

Design di prodotti biomimetici

L'evoluzione tecnologica
della natura





**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Triennale
in Design e Comunicazione Visiva

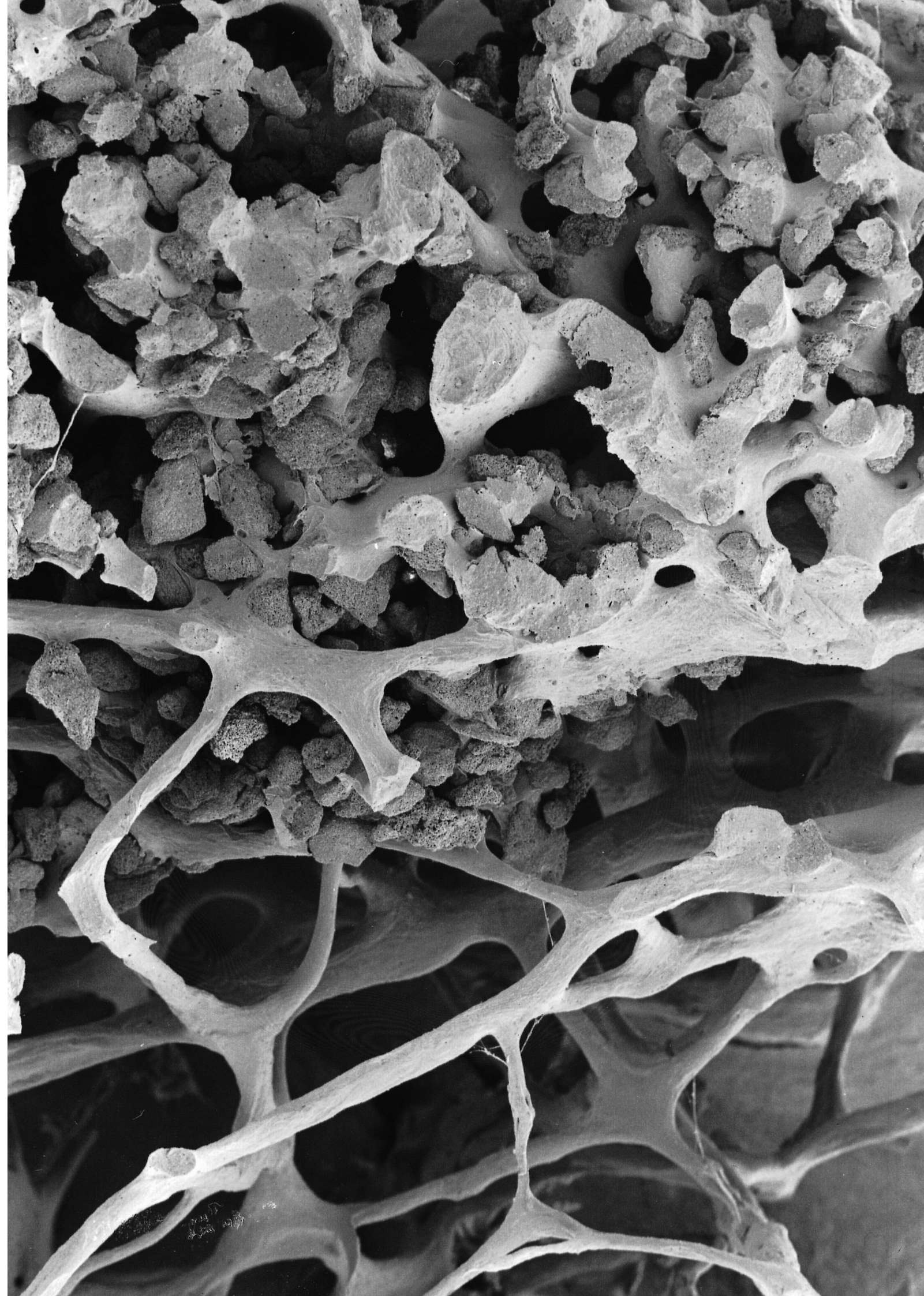
A.a. 2021/2022
Sessione di Laurea Dicembre 2022

Design di Prodotti Biomimetici

L'evoluzione tecnologica della natura

Relatori:
Bernardino Chiaia

Candidati:
Cindy Verria



ABSTRACT	7	3.3 La fonte di ispirazione	
		3.4 Spiegazione	
1. LA BIOMIMETICA	8	4. UOMO E MACCHINA	39
1.1 Che cos'è la biomimetica		4.1 Struttura dell'osso	
1.2 Primi approcci alla Biomimetica		4.2 La resistenza dell'osso: test meccanici	
1.3 La spirale della progettazione biomimetica		4.3 L'alluminio	
2. I CAMPI DI APPLICAZIONE	13	5. CONCLUSIONI	45
2.1 Architettura			
2.2 Design			
3. BONE CHAIR	24	6. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	48
3.1 Introduzione			
3.2 Dall'era industriale all'era digitale			

La natura è stata da sempre la miglior fonte di ispirazione per l'uomo fin dalla sua sopravvivenza sul pianeta e in seguito per il miglioramento del proprio habitat e della propria vita.

Gli organismi viventi hanno evoluto strutture e materiali ben adattati nel tempo geologico attraverso un continuo processo di tentativi ed errori, adattandosi e risolvendo problemi di ingegneria come la capacità di autorigenerazione, tolleranza, idrofobicità e resistenza all'esposizione ambientale.

Questi fattori hanno aiutato l'uomo a trovare risposte ai propri problemi che ha continuamente cercato di risolvere imitando strutture, forme, proporzioni geometriche e funzioni degli organismi biologici con differenti finalità, offrendo al design e all'architettura soluzioni valide ed efficienti per la creazione di oggetti e di edifici iconici.

Nel corso della storia del design i designer hanno cercato di realizzare prodotti ispirati alla natura: dall'Art Nouveau, spinto dall'innovazione di materiali come la ghisa, a Streamline, guidato da innovazioni in materiali come l'alluminio e il design organico degli anni '60, guidato da innovazioni in plastica e compensato.

Oggi non siamo più vincolati dalle limitazioni delle macchine industriali dell'epoca, la nostra era digitale ha reso possibile non solo utilizzare la natura come riferimento stilistico, ma anche utilizzare i principi sottostanti per generare forme e strutture proprio come un processo evolutivo.

È proprio grazie alle nuove evoluzioni tecnologiche sviluppate che lo studio e l'imitazione della natura sono stati resi possibili. La stampa 3D, il modelling e i linguaggi di programmazione e codificazione consentono di riprodurre in modo fedele i funzionamenti e le strutture cellulari degli organismi viventi.

Questo è il campo in cui si muove la biomimetica, una scienza relativamente giovane che esprime il nesso fra biologia e tecnologia, dove la prima rappresenta il modello primordiale a cui aspirare e la seconda il mezzo con cui riprodurre il funzionamento in materiali e strutture.

Partendo dall'analisi di questa nuova scienza, esaminando differenti casi studio in architettura e in design, fino all'introduzione e alla spiegazione di un prodotto che rispecchia perfettamente il concetto di biomimetica.

La bone chair di Joris Laarmann è una perfetta analisi sul rapporto tra tecnologia e biologia nata grazie allo studio di un nuovo software che imita abbastanza fedelmente il modo in cui l'evoluzione costruisce.

Il designer ha ricreato e ottenuto le stesse condizioni che stanno alla base della struttura delle ossa, le quali hanno la capacità di portare via materiale dove non è necessaria la forza, ottenendo una scultura digitale ad alta tecnologia che offre massima resistenza con una quantità minima di materiale.

CAP 1

LA BIOMIMETICA

1.1 Che cos'è la Biomimetica

“Ogni cosa che puoi immaginare, la natura l'ha già creata”.

Con questo pensiero, Albert Einstein, definiva la natura come un'immensa e perfetta opera di ingegneria, fonte prima di ispirazione per il genio umano. È lo stesso principio che oggi anima lo studio e la ricerca della biomimesi. Dal greco *bios* = vita e *mimesis* = imitazione, questo termine è utilizzato per indicare una disciplina, relativamente giovane, che si occupa dello studio dei sistemi biologici naturali, emulandone forme, processi e meccanismi di azione. L'evoluzione della natura diventa un laboratorio di ricerca e sviluppo da prendere ad esempio, imitando le caratteristiche degli organismi viventi, per trovare soluzioni progettuali utili con l'obiettivo di trasferirli al mondo artificiale, portandolo al miglioramento delle attività e delle tecnologie umane.

Si può in un certo senso affermare che il primo ad applicare la biomimetica fu Leonardo da Vinci che, nei suoi studi sulle macchine volanti, prendeva ad esempio il volo degli uccelli.

Il termine, però, è entrato nel dizionario soltanto nel 1974, numerosi anni dopo le prime sperimentazioni di Leonardo, ma fu durante gli anni Cinquanta che Otto Schmitt, biofisico e polimatematologo russo, sviluppò il concetto di “biomimetica” posizionandola come una nuova area di ricerca in bioingegneria medica.

Durante le sue ricerche di dottorato sviluppò il *trigger di Schmitt*, un particolare tipo di comparatore di soglia con isteresi, studiando i nervi nei calamari e tentando di progettare un dispositivo che replicasse il sistema biologico di propagazione dei nervi. Continuò a concentrarsi su dispositivi che imitassero i sistemi naturali e nel 1957 percepì una visione contraria a quella della biofisica di quel tempo, che descriveva il trasferimento dei processi biologici a sistemi tecnologici, coniando il termine *biomimetica*.

Gli organismi viventi hanno evoluto, con il passare degli anni, strutture e materiali ben adattati attraverso la selezione naturale e, mimando i meccanismi che governano la natura, l'uomo ha ottenuto soluzioni ad innumerevoli difficoltà. Un esempio di biomimetica può essere rappresentato dagli endoscopi usati in medicina: questi attrezzi tecnologici sono capaci di passare attraverso il tratto gastrointestinale grazie alla capacità di locomozione indipendente, caratteristica di certi animali come i lombrichi. Esaminando la natura è stato possibile osservare come sia riuscita a risolvere varie complicazioni come ad esempio la capacità di *autorigenerazione*, *la tolleranza* e *la resistenza all'esposizione ambientale*, *l'idrofobicità*, *l'autoassemblaggio* e *lo sfruttamento dell'energia solare*.

Lo studio di questa disciplina, esaminando l'evoluzione della natura, ha portato i materiali biologici a raggiungere prestazioni scientifiche straordinarie, alle quali i materiali sintetici possono solamente ambire. Il processo seguito dalla natura ha permesso di ottimizzare la microstruttura di ogni tessuto sulla base della sua funzione fisiologica e in questo modo è stato possibile ottenere materiali con prestazioni mirate ad un preciso scopo e ad una precisa funzione con capacità straordinarie.

1.2 I primi approcci alla Biomimetica

Comprendere come la natura risolve i problemi può aiutare gli architetti e i designer a creare edifici e prodotti che funzionino in armonia con i sistemi naturali.

Le applicazioni nell'ambito della biomimetica sono molte ed affascinanti soprattutto in architettura.

L'idea sottesa a questo metodo di approcciarsi al progetto è che l'opera in sé possa essere in grado di trasmettere lo stesso fascino insito nella natura, seppur prodotto dall'uomo, risvegliando in lui, inconsciamente, quel senso primordiale che solo la natura è in grado di attivare.

Janine Benius, nata nel 1958 nel New Jersey, è una scienziata americana, consulente per l'innovazione e autrice nota per il suo lavoro sulla biomimetica e il suo desiderio di facilitare l'innovazione, la progettazione e la produzione con organismi ispiratori a basso impatto ambientale, e ancor più di strategie che hanno gradualmente implementato e perfezionato in natura e all'interno degli ecosistemi, come parte dell'evoluzione.

Afferma che "la cosciente emulazione del genio della vita è una strategia di sopravvivenza per la razza umana, un percorso verso un futuro sostenibile. Più il mondo funziona come la natura, più siamo portati a resistere su questa casa che è nostra, ma non solamente nostra."

Dopo miliardi di anni la natura è riuscita a capire che cosa funziona, cosa è appropriato e che cosa dura.

Alcuni artefatti sono limitati da formali o superficiali ispirazioni, altri ripropongono metodi funzionali che possono essere considerati in chiave umana.

Sebbene non sia stata lei a coniare la parola BIOMIMETICA è sicuramente grazie al suo libro "*Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*" che ha reso popolare il termine. Nel libro sviluppa la teoria secondo la quale gli esseri umani dovrebbero replicare il "genio della natura" nella progettazione di oggetti e sistemi, e questo in modo sostenibile.

In questo testo, la scienziata Beynus, ci invita a riformulare il nostro pensiero in merito a cosa intendiamo per innovazione e sostiene che dovremmo guardare alla Natura in diversi modi:

- come MODELLO poiché dalla Natura possiamo astrarre modelli che ispirino soluzioni tecniche
- come MISURA dato che nella Natura possiamo identificare standard ecologici come riferimenti quantitativi e qualitativi
- come MENTORE, la Natura è maestra nella ricerca della soluzione più efficiente

Se vogliamo imitare consapevolmente l'ingegno della Natura, ci ricorda la scienziata Beynus, dobbiamo guardare ad essa in modo diverso.

Stima che qualunque problema o progetto sfidi un ingegnere, una comunità o un'azienda, ci sono buone probabilità che una o più delle 30 milioni di specie che vivono nel mondo abbia dovuto affrontare la stessa sfida, ma in aggiunta, ha sviluppato strategie efficaci per risolverlo, strategie che possono ispirarci.

1.3 La spirale della progettazione Biomimetica

Nel 2005, per trasformare le strategie della Natura in soluzioni progettuali innovative e sostenibili, il designer industriale australiano Carl Hastrich ha sviluppato un processo a forma di spirale chiamato *Biomimicry Design Spiral* (Spirale della Progettazione Biomimetica).

I passaggi da seguire sono questi:

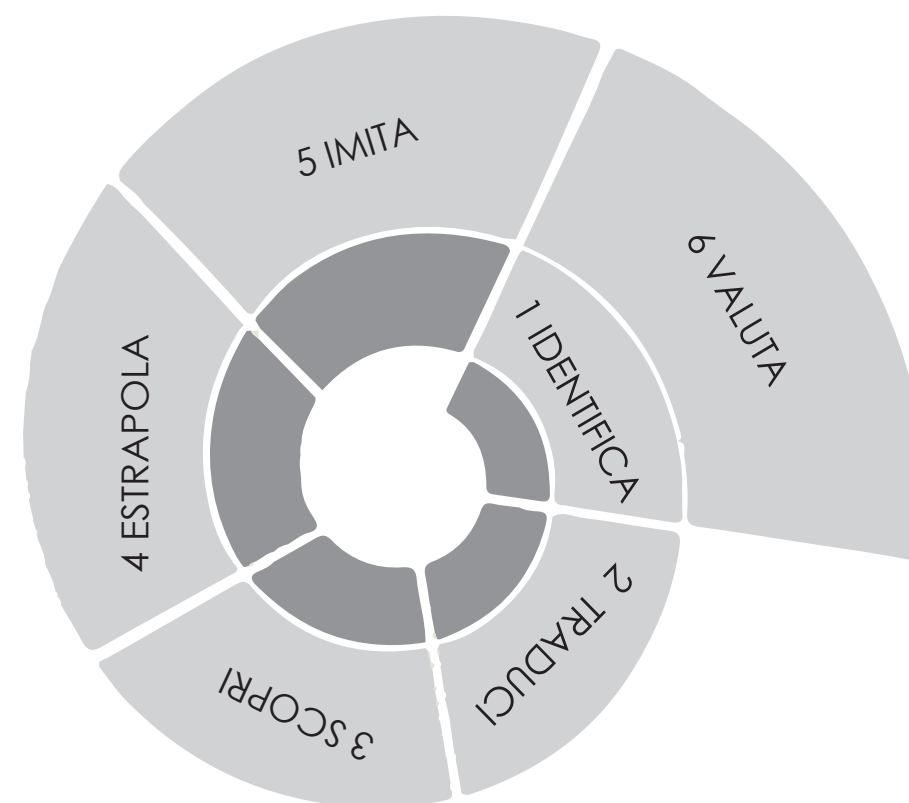


figura 1.3.1
spirale della
progettazione
biomimetica

1. IDENTIFICARE. Si identificano le funzioni che il proprio progetto deve eseguire e, quindi, ciò che si desidera che il progetto sia in grado di fare. La domanda da porsi qui non è "Cosa voglio progettare?" ma "Cosa voglio che il mio progetto sia in grado di fare?" e, poi, "Perché voglio che il mio progetto sia in grado di fare questo?".

2. TRADURRE (o BIOLOGIZZARE). Una volta creato l'elenco delle funzioni che il progetto deve eseguire, le si traduce in termini che abbiano senso nel mondo biologico. La domanda da cui partire è "Come svolge questa funzione la Natura?" e, una volta definite le condizioni dell'habitat che riflette i parametri del proprio progetto, si traducono questi parametri nei Modelli Unificanti della Natura (detti anche Principi della Vita), ossia le regole della Natura per la sostenibilità:

- La Natura usa solo l'energia di cui ha bisogno e fa affidamento su quella disponibile gratuitamente

- La Natura ricicla tutti i materiali
- La Natura è resiliente a ciò che la disturba
- La Natura ottimizza piuttosto che massimizzare
- La Natura ricompensa la cooperazione
- La Natura ha una capacità di apprendimento continuo
- La Natura usa la chimica e i materiali che sono sicuri per gli esseri viventi
- La Natura costruisce usando risorse abbondanti ed incorpora quelle rare con parsimonia
- La Natura è localmente armoniosa e reattiva
- La Natura adatta la forma alla funzionalità

3. SCOPRIRE. Si passa a scoprire le strategie che la Natura usa per svolgere le funzioni identificate considerando sia i modelli reali che quelli metaforici. In questo passo della Spirale si viene invitati ad uscire in mezzo al verde, a setacciare la letteratura sul tema, a fare brainstorming con i biologi e a creare una tassonomia delle strategie naturali.

4. ESTRAPOLARE. Si decodificano le strategie scoperte e si descrive come funzionano in termini che abbiano senso per la professione di designer.

5. IMITARE. Prendendo in considerazione più soluzioni, si utilizzano le proprie competenze professionali per creare una soluzione di progettazione basata sull'imitazione di una o più strategie naturali scoperte ed estrapolate.

6. VALUTARE. A questo punto, dopo aver messo a confronto la soluzione di progettazione trovata con l'idea di partenza, si valuta il proprio progetto rispetto ai Modelli Unificanti della Natura. Infine, si riflette sulle molte idee e lezioni che sono emerse nei passaggi precedenti e si decide come si intende utilizzare il prossimo giro (o giri) di Spirale. Alcune domande da cui partire sono "Il mio progetto può adattarsi ed evolvere?", "Il mio progetto crea condizioni favorevoli alla Vita?", "Come posso migliorare il mio progetto?".

CAP 2

I CAMPI DI APPLICAZIONE DELLA BIOMIMETICA

2.1 ARCHITETTURA

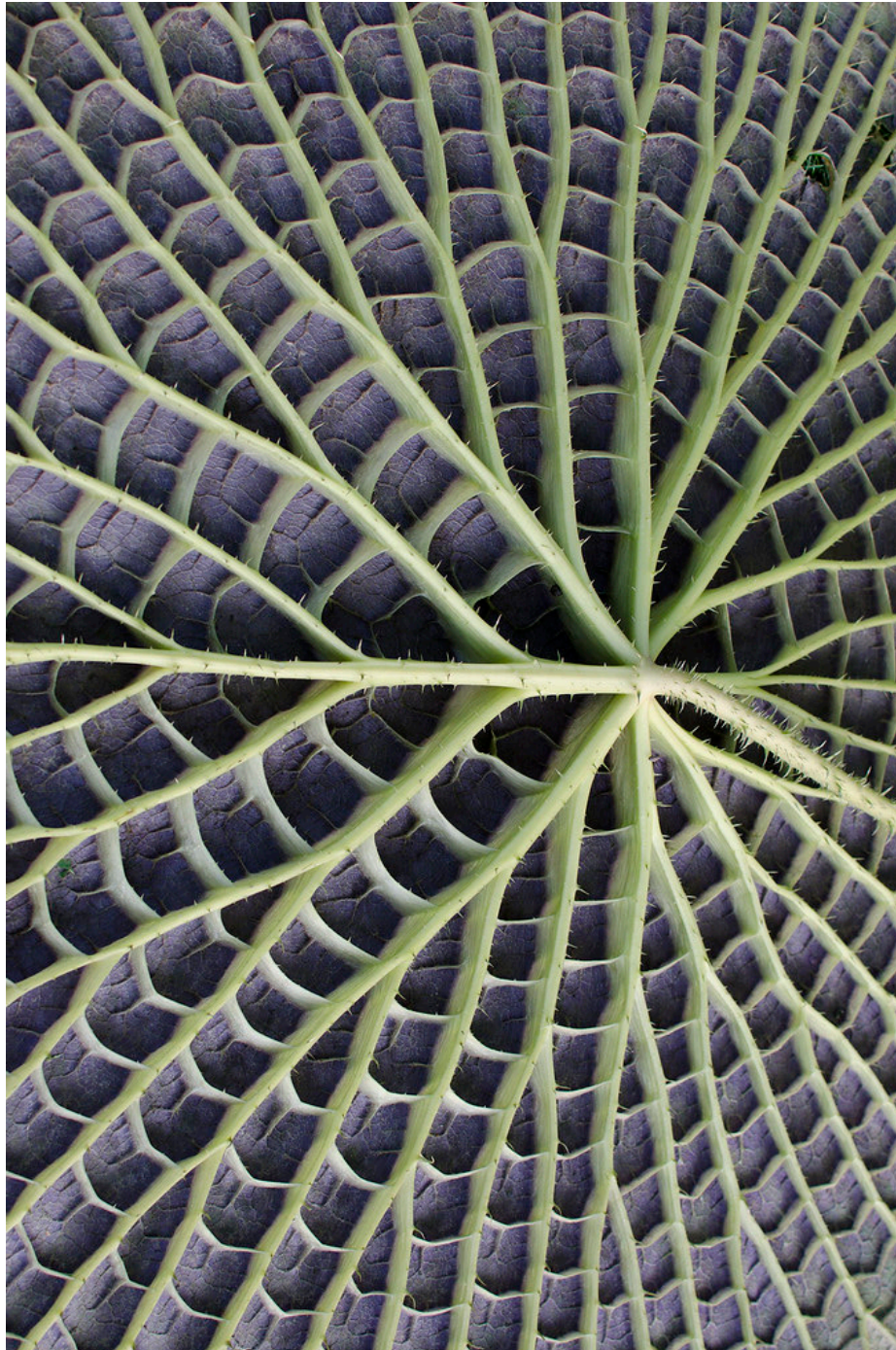


figura 2.1.1
dettaglio victoria amazonica

La biomimetica è una scienza che si adatta particolarmente per fornire strumenti e soluzioni valide per alterare le classiche relazioni tra artificiale e naturale, dove il termine natura viene considerato come un elemento da trasformare. È anche una fonte di strategia per la trasformazione urbana in chiave sostenibile che provvederà le fondamenta per il futuro delle nostre città. Uno spazio abitativo è solitamente associato ad una casa, diviso in spazi diversi e in relazione con altre unità abitative. C'è da dire però che ogni cultura ha un rapporto diverso con lo spazio interpersonale, diversi modi di definire il concetto di abitare e relazionarsi con lo spazio pubblico e privato. Inoltre con la nascita delle discipline del design sostenibile, l'organizzazione di edifici ha iniziato a prendere in considerazione dei nuovi parametri basati sugli studi dell'esperienza umana con l'ambiente naturale. E se pensassimo ai nostri edifici come estensioni della nostra fisiologia? "Vedere la natura come un insegnante è molto diverso che vederla come un magazzino di merci" afferma la scienziata Janine Benyus.

La prima vera applicazione della biomimetica in ambito architettonico fu il *Crystal Palace*, costruito su un progetto del botanico e costruttore di serre Joseph Paxton e inaugurato nel 1851 a Londra in occasione della prima esposizione universale. L'intuizione dell'ingegnere britannico fu quella di abbandonare i sistemi strutturali tradizionali al fine di ricercare la soluzione al suo problema nell'osservazione della natura, in particolar modo da una pianta, la *Victoria Amazonica*, appartenente alla famiglia delle ninfee.

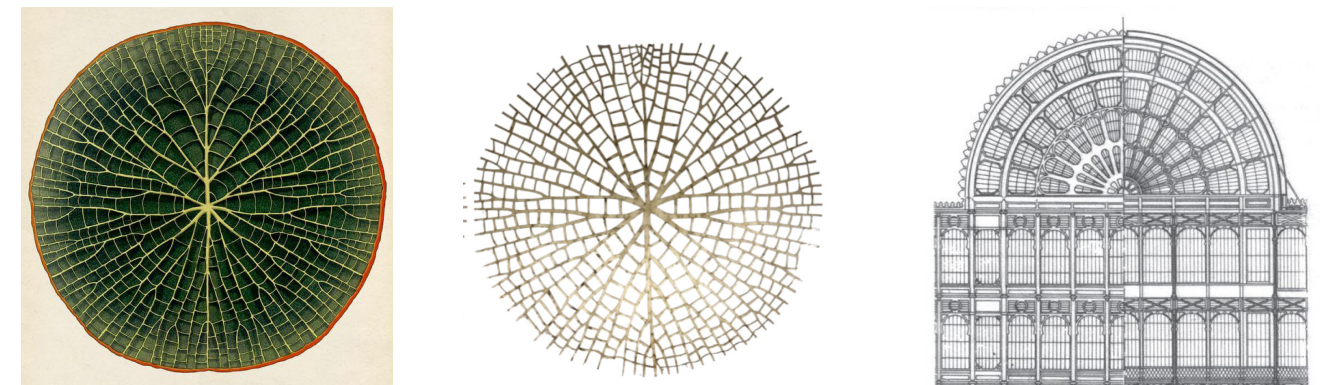
L'edificio, purtroppo distrutto da un incendio nel Novembre del 1936, venne dotato di una struttura estremamente leggera, che massimizzava l'esposizione al sole proprio grazie all'esempio delle foglie di ninfea. Venne scoperta nel 1837 in Guyana Britannica e Paxton fu il primo ad introdurre questa ninfea gigante all'interno del giardino del Duca del Devonshire nel 1846. La pianta possiede foglie galleggianti che possono arrivare ad un diametro di 2 m e sopportare su di esse carichi distribuiti fino a mezzo quintale. Il tutto è reso possibile dalla struttura sottostante le foglie, fatta da nervature cave radiali.

Le similitudini con il *Crystal Palace* non sono subito evidenti ma se confrontiamo il comportamento statico delle due strutture ci rendiamo conto che è il medesimo.

Le travature reticolari longitudinali della costruzione corrispondono alle grandi nervature radiali di maggiori dimensioni, le cosiddette grondaie Paxton, cioè le travi trasversali sono equivalenti alle lamine disposte circolarmente a collegare le nervature principali. Infine, la copertura in vetro ha la stessa funzione della membrana del fogliame.

Passando al sistema di sostegni puntuali del Palazzo, essi sono assimilabili al gambo della *Victoria Amazonica* che può arrivare ad una lunghezza di 7-8 m e che permette alla pianta di ancorarsi al fondo del caldo corso del Rio delle Amazzoni.

figura 2.1.2
victoria amazonica
comparata con frontone
del crystal palace



Un altro importante esempio architettonico è l'*Eastgate Building Centre*, aperto nel 1996 ad Harare in Zimbabwe. L'edificio, progettato dall'architetto sudafricano *Mick Pearce* insieme allo studio *Arup*, è in grado di assicurare al suo interno una temperatura costante e ottimale tutto l'anno, nonostante le oscillazioni esterne tra i 42 e i 3°C.

Una meraviglia dell'architettura green, l'edificio ospita uffici ed un immenso centro commerciale e si ispira ad un termitaio, incarnando un affascinante esempio di efficienza energetica ispirata dalla natura.

I termitai sono strutture complesse costituite da cumuli di terra realizzati dalle stesse termiti che all'interno dei quali coltivano un fungo che è la loro fonte di alimentazione. Per garantire una temperatura costante nel termitaio, gli insetti scavano per creare canali comunicanti con l'esterno.

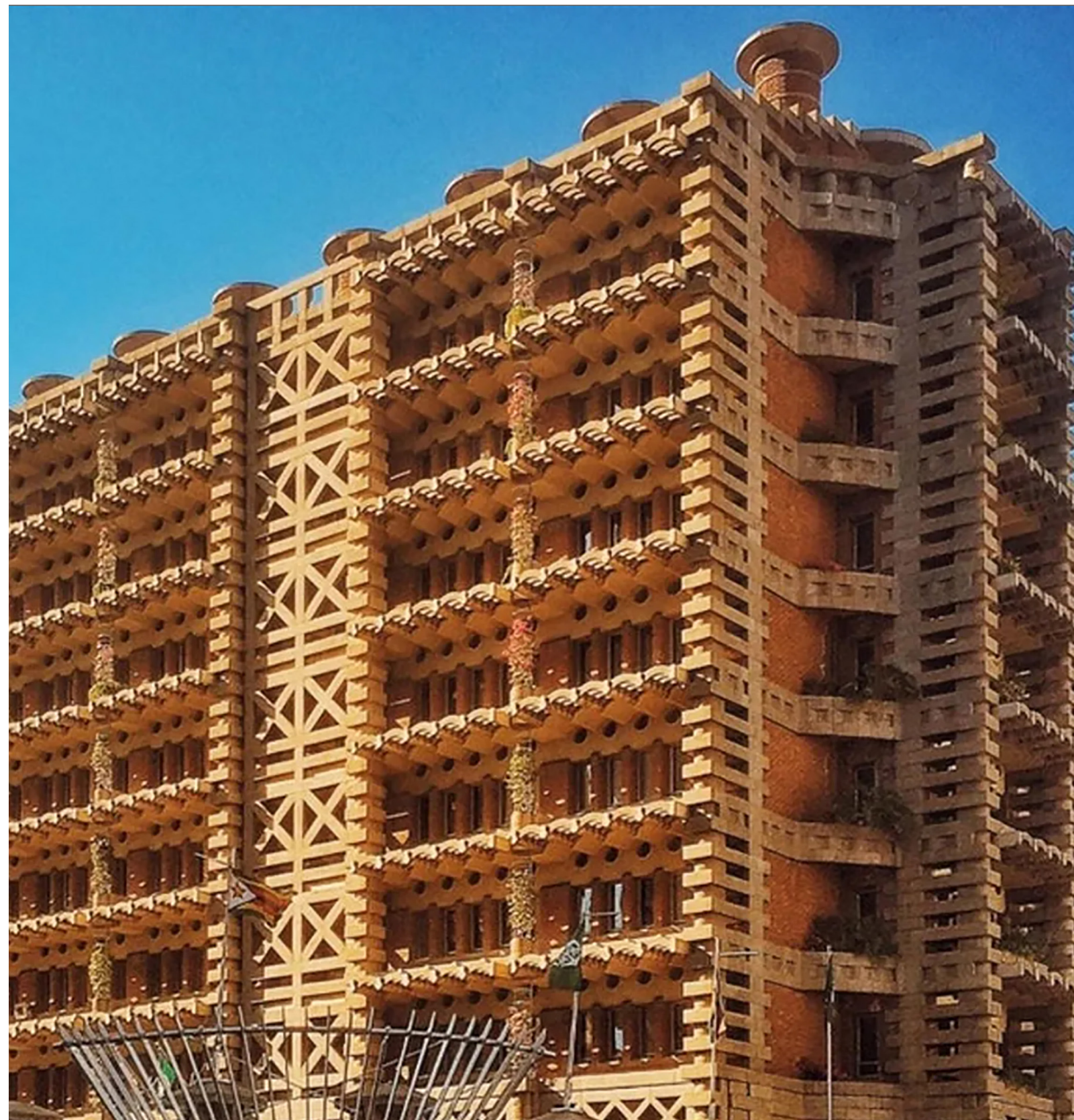
L'aria esterna è quindi aspirata per effetto convettivo dal fondo del cumulo di terra e da lì attraversa l'intero termitaio mantenendone la temperatura costante.

Il progetto di Mick Pearce prevede due edifici, uno di fronte all'altro, collegati da una copertura vetrata che lascia spazio alla circolazione dell'aria. Dei ventilatori a basso consumo energetico posti al primo piano, aspirano l'aria dallo spiazzo tra i due edifici e la pompano in appositi condotti verticali all'interno dei due corpi di fabbrica, facendole attraversare tutti i piani per poi espellerla dai camini che danno all'esterno, proprio come avviene in un termitaio.

Questo meccanismo ha una duplice funzione: da un lato garantisce il ricambio d'aria degli ambienti, dall'altro li tiene a temperatura sempre costante.

Con il sistema di raffrescamento e riscaldamento naturale di un termitaio, l'*Eastgate Centre*, usa almeno il 10% in meno dell'energia che un edificio di quelle dimensioni normalmente consuma poiché non ha bisogno di un sistema di condizionamento artificiale, facendo risparmiare fino ad ora oltre 3,5 milioni di dollari e continuerà a farne risparmiare ancora nel corso del suo futuro.

figura 2.1.3
Eastgate Building
in Harare, Zimbabwe



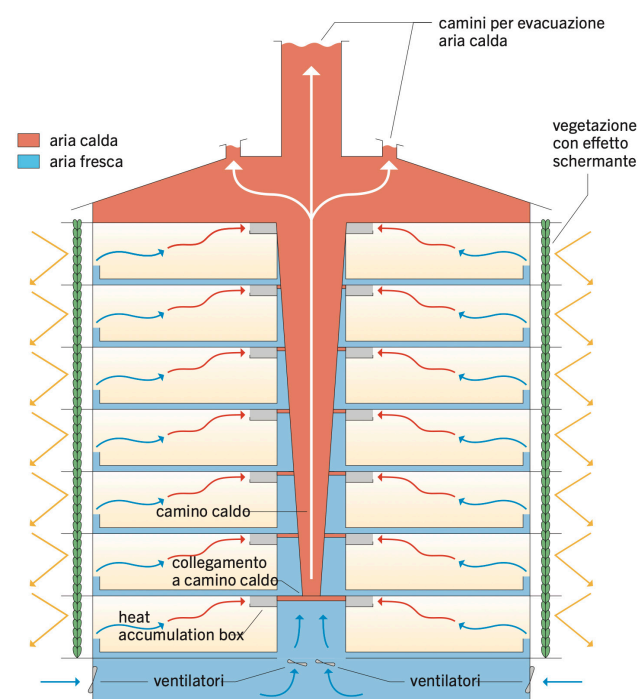


figura 2.1.4
esempio di termitaio

figura 2.1.5
Schema funzionale del
sistema di ventilazione
naturale per l'Eastgate
Building di Harare

L'Institute for Computational Design (ICD) e l'Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) dell'Università di Stoccarda hanno realizzato un padiglione di ricerca biometrica, ispirandosi alle forme dei ricci di mare e dei dollari della sabbia.

Il progetto è stato ideato e realizzato da studenti e ricercatori provenienti da un team di architetti, ingegneri, biologi e paleontologi, insieme allo studio Achim Menges, per dimostrare come le tecniche robotiche di fabbricazione tessile possano essere applicate a strutture modulari in legno, ottenendo involucri leggeri ma resistenti.

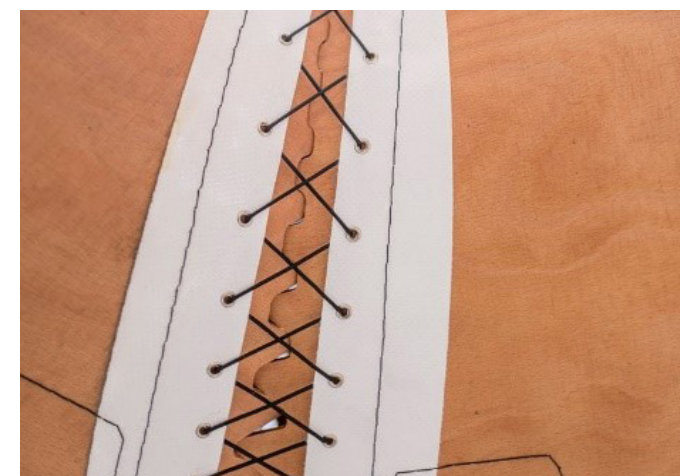
Il padiglione è composto da 151 segmenti prefabbricati e cuciti roboticamente, ciascuno formato da tre strisce di compensato di faggio laminate singolarmente. La dimensione è compresa tra 0,5 e 1,5 m di diametro ed è stata pensata per soddisfare i requisiti strutturali e geometrici richiesti.

L'intera struttura pesa 780 Kg, copre una superficie di 85 mq e si estende per 9,3 metri. "Il padiglione è il primo del suo genere a impiegare cuciture industriali di elementi in legno su una scala architettonica", ha dichiarato il team di progetto.



figura 2.1.6
padiglione di ricerca biomi-
metica

figura 2.1.7
particolare della cucitura



2.2 DESIGN

Nel campo del design uno dei primi esempi di biomimesi è quello del velcro. Inventato nel 1941 dall'ingegnere svizzero George de Mestral, ispiratosi ai piccoli fiori di bardana, un piccolo seme ricoperto da centinaia di "uncini" capaci di agganciarsi alle microscopiche asole che ricoprono il pelo degli animali, i capelli e i vestiti. I semi si attaccavano saldamente al pelo del suo cane ogni volta che lo portava a passeggio e, analizzandoli al microscopio, de Mestral notò che ogni petalo presentava alla sommità un microscopico uncino, capace di incastrarsi praticamente ovunque trovasse un appiglio naturale. Fu così che dall'osservazione di questo fenomeno nacquero le strisce di velcro che tutti noi conosciamo: semplici strisce in nylon combinate, una in tessuto peloso e una munita di tanti piccoli uncini che si attaccano saldamente all'asola, riproponendo il meccanismo di "cattura" osservato in natura. Biomimetica è combinazione tra tecnologia e poesia; ispirarsi al corpo umano utilizzando nuove scoperte scientifiche e tecnologiche.



figura 2.2.1
particolare del fiore di
bardana

figura 2.2.2
velcro

Altro personaggio di spicco, soprattutto nel campo del design, è la professoressa Neri Oxman che da anni conduce ricerche sui nuovi modi di interazione tra le tecnologie di produzione digitale e il mondo biologico. Il suo lavoro apre la strada a una nuova era di simbiosi tra microorganismi, corpo umano, prodotti industriali ed edifici. La sua *Gemini chaise lounge doppia* presenta un contenitore che protegge il corpo attraverso un guscio stampato in 3D a colori e in più materiali, che riproduce la tranquillità del ventre materno. La parte esterna protettiva è costituita da una solida conchiglia in legno. All'interno Gemini è rivestita da ben 44 diversi materiali digitali PolyJet, colori inclusi. Questa "pelle" stampata in 3D utilizza l'innovativa tecnologia di Stratasys a triplo getto e mescola tre materiali di base: il simil gomma TangoPlus di Stratasys, il VeroYellow rigido e il VeroMagenta, andando a formare una gamma di sfumature di gialli e di arancioni trasparenti e opachi, con diverse rigidità. Questo è un ottimo esempio di biomimetica che unisce tecnologia e imitazione del corpo umano.

Oxman sottolinea come oggi ogni progettista sia diviso tra la macchina e l'organismo, tra il montaggio e la crescita, tra Henry Ford e Charles Darwin: due visioni del mondo, l'analisi e la sintesi. Il suo lavoro si occupa di unire queste due visioni allontanandosi dal concetto di assemblaggio e avvicinandosi a quello di crescita.

Secondo Oxman la confluenza tra il design computazionale, che permette di creare forme complesse partendo da semplici formule, la produzione additiva, che consente di produrre parti aggiungendo materiale invece di sottrarlo, l'ingegneria dei materiali, che studia il comportamento dei materiali in alta definizione, e la biologia sintetica, che permette di dar vita a nuove funzionalità biologiche agendo sul DNA, fornisce ai progettisti degli strumenti che mai prima d'ora avevamo avuto a disposizione.

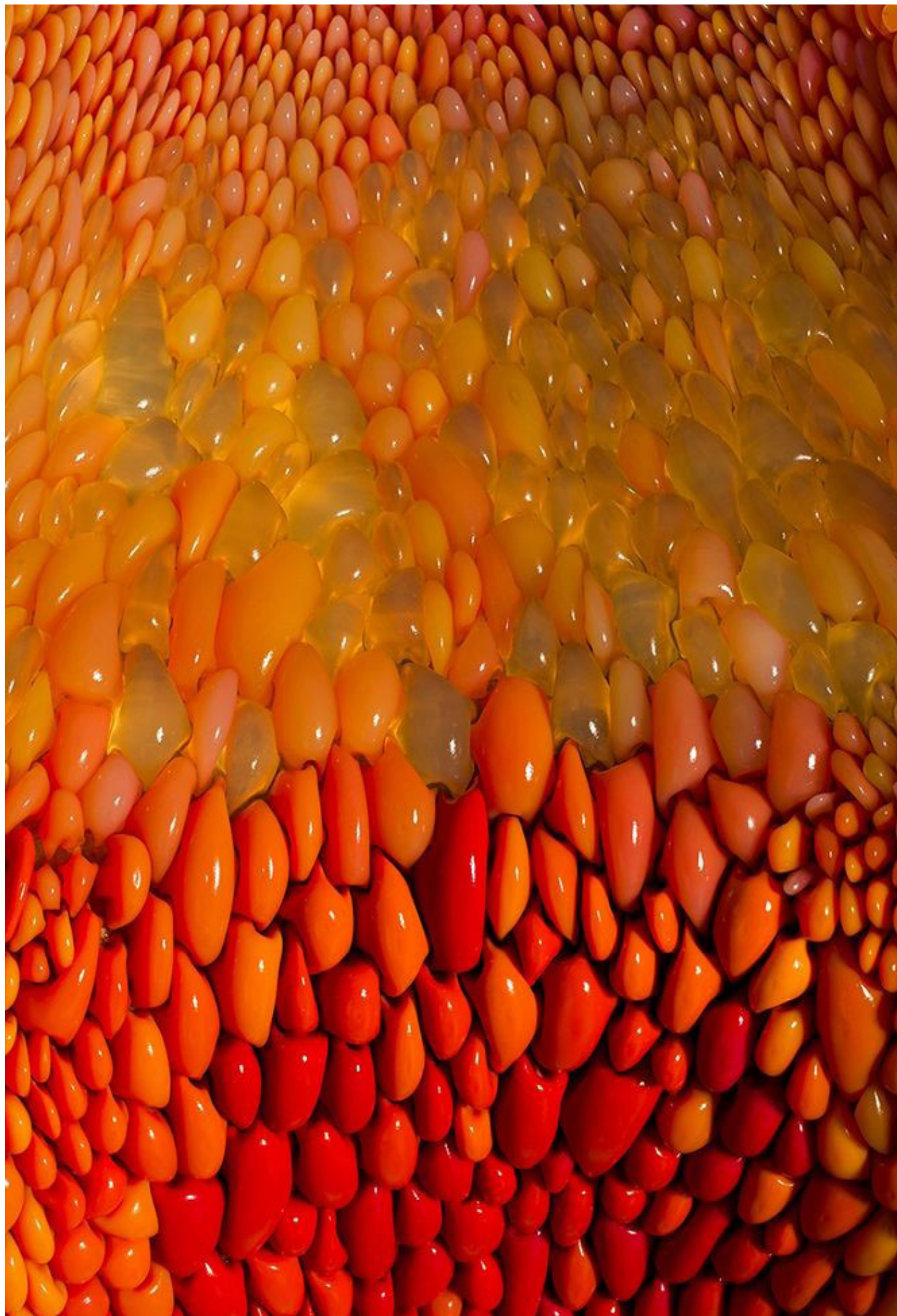


figura 2.2.3
a sinistra particolare della
"pelle" stampata in 3D

figura 2.2.4 e 2.2.5
posizione verticale e orizzon-
tale della Gemini chaise
lounge doppia



CAP 3

BONE CHAIR

3.1 INTRODUZIONE

Se l'idea della professoressa Neri Oxman è quella di allontanarsi dal concetto di assemblaggio e avvicinarsi a quello di crescita ovvero comportarsi come gli alberi che aggiungono materiale invece di sottrarlo dove è necessaria la forza, *Joris Laarmann* trova più interessante ispirarsi al comportamento delle ossa, le quali hanno la capacità di portare via materiale dove non è necessaria la forza.

Da qui nasce l'ispirazione per il progetto della BONE CHAIR del designer Joris Laarman, della quale analizzeremo i particolari nelle seguenti pagine.

Nato il 24 Ottobre 1979 a Berkelland, situata nella provincia della Gheldria, Paesi Bassi, Joris Laarman è un progettista, artista ed imprenditore.

Ha frequentato l'istruzione secondaria Isendoorn College e si è laureato con lode presso il Design Academy Eindhoven nel 2003. Ha fatto passi avanti a livello internazionale con il suo "Heatwave radiator", un radiatore decorativo che, grazie al suo design, diffonde il calore meglio di uno standard.

Nel 2004 fonda con la sua compagna, Anita Starr, ad Amsterdam il *Joris Laarman Lab*. Il laboratorio collabora con artigiani, programmatori e ingegneri in nuove tecnologie come CNC-sistemi, Stampa 3D e robotica.

Le opere di Laarman fanno parte delle collezioni permanenti e delle mostre di musei, come MoMA, New York, VA, Londra e Centre Pompidou Parigi.

La Bone chair, compreso il suo prototipo, sono stati recentemente aggiunti come pezzi finali alla collezione novecentesca del Rijksmuseum ad Amsterdam. Laarman contribuisce ad articoli e seminari di Domus Magazine e insegna presso l' Architectural Association School of Architecture a Londra, il Gerrit Rietveld Academy ad Amsterdam e alla Design Academy Eindhoven.

Alla fine del 2015, la sua prima grande mostra personale era in mostra al Museo Groninger nei Paesi Bassi e, dal 2017, questa mostra ha viaggiato per il mondo come ad esempio al Cooper Hewitt Smithsonian Design Museum di New York, all'High Museum di Atlanta e al Museum of Fine Art di Houston.

Laarman, inoltre, è co-fondatore di MX3D che, dal 2015, sviluppa tecniche per la stampa 3D in metallo, nota anche come WAAM.

Sempre nel 2015 ha lanciato un piano per stampare in 3D un ponte in acciaio inossidabile completamente funzionale per un canale ad Amsterdam che è stato completato e inaugurato nel mese di luglio del 2021.

Joris Laarman considera la tecnologia una pratica evoluta di artigianato e il processo produttivo una formula aperta a innesti multidisciplinari.

Nel design di prodotto Joris Laarman viene riconosciuto come uno dei pionieri della sperimentazione dove nel suo laboratorio dà vita alle sue produzioni basate quasi esclusivamente sull'elaborazione e stampa digitale.

Infatti, fin dai primi giorni della sua carriera, l'utilizzo di strumenti digitali contemporanei, ha giocato un ruolo fondamentale nello sviluppo della sua creatività personale e nella definizione della sua identità di designer.

Rompendo dal design tradizionale dei mobili, l'approccio sperimentale adottato da Laarman stimola una discussione formale sulle numerose opportunità offerte dalla tecnologia contemporanea nello sviluppo del design degli oggetti. Un momento cruciale nella carriera formativa di Joris Laarman ha avuto luogo nel 1998, quando il designer ha scoperto per la prima volta il lavoro del professor Claus Mattheck e le sue conclusioni sull'applicazione del design digitale per la fabbricazione industriale e soprattutto per lo studio approfondito sul comportamento degli alberi.

3.2 LA FONTE DI ISPIRAZIONE

Nato a Dresda, in Germania, nel 1947, *Claus Mattheck* compie studi di fisica teorica, ovvero una disciplina scientifica molto lontana dal mondo degli alberi nel quale si avventurerà in seguito.

Il suo campo di studi è la biomeccanica, ed in particolare la valutazione dell'ottimizzazione della crescita delle strutture biologiche ed è direttore del dipartimento di Biomeccanica presso il Centro di Ricerca di Karlsruhe, città nel sud-ovest della Germania. Attraverso i suoi studi ed elaborazioni al computer, intuisce la regola generale che governa la crescita di ogni struttura biologica: l'auto-ottimizzazione, ovvero l'assoluta mancanza di spreco di materiale nella crescita adattativa.

Esaminando l'aspetto biomeccanico delle ossa e di alcune parti del corpo umano e di animali, Mattheck è arrivato allo studio degli alberi. Claus Mattheck e il professore e ingegnere tedesco *Lothar Harzheim*, insieme al Centro di sviluppo internazionale Adam Opel GmbH, hanno sviluppato uno strumento digitale dinamico che copia i modi di costruire degli alberi e delle ossa e lo hanno utilizzato per ottimizzare le parti di automobili. Questo software di imaging e simulazione imita abbastanza precisamente il modo in cui l'evoluzione costruisce ed è stato ideato con l'intenzione di creare un supporto motore più efficiente. Lo scopo del software di progettazione del supporto motore era di fissare elementi specifici in posizione fornendo al contempo una resistenza ottimale, utilizzando un minimo di materiali. Questo viene fatto creando un modello tridimensionale virtuale e simulando l'applicazione di sollecitazioni a punti specifici del progetto. Quindi l'algoritmo toglie tutto il materiale che non è del tutto necessario, senza indebolire la parte.

Ciò che più stupisce di questo processo è che utilizza lo stesso principio che l'evoluzione fa negli organismi viventi. Le ossa in particolare sono altamente efficienti nella crescita delle strutture interne per ottenere un rapporto peso-resistenza ottimale poiché aggiungono e rimuovono costantemente materiale in risposta alle sollecitazioni dal loro ambiente. Il software progettato da Adam Opel GmbH replica lo stesso processo: generazioni ripetute della simulazione aggiungono materiale dove è necessaria la forza e scheggiano il materiale ovunque non lo sia, creando un design che raggiunge la massima resistenza con una quantità minima di materiale.

Per la Bone Chair in alluminio, il risultato generato dal computer doveva essere perfezionato per le specifiche dell'alluminio. Ciò ha comportato una forma molto più snella.

Dai suoi studi Mattheck aveva dedotto che gli alberi aggiungono materiale extra nei punti di maggiore tensione, infatti la crescita si basa sulla distribuzione del carico. Attraverso il programma sviluppato sono state calcolate le sollecitazioni in una struttura non ottimizzata; la tensione più grande nel software compare come una macchia rossa, quindi la struttura viene fatta crescere fino a quando la macchia rossa non scompare così da non avere più punti deboli in modo tale che la tensione venga distribuita più uniformemente come avviene negli alberi.

Secondo Mattheck la differenza tra un albero ed un osso prima di tutto sta nel peso: l'osso è più leggero perché deve compiere dei movimenti per far sì che l'uomo possa spostarsi con facilità ed è per questo che l'osso ha delle cellule che eliminano il materiale in eccesso e i fori presenti all'interno di esso sono materiale non necessario determinato con precisione al millimetro. Nel software si calcolano anche le sollecitazioni meccaniche e ciò che è di troppo dovrebbe essere tagliato fuori. Anche per le auto sono stati utilizzati gli stessi principi di questo esempio e grazie a questo metodo di ottimizzazione si è riusciti a risparmiare notevolmente sui materiali utilizzati. I pezzi non si rompono e il materiale utilizzato è il minimo indispensabile. Una struttura deve essere robusta e allo stesso tempo il più leggera possibile. Questo è il principio di funzionamento delle ossa.

3.3 DALL'ERA INDUSTRIALE ALL'ERA DIGITALE

La passione per l'era digitale di Joris Laarmann è decollata quando ha visto per la prima volta l'animazione del documentario sul professore tedesco Claus Mattheck. Per lui questa non era solo un'animazione di un supporto motore ottimizzato, ma una visualizzazione di come l'era industriale in generale si sta trasformando nell'era digitale. I tempi industriali e i pionieri modernisti riguardavano l'assemblaggio e le parti standardizzate in un linguaggio di forme geometriche dettato dai limiti delle macchine industriali. Nella nostra era digitale, tuttavia, non siamo più vincolati da queste limitazioni. Con gli strumenti di progettazione e fabbricazione digitale possiamo creare forme personalizzate più intelligenti che sono molto più complesse di quelle di una volta.

I designer nel corso della storia hanno sempre cercato di realizzare oggetti che potessero ispirarsi alla natura: l'Art Noveau possiamo pensare che sia una delle correnti più iconiche in cui questo processo sia stato eseguito grazie all'innovazione di materiali come la ghisa, ma non solo, anche lo streamline grazie alle innovazioni di alluminio e il design organico degli anni '60 grazie alle innovazioni di plastica e compensato. Ma la nostra era digitale rende possibile non solo utilizzare la natura come riferimento stilistico, ma utilizzare effettivamente i principi sottostanti per generare forme proprio come un processo evolutivo.

Laarmann inizialmente ha ricevuto una certa resistenza dai produttori quando ha introdotto per la prima volta l'idea. Ha cercato di fondere i suoi pezzi "Bone" in un unico pezzo, cosa che sembrava impossibile fino a quando non ha trovato un laboratorio sperimentale nei Paesi Bassi. L'officina, specializzata in fusioni metalliche stampate in 3D, ha fuso con successo la prima sedia "Bone" in alluminio in un unico pezzo. Da allora il modello è diventato emblematico del design contemporaneo, incarnando magistralmente la correlazione tra arte, funzionalità e tecnologia. Altre edizioni della sedia sono conservate in prestigiose collezioni museali in tutto il mondo, tra cui quelle del Rijksmuseum di Amsterdam, del Museum of Modern Art di New York, del Museum für Kunst und Gewerbe di Amburgo, del Centraal Museum di Utrecht e del Vitra Design Museum di Weil am Rhein.

figura 3.3.1
a sinistra particolare della
"pelle" stampata in 3D

figura 3.3.2
processo di produzione attrav-
erso colata in unico stampo
della Bone chair



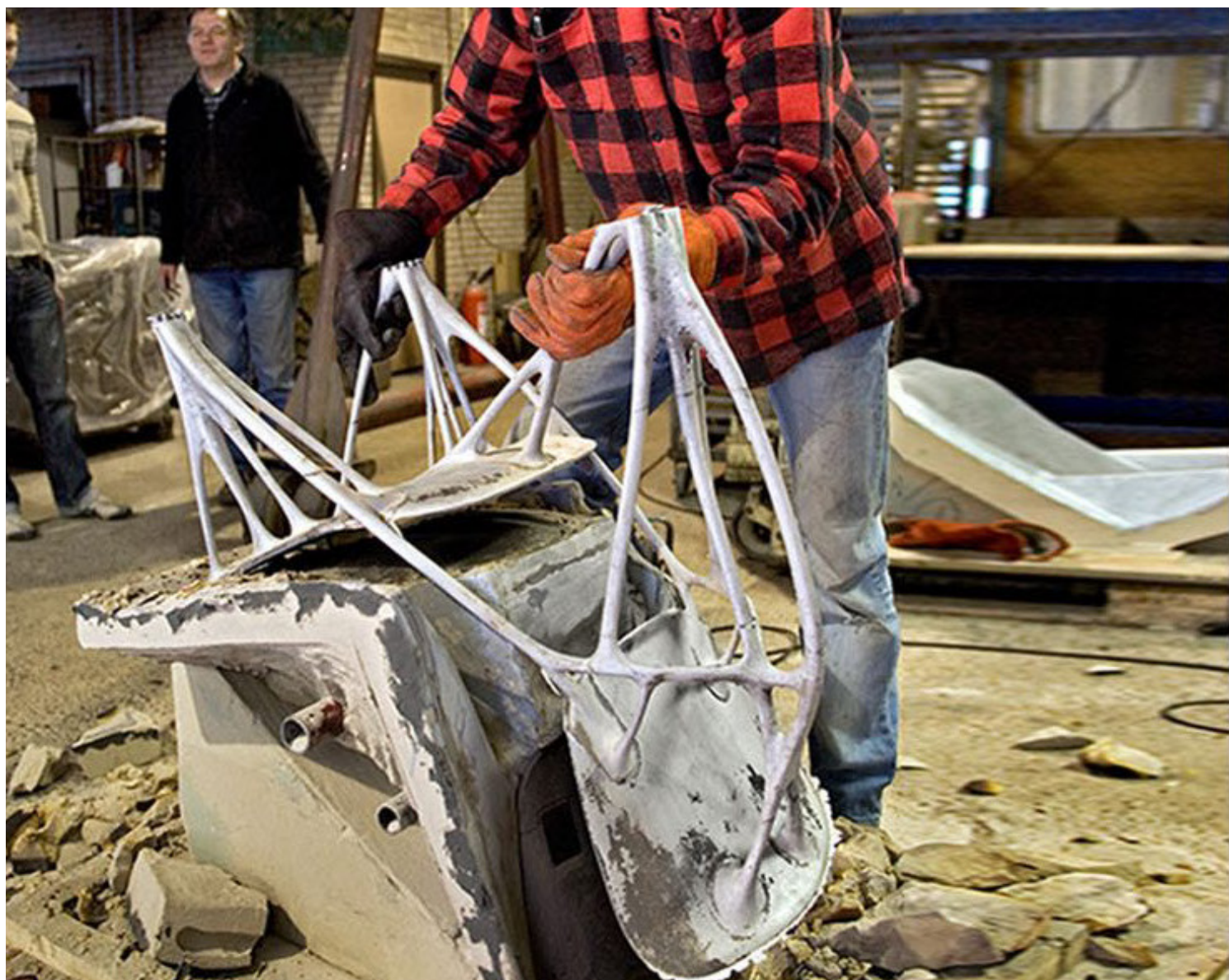


figura 3.3.3 e figura 3.3.4
Bone chair dopo lo stampo

La Bone Chair è il primo tipo di mobile che il designer ha generato digitalmente per simulare la struttura delle ossa e la loro configurazione; dando allo strumento digitale requisiti specifici, come la superficie del sedile e tre punti per scaricare la pressione del peso sul pavimento, la formula sviluppa la sua struttura con un'efficienza ottimale, risultando in una forma organica altamente sofisticata. Come ha affermato Joris Laarman: "Il risultato è qualcosa di così complesso che nessuna mente umana potrebbe arrivarci da sola, e in effetti nemmeno un supercomputer potrebbe creare un design come questo in un colpo solo. Solo attraverso la ripetizione di generazioni di simulazioni un computer può produrre lo sforzo computazionale necessario per elaborare un progetto così ricco di informazioni... la Bone Chair rappresenta un design così avanzato che sarebbe stato letteralmente impossibile da creare anche solo una generazione fa".

La bone chair mette le basi per il lavoro della continua esplorazione di Laarman nel ruolo della tecnologia digitale inerente al design, che lo ha aiutato a portare avanti queste tecniche di design ibrido con altri oggetti che faranno parte della serie "Bone Furniture".

"I pionieri del movimento moderno credevano nell'assemblaggio e nelle parti standardizzate in un linguaggio di forme geometriche dettate dalle limitazioni delle macchine industriali" osserva Laarman. "Nella nostra era digitale, tuttavia, non dipendiamo più da queste limitazioni. Grazie al digital design e agli attrezzi di fabbricazione, possiamo creare forme più intelligenti e personalizzate che sono molto più complesse".

Costruita con le sue forme straordinarie attraverso programmi biomeccanici, la Bone chair diventa la promotrice per gli oggetti ottimizzati del futuro, progettato in collaborazione con la natura, realizzato attraverso la tecnologia e rifinito dall'uomo.

3.4 SPIEGAZIONE

Il design della Bone Chair iniziò effettivamente nel 1998, quando Adam Opel GmbH, una sussidiaria tedesca della General Motors, sviluppò un nuovo software di imaging e simulazione con l'intenzione di creare un supporto motore più efficiente.

Il designer olandese Joris Laarman si laureò soltanto tre anni prima del 2006, anno in cui la sua bone chair diventò un'icona, preannunciando le possibilità tecniche e formali della nuova scienza nel campo del digital design.

Laarman ha progettato la sedia usando un software che simula la crescita naturale di ossa e alberi (strutture estremamente efficienti che ridistribuiscono la loro massa in punti specifici in risposta alle sollecitazioni fisiche) creando una sedia robusta utilizzando una quantità minima di materiale.

Con la sua seduta bassa in alluminio lucido sostenuta da una struttura scheletrica con membri che diminuiscono, sembrando quasi emergere dal suolo come un composto organico, la bone chair deriva da tensioni acquisite tra l'artificiale e il naturale, tra l'industria e l'artigianato.

L'applicazione di Laarman della biologia sintetica su questa sedia lo ha reso un pioniere sperimentale all'avanguardia sulle pratiche emergenti del digital design. La bone chair ha catturato velocemente l'attenzione della comunità internazionale di design con la collezione Bone Furniture composta da 12 prodotti (dei quali la sedia in esame è il numero 6) che sono stati acquisiti dalle maggiori istituzioni internazionali, tra le quali il MoMA di New York, il Vitra design Museum in Germania, il Rijksmuseum e il Central Museum nei Paesi Bassi come già anticipato.

La bone chair sposa perfettamente la tecnologia digitale e la natura in un'unione che dissipa la falsa divisione tra esse. Fin dai suoi primi lavori Laarman ha ricavato un'ispirazione estetica dal mondo naturale utilizzando la stessa nozione di efficienza nella sua tesi finale per la Design Academy di Eindhoven, da cui si è laureato cum laude nel 2003 presentando il lungimirante "Heatwave Rococo Radiator", un progetto generato digitalmente che mira a sfruttare la massima superficie per ottenere una conduzione termica ottimale. Rococo Radiator si ispira alle foglie di acanto in stile neoclassico e divenne rapidamente un oggetto di interesse internazionale e un design esemplare delle future espressioni artistiche di Laarman.

figura 3.4.1
Heatwave Rococo
Radiator



La bone chair è stata la prima a segnare l'iniziativa dei designer sull'utilizzo della scienza della natura per definire non solamente l'aspetto di un oggetto ma anche la logica strutturale che sostiene le costruzioni e l'ingegneria di essa. L'efficienza e il materiale delle ossa umane affascinò Laarman dopo la scoperta del lavoro degli scienziati biomeccanici tedeschi Claus Mattheck e Lothar Hartzheim.

Le loro scoperte hanno rivelato che le nostre ossa vengono continuamente formate dal nostro corpo che toglie i tessuti in eccesso dalle aree che richiedono meno forza, riducendo il peso dello scheletro rafforzando nel frattempo la solidità strutturale.

Per applicare questi principi biologici al design di una sedia, Laarman entrò in collaborazione con la società automobilistica europea Opel, la quale adattò le ricerche di Mattheck e Hartzheim su questi sistemi considerati spontaneamente intelligenti in altri sistemi di modellazione che possono sviluppare componenti industriali più efficienti. L'algoritmo del programma imita il processo di riduzione del corpo umano, rimuovendo materiale in eccesso dalla massa originale (comparabile al lavoro di uno scultore che svela una figura da un blocco di marmo), per arrivare ad una forma essenziale che è stata ottimizzata strutturalmente per il suo principale obiettivo: di sostenere peso.

"Se madre natura avesse voluto creare una sedia, il risultato sarebbe stato probabilmente qualcosa di simile a quello ottenuto da noi" evidenziò Laarman durante il processo di modellazione.

Nonostante sia stata prodotta da una formula matematica eseguita da un computer, la Bone chair prende come punto di riferimento originale il copro umano.

Le sue parti strutturali sono quasi identiche in scala alle nostre ossa, e condividono lo stesso aspetto organico con le loro curve armoniose e proporzioni asimmetriche.

In un certo senso la Bone chair si comporta come una protesi per il corpo che sosterrà, uno scheletro sintetico progettato allo stesso modo di quello biologico che viene sostenuto.

Per Laarman, il progetto della Bone chair fissò un impegno verso la tecnologia digitale esattamente come gli elementi principali della sua creatività pratica, strumenti che non fungono da rimpiazzo ma da estensione del tradizionale lavoro artigianale.

Laarman afferma "al posto di qualcosa di nostalgico, l'artigianato deve essere visto come qualcosa in continua evoluzione e questo, grazie agli strumenti delle nuove tecnologie, deve essere un argomento centrale per la società."

Per produrre la sedia ci fu bisogno della maestria di due differenti tecnologie che al tempo erano ancora ai loro inizi: computer con software di modellazione supportati per eliminare il materiale in eccesso dal progetto iniziale sullo schermo, e la capacità di stampanti 3D per costruire stampi in ceramica dal file digitale ricreato: tecnologia riduttiva che guida quella additiva.

Laarman sceglie di fabbricare la sedia in alluminio grazie al suo rapporto forza-peso simile a quello del tessuto osseo.

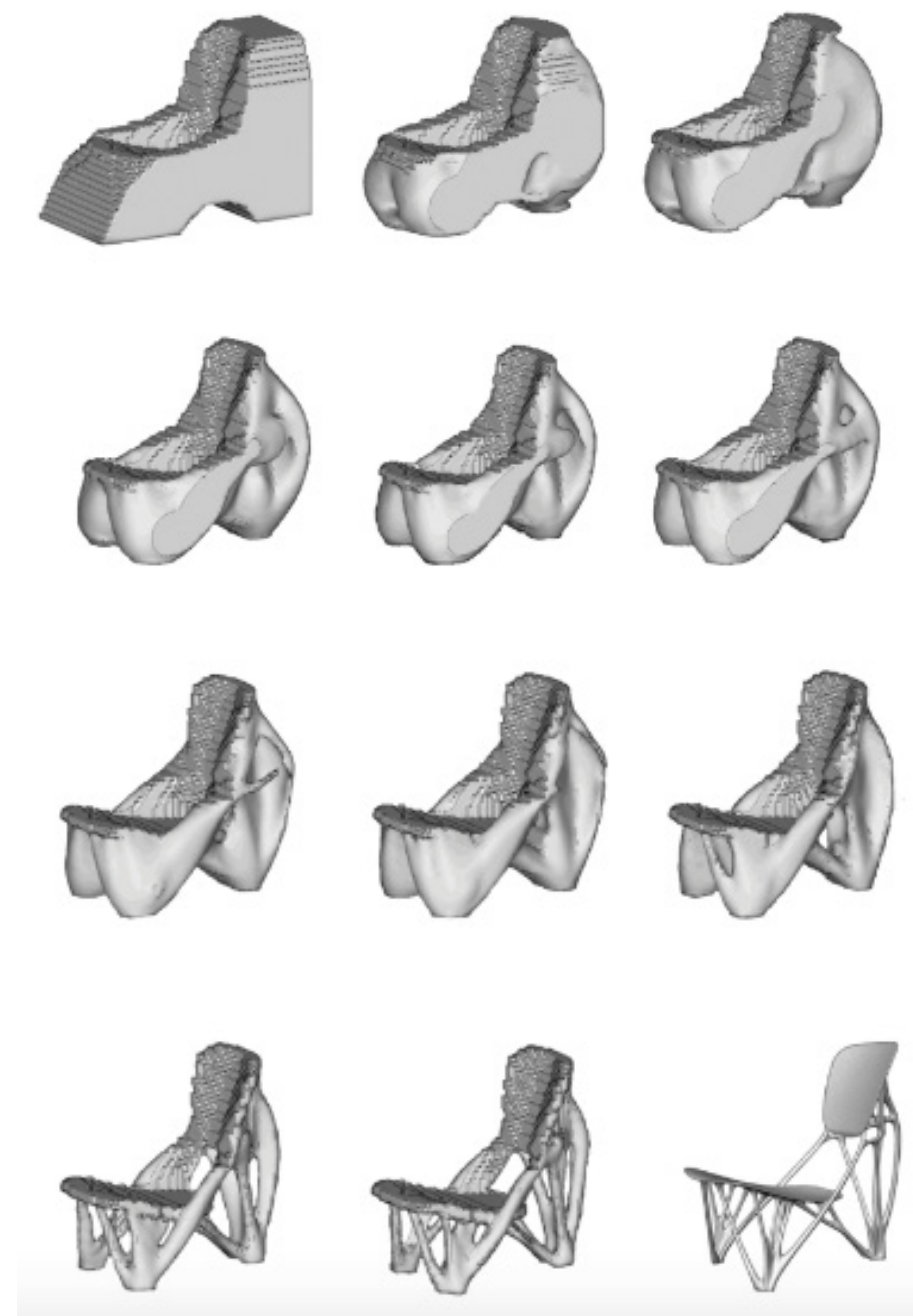


figura 3.4.2
schema del processo del
software

figura 3.4.3 e figura 3.4.4
dettagli della Bone chair
(pagine seguenti)



Per stampare l'oggetto in un unico pezzo dal totale, la gran parte dello stampo richiedeva l'abilità di un artigiano esperto che lavorava con queste nuove forme in 3D. Una volta stampato, ci vollero mesi di un meticoloso lavoro a mano di lucidatura per ottenere la purezza del pezzo in alluminio nel suo stato finale.

L'ultimo tocco per la bone chair fu quello del lavoro a mano, per evidenziare il fatto che nessuna macchina, indifferentemente da quanto sia sofisticata e precisa, può rappresentare al meglio la conoscenza, la sensibilità tattile e il giudizio estetico della persona che ha lucidato la superficie della sedia, toccato la sua consistenza attraverso le sue mani e corretto i movimenti degli attrezzi per risolvere ogni imperfezione.

Un prodotto tecnicamente impegnativo ma indiscutibilmente brillante la Bone Chair è abilmente fusa come un'unità, quindi lucidata per ottenere superfici senza soluzione di continuità.

La Bone Chair è un oggetto straordinario – non semplicemente una creazione di indiscutibile bellezza, ma la sua risonanza sta nel suo trionfo nel realizzare ciò che lo spirito umano ha così a lungo cercato di conquistare, per emulare la Natura con affetto e rispetto, non superficialmente, ma con l'integrità accordata da qualsiasi essere vivente. Questo, da raggiungere con l'intuizione e il calcolo, con lo spirito e con la scienza, quegli stimoli che guidano le reazioni stesse della Natura, conferma la Bone Chair tra i primi progetti veramente visionari del XXI secolo.

È uno dei pezzi più iconici di Joris Laarman della sua serie "Bone" e si presenta con qualità scultoree uniche se visto di persona, nonché con un ricco contrasto tra la superficie opaca delle gambe e la superficie in alluminio brillante, quasi riflettente sul sedile e sullo schienale proprio grazie all'intervento umano. L'alluminio presenta graffi superficiali molto deboli concentrati sulla parte inferiore delle gambe, sul sedile e sullo schienale, che sono visibili solo se ispezionati attentamente.



figura 3.4.5
Bone chair prospettiva

figura 3.4.6
Bone chair laterale
(pagina seguente)



CAP 4

UOMO E MACCHINA

4.1 STRUTTURA DELL'OSSO

Per miliardi di anni, la natura ha ottimizzato gli esseri viventi per aiutarli a prosperare nei loro ambienti. Le ossa umane sono quattro volte più forti del cemento, pur pesando solo la metà. Facendo un paragone tra il materiale utilizzato per la sedia, l'alluminio, e quello a cui si è ispirato il designer Joris Laarman per la struttura e la funzionalità, l'osso umano, possiamo notare che ci sono molte affinità tra essi.

Grazie alla sua particolare composizione e struttura, la resistenza e l'elasticità dell'osso sono maggiori di quanto uno possa pensare. È stato stimato che la forza tensile (o resistenza a trazione) dell'osso è compresa tra i 700 e i 1.400 kg per cm², mentre quella in compressione è tra i 1.400 e 2.100 kg per cm². Questi valori sono paragonabili a quelli dell'alluminio il cosiddetto "acciaio dolce", con la differenza che l'osso è molto più leggero ed anche molto più elastico di questo materiale.

Per comprendere bene il comportamento dello scheletro umano è necessario focalizzarsi sulla composizione fisiologica di esso. L'osso è un tessuto connettivo e, come tale, è costituito da cellule viventi, gli osteociti, e da una sostanza intercellulare che è formata da Sali di calcio che conferiscono all'osso la durezza che lo contraddistingue come unico tessuto connettivo rigido dell'organismo. Nella matrice è presente una componente fibrillare, che conferisce resistenza all'osso, con fibre di collagene, la proteina più diffusa del corpo (circa il 31% della struttura ossea). Un aspetto interessante della struttura ossea è la disposizione della sostanza intercellulare: strati cilindrici concentrici di matrice calcificata racchiudono un canale longitudinale che contiene i vasi sanguigni. Gli strati di materia ossea vengono chiamati lamelle e il canale centrale prende il nome di canale di Havers, dando il nome all'insieme di sistema di Havers. Le cellule ossee occupano degli spazi molto piccoli tra le lamelle detti lacune. Dei piccoli canali, detti canalicoli, si irradiano in tutte le direzioni per connettere le lacune con i canali di Havers per dare la possibilità ai liquidi interstiziali di raggiungere le cellule ossee.

I due tipi di osso che possiamo distinguere sono quello compatto e quello spugnoso, riconoscibili dal diverso arrangemento delle lamelle. Nel primo caso i sistemi haversiani adiacenti sono fittamente stipati l'uno vicino all'altro e i piccoli spazi interposti sono riempiti da lamelle interstiziali. L'osso

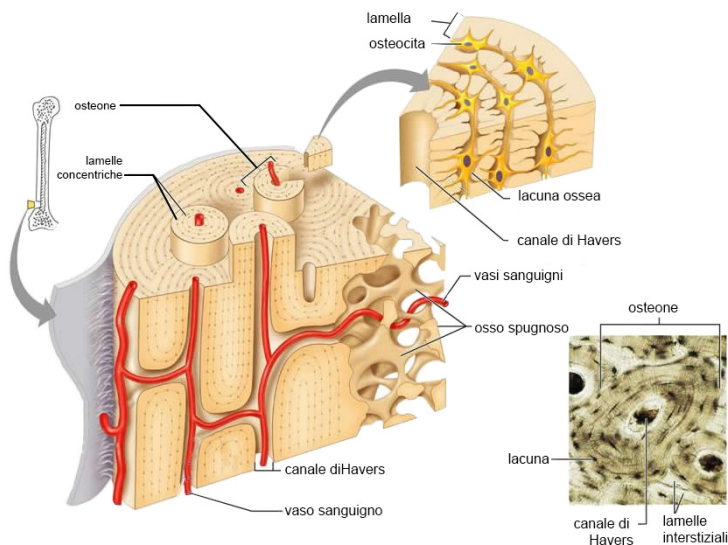


figura4.1.1
analisi interna dell'osso

compatto costituisce circa l'80% dello scheletro umano. Nell'osso spugnoso, invece, ci sono parecchi spazi vuoti compresi tra le trabecole, esili processi ossei, che sono uniti tra di loro come le travi di un'impalcatura. Il tessuto osseo spugnoso costituisce la maggior parte del tessuto delle ossa brevi, delle ossa irregolari, gran parte delle epifisi e lo strato interno delle ossa piatte (diploe).

In un tipico osso lungo si possono distinguere due porzioni principali:

- La diàfisi, costituita da tessuto osseo compatto, che delimita la cavità midollare.
- Le epifisi, formate da tessuto osseo spugnoso nelle cui cavità si trova il midollo osseo rosso.

Il modo in cui le trabecole si sistemano nelle diverse ossa, fornisce a queste una particolare resistenza strutturale lungo le linee di forza corrispondenti alle particolari direzioni delle pressioni a cui è sottoposto ogni singolo osso. Nonostante le ossa possano sembrare prive di vita, all'interno di esse sono presenti molte cellule vitali che devono continuamente rifornirsi di sostanze nutritive ed ossigeno e liberarsi di rifiuti. L'afflusso di sangue nell'osso è molto importante ed abbondante e i vasi sanguigni della membrana che riveste l'osso (periostio) penetrano nell'osso tramite i canali di Volkman che vanno a congiungersi con i vasi dei canali di Havers. Nell'osso è presente un continuo lavoro di trasformazione e rimodellamento dell'architettura interna per rendere le ossa sempre più adeguate alle esigenze funzionali delle varie età. Grazie a processi di edificazione alcune zone vengono irrobustite ed altre alleggierite. Il processo di edificazione avviene attraverso gli osteoblasti mentre con riassorbimento lacunare intendiamo il processo di distruzione di tessuto osseo operato dagli osteoclasti, i quali erodono lentamente il tessuto osseo grazie alla secrezione di acido lattico.

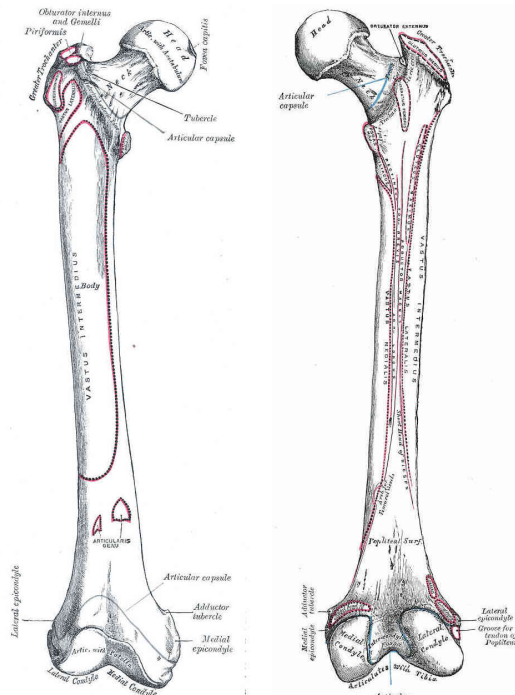


figura4.1.2
suddivisione dell'osso

4.2 RESISTENZA DELL'OSSO: TEST MECCANICI

Prima di introdurre le varie differenze e caratteristiche dei due elementi è lecito spiegare come funziona il comportamento meccanico di un materiale. Una prova meccanica viene effettuata attraverso l'utilizzo di un provino, ovvero un campione di materiale avente una forma geometrica semplice simile ad una barra, che viene sottoposto all'azione di una forza, F , progressivamente crescente. L_0 e A_0 sono rispettivamente la lunghezza iniziale e la sezione iniziale della barra. L invece è la lunghezza della barra dopo essersi sottoposta alla forza. Si definiscono sforzo e deformazione le seguenti grandezze

$$\sigma = F/A_0$$

$$\varepsilon = \Delta L/L_0$$

Dove ΔL è l'allungamento subito dalla barra.

Lo sforzo è espresso in N/MM² O Mpa mentre la deformazione è adimensionale.

Sottoponendo un provino del materiale interessato a una prova di trazione fino a portarlo a rottura, è possibile tracciare la curva di sforzo – deformazione. Il valore della deformazione al momento della rottura è indicato con simbolo ε_r .

La curva di sforzo-deformazione è rappresentata dal comportamento meccanico di un materiale e tale materiale può presentare un comportamento elastico o elasto-plastico.

Per l'osso compatto osserviamo un andamento sforzo-deformazione come riportato in figura 4.2.1.

Possiamo notare che fino a certi valori di stress l'andamento della curva è lineare ma quando ci imbattiamo nel punto di carico di snervamento (yield stress) che corrisponde a circa 120 MPa, si rileva un rapido scostamento dall'andamento lineare. Da quel punto in poi scompare il comportamento elastico del campione osseo e comincia quello plastico.

Analizzando quindi il comportamento in trazione possiamo dire che l'osso compatto, per piccole deformazioni, è elastico, per grandi deformazioni invece è plastico.

Ma nell'osso, le curve di sforzo-deformazione sono funzione della velocità di deformazione, infatti, al crescere della velocità di deformazione, l'osso si irrigidisce, aumenta quindi il suo modulo di Young.

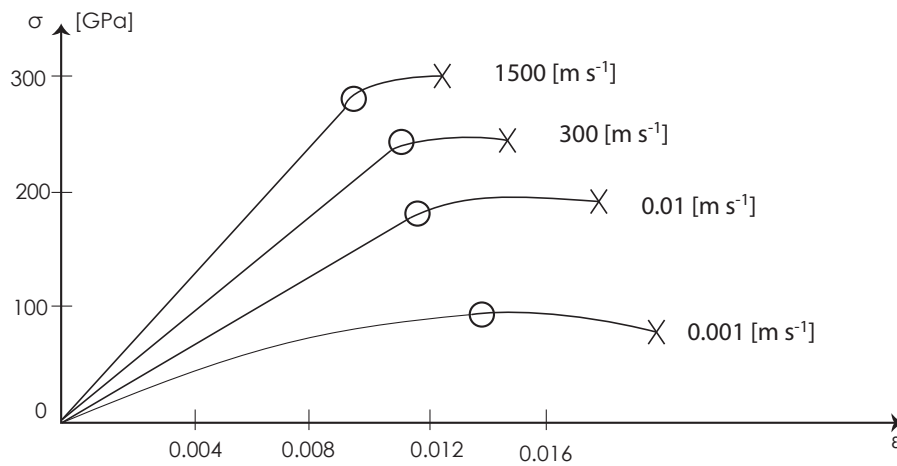
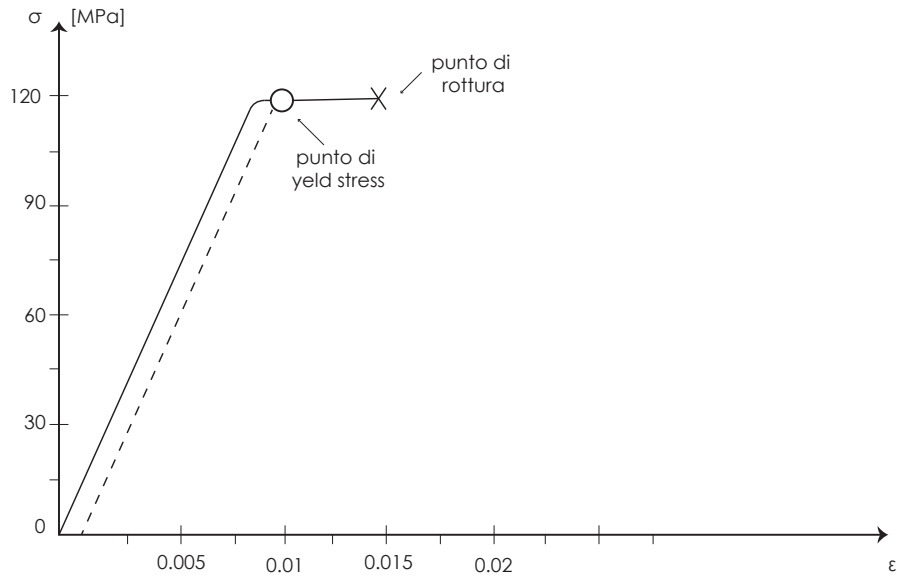


figura4.2.1
andamento della curva
sforzo-deformazione dell'osso

figura4.2.2
andamento della curva
sforzo-deformazione dell'osso
in funzione della velocità di
deformazione

4.3 L'ALLUMINIO

L'alluminio fa parte dei metalli leggeri, e la caratteristica di maggiore importanza è appunto la leggerezza la sua densità, infatti, è pari ad 1/3 di quella dell'acciaio. Ciò è molto importante in molti elementi strutturali soprattutto ad impiego aeronautico e aerospaziale.

L'alluminio puro ha caratteristiche meccaniche relativamente basse che possono essere migliorate solo mediante incrudimento (lo sforzo di rottura nelle condizioni di massimo incrudimento può raggiungere i 160 MPa).

Per quanto riguarda le proprietà elastiche l'alluminio ha un coefficiente di elasticità di 70.000 MPa. Questa rigidità relativamente bassa è spesso un vantaggio: in caso di sollecitazione d'urto, l'alluminio può assorbire più energia in maniera elastica, senza danni permanenti.

Il coefficiente di torsione dell'alluminio è 26.000 MPa e il suo coefficiente di Poisson è 0,33. Come il coefficiente di elasticità queste cifre variano poco tra le comuni leghe di alluminio trattate.

Quindi le proprietà dell'alluminio più evidenti sono l'aspetto, la facilità di fabbricazione, la buona resistenza alla corrosione, la bassa densità, l'alto rapporto resistenza-peso e l'alta tenacità alla frattura. Grazie a queste proprietà, l'alluminio è uno dei materiali più economici e strutturalmente efficaci.

Abbiamo notato che l'osso ha un comportamento prima elastico e inseguito plastico, esattamente come avviene per l'alluminio.

Questo metallo ha infatti un comportamento elasto-plastico per quanto riguarda la deformazione.

La curva di sforzo-deformazione dell'alluminio è suddivisa in due parti: nella prima parte è presente un comportamento elastico del materiale, nella seconda un successivo comportamento plastico.

Nella prima parte si ha proporzionalità tra sforzo e deformazione e, annullando lo sforzo, il provino ritorna alle dimensioni iniziali.

Quando si supera un valore di sforzo critico, detto sforzo di snervamento, se si rimuove lo sforzo applicato o se si giunge a rottura, nel provino rimane una deformazione residua permanente, detta plastica, dovuta a spostamenti non reversibili degli atomi rispetto alla loro posizione di equilibrio originaria.

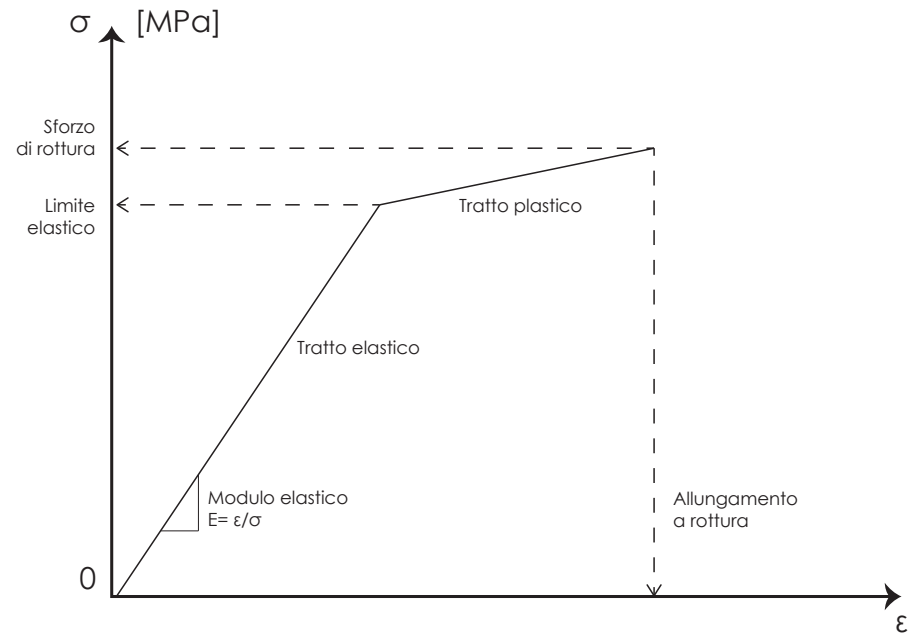


figura 4.3.1
andamento tipico della curva
sforzo-deformazione di un
materiale elasto-plastico

CAP 5

CONCLUSIONI

Viviamo in un'era affascinante dove una persona comune ha accesso a più informazioni di quante ne abbia mai avute in passato. La tecnologia si sta sviluppando più velocemente che mai ed è affascinante, spaventoso e stimolante allo stesso tempo. Provare, affinare, migliorare all'infinito finché, lentamente, comincia ad emergere qualcosa di geniale che inizialmente può sembrare una fantasia: questo è ciò che fa l'evoluzione. Questo è lo scopo principale di tale ricerca, l'analisi di una nuova scienza attraverso un perfetto esempio di design biomimetico innovativo. La bone chair si basa sul processo generativo delle ossa: man mano che le ossa crescono, le aree esposte a forti sollecitazioni sviluppano la maggior massa, per forza. Eliminare il superfluo si traduce in una struttura ottimizzata che funziona con la minor quantità di materiale. Grazie alla sua incredibile efficienza nell'uso dei materiali e all'elevato rapporto resistenza/peso dell'alluminio, questa sedia può sostenere un peso molte volte superiore a quello di una normale sedia, ma pesa molto meno e utilizza molto meno materiale. Estetica, fantasia, high-tech e scienza: sono questi gli elementi di connessione che caratterizzano il design di Joris Laarman e della sua sedia e che portano la nostra era verso una nuova era digitale, in continua evoluzione.

CAP 6

SITOGRAFIA E BIBLIOGRAFIA

<https://www.sunbell.it/arredamento/biomimetica/>

<https://www.negozimobilidesign.it/magadesign/11-tendenze/133-biomimetica-e-architettura-la-natura-domina-gli-spazi.htm>

<https://www.greenme.it/ambiente/natura/biomimetica/>

<https://redshift.autodesk.it/architettura-biomimetica/>

<https://www.ralph-dte.eu/2011/09/06/che-cose-la-biomimetica/>

https://www.treccani.it/magazine/lingua_italiana/domande_e_risposte/lessico/lessico_194.html

<https://www.powerenergia.eu/6-tecnologie-che-imitano-la-natura/>

<https://www.i-am-architect.com/post/il-crystal-palace-una-neo-natura-fatta-di-ferro-e-vetro>

<https://www.architetturaecosostenibile.it/archite>

<https://digicult.it/it/news/ethical-shape-sensitive-machines-philip-beesley-industry-4-0/>

<https://www.sothebys.com/en/buy/auction/2019/important-design/joris-laarman-bone-chair>

<https://www.christies.com/en/lot/lot-6191298>

<https://www.abitare.it/it/design/2017/12/08/joris-laarman-tecnologia-libro/>

<https://www.giardinaggiointeriore.net/biomimetica-imita-la-natura/>

<https://www.arboricoltura.info/visual-tree-assessment-claus-mattheck/>

https://issuu.com/phillipsauction/docs/ny050222_catalog

https://www.archiportale.com/news/2016/05/architettura/a-stoccarda-il-nuovo-padiglione-di-ricerca-biomimetica_51936_3.html

<https://www.weerg.com/it/it/blog/aluminum-properties-and-advantages-of-aluminum-0#:~:text=Duttile%20e%20malleabile,un%20basso%20punto%20di%20fusione.>

<https://www.thedifferentgroup.com/2016/03/04/il-velcro/>

<https://www.ignisfatuus.com/2009/10/15/furniture-joris-laarmans-bone-chair/>

["Strutture sotto sforzo" James E. Gordon, Zanichelli editore](#)

["Biomimetics. Technology and Innovation for Architecture" Giacomo Chiesa, Celid](#)

["Materiali per il design" Barbara Del Curto, Claudia Marano, MariaPia Peddeferri, Casa editrice Ambrosiana](#)

α...