



POLITECNICO DI TORINO

**LA NATURA NELL'ARCHITETTURA
APPLICAZIONE DELLA BIOMIMETICA NEL
PROCESSO PROGETTUALE**

Laureandi: Chiara D'Andrea, Ruben Fabris

Relatore: Jean Marc Christian Tulliani

Correlatore: Armando Baietto

Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea in
Architettura per il progetto sostenibile

26 febbraio 2019

Anno accademico 2018/2019

Indice

Introduzione	vii
1 Cos'è la biomimetica	1
1.1 Terminologia: definizioni e differenze	1
1.2 Storia	3
1.2.1 I primi tentativi di studio e imitazione della natura	3
1.2.2 L'evoluzionismo e l'etologia	6
1.2.3 Nasce la biomimetica come scienza	7
1.3 Perché imitare la natura	10
1.3.1 Il pensiero dell'uomo sull'ambiente	11
1.3.2 La natura come modello	14
1.3.3 Biomimesi e sostenibilità	15
1.4 I principali filoni di sviluppo della biomimesi	16
1.4.1 Forma e funzione	17
1.4.2 Elaborazione di segnali e informazioni	18
1.4.3 Nanotecnologie	18
1.4.4 Convergenza delle linee di sviluppo	19
1.5 Sviluppi futuri	20
1.5.1 La promessa biomimetica	21
2 Processi e metodi	23
2.1 Classificazione	24
2.2 Processi	30
2.2.1 Funzioni e strategie	30
2.3 Cos'è un sistema	31
2.3.1 I sistemi viventi	31
2.3.2 Visione sistemica	32
2.4 Metodo	34
2.4.1 Approcci alla biomimetica	34
2.4.2 Biomimicry Design Spiral	36
2.5 Strumenti per la progettazione	39
3 Biomimesi e architettura	43
3.1 L'evoluzione dell'architettura biomimetica	43
3.1.1 I primi progettisti moderni	43
3.1.2 La natura come modello strutturale	50
3.1.3 L'architettura come organismo	53

3.1.4	Progettazione ecologica e integrazione col paesaggio	55
3.1.5	Nuovi ecosistemi sperimentali	57
3.2	Biomimetica ed architettura oggi	61
3.2.1	Il Quadracci Pavillion del Milwaukee Art Museum	61
3.2.2	Il grattacielo Turning Torso a Malmö	61
3.2.3	Gli Honeycomb Apartments in Slovenia	62
3.2.4	Il National Stadium e l'Aquatics Center di Beijing	63
3.2.5	La fabbrica di sapone Method	64
4	Sostenibilità dell'architettura biomimetica	67
4.1	Architettura sostenibile	67
4.2	Il rapporto della biomimesi con la sostenibilità architettonica	69
4.3	I principi per un'architettura evolutiva	70
4.4	Alcuni esempi	73
4.5	Progetti futuri	78
5	Linee guida per una progettazione sostenibile	81
5.1	Approccio alla progettazione	81
5.1.1	Sintesi dei principi progettuali	82
5.2	Produrre un progetto bioispirato e sostenibile	83
5.2.1	Le analisi del contesto	84
5.2.2	Il confronto biologico	86
5.2.3	La definizione del concept	87
5.3	Esempi applicativi	89
5.3.1	Regolare il calore come il pinguino imperatore	89
5.3.2	Gestire lo spazio con la spirale di fibonacci	90
6	Analisi	93
6.1	Scelta del progetto	93
6.1.1	Tallinn Architecture Biennale 2019	94
6.1.2	TAB 2019 Vision Competition: "New Habitats, New Beauties"	94
6.2	Tallinn e il quartiere di Kalamaja	95
6.2.1	Storia della città	95
6.2.2	Il quartiere di Kalamaja	101
6.3	Analisi territoriale	103
6.3.1	Clima e demografia	103
6.3.2	Funzioni nell'area	104
6.3.3	Trasporti pubblici	106
6.3.4	Architettura	107
6.4	Analisi SWOT	109
6.4.1	Punti di forza	110
6.4.2	Punti di debolezza	110
6.4.3	Opportunità	110
6.4.4	Minacce	111

7	Progetto	117
7.1	Obiettivi	117
7.2	Livello urbanistico	118
7.2.1	Funzioni e ecosistema	118
7.2.2	Organizzazione degli spazi	119
7.2.3	Geometria delle aree	120
7.2.4	Percorsi interni	124
7.3	Livello Architettonico	128
7.3.1	La casa <i>Suur</i>	128
7.3.2	La casa <i>Väike</i>	138
7.3.3	L'edificio polifunzionale e la serra	150
7.4	Processi sostenibili	153
7.5	Schede tecniche	156
	Conclusioni	163
	Ringraziamenti	179

Introduzione

Dalle colonne a forma di piante degli antichi egizi alla macchina per volare di Leonardo da Vinci, fino alle nanotecnologie odierne e agli ecosistemi sperimentali, la natura è stata da sempre fonte di ispirazione per l'uomo, un modello estetico ma anche uno strumento essenziale per realizzare nuove tecnologie e materiali.

La vita sulla terra esiste da 3,8 miliardi di anni e dal momento in cui è iniziata ha imparato, attraverso l'evoluzione, cosa funziona e cosa è appropriato per sopravvivere all'ambiente, sviluppando strategie per fare di più e consumare di meno.

Dopo la crisi energetica progettisti, architetti e scienziati si sono resi conto che saper applicare soluzioni sostenibili è diventato prioritario per la conservazione dell'ambiente; nella ricerca della sostenibilità non ci sono modelli migliori degli organismi che si sono evoluti e hanno testato le proprie strategie per tutto questo tempo.

Per questo negli ultimi decenni si è sviluppata una scienza che si occupa dell'emulazione dei principi naturali applicati alla tecnologia umana, definita come *Biomimetica*. La ricerca biomimetica offre un ampio database di strategie di adattamento che possono essere implementate nel design architettonico in generale e nella progettazione di involucri edilizi in particolare. Il potenziamento della creatività e l'innovazione, l'ottimizzazione dell'uso di risorse negli edifici, la riduzione dell'inquinamento a vantaggio della salute e la riduzione degli effetti delle isole di calore urbane, sono solo alcuni effetti della progettazione bioispirata che forniscono una base per sviluppi rispettosi dell'ambiente.

Questo elaborato di tesi si propone di offrire una visione su come la natura abbia già risolto molte problematiche dello sviluppo tecnologico contemporaneo e su come alcuni progettisti siano stati capaci di unire queste scienze biologiche alle scienze architettoniche.

In base alle esperienze di questi ultimi anni sono state sviluppate delle linee guida con cui ogni progettista d'architettura biomimetica dovrebbe confrontarsi per redarre il proprio progetto. In un processo che potrebbe essere qui semplificato con: individuazione delle necessità e delle sfide progettuali, osservazione delle soluzioni

0 Introduzione

biologiche, interpretazione dei principi, applicazione al progetto.

