e il design, inteso nell'accezione anglosassone del termine, da spingere Steadman a suggerirla quale campo d'indagine prediletto

1. Flusser V. 2001.

Filosofia del design, p.4

2. Steadman P. 1979.

L'evoluzione del design, l'analisi biologica in architettura e nelle arti applicate, p.17

Aki Inomata (2010-2013) *Why Not Hand Over a Shelter to Hermit Crabs?*, progetto sviluppato inizialmente per la mostra "No Man's Land" tenutasi presso l'ambasciata francese a Tokyo nel 2009. L'idea è che lo spazio vitale che abitiamo è come il guscio di un paguro: ci appartiene fino a che non lo lasciamo in eredità a qualcun'altro dopo di noi.

3. Boncinelli E. 2001.

Prima lezione di biologia, p.4

per il progettista? Probabilmente la risposta è da ricercare nell'aggettivo "vivente" e nelle caratteristiche peculiari che questo conferisce. Un essere vivente è un'entità limitata nello spazio e nel tempo, dotata di quattro proprietà fondamentali³:

- essere costituita di materia organizzata;
- essere in grado di mantenere la propria organizzazione, metabolizzando materia ed energia;
- essere in grado di riprodursi;
- essere in grado di evolvere.

Caratteristiche, queste, che da sempre rappresentano la più alta aspirazione per tutta la produzione materiale del genere umano ma che solo in minima parte siamo riusciti fino ad ora a comprendere e, soprattutto, replicare. D'altra parte, continua Steadman, le stesse teorie evoluzionistiche sarebbero passibili di applicazione alla produzione di oggetti.

Prendiamo, ad esempio, in considerazione quelli che Umberto Eco definisce prodotti dal design "inconscio", ovvero risultanti da un processo lento di progettazione spontanea, indirizzata esclusivamente alla necessità di un'estrema risposta funzionale al problema posto. Appartengono a questa categoria gli attrezzi del contadino e del fabbro così come molti degli utensili che oggi sono patrimonio della società industriale⁴, spesso classificati nell'affascinante famiglia dei prodotti del Design Anonimo.

4. Eco U. 1982.

Italian Re Evolution. Design in italian society in the eights, p.128

In questi è possibile riscontrare un processo di sviluppo simile a quello che Lamarck ipotizzava per gli organismi viventi: le istruzioni provenienti dall'ambiente esterno esercitano una "pressione" costante sull'organismo, tale da modificarne alcuni caratteri, che trasmessi alle generazioni seguenti consentono un adattamento continuo all'ambiente. Seguendo questa teoria e procedendo per analogia nella sua applicazione all'artefatto, le varie forze meccaniche, chimiche o di altra natura dell'ambiente circostante, avrebbero la capacità di modellare la struttura e la forma dell'oggetto/organismo in modo da adeguarlo costantemente ed ottenere la massima efficienza prestazionale. Un modello di design che evolve collettivamente attraverso avanzamenti di carattere fenotipico, riscontrabile in molta della cultura materiale artigiana della tradizione.

Modello abbandonato ormai da molto tempo, il design contemporaneo, in analogia con lo sviluppo storico delle teorie evoluzionistiche, appare rispondere piuttosto ad una dinamica evolutiva di tipo darwiniano, sotto la spinta del repentino sviluppo tecnologico e sociale che non consente più una stratificazione delle esperienze e la sovrapposizione e sedimentazione delle soluzioni progettuali.

Pneuhaus (2015) "Bubble Dome", cupola autoportante realizzata con centinaia di palloni di gomma (TPU) comprati su un famoso portale on line di vendita e uniti attraverso un sistema leggero di cinghie e velcro. La struttura facilmente trasportabile e montabile, ha anche ottimo isolamento termico e ridondanza strutturale.

"Nel tempo che sarebbe stato richiesto affinché si verificassero molte "generazioni" di selezioni, la natura dell'originario problema del design, le funzioni del manufatto, i materiali disponibili e i metodi di fabbricazione, tutto sarebbe cambiato e questo cambiamento "ambientale" sarebbe stato veloce al



5. Steadman P. 1979.
op. cit., p.183

tal punto da impedire che ogni adattamento nella forma del manufatto potesse procedere di pari passo.”⁵

Il paradigma potrebbe essere, quindi, così esplicitato: il tradizionale modello di sviluppo progettuale incline alla modificazione ed evolutivo in senso lineare ha lasciato il campo ad un nuovo processo di sviluppo di tipo *trial and error*, che limita, o esclude del tutto, la possibilità di una progressiva modificazione nel tempo in favore della nascita di nuovi tipi. A questa asserzione sfuggono ancora oggi, almeno parzialmente, i prodotti ad uso “superindividuale” rispondenti esclusivamente a requisiti di assoluta funzionalità, così come definiti da Gillo Dorflès in *Introduzione al Disegno Industriale*.

È importante, però, sottolineare come l’analogia biologica tra l’essere vivente e l’artefatto non possa essere governata in entrambi i casi da un determinismo funzionale che renderebbe la figura del designer ininfluenza, per non dire superflua. Nello sviluppo di un prodotto i vincoli non possono essere determinati aprioristicamente dall’ambiente in cui esso andrà ad operare, ma saranno individuati sulla base di fattori culturali, economici, tecnologici e degli stessi scopi che il designer e il cliente riterranno maggiormente influenti.

Il rapporto tra natura e progetto è quindi argomento ben noto, che ha ispirato progettisti di tutto il mondo e di ogni epoca nello sviluppo di forme, strutture ed elementi decorativi tratti dall’esperienza ecologica quotidiana. Ciò che differenzia gli esiti progettuali bio-ispirati è, e sarà sempre, la capacità di lettura della natura e delle sue dinamiche. Dunque, cosa è cambiato

Ami Drach e Dov Gancharov
(2014) Stone hand-axe n. 5 e 10,
utensili preistorici riattualizzati at-
traverso l’uso delle tecnologie di-
gitali di rilievo e prototipazione 3D.



affinché oggi la cultura del progetto si rivolga con rinnovato interesse allo studio e comprensione della natura?

“Nell’attuale scenario scientifico-culturale emergono due principali fattori che consentono di considerare in modo nuovo l’approccio biomimetico al design, soprattutto come un contributo molto promettente per il raggiungimento degli obiettivi della sostenibilità ambientale. Questi due significativi fattori sono:

1. *il recente sviluppo di nuove conoscenze e di nuovi strumenti scientifici e tecnologici capaci di analizzare, descrivere e persino riprodurre, aspetti, fenomeni e processi della natura finora inediti ed inesplorati: in particolare lo sviluppo e gli importanti contributi delle nanoscienze e nanotecnologie che consentono di comprendere la realtà e di produrre artefatti alla scala nanometrica;*
2. *l’attuale fase di maturità del dibattito sulla sostenibilità ambientale, caratterizzato da nuove consapevolezze: la necessità, da un lato, di un cambiamento radicale del modello di sviluppo e di una drastica riduzione del consumo di risorse ambientali delle società industriali mature e la constatazione, dall’altro, della lentezza e dell’inefficienza dei cambiamenti nella direzione della sostenibilità, nonostante le notevoli risorse finanziarie, tecnologiche e umane, messe in campo⁶.*

6. Pietroni L. 2011.

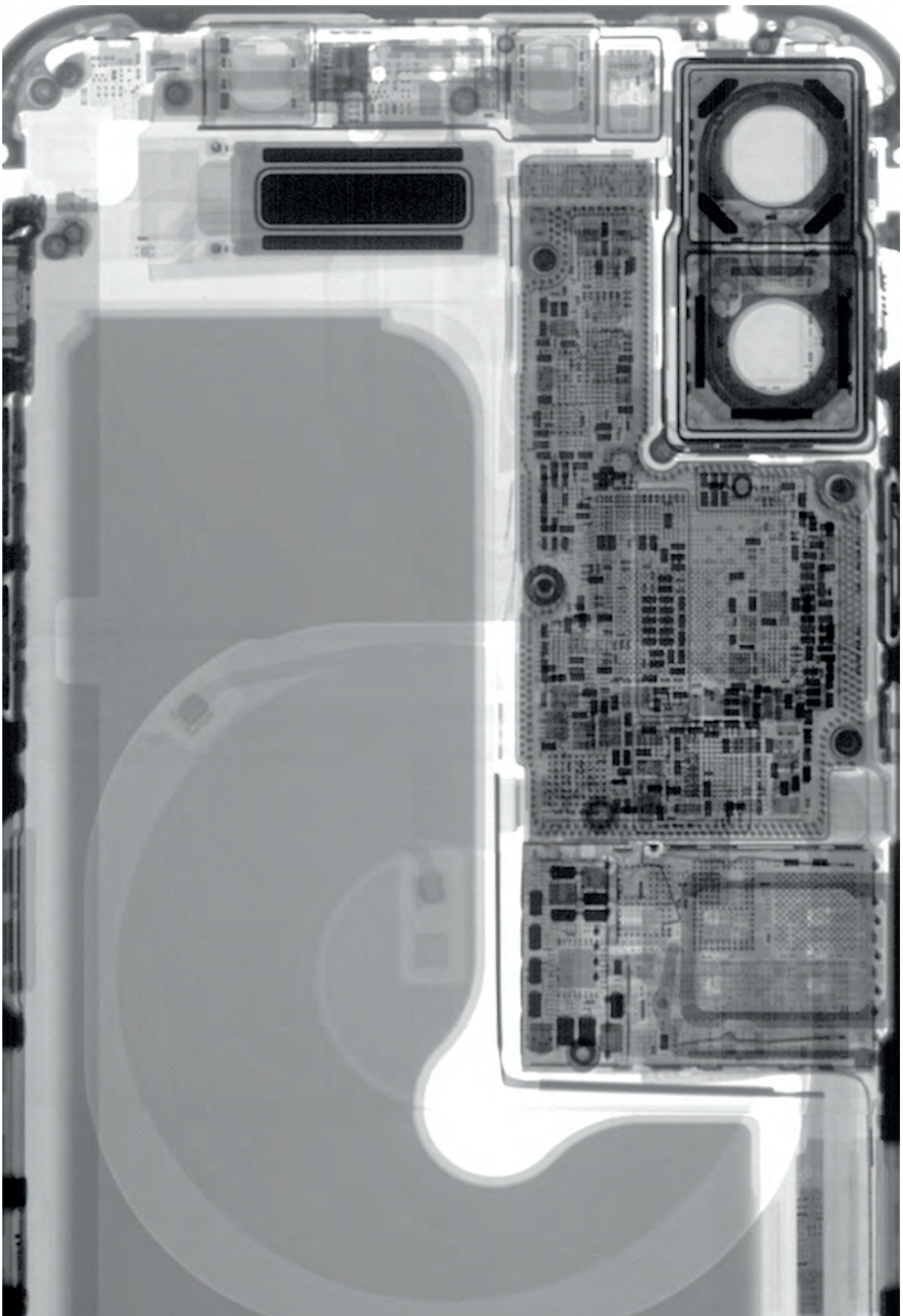
Il contributo della Biomimesi per un design sostenibile, bioispirato e rigenerativo

Lungi dal voler escludere l’interesse di un approccio di tipo fanerologico⁷, così come inteso da Adolf Portman, all’analisi degli organismi che in natura hanno trovato espressione, è innegabile la portata innovativa dei più recenti strumenti scientifici di analisi e modifica della materia, che permettono di amplificare enormemente la nostra capacità di osservare e replicare le dinamiche naturali, fattore determinante perché ciò avvenga in maniera efficace ed efficiente.

Allo stesso tempo, la pressante necessità di rivedere i nostri paradigmi di sviluppo in favore di modelli realmente efficaci in chiave ambientale impone un’accelerazione nel trasferimento di tecnologie in grado di dare applicazione a quella “sostenibilità forte” che prevede l’inadeguatezza del concetto di salvaguardia del capitale naturale, ormai irrimediabilmente intaccato e solamente ripristinabile.

La prospettiva che abbiamo avanti ai nostri occhi è che la biologia e la stretta collaborazione con tutte le figure che a vario titolo rientrano nel suo alveo d’interesse saranno lo strumento attraverso cui il designer potrà comprendere le dinamiche e gli obiettivi che Madre Natura ha posto a fondamento nello sviluppo della sua produzione materiale, per trasferire questo straordinario bagaglio di conoscenze ad una nuova generazione di prodotti e servizi ad alto “tasso naturale”. Il designer, quindi, sarà una figura sempre più interconnessa, mediatrice di competenze plurime che spaziano dalla scala macroscopica a quella dell’infinitamente piccolo e dell’intangibile.

7. dal greco *pharenos*, “manifesto”, la fanerologia studia i tratti formali percepibili di un essere vivente



COMPRENDERE E REPLICARE LE DINAMICHE NATURALI: LE NANOSCIENZE E NANOTECNOLOGIE

“È interessante osservare come si sia passati in meno di dieci anni da regole di disegno dell'ordine del decimo di millimetro alle attuali, che sfiorano i dieci milionesimi di millimetro. Sono numeri che forse dicono poco, ma che assumono un significato più tangibile (si fa per dire) se riportati su scala biologica: diciamo pure che in un quarto di secolo siamo passati da dispositivi grandi come pulci a congegni cento volte più piccoli di un batterio.”⁸

La scala o regola di disegno indica in elettronica la dimensione scalare più piccola alla quale è possibile disegnare un dispositivo. Oggi, però, assume un ulteriore e nuovo significato: rappresenta la nostra capacità di intervenire in profondità nella manipolazione della materia, di riconfigurarla per adattarla alle nostre esigenze. È stata la base sulla quale si è sviluppata la micromeccanica e microelettronica, cioè la miniaturizzazione di tutto ciò che già conoscevamo alla scala della nostra esperienza quotidiana. Si è passati dalla dimensione macro alla micro senza sostanzialmente cambiare nulla del funzionamento dei nostri dispositivi, semplicemente li abbiamo ridotti per guadagnare in spazio ed efficienza.

L'impatto di questo avanzamento tecnologico è stato fondamentale per il progresso tecnico-scientifico quanto per la nostra vita quotidiana. Che dimensione avrebbe il nostro smartphone se tutti i sensori, attuatori e circuiti ospitati al suo interno non fossero stati progressivamente ridotti alla scala microscopica? La Prima legge di Moore⁹ sull'evoluzione dei microprocessori aveva previsto, indirettamente, la progressiva e vertiginosa discesa di scala all'interno della materia (in quel caso il silicio) con l'obiettivo di raggiungere la massima efficienza, fino al limite ultimo, in cui si passa dalla materia all'atomo. A quel punto tutto cambia, si entra nel campo del nano, ovvero in un mondo con un fattore di riduzione spaziale di 10^{-9} . Per dare un'idea, il capello umano ha un diametro medio di 50.000 nm e un globulo rosso 2.000, ma dobbiamo scendere fin nell'intima struttura della realtà biologica perché si possa ragionare in termini nanometrici senza doversi avvalere di multipli: la catena a doppia elica del nostro DNA ha un diametro medio di 2 nm.

Sicuramente una dimensione infinitamente al di fuori della portata d'azione di qualunque designer e della punta della sua matita. E allora?

In questo nuovo mondo tutto ciò che è ovvio, intuitivo e scontato alla scala macro, perde di senso. Spiegano gli scienziati che alla scala nanometrica aspetti quali spazio, forza di gravità, attrito e luce non seguono più le regole della fisica classica ma piuttosto quelle della meccanica quantistica:

8. Narducci D. 2008.

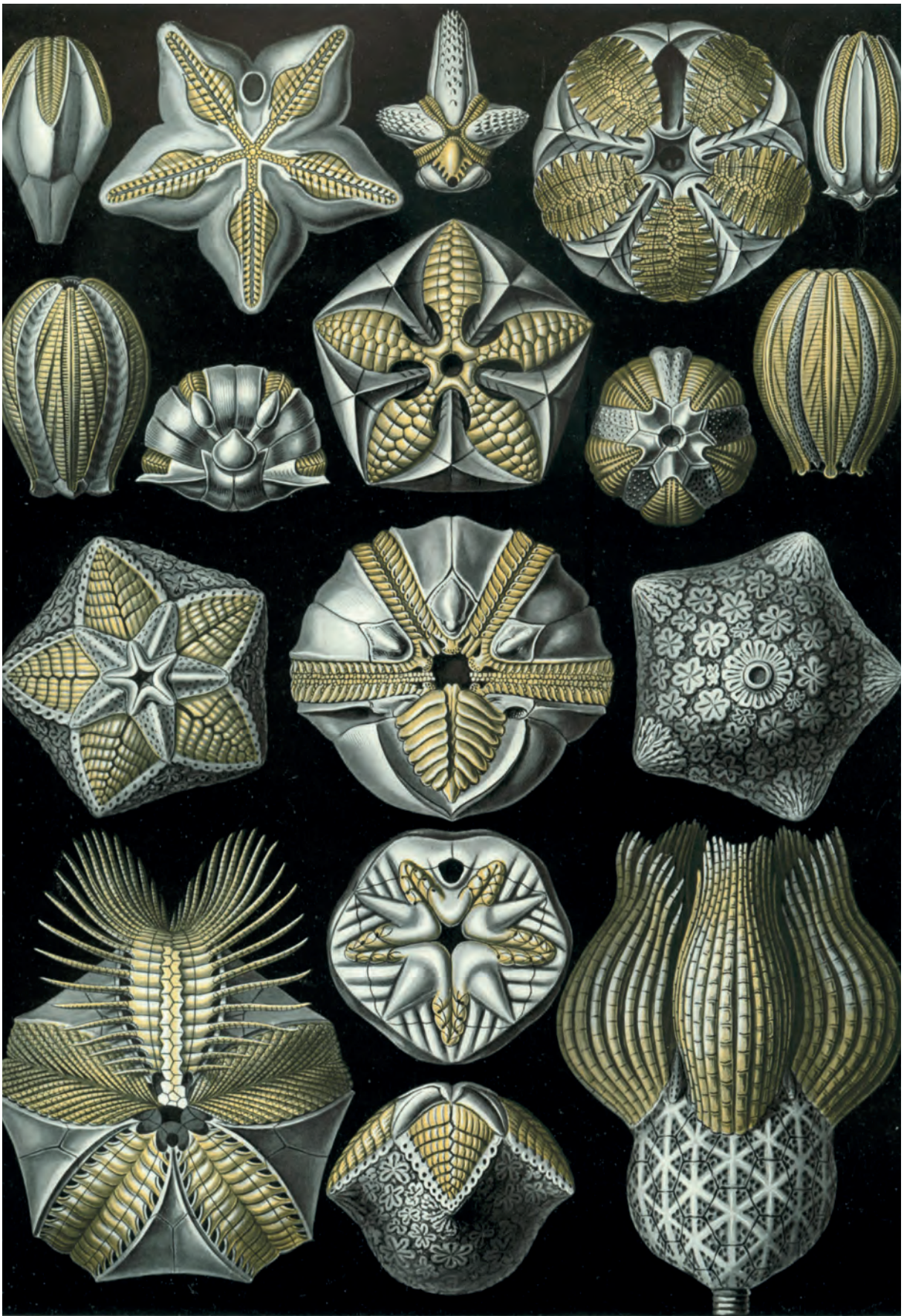
Cosa sono le nanotecnologie, p.31



Sandia National Laboratories SUMMIT Technologies, micro attuatore meccanico.

9. Le prestazioni dei processori, e il numero di transistor ad esso associato, raddoppiano ogni 18 mesi, con conseguente dimezzamento dei dispositivi

Apple (2018) iPhone XS, radiografia dell'architettura interna dello smartphone.



BIOMIMESI: LA NATURA COME FONTE D'ISPIRAZIONE PER L'INNOVAZIONE E IL DESIGN DEL FUTURO

L'interazione dei fattori appena descritti apre al mondo del design un nuovo e affascinante orizzonte: l'opportunità di progettare per la natura con la natura, assumendola a modello da imitare e obiettivo a cui tendere per la realizzazione dei propri artefatti e, in definitiva, del proprio ambiente.

L'imitazione della natura per la realizzazione di prodotti e strutture è un fenomeno tutt'altro che recente. Già nell'antichità egizi e greci avevano colto nelle forme naturali lo spunto per la realizzazione di elementi strutturali e stili ornamentali. Leonardo cercò continuamente nel suo studio sul volo le regole della meccanica del movimento, della matematica e della bellezza. Nel XIX secolo lo sviluppo dell'Art Nouveau coincise con gli studi pionieristici di naturalisti e biologi come Ernst Haeckel, mentre Christopher Dresser incarnava il doppio ruolo di progettista e botanico. Nel XX secolo l'interesse per la natura ha influenzato il lavoro di importanti progettisti e architetti quali Frank Lloyd Wright, Antoni Gaudí, Frei Otto, Alvar Aalto, Mies van der Rohe e Buckminster Fuller nello sviluppo dell'articolazione volumetrica degli edifici, l'utilizzo dei materiali naturali e la definizione di nuovi sistemi strutturali²⁴. Dunque, guardare la natura per imparare a fare ciò che lei ha sviluppato in miliardi di anni è una sfida per l'uomo che si ripropone da secoli.

*“Le biotecnologie, le nanotecnologie, i sistemi di intelligenza artificiale caratterizzeranno sempre di più lo scenario del prossimo futuro. I progressi compiuti in questi campi della scienza consentono oggi di conoscere a fondo le strutture, i processi, le logiche e i funzionamenti che sono alla base del mondo naturale. Nell'ambito del progetto di design il livello raggiunto nei diversi campi della ricerca scientifica consente, grazie anche a processi sempre più veloci di trasferimento tecnologico, di realizzare artefatti ibridi, a metà tra natura e artificio.”*²⁵

Se la metafora biologica è sempre stata il campo prediletto per lo studio della forma, del “com'è fatto”, nel corso degli ultimi decenni l'obiettivo della ricerca si è spostato su una domanda forse più importante: la natura come funziona? Lo scopo perciò non è imitare una certa forma, ma capire qual'è l'obiettivo che la natura si è posta nell'utilizzarla²⁶.

Già a partire dagli anni sessanta il colonnello Jack E. Steele aveva spinto l'aviazione americana a porre le giuste domande a Madre Natura per ottenere significativi avanzamenti nella progettazione dei propri velivoli, aprendo la strada allo sviluppo della bionica e delle discipline bio-ispirate. La bionica²⁷ può essere definita come un approccio progettuale che mira a

Ernst Haeckel (1904) Kunstformen der Nature, tavola illustrativa di blastoidi, un gruppo estinto di echinodermi.

24. Myers W. 2012, op. cit.

25. Ranzo P. 2007.

Prefazione a Hybrid Design, p.12

26. Santulli C. 2012.

Biomimetica: la lezione della natura

27. dal greco βίον (unità di vita) + ic (simile a)

derivare dalle scienze biologiche informazioni su strutture e dinamiche al fine di trasporle nella progettazione di replicanti ingegnerizzati, realizzati industrialmente. Un approccio fortemente pluridisciplinare in cui la matematica, la chimica e la fisica fungono da elementi di congiunzione tra le scienze biologiche e l'ingegneria. Oggi questo termine è più spesso riferito ad ambiti come la cybernetica e la bioingegneria mentre, specie nel campo del design, si preferisce il termine biomimetica o biomimesi.

“Oggi, alla luce della conoscenza sempre più profonda dei principi che governano i sistemi biologici, appare evidente il limite della bionica classica nell'interpretare la natura come modello fondamentalmente statico di rigore funzionalista. I progressi scientifici e tecnologici guadagnati negli ultimi cinquanta anni hanno consentito di osservare e conoscere la natura sempre più a fondo, fino a giungere alla comprensione delle strutture e dei fenomeni biologici un tempo imperscrutabili, nei loro minimi dettagli. Un punto di vista così ravvicinato ha consentito all'ingegneria di riuscire a interpretare l'osservazione della biologia, non solo come fonte di ispirazione, ma anche come strumento di innovazione. Diventa possibile comprendere e riprodurre i processi che sono alla base di quei meccanismi che avevano affascinato e incuriosito i teorici della biotecnica. Le nuove conoscenze scientifiche e gli strumenti tecnologici consentono di creare “replicanti” sempre più fedeli, non solo nelle forme ma anche nelle logiche di concezione.”²⁸

28. Langella C. 2007.
Hybrid Design, p.20

29. βίος (vita) + mimesis
(imitazione)

La biomimesi²⁹ è la scienza che mira a cercare soluzioni tecnologiche e progettuali ai problemi dell'uomo attraverso lo studio della natura, intesa come contesto progettualmente efficiente ed evoluto, nel quale gli esseri viventi (quindi le loro strutture, strategie e comportamenti) giunti a sviluppo, possono essere ritenuti a buon diritto “vincenti”.

Open Bionics e Deus Ex Universe (2018) Adam Jensen Arm, l'obiettivo della bionica è quello di avvicinare il più possibile la produzione materiale dell'uomo a quella della Natura, imitandola fin dove la tecnologia lo permette.

La natura è vista come un immenso laboratorio sperimentale di 3,8 miliardi di anni che ha prodotto risultati eccezionali facendo affidamento sulle sole leggi della chimica e della fisica e attivando processi di sviluppo dalla scala nano e micro fino a quella macro e mega. Secondo Janine Benyus, che per prima ha coniato il termine *Biomimicry*, è possibile leggere la natura in maniera triplice: come “modello” per la soluzione di problemi



tecniche, come "misura" perché rappresenta l'ideale parametro di sostenibilità a cui tendere e ha insiti standard ambientali che possono essere presi a riferimento ed, infine, come "mentore" di idee, insegnamenti, principi e regole particolarmente rivolte all'efficienza³⁰.

30. Benyus J.M. 1997.
Biomimicry

I principi e le strategie adottate dalla natura rappresentano oggi le principali sfide per lo sviluppo del genere umano, infatti Madre Natura:

- ottimizza e non massimizza;
- usa solo l'energia di cui ha bisogno;
- adatta la forma alla funzione ottimizzando materiali ed energia;
- non genera rifiuti;
- premia la cooperazione e l'interdipendenza;
- costruisce dal basso verso l'alto modularmente a temperatura e pressione ambientale;
- ha capacità di apprendimento e modificazione continua.

*"the core idea is that nature, imaginative by necessity, has already solved many of the problems we are grappling with [...]. After 3.8 billion years of evolution, nature has learned what works and what lasts."*³¹

31. Benyus J. 2010, The
Biomimicry Institute

Perché un prodotto sia "biomimetico" non è sufficiente, e neppure necessario, che risponda ad un linguaggio estetico-formale mutuato dalla natura; se così fosse ci troveremmo di fronte ad un oggetto bio-ispirato ma non biomimetico. Un oggetto biomimetico potrebbe avere l'aspetto di un animale, di una pianta o di una cellula oppure presentarsi come un lucido e stereometrico monolite futuristico. La biomimesi è una tecnica e non uno stile.

Secondo Geoff Hollington le strade a disposizione di un designer per approcciare la biomimesi nello sviluppo di un nuovo prodotto sono sostanzialmente due. La prima è come "fruitore" delle scoperte biomimetiche nel campo dei materiali, dei componenti e delle diverse tecnologie sviluppate dai centri di ricerca universitari o R&D di grandi aziende, per implementarle in prodotti di nuova generazione. La seconda è come "promotore" di processi di sviluppo progettuali rispondenti ad uno o più dei principi biomimetici prima esposti.

È in questa seconda opportunità che i designer possono svolgere un ruolo proattivo, sviluppando oggetti che minimizzano l'uso e le tipologie di materiale, che siano semplici da disassemblare e riciclare, che replichino le macrostrutture naturali per l'ottimizzazione energetica e materica, che abbiano la capacità di auto-ripararsi o auto-assemblarsi ovvero includano processi di sviluppo ed evoluzione proprio come accade in natura³².

32. Hollington G. 2007.
Biomimetics and product design
in "Biomimetics: strategies for
product design inspired by
nature", p.35

La biomimesi, quindi, non è la lettura macroscopica e funzionalista dei prodotti sviluppatasi in natura e neppure un approccio romantico e soggettivo del singolo nei confronti del suo ambiente. Sono tre i livelli di bioispirazione a cui il designer

Ori Elisar (2015) *Paleo-Hebrew alphabet, font vivente generato dalla coltura del batterio Paenibacillus vortex in ambiente controllato dentro piastre di Petri.*

33. Benyus J.M. 2015.
A Biomimicry primer

può ricorrere: nel primo livello, morfologico-formale, le scaglie cornee del pangolino possono portare allo sviluppo di contenitori flessibili, modulari e altamente resistenti oppure il becco del picchio permettere l'ottimizzazione funzionale di una piccozza per l'arrampicata alpina. Se invece l'interesse si sposta su come facciano i reni a filtrare le impurità allora questo può servire a sviluppare un sistema di depurazione efficace senza l'utilizzo di elettricità e condurci al secondo livello: l'emulazione dei processi naturali. Il terzo livello, infine, punta a simulare il funzionamento degli ecosistemi naturali e permette, ad esempio, di generare in unico ciclo produttivo caffè, funghi e compost fertilizzante senza produrre scarti o inquinanti³³.

Negli ultimi anni il dibattito intorno all'approccio bio-ispirato nel campo del design si è sempre più allargato ed articolato, dando vita ad approcci ed esiti progettuali molto diversi. Il bio-inspired design è diventato un grande cappello sotto il quale convivono approcci simili (*Bionic Design, Biomimetic Design, Biophilic Design, Hybrid Design*, ecc.) il cui comune denominatore rimane lo studio della natura per la soluzione dei problemi tecnologici e progettuali dei prodotti dell'uomo.

Alcuni di questi tentano di spingersi oltre, rifiutando l'approccio imitativo-ispirazionale in favore dell'integrazione dell'essere biologico con la produzione materiale industrializzata. È il caso del *Bio Design*, così come lo presenta William Mayers nell'omonimo libro:

34. Myers W. 2012.
op. cit., p.8

*“Biodesign goes further than other biology-inspired approaches to design and fabrication. Unlike biomimicry, cradle to cradle, and the popular but frustratingly vague “green design”, biodesign refers specifically to the incorporation of living organisms as essential components, enhancing the function of the finished work. It goes beyond mimicry to integration, dissolving boundaries and synthesizing new hybrid typologies.”*³⁴

La posizione di Mayers dimostra come l'approccio bio-ispirato nel design sia ancora ben lontano da una sua definizione metodologica, così come degli strumenti e dei protagonisti che ve ne faranno parte. Ciò che appare chiaro, però, è il ruolo centrale che questo ricoprirà per vincere la grande sfida progettuale che abbiamo di fronte: naturalizzare l'attività antropica per assicurare un futuro ai nostri figli. Per raggiungere questo traguardo non è sufficiente rivedere i modelli di produzione e sviluppo. È necessario un cambiamento radicale e rivoluzionario, così come preannunciato più di quarant'anni fa da Victor Papanek.

35. Papanek V. 1973.
Progettare per il mondo reale,
p.323

*“La progettazione se vuole essere ecologicamente responsabile e socialmente rispondente, deve essere rivoluzionaria e radicale nel senso più vero del termine. Deve votarsi al “principio del minimo sforzo” adottato dalla natura, in altre parole al massimo della varietà con il minimo delle invenzioni, ovvero ad ottenere il massimo con il minimo. Ciò significa consumare meno, usare di più, riciclare i materiali.”*³⁵



RESILIENZA: DA PRESTAZIONE MECCANICA A PARAMETRO DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Il termine resilienza (dal latino *resilio*: saltare, rimbalzare) è proprio dell'ingegneria e descrive l'attitudine a sopportare forti sforzi applicati bruscamente senza subire danni strutturali. In biologia e in ecologia umana equivale alla capacità di un sistema di auto-ripararsi, di ritornare a uno stato di equilibrio in seguito a una perturbazione. In informatica rappresenta la qualità di un sistema di continuare a funzionare correttamente nonostante la presenza di guasti e anomalie: la cosiddetta *system resiliency*. In ecologia la resilienza si individua nella capacità di un sistema ambientale di riprendersi a seguito di una perturbazione o catastrofe naturale. Nella tecnologia dei materiali, attraverso la prova di resistenza a rottura dinamica, determina la capacità di un materiale di assorbire un urto senza rompersi. Il materiale resiliente, quindi, non si oppone o contrasta l'urto finché non si spezza, ma lo ammortizza in virtù delle proprietà "elastiche" della propria struttura.

Oggi il termine sta assumendo un quadro di significati più ampio, spaziando dai campi della psicologia all'economia. In queste nuove accezioni due sono le condizioni necessarie e sufficienti per identificare il processo di resilienza: l'intervento di una condizione altamente stressante e potenzialmente traumatizzante e la conseguente evoluzione che ripristini o migliori le condizioni di partenza. Il processo è quindi caratterizzato non solo da un alto grado di resistenza ma presenta una spiccata propensione alla trasformazione e all'adattamento²⁷.

Diversamente dalla resistenza, che prevede una contrapposizione passiva all'evento avverso, la resilienza rappresenta un processo dinamico di resistenza, di auto-riparazione e di rigenerazione in risposta alle crisi, implica cioè la capacità di risanamento e non solo di sopportazione²⁸. La resilienza è una capacità evolutiva, di sviluppo adattivo, di superamento virtuoso delle avversità, di gestione positiva dei cambiamenti rapidi ed imprevisti, di trasformazione rigenerativa.

*"Ecological resilience implies that when the intended market for a product family undergoes a fundamental shift and enters a new equilibrium state, due perhaps to population demographics, changing technology, or economic factors, the product is able to survive in a new market niche. What we might term a fully resilient design would be able to find its own equilibrium point completely without the direct intervention of the designer."*²⁹

Anche nel campo del design il termine può assumere diversi significati in relazione al contesto in cui questo viene utilizzato. Se riferito, come suggerito, dagli ingegneri Blaine Lilly e Carolina Gill al contesto economico in cui il prodotto si trova a competere,

Russell Watkins - DFID (2010), i milioni di ragni in fuga dall'alluvione che ha devastato il villaggio pakistano di Sindh nel 2010 e la loro cooperazione sono una grande dimostrazione della capacità resiliente della natura.

27. Magrin M.E. 2008.

Dalla resistenza alla resilienza in "Giornale italiano di medicina del lavoro ed ergonomia"

28. Malaguti E. 2005.

Educarsi alla resilienza

29. Lilly B. e Gill C. 2006.

The challenge of sustainability: designing for resilience

allora con “resilienza” si tenderà ad indicare la sua capacità di rimanere appetibile a dispetto delle mutate condizioni del mercato di riferimento e per “progettazione resiliente” quella in grado di assicurare una lunga vita commerciale allo stesso.

Joseph Fiksel, nel suo “Resilient by Design”, declina il concetto di resilienza rispetto al management aziendale e sottolinea come un nuovo paradigma che può aiutare le imprese nel loro business è proprio il design per la resilienza. Infatti, le aziende resilienti continuano a crescere ed evolvere anche in questo ormai strutturale stato di crisi economica e di incertezza, perché sono capaci di adattarsi rapidamente e con successo alle turbolenze, anticipando i cambiamenti distruttivi, riconoscendo le nuove opportunità di business, pianificando e progettando strategie, processi e prodotti resilienti. Le organizzazioni resilienti sono dinamiche, flessibili, connesse fortemente con i sistemi esterni (stakeholders, comunità, supply chains, risorse naturali, ecc.) e così riescono a sopravvivere e prosperare in quasi tutte le circostanze³⁰.

La resilienza è, pertanto, la capacità di un sistema sociale ed ecologico (ma oggi anche di un sistema artificiale o artefattuale) di assorbire perturbazioni e mantenere o, nel caso, migliorare la propria struttura e funzione. Capacità di adattamento e apprendimento, flessibilità e auto-organizzazione sono caratteristiche molto importanti dei sistemi resilienti, che incrementano, attraverso queste, le capacità di recupero e di sviluppo di fronte ai cambiamenti improvvisi e traumatici.

Nell’ambito più specifico del design di prodotto e dell’innovazione dei materiali in un’ottica di sostenibilità ambientale, il concetto di resilienza assume connotati un po’ più definiti. La scienza ci consente oggi di imparare dalla natura come progettare prodotti

30. Fiksel J. 2015.
Resilient by design

China Daily - Reuters - Contrasto (2012), a Wenling nella provincia dello Zhejiang in Cina un proprietario di casa resiste strenuamente alla modernizzazione del paese.



e materiali *flaw-tolerant*, tolleranti e resilienti alla propagazione dei difetti. La natura, infatti, compensa i difetti ed evolve attraverso di essi.

Questo concetto della “tolleranza ai difetti” al di sotto di una dimensione critica, tipicamente alla nanoscala, è una caratteristica comune a molti materiali biologici ed è un’ulteriore conferma dell’importanza delle dimensioni e dell’organizzazione di questi sistemi naturali.

Seguendo un approccio biomimetico, recentemente sono stati ideati e realizzati materiali sintetici compositi in grado di replicare alcuni dei meccanismi di tenacizzazione tipici dell’osso (alta resistenza e contemporanea alta tenacia a frattura). Gli osteoni, elementi strutturali caratteristici della struttura Haversiana dell’osso alla micro-scala, sono stati riprodotti in un materiale composito di vetro-carbonio e resina epossidica, con l’intento di riprodurre i meccanismi di deviazione e deflessione della cricca o frattura.

Lo stesso concetto di resilienza come tolleranza e reattività positiva ai difetti, all’usura e alle condizioni mutevoli dell’ambiente investe oggi il dibattito sul design del prodotto in una prospettiva di sostenibilità ambientale. Riparare, riusare, mantenere in modo efficace e allungare la vita utile del prodotto sono obiettivi di chi si occupa di Design Sostenibile e per raggiungerli la cultura del design deve fare sempre più spesso i conti con la capacità di resilienza dei prodotti nel loro contesto d’uso.

Il Resilient Design Institute del Vermont ha tentato una prima definizione molto ampia del concetto di resilienza legato alle attività progettuali e al design: “la resilienza è la capacità di adattarsi a condizioni mutevoli per conservare o conquistare la funzionalità e la vitalità di fronte a stress o disturbi, è la capacità di riprendersi dopo un trauma. A vari livelli gli individui, le famiglie, le comunità e le regioni, attraverso la resilienza, possono mantenere condizioni vivibili in caso di catastrofi naturali, di perdita di potere, o di altri traumi”. Il Design Resiliente è il progetto intenzionale di prodotti, edifici, paesaggi, comunità e regioni in risposta alle possibili vulnerabilità ambientali “un design adattivo e flessibile che si focalizza su soluzioni pratiche”. Il Resilient Design Institute³¹ ha stilato, inoltre, una prima definizione di principi progettuali del Design Resiliente in dieci punti.

31. per approfondimenti cfr. www.resilientdesign.org

1. La resilienza trascende le scale. Le strategie per la resilienza si applicano a diverse scale dimensionali (prodotti, edifici singoli, comunità, territori ed ecosistemi) e temporali (dall’immediato al lungo termine).
2. I sistemi resilienti devono soddisfare i bisogni umani fondamentali. Un sistema o prodotto resiliente rispetta in primo luogo i bisogni vitali (acqua, aria, energia, cibo, ecc.).
3. I sistemi ridondanti sono intrinsecamente più resilienti. Più le comunità, gli ecosistemi, le economie e i sistemi sociali sono

diversificati e maggiore sarà la loro capacità di rispondere positivamente ai cambiamenti.

4. I sistemi semplici, passivi e flessibili sono più resilienti. I sistemi semplici sono più resilienti rispetto a quelli complessi, richiedendo minor controllo e manutenzione; le soluzioni flessibili, inoltre, sono in grado di adattarsi alle mutevoli condizioni sia nel breve che nel lungo termine.
5. La durabilità rafforza la resilienza. Le strategie che aumentano la durata migliorano la resilienza di un prodotto e dipendono dalle attività di progettazione e produzione.
6. Le risorse rinnovabili generate o disponibili localmente sono più resilienti. L'utilizzo di risorse locali in grado di rigenerarsi offre una maggiore capacità d'indipendenza rispetto a risorse non rinnovabili prodotte in modo dislocato.
7. La resilienza supera positivamente i cambiamenti improvvisi. I sistemi resilienti sono in grado di adattarsi ai cambiamenti e di rispondere al nuovo contesto con una vasta gamma di miglioramenti del sistema.
8. Individuare e promuovere la capacità di resilienza della Natura. I sistemi naturali si sono evoluti per ottenere resilienza, siamo in grado di migliorare la resilienza antropica affidandoci e applicando le lezioni della Natura.

Le formiche rappresentano uno dei migliori esempi di resilienza in natura. Il loro sistema sociale e la loro organizzazione consentono un veloce e costante adattamento della colonia alle mutevoli condizioni ambientali.



9. L'equità sociale e di comunità contribuiscono alla resilienza. Le comunità e i gruppi sociali in cui le persone conoscono il rispetto e la cura per l'altro sono più resilienti durante i periodi di stress o catastrofi.
10. La resilienza non è assoluta. La resilienza è un processo e la resilienza totale di fronte a tutte le situazioni non è possibile. Bisogna implementare ciò che è fattibile a breve termine e lavorare per raggiungere una maggiore capacità di resilienza a lungo termine.

David Orr in un libro del 2002, connette, in modo estremamente interessante, la resilienza con il Design per la Sostenibilità Ambientale, che, a suo avviso, mira a "ripristinare" e "mantenere" l'integrità di tutto il tessuto della vita sempre più frammentato dalla specializzazione, dal riduzionismo scientifico e dalla divisione burocratica. In questa definizione Orr introduce i concetti di ripristino e manutenzione come parte di un processo integrato di progettazione. Il design potrebbe essere in grado di pianificare prima il ripristino delle cose (prodotti, sistemi e comportamenti) al fine di mantenere in seguito l'equilibrio desiderato. Per progettare per la sostenibilità dobbiamo prima progettare per la resilienza. La resilienza, quindi, è sia una condizione che un fattore guida per la sostenibilità³².

32. Orr D. 2002.
The nature of design