In ultima analisi le linee guida descritte sono state applicate ad un caso studio reale: la progettazione di un'area urbana nel quartiere di Kalamaja a Tallinn, così da mettere in pratica e sviluppare delle soluzioni appropriate per un determinato e ben definito tipo di ambiente, rispondendo alle esigenze funzionali locali, ai vincoli storici e alla sostenibilità in tutti gli aspetti del progetto architettonico.

Capitolo 1

Cos'è la biomimetica

1.1 Terminologia: definizioni e differenze

Bionica, biomimetica, biomimesi, ingegneria bioispirata, biotecnologia e ancora nel campo architettonico bioedilizia, bioarchitettura, bioclimatica, ecc. sono tutti termini utilizzati nel presente lavoro di tesi. Sono termini simili ma con alcune differenze; prima di sviluppare ogni altro argomento è bene tener presente il significato delle seguenti definizioni.

Biotecnologia Si può intendere per biotecnologia un insieme di tecniche, procedure e approcci che sfruttano proprietà dei viventi per ottenere un beneficio per l'umanità.

Bionica (1960) Scienza che studia le funzioni sensorie e motorie degli organismi viventi, al fine di individuare soluzioni sofisticate per problemi tecnici e di riprodurle o potenziarle con dispositivi elettronici o di altro tipo. Una provvisoria definizione accettabile della bionica è quella di J. E. Steele: la bionica è la «scienza dei sistemi artificiali, il funzionamento dei quali è basato sui sistemi naturali o che presentano caratteristiche o analogie comuni ai viventi».[1]

Biomimetica (1969) Dal greco *bíos* "vita" e *mimesi* "imitazione", si riferisce ad un concetto generale di "copiare la natura" senza nessun riferimento a metodologie o standards specifici.

Biomimesi (1982) Con biomimesi si designa la disciplina, di recente formalizzazione, che studia e imita le caratteristiche degli esseri viventi come modello cui ispirarsi per il miglioramento di attività e tecnologie umane. Il concetto di biomimesi comprende sia la parte di emulazione della natura ma anche una componente etica di sviluppo sostenibile in armonia con gli ecosistemi

1 Cos'è la biomimetica

(si copia la natura per fare innovazione che sia sostenibile) ed una spinta alla riconnessione con l'uomo.

Tecnologia bioassistita Raccolta o addomesticamento di organismi per svolgere una funzione desiderata. La differenza dalla biomimesi potrebbe sembrare ovvia, tuttavia i nuovi arrivati alla biomimesi comunemente cercano di usare un organismo per "fare ciò che fa" invece di sfruttare i principi di progettazione incorporati dall'organo. Questo è l'equivalente nell'uso delle lucciole stesse per produrre luce, piuttosto che comprendere e applicare la chimica coinvolta nella bioluminescenza.[2]

Perché abbiamo così tanti termini per trarre ispirazione dalla natura? Perché non hanno un solo obiettivo. Storicamente la "bionica" è stata inventata da Jack E. Steele, un ingegnere e psichiatra della Divisione Aerospaziale medica dell'Aeronautica militare e da enfasi alla neuroanatomia. "Biomimetica" è stata coniata da Otto H. Schmitt, un ingegnere biomedico che, nelle prime fasi della sua carriera, si è concentrato sulla produzione di un dispositivo che imitava esplicitamente l'azione elettrica dei nervi. Infine, la "biomimesi" è stata concepita da Janine Benyus, scrittrice di scienze naturali con una laurea in gestione delle risorse naturali e letteratura inglese.

Quindi, se questi termini dovessero essere riesaminati sarebbe chiaro che biomimetica, biomimesi e bionica sono diversi perché questi movimenti storicamente hanno avuto obiettivi diversi: innovazione ai fini del progresso tecnologico e innovazione ai fini della sostenibilità sociale, ambientale ed economica. Qualcosa di cui essere consapevoli se si sta entrando nel campo del design biologicamente ispirato.[3]

È in questo contesto che la definizione più adeguata che questa tesi propone può essere quella definita dal biologo e docente dell'università di Brema Arnim von Gleich:

«La biomimetica è il tentativo di imparare dalla natura; si occupa dello sviluppo di innovazioni sulla base di indagini su strutture, funzioni, processi e sistemi biologici naturali, evolutivamente ottimizzati.»[4]

A capo di questa definizione c'è una composizione di tre elementi che sono essenziali per caratterizzare la biomimetica oggi: nuove possibilità tecniche per innovazioni che risolvono problemi sociali e/o soddisfano richieste; l'"apprendimento dalla natura vivente" o, più precisamente, l'apprendimento nel senso più ampio dalla "ricerca biologica".

Di grande importanza è quindi il collegamento tra nuove opzioni tecnologiche con problemi e esigenze della società.

Il problema con le definizioni esatte della biomimetica è dovuto in parte al tasso attualmente rapido di cambiamento dinamico nel campo, così come l'inclusione in corso di campi in cui approcci biomimetici comparabili, sebbene non etichettati come tali, sono perseguiti, così come la crescente espansione della biomimetica nei settori vicini della tecnologia e, soprattutto, delle nanotecnologie.

1.2 Storia

L'uomo ha sempre cercato di migliorare le proprie capacità e la natura è stata da sempre fonte di ispirazione per nuovi traguardi nella tecnologia umana. Saper volare, respirare sott'acqua o ricercare nuovi materiali ultrasensibili sono fra gli esempi più emblematici di questa ricerca.

1.2.1 I primi tentativi di studio e imitazione della natura

Nell'antichità possiamo trovare il primo esempio di ricerca biologica nell'opera aristotelica *Historia Animalium*, una raccolta di dati riguardanti 581 specie animali diverse osservate per lo più durante la sua permanenza in Asia Minore, qui si trova per la prima volta un tentativo di classificazione delle specie.[5]

Questo sforzo fu un esempio dell'antichità di voler conoscere la natura; dal punto di vista architettonico la biologia fu un importante fonte di conoscenza e ispirazione sin dall'epoca dell'antico Egitto dove si possono osservare forme fitomorfe nei templi, utilizzate non solo per ragioni estetiche ma anche strutturali.

È da Leonardo da Vinci che però abbiamo i primi tentativi che oggi potremmo definire di sperimentazione biomimetica, in particolare nei suoi studi per la macchina volante.

Leonardo dedicò molto tempo agli studi di anatomia umana e animale, dissezionò bovini, uccelli, scimmie e rane, comparando la loro struttura anatomica con quella umana; in alcune pagine Leonardo disegnò cinque profili di studio di un cavallo mostrandone la dentatura e, per comparazione, li confrontò con dei disegni di un leone ringhiante e dei denti umani.

«Ho scoperto che nella composizione del corpo umano, rispetto a quello degli animali, gli organi dei sensi sono più spenti e grossolani... Ho visto che nel leone l'olfatto è collegato ad una parte del cervello che scende dalle narici formando un ampio ricettacolo per il senso dell'ol-

1 Cos'è la biomimetica

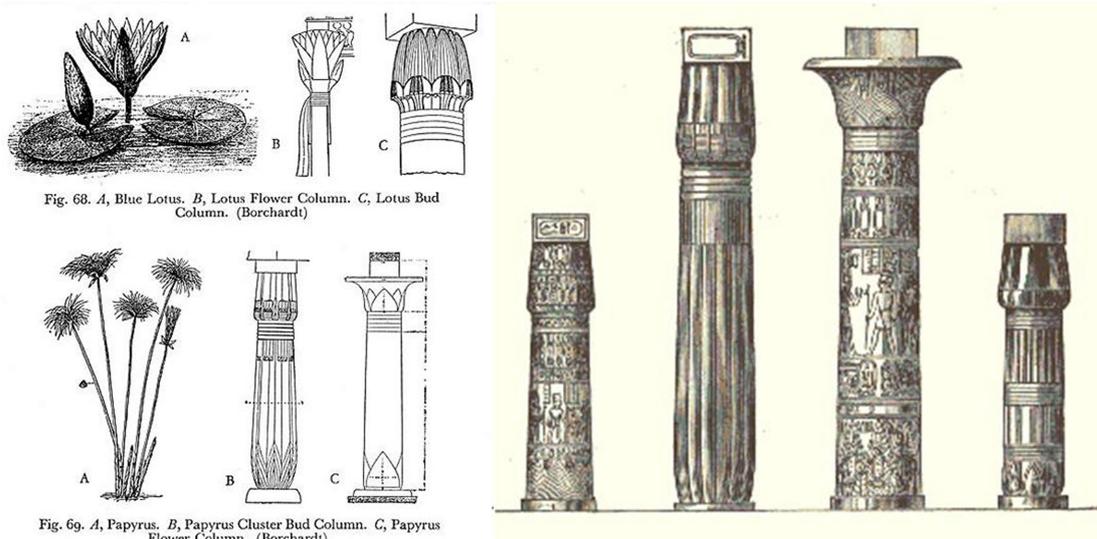


Figura 1.1: Elementi dell'architettura egizia ispirati da forme vegetali.[6]

fatto, entra in un gran numero di vescicole cartilaginee che con diversi passaggi portano appunto al cervello.» [7]

Leonardo fu un maestro della meccanica, capì i principi che governano il momento, la forza centripeta, la frizione e l'aerodinamica e applicò questi principi alle sue invenzioni. È facilmente intuibile come l'ingegno di Leonardo, unito al suo interesse per la natura ponesse al centro delle sue ricerche lo studio sul miglioramento delle tecniche umane che tanto più forti vedeva nel mondo animale, tali da essere fonte di ispirazione per le sue opere.

L'esempio più famoso è senza dubbio la macchina per volare: durante l'infanzia

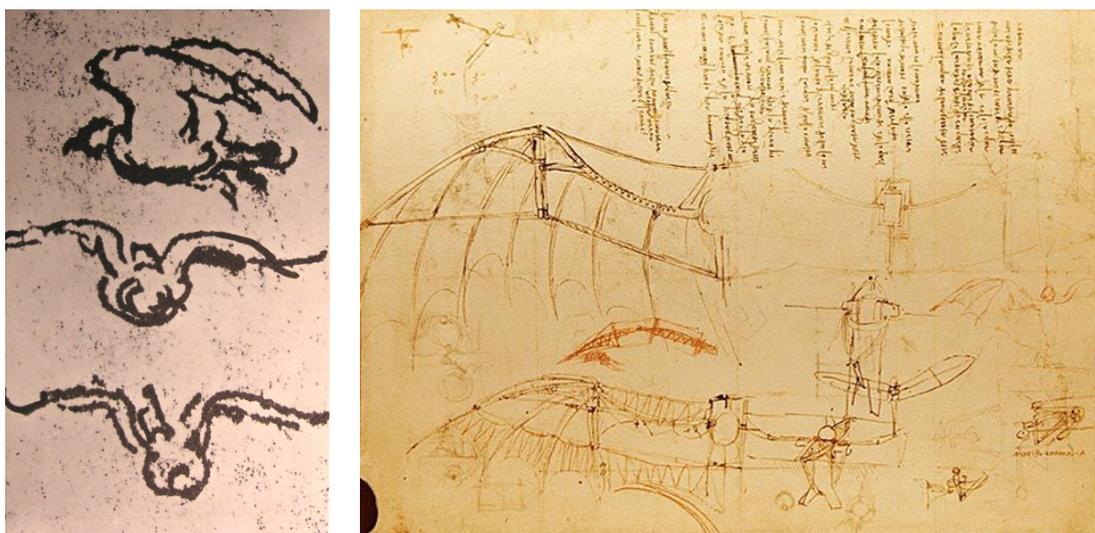


Figura 1.2: Alcuni disegni di Leonardo: a sinistra lo studio del volo di un uccello, a destra i disegni della macchina per volare.[7]

Leonardo vide un'aquila passare sopra la sua testa. Richiamando questo ricordo in uno suo scritto Leonardo lo descrisse come un'immagine profetica:

«Un oggetto offre tanta resistenza all'aria quanto l'aria ne pone all'oggetto. Puoi osservare come il battito d'ali sull'aria anche nella più alta e rarefatta atmosfera, e ancora, puoi osservare come il moto del vento sul mare gonfia le vele e guida pesanti navi. Per questa ragione un uomo con ali grandi abbastanza e correttamente realizzate potrebbe imparare a superare la resistenza dell'aria e conquistarla, superando il giogo della terra sollevandosi sopra di essa.» [7]

Il desiderio di volare è espresso in numerosi suoi studi e disegni, osservò dettagliatamente il volo degli uccelli e ridisegnò diverse tipologie di ali imitandone la struttura. Nel *Codice Atlantico* e nel *Codice sul volo degli uccelli* Leonardo disegnò e analizzò particolari anatomici di svariati vertebrati fra cui anche l'uomo. Nel 1555 Pierre Belon pubblicò il libro *Histoire de la nature des Oyseaux avec leur description et naïf portraits retirés au naturel* nel quale comparì uno dei primi esempi di confronto tra le strutture anatomiche di animali differenti. L'autore tentava di stabilire delle equivalenze tra i singoli elementi della struttura, equiparando, ad esempio, le braccia e le mani dell'uomo con quelle di altri vertebrati.[8] Galileo (1564-1642) meglio conosciuto per il suo lavoro sull'astronomia, scrisse anche *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche Intorno a Due Nuove Scienze: Meccanica e i Movimenti Locali*, che è il primo trattato sistematico sulla meccanica. In questo libro, attinge dalla natura per illustrare esempi di principi meccanici come la forza dei materiali, l'idraulica e le forze d'impatto. Un approccio simile è stato preso anche da altri pionieri come Borelli e Galvani: ai loro tempi, gli animali, le piante e il corpo umano erano i migliori esempi disponibili di macchine complesse.

In un passaggio memorabile, Galileo discute gli effetti di dimensioni e scala nei punti di forza delle travi, un problema complesso che è ancora oggetto di ricerca oggi. Si rende conto che il semplice ridimensionamento lineare non funziona perché il volume (e quindi la massa) aumenta più rapidamente delle dimensioni lineare o areale; illustra il principio in modo molto elegante confrontando le ossa di piccoli e grandi animali e ipotizza un limite di dimensioni, superate le quali le ossa di un animale non potrebbero più sostenere il proprio peso.

Quindi, anche all'inizio dello sviluppo dell'ingegneria come disciplina, vediamo la comparsa della bioingegneria come mezzo per comprendere i principi meccanici e strutturali e come fonte di ispirazione per nuove invenzioni.[9]

Nel '700, grazie ad una nuova visione antropocentrica dell'uomo nell'universo

maturata nel Rinascimento, si svilupparono nuove attenzioni sulla scienza e sulla zoologia in particolare, provocando il fiorire di nuove discipline di ricerca. Edward Tyson (1651 - 1708) e George Cuvier (1769 - 1832) possono essere considerati i fondatori della moderna anatomia comparata; rivoluzionarono la comprensione della nascita degli animali vertebrati ponendo i primi fondamenti dell'evoluzionismo darwiniano.

1.2.2 L'evoluzionismo e l'etologia

Bisogna aspettare ancora qualche secolo perché, con la nascita delle teorie sull'evoluzionismo e sull'etologia, si approfondissero nel dettaglio le tecniche di adattamento degli organismi viventi e il loro comportamento nell'ambiente.

Soltanto tra il XVII e il XVIII secolo fu possibile assistere alla strutturazione delle prime vere e proprie discussioni (seppur ancora di stampo filosofico). Ancora alla fine del Settecento la teoria predominante era quella della fissità che definiva le varie specie come entità create una volta per tutte e incapaci di modificarsi se non entro ben determinati limiti. Tali principi si ispiravano al concetto gerarchico della *scala naturae* medievale, ma con radici profonde nella Genesi biblica.

Nel 1809, il naturalista Lamarck presentò per primo una teoria evoluzionista (detta lamarckismo) secondo cui gli organismi viventi si modificherebbero gradualmente nel tempo adattandosi all'ambiente: l'uso o il non uso di determinati organi porterebbe con il tempo ad un loro potenziamento o ad un'atrofia. Questa posizione si contrapponeva alla fissità, spiegando il motivo per cui negli strati rocciosi più antichi mancano totalmente tracce (fossili) degli esseri attualmente viventi e se ne rinvengono altre appartenenti ad organismi attualmente non esistenti.

Dopo cinquant'anni dalle teorie di Lamarck, Charles Darwin formulò una nuova teoria evoluzionista; il noto naturalista, durante il suo viaggio giovanile sul brigantino Beagle, fu colpito dalla variabilità delle forme viventi che aveva avuto modo di osservare nei loro ambienti naturali intorno al mondo. Riflettendo sugli appunti di viaggio, Darwin si convinse che la "lotta per la vita" fosse uno dei motori principali dell'evoluzione intuendo il ruolo selettivo dell'ambiente sulle specie viventi. L'ambiente, infatti, non può essere la causa primaria nel processo di evoluzione in quanto tale ruolo è giocato dalle mutazioni genetiche, in gran parte casuali. L'ambiente entra in azione in un secondo momento, nella determinazione del vantaggio o svantaggio riproduttivo che quelle mutazioni danno alla specie, in poche parole, al loro migliore o peggiore adattamento.

Fu nel periodo post-darwiniano che iniziarono a svilupparsi le prime scuole di

pensiero sull'indagine scientifica e fu lo stesso Charles Darwin a dare inizio a questo processo, attraverso la pubblicazione dei suoi modelli teorici che influenzarono non soltanto tutte le scienze biologiche, ma tutti gli studi comparativi del comportamento.[10]

L'etologia, che da circa un secolo studiava già il comportamento animale, osservò le prime tecnologie assimilabili al campo biomimetico. René Antoine Ferchault de Réaumur, entomologo francese del XVIII secolo, fu il fondatore di tale scienza e nel 1710 scrisse un articolo sulla possibilità che i ragni potessero essere usati per produrre la seta. L'articolo divenne talmente noto che venne tradotto anche in cinese. Anche le sue osservazioni sulle vespe, le quali producono carta dalle fibre di legno, hanno portato ad un cambiamento nelle tecniche di fabbricazione della carta stessa.[11]

Allo stesso modo, nel 1809, l'ingegnere britannico Sir George Cayley migliorò notevolmente l'aspetto fluidodinamico degli scafi delle navi da guerra cercando di riprodurre un design quanto più vicino a quello del dorso della trota e dei delfini e, nel 1843, progettò un prototipo di "aertrasportatore" mettendo a sistema le proprie scoperte con gli studi di Leonardo.[12]

1.2.3 Nasce la biomimetica come scienza

Otto Herbert Schmitt (1913 - 1998) fu un ingegnere e biofisico americano che può essere definito come il fondatore della biomimetica come campo di studio scientifico. Otto Schmitt si laureò nel 1934 presso l'università di Washington portando una tesi sull'organizzazione molecolare delle cellule e dei tessuti, con un approfondimento sulle fibre nervose; grazie alle sue conoscenze di ingegneria elettronica realizzò uno strumento artificiale in grado di riprodurre la formazione e la propagazione degli impulsi lungo le fibre nervose. Dopo la laurea Schmitt trascorse diverse settimane a Cape Cod, lavorando nel laboratorio biologico marino Woods Hole, dove studiò in modo approfondito l'apparato nervoso dei calamari i quali presentavano degli assoni insolitamente grandi rispetto agli altri animali. In seguito alla sua permanenza a Woods Hole, si trasferì a Londra per continuare la sua ricerca sugli impulsi nervosi sotto il Professore Archibald Vian Hill, vincitore del premio Nobel e fondatore della biofisica. Fu durante questo periodo che Schmitt pubblicò un rapporto su un nuovo pezzo di circuiteria che gli avrebbe procurato un grado di fama duraturo. Otto lo chiamò originariamente "trigger termoionico". A testimonianza del profondo impatto che Otto e il suo dispositi-

vo avevano sull'elettronica, è ancora oggi definito come il "trigger di Schmitt"¹. Anche dopo la guerra Schmitt continuò le sue indagini sulla formazione e la propagazione degli impulsi nervosi. La sua naturale tendenza per l'innovazione portò qualcosa di più che a delle invenzioni; i suoi sforzi portarono alla formazione della biofisica e dell'ingegneria biomedica come campi indipendenti piuttosto che il risultato di uno studio interdisciplinare.[13] Alla fine degli anni '60 fu anche responsabile della nomina di una delle più vaste aree di studio nell'ambito dell'ingegneria biomedica che, in un documento presentato al Congresso Internazionale di Biofisica di Boston, coniò con il termine di "biomimetica".[14]

Parallelamente all'emergere del design ecologico e della sua strategia di biomimetica, un approccio più tecnologico, orientato all'applicazione delle lezioni di design della natura, si è evoluto a partire dagli anni '60, quando l'ingegnere dell'aeronautica statunitense, il maggiore Jack E. Steele (1924 - 2009) coniò il termine "bionica".

Dagli anni '70, in particolare attraverso il lavoro dello zoologo tedesco Werner Nachtigall (1934 - in vita), la bionica è diventata una disciplina di supporto sempre più influente per ingegneri e tecnologi. Secondo Nachtigall la bionica è il processo di «imparare dalla natura come fonte di ispirazione per la progettazione tecnica indipendente».[15]

La ricerca di Nachtigall si concentrava sui meccanismi di movimento nel regno animale che lo portò a sviluppare la bionica in Germania. Gran parte del suo lavoro pubblicato si concentra sulla tecnologia nei campi della biologia, della biomeccanica del volo e della bionica generale. Nachtigall ipotizzò alcuni principi che riteneva dovessero essere sottoposti alla bionica:[15]

1. integrazione invece di costruzione per aggiunte;
2. ottimizzazione del tutto, piuttosto che massimizzazione dei singoli elementi;
3. multifunzionalità anziché monofunzionalità;
4. messa a punto adattata all'ambiente;
5. risparmio energetico anziché spreco di energia;
6. uso diretto e indiretto di energia solare;
7. limitazione temporale anziché durata non necessaria;
8. riciclaggio totale evitando l'accumulo di rifiuti;
9. reti invece di linearità;
10. sviluppo attraverso un processo di tentativi ed errori.

¹Il trigger di Schmitt è un particolare tipo di comparatore di soglia, ovvero un circuito che permette di trasformare un segnale analogico in entrata, in un'uscita che varia soltanto tra due valori a seconda che l'ingresso superi o meno una certa soglia. La sua principale applicazione è la produzione di onde quadre.

Come disciplina scientifica, la bionica adotta un approccio sistemico alla realizzazione tecnica e all'applicazione dei processi di costruzione e dei principi di sviluppo osservati nei sistemi biologici. Ha contribuito alle innovazioni tecnologiche in aerodinamica e fluidodinamica, ecolocalizzazione e sonar, costruzione leggera, ventilazione, imballaggio, adesione, propulsione, pompaggio, locomozione, composizione dei materiali, ottimizzazione del volume e altri campi. Tuttavia, il rigore tecnico e la mentalità ingegneristica della bionica hanno pregi e limiti. Sfortunatamente l'attenzione si era concentrata esclusivamente sull'innovazione tecnologica scoraggiando le preoccupazioni ecologiche e la questione della sostenibilità, senza riconoscere il complesso contesto delle interazioni ecologiche e sociali che dovrebbero essere portate in sinergia per creare soluzioni e progetti sostenibili.

I primi ricercatori a offrire una lista di principi per un design ecologicamente o biologicamente informato furono i fondatori del "New Alchemy Institute" John Todd e sua moglie Nancy Jack-Todd. Durante gli anni '70 iniziarono a esplorare come l'ecologia e la biologia potessero dare soluzioni più sostenibili per soddisfare i bisogni umani fondamentali. I nove precetti inizialmente proposti, aumentati da un decimo precetto che è stato aggiunto più recentemente, sottolineano la centralità del design come espressione di intenzionalità in tutte le interazioni e relazioni umane.

1. Il mondo vivente è la matrice per tutto il design;
2. il design dovrebbe seguire, non opporsi alle leggi della natura;
3. l'equità biologica deve determinare il design;
4. il design deve riflettere la bioregionalità;
5. i progetti dovrebbero basarsi su fonti di energia rinnovabili;
6. il design dovrebbe essere sostenibile attraverso l'integrazione di sistemi viventi;
7. il design dovrebbe essere co-evolutivo con il mondo naturale;
8. costruire e progettare dovrebbe aiutare a guarire il pianeta;
9. il design deve seguire un'ecologia sacra;
10. ognuno è un designer.

Questo elenco di precetti riflette chiaramente la visione del mondo olistica e partecipativa che caratterizza il design sostenibile. Il movimento diversificato e transdisciplinare che è nato da questo approccio partecipativo ed eticamente responsabile al design ecologico è stato descritto come design naturale o come movimento naturale del design.

Dopo aver esaminato una vasta gamma di iniziative di ricerca volte a creare tecnologie, materiali, prodotti nuovi e più sostenibili basati su analisi approfondite

1 Cos'è la biomimetica

dei processi biologici ed ecologici, la scrittrice di scienze naturali Janine Benyus (1958 - in vita) ha documentato e integrato le sue scoperte nel libro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. La sua definizione dell'approccio biomimetico è riprodotta nei tre punti seguenti.

1. La natura come modello. La biomimetica è una nuova scienza che studia i modelli della natura e poi imita o prende ispirazione da questi modelli e processi per risolvere i problemi umani.
2. La natura come misura. La biomimetica usa uno standard ecologico per giudicare la "correttezza" delle nostre innovazioni. Dopo 3,8 miliardi di anni di evoluzione, la natura ha imparato: cosa funziona, cosa è appropriato e cosa è durevole.
3. La natura come mentore. La biomimetica è un nuovo modo di vedere e valorizzare la natura. Introduce un'era basata non su ciò che possiamo estrarre dal mondo naturale, ma su ciò che possiamo imparare da esso.

D'ora in poi, tutti i problemi di risoluzione, decisione e definizione delle politiche, e tutti gli aspetti del design devono considerare il loro impatto sulla salute di individui, comunità, società ed ecosistema.

Pubblicato nell'autunno del 1997, il libro di Benyus *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* ispirò i progettisti di qualsiasi tipo a imitare le migliori idee della natura per risolvere le sfide più difficili del mondo del ventunesimo secolo. *Biomimicry* divenne rapidamente un faro globale per l'innovazione sostenibile e da allora ha consolidato l'eredità di Janine come leader di pensiero più riconosciuto nel settore. Nel 1997 venne istituita *Biomimicry* la prima consulenza al mondo ispirata alla natura, e nel 2006, il *Biomimicry Institute*, che consente a chiunque di creare soluzioni ispirate alla natura per un pianeta sano.[16]

1.3 Perché imitare la natura

La nozione di biomimesi nella progettazione ci spinge più vicino agli obiettivi di integrità ecologica del pianeta di quanto sia riuscito il tradizionale movimento ambientale. La biomimesi è infatti un concetto rivoluzionario, tuttavia è ancora sottosviluppato, frammentario nei risultati e, inoltre, ambiguità critiche si nascondono in questo concetto. Fino a quando questi non verranno risolti la biomimesi rimane vulnerabile ad una mentalità antropocentrica.[17]

1.3.1 Il pensiero dell'uomo sull'ambiente

L'ambientalismo era essenzialmente un progetto di protezione o conservazione della natura, ma il concetto stesso di natura si è rivelato molto difficile. Il contesto ambientale era generalmente definito in contraddizione con il dominio esclusivamente umano della cultura: "il naturale" era in contrasto con "l'umano" o "il culturale". La natura comprendeva quelle classi di esseri viventi o sistemi che erano venuti all'esistenza indipendentemente dalle intenzioni umane, quelle che si trovano, in altre parole, al di là del regno del manufatto. L'ambientalismo cercava tradizionalmente di proteggere tali cose o sistemi.

Inteso in questo senso tradizionale, l'ambientalismo ha le sue radici sia nel movimento di conservazione della natura del XX secolo sia nel movimento di preservazione tra il XIX e il XX secolo. La conservazione della natura ha cercato di conservare "risorse naturali", come legname, minerali, suolo e acqua, per l'uso delle generazioni future. La gestione ambientale, dal punto di vista conservazionista, consisteva nel mantenere ecosistemi in stati produttivi per scopi umani. La preservazione della natura, d'altra parte, cercava di salvare paesaggi che non erano stati ancora indebitamente disturbati dall'attività umana. Da una prospettiva preservazionista, la gestione ambientale consisteva nel mantenere gli ecosistemi indisturbati nella loro condizione originale, nel ripristinare gli ecosistemi disturbati alla condizione in cui si trovavano prima dell'intervento umano. Il filone di conservazione delle risorse prevale nelle agenzie governative come quelle che si occupano di silvicoltura, conservazione del suolo, acqua, pesca e estrazione mineraria. Il filone preservazionista persiste nell'ethos dei parchi nazionali e delle riserve naturali e nella nozione di conservazione della biodiversità.

Gli ambientalisti delle risorse, conservazionisti, sono accusati di valutare la natura come esistente solo per servire l'umanità. Questi ambientalisti sono descritti come "antropocentrici", considerano l'umanità come il luogo esclusivo del significato morale. I preservazionisti sono accusati dell'errore contrario: valutano la natura al di sopra dell'umanità di fronte a paesaggi ritenuti di minor valore o "rovinati" dall'attività umana. Si dice che i preservazionisti siano "biocentrici" nel loro orientamento etico. Non negano il significato morale intrinseco agli umani come fanno gli antropocentristi verso la natura, ma dato che, al momento attuale, è la natura ad essere in pericolo, si ritiene giusto dire che i biocentristi generalmente sono dalla sua parte.

Questa scissione tra i due approcci, che ha strutturato il tradizionale progetto di ambientalismo, deriva dalla nozione di natura su cui l'ambientalismo si è basato. Il problema con questa nozione di natura risiede nel suo dualismo: la natura è

1 Cos'è la biomimetica

definita come ciò che è in contrasto con l'umanità. È questa definizione che ci pone da una parte o dall'altra della divisione.

Ciò che sembra essere necessario per evitare questo stallo è una concezione inclusiva della natura, una che accoglie sia le componenti umane che quelle non umane del più grande sistema di vita, senza far crollare la distinzione tra loro. Il manufatto deve essere visto come una potenziale espressione del naturale. La natura non sarà più intesa come ciò che è intatto da noi, ma piuttosto come qualcosa di più profondo che può almeno essere potenzialmente espresso nel nostro lavoro artistico, così come nel lavoro manuale del ragno o dell'ape.

L'umanità non dovrebbe limitarsi a diminuire il consumo, ridurre la popolazione e adottare il più possibile un approccio alla natura, come hanno sostenuto le precedenti generazioni di ambientalisti biocentrici, ma piuttosto mirare a integrare i processi socioeconomici con i processi ecologici.

La nostra cultura materiale dovrebbe essere creata secondo gli stessi principi di progettazione che modellano il tipo di entità e i sistemi naturali che sono stati selezionati nel corso dell'evoluzione, per la loro adattabilità nei confronti del loro ambiente. In questo modo le attività umane possono essere reintegrate nei sistemi naturali. L'obiettivo, ancora una volta, non è tanto quello di ridurre il nostro impatto quanto quello di rendere quell'impatto generativo per la natura.

Questa è la filosofia che sta andando sotto il nome di biomimesi o design biologico, associata a pensatori come la biologa Janine Benyus e agli economisti Amory e Hunter Lovins. Benyus definisce la biomimetica come una nuova scienza che studia i modelli della natura e poi imita o prende ispirazione da questi progetti e processi per risolvere i problemi umani. Aggiunge che la biomimesi è anche «un nuovo modo di vedere e valorizzare la natura. Introduce un'era basata non su ciò che possiamo estrarre dal mondo naturale, ma su ciò che possiamo imparare da esso». Secondo Benyus, i seguenti principi [18] possono essere identificati come i disegni di base della natura: la natura non spreca, non genera rifiuti, utilizza "quanto basta", utilizza i rifiuti e gli scarti come risorse, adatta la forma alla funzione secondo morfologie a risparmio di materiale ed energia, ottimizza e non massimizza; ha una capacità di apprendimento continuo, costruisce dal basso verso l'alto in modo modulare, è localmente armoniosa, evolve secondo un sistema di cooperazione ed interdipendenza, genera e rigenera condizioni favorevoli alla vita. Se progettassimo la nostra industria e il nostro ambiente costruito in conformità con questi principi, suggerisce Benyus, saremmo sulla buona strada per vivere entro i limiti ecologici della natura e raggiungere così il nostro obiettivo di sostenibilità.

Ora questo è un punto di svolta nel pensiero occidentale. Benyus, McDonough,

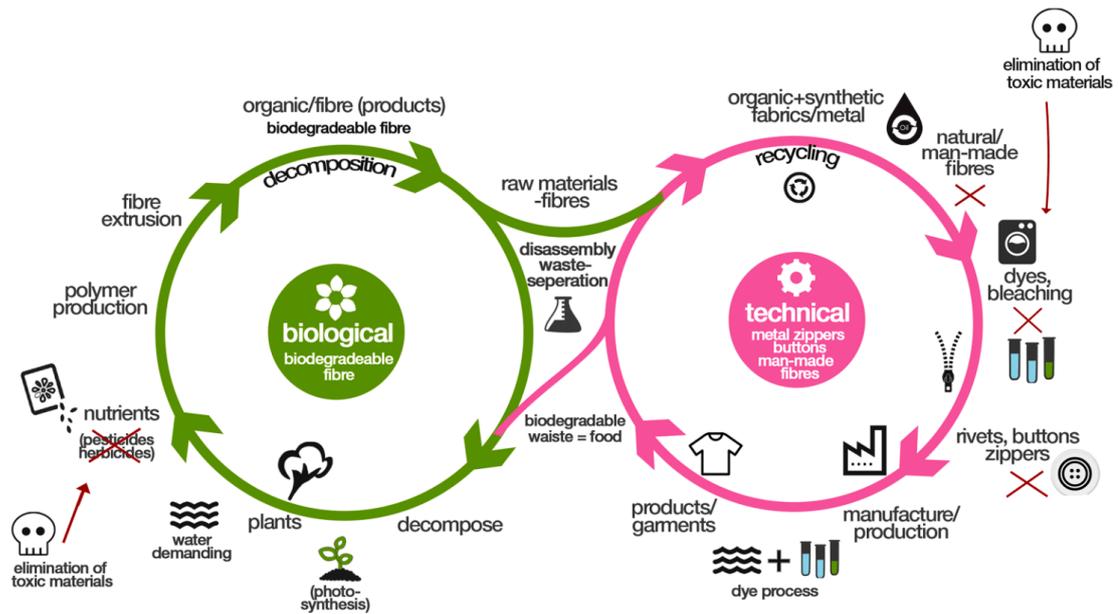


Figura 1.3: Il processo "Cradle to Cradle", tratto dal libro di McDonough, considera un approccio biomimetico alla progettazione di prodotti e sistemi, senza rifiuti rispetto ai prodotti progettati in modo tradizionale. [19]

Lovins e Lovins lo descrivono come la "prossima rivoluzione industriale". Rende un'etica bioinclusiva compatibile con l'industrialismo delle società di massa moderne. Se implementato, cambierebbe il nostro mondo.[17]

Un'attenzione alle applicazioni collega la biomimetica alle scienze ingegneristiche, sebbene in contrasto poiché le seconde sono principalmente basate sulla fisica e la chimica, mentre le basi della biomimetica derivano principalmente dalla biologia. Vista in questo modo, la biomimetica può essere definita come "biologia tecnica", concentrandosi sulle relazioni di forma-funzione, ma non esclusivamente. Viene anche applicata la neurobiologia, la biologia molecolare applicata, l'ecologia applicata e la teoria dei sistemi ecologici, la ricerca evolutiva applicata e molto altro ancora.

D'altra parte, si può a malapena chiamare biomimetica una scienza ingegneristica nel senso classico, poiché la biomimetica nella sua forma scientifica e tecnologica, ha in realtà più cose in comune con la biotecnologia e la scienza del computer. Tipico della biotecnologia, dell'ingegneria informatica e della biomimetica, è l'interdipendenza particolarmente stretta dello sviluppo tecnico e scientifico; questa forma di scienza è stata più volte indicata come "tecno-scienza".

Tuttavia, la biomimetica differisce per certi aspetti da queste "tecno-scienze", in particolare nel suo contenuto emotivo e normativo. L'aspetto emozionale della biomimetica deriva dal fascino che ha la natura sull'uomo. L'aspetto normati-

vo, nella sua promessa di soluzioni migliori, più ecologiche e appropriate, deriva dalla comprovata e collaudata ottimizzazione dei modelli biologici attraverso l'evoluzione. La cosiddetta promessa biomimetica riguarda quindi la relazione della biomimetica con i temi del rischio, dell'ecologia e della sostenibilità.[4]

1.3.2 La natura come modello

La nostra conoscenza frammentaria della tecnologia raddoppia ogni cinque anni. Altrettanto senza precedenti è l'ampiezza di ciò che possiamo osservare, nuovi strumenti ci permettono di osservare i modelli della natura dall'intercellulare all'interstellare. Possiamo sondare con gli occhi di un acaro, sentire il brivido di un neurone nel pensiero o guardare come nasce una stella. Possiamo vedere come la natura opera i suoi miracoli. Ci rendiamo conto così che tutte le nostre invenzioni sono già apparse.[20]

La natura è il più grande laboratorio che sia mai esistito. Nella sua evoluzione ha testato ogni campo della scienza e dell'ingegneria portando a invenzioni che funzionano. La natura ha "sperimentato" varie soluzioni alle sue sfide e ha migliorato le soluzioni di successo. Gli organismi creati dalla natura, che sono in grado di sopravvivere, non sono necessariamente ottimali per le loro prestazioni tecniche. In effetti, tutto ciò che devono fare è sopravvivere abbastanza a lungo da riprodursi. I sistemi viventi archiviano l'informazione evoluta e adottata codificandola nei geni della specie e passando le informazioni di generazione in generazione attraverso l'auto-replicazione. La biologia ha sperimentato i principi della fisica, chimica, meccanica, scienza dei materiali, mobilità, controllo, sensori e molti altri campi che riconosciamo come scienza e ingegneria.

L'uso della biomimesi è efficace non solo nel realizzare dispositivi e meccanismi utili, ma anche l'uso di termini ispirati biologicamente aiuta molto a fornire una descrizione facile da usare in vari concetti. Per esempio è molto chiaro cos'è un connettore maschio o femmina, e anche cosa significhi i denti di una sega. Altri termini derivati dalla biologia, con il loro uso chiaramente compreso, includono il cuore per suggerire il centro, la testa come l'inizio e il cervello per descrivere un sistema informatico. L'uso di tali termini suggerisce l'emulazione delle capacità biologiche. Nel mondo dei computer e del software molti termini biologici sono comunemente usati per descrivere aspetti della tecnologia come virus, worm, infezioni, repliche e ibernazione per nominarne solo alcuni.[21]

1.3.3 Biomimesi e sostenibilità

Per dimostrare come la biomimesi può sviluppare le migliori idee dalla natura per risolvere le sfide umane e può aiutare a informare la progettazione sostenibile, si può considerare un esperimento effettuato dal biologo Julian F. V. Vincent e l'ingegnere Darrell L. Mann. Un TRIZ, uno strumento di risoluzione dei problemi ingegneristico ampiamente utilizzato², è stato adattato per creare un "BioTRIZ". Il TRIZ originale, è una matrice in cui le intersezioni rappresentano i problemi di ingegneria. Il funzionamento prevede la ricerca di problemi simili ai propri per trovare velocemente delle soluzioni da applicare. Una volta trovata la soluzione di un problema simile, questa viene adattata al problema specifico. Per creare un

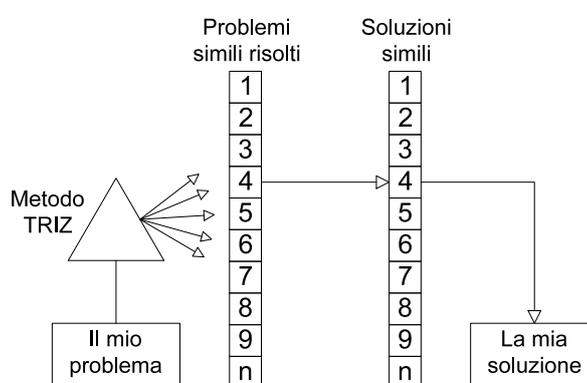


Figura 1.4: Grafico che riporta i cinque step generali da compiere per trovare la soluzione migliore ad un problema tecnico.

BioTRIZ, i ricercatori hanno analizzato 2500 problemi e risoluzioni in biologia e popolato una matrice con principi biologici anziché di progettazione tecnologica. Gli analisti hanno riscontrato solo una sovrapposizione del 12% tra le risoluzioni di trade-off raccomandate da BioTRIZ rispetto a quelle del TRIZ tradizionale, che mostra come la biologia risolve i problemi in modo diverso dalla tecnologia. Nella tecnologia, la manipolazione di energia può rappresentare fino al 70% della soluzione, mentre in biologia l'energia non rappresenta mai oltre il 5% della soluzione. Invece di manipolare l'energia, le soluzioni biologiche tendono a sfruttare il trasferimento di informazioni e la struttura.[2]

Benyus individua a proposito una domanda chiave,[22] la natura come fa le cose? Il modo in cui l'uomo fa le cose potrebbe essere riassunto in "riscaldare, colpire e trattare", con il 96% degli sprechi di energia e materiale e una produzione di solo il 4%. Si riscalda, si colpisce ad alte pressioni, e si usano gli agenti chimici.

²Il TRIZ fu sviluppato dall'inventore sovietico Genrich Altshuller nel 1946, L'acronimo deriva da *Teorija Rešenija Izobretatel'skich Zadač* traducibile in italiano come Teoria per la Soluzione Inventiva dei Problemi.

1 Cos'è la biomimetica

La natura invece di utilizzare energia aggiunge informazioni agli esseri viventi, in altre parole lavora sulla struttura. In un polline di geranio è la sua forma che gli dà la funzione di essere in grado di attraversare l'aria con tanta facilità. La



Figura 1.5: La microstruttura del polline di geranio a sinistra e lo strato interno in madreperla di una conchiglia a destra.

madreperla che si forma dall'acqua del mare è una struttura stratificata minerale polimerica, ciò la rende due volte più resistente della ceramica high tech. Ma ciò che è davvero interessante è, che a differenza delle nostre ceramiche, che vanno nelle fornaci a più di 1400°C, questo succede nell'acqua di mare, vicino al corpo dell'organismo.

Come lo fanno? Come fanno le libellule a sconfiggere i nostri migliori elicotteri? In che modo i colibrì attraversano il Golfo del Messico con meno di tre millesimi di litro di carburante? Queste conquiste individuali tuttavia sono solo la "punta di un iceberg", basta considerare l'intricato intreccio che caratterizza interi sistemi naturali come paludi o foreste. Nell'insieme, gli esseri viventi mantengono una stabilità dinamica, come i ballerini in un arabesque, che condividono continuamente risorse senza sprechi.[20]

1.4 I principali filoni di sviluppo della biomimesi

Lo sviluppo della biomimesi fino ad oggi può essere rappresentato come tre successive fasi di sviluppo in cui ogni filone successivo ha superato le restrizioni sostanziali dei suoi predecessori.

1.4.1 Forma e funzione

Il primo e il più vecchio di questi tre filoni di sviluppo si concentra sulla relazione tra le forme o strutture biologiche e le loro funzioni. Le origini si trovano già nelle osservazioni scientifiche della natura, che spesso servivano da stimolo per soluzioni tecniche. Tra le innovazioni più famose di questo filone fino ad oggi ci sono il paracadute, le ali dei velivoli, la forma fluidodinamica delle navi e la chiusura a velcro. Finché le osservazioni scientifiche della natura sono rimaste nel regno macroscopico, le implementazioni tecniche all'interno di questa dimensione sono state in grado di raggiungere risultati di successo anche con le tecniche che erano allora disponibili; questo ha funzionato particolarmente bene quando la funzione desiderata era più strettamente correlata alla sua forma e meno al materiale. Per la funzione di sollevamento di un aereo la forma dell'ala è la caratteristica decisiva, la sua realizzazione tecnica in un materiale non biologico non la cambia. Parte del successo della biomimetica nell'area della meccanica è dovuta al fatto che l'approccio biomimetico era in grado di compensare i limiti della fisica sperimentale e matematica. Né la matematica analitica né i più recenti modelli numerici erano in grado di fare calcoli o previsioni abbastanza precise da essere in grado di permettere delle ottimizzazioni alla lavagna. Alla fine è stato necessario effettuare un processo empirico di ottimizzazione e in tali prove l'evoluzione biologica ha un enorme vantaggio.

Man mano che la ricerca si sposta più in profondità, nel rapporto tra struttura e forma, dal macroscopico al microscopico e nel nano-regno, diventano più difficili i "problemi di produzione". Sono tra le restrizioni più significative oggi in materia di innovazione. Se oggi prendiamo sul mercato prodotti che cercano di riprodurre la superficie della foglia di loto e di esaminarli da vicino con un microscopio, è chiaro che la superficie realizzata è ancora lontana da quella naturale.

Per fabbricare tali materiali o prodotti è inevitabile un cambiamento fondamentale nel nostro metodo di produzione. Gli attuali metodi di elaborazione dei materiali consistono o nell'incidere una forma da un dato blocco di materiale oppure un materiale viene versato in uno stampo o forgiato per la formatura.

La soluzione per la produzione di materiali biomimetici può essere un processo di auto-organizzazione, che significa apprendere non solo dalla forma biologica, ma anche dal processo della loro formazione. Se ciò dovesse riuscire, aprirebbe la porta ad ulteriori proprietà desiderabili di tali materiali "intelligenti", ad esempio la capacità di auto-guarigione e la capacità di adattarsi alle diverse esigenze.

1.4.2 Elaborazione di segnali e informazioni

Questa è la linea di sviluppo che viene comunemente chiamata "bionica". In contrapposizione con il primo filone funzionale-morfologico, con il suo sviluppo dalla biologia sistematica (zoologia e botanica) all'ecologia e in seguito alla biologia e biomimetica tecnica, questo secondo filone rappresenta una logica di sviluppo diversa, ma non meno biomimetica.

Gli approcci fondamentali dei modelli di biocibernetica, sensoriofisologia e neurofisologia, sono stati inizialmente sviluppati in aree tecniche lontane dalla biologia, come nell'ingegneria elettronica, in molte aree della tecnologia dei sensori, della robotica e dell'elaborazione delle informazioni, fino all'intelligenza artificiale (AI). Negli anni successivi all'euforia iniziale, l'area dell'*artificial intelligence* è diventata notevolmente più silenziosa. Così sembrerebbe che in questo secondo filone di sviluppo biomimetico sia ancora una volta cominciato uno studio parallelo, nuovi software e reti di neuroni si aggiungono tra le soluzioni, basate questa volta non solo sull'elettronica ma anche su modelli naturali. Con l'aiuto di questi approcci biomimetici, alcune delle limitazioni che si sono accumulate nelle aree di elaborazione dei segnali e dell'informazione e della robotica sono state superate. Questo secondo filone biocibernetico sembra assorbire l'eredità dell'intelligenza artificiale e aumentare la velocità attraverso la fusione di robotica, tecnologia dei sensori e protesi.

1.4.3 Nanotecnologie

Il terzo e più recente filone di sviluppo della biomimesi si trova a livello molecolare e "nano". La ricerca oggi sta lavorando per esempio sulla seta di ragno, la biomineralizzazione, superfici funzionalizzate, cristallizzazione controllata da modelli, neurobiomimesi, nanobiomimesi, eccetera.

La nanobiomimetica si concentra sui processi di auto-organizzazione molecolare e sullo sviluppo di molecole, cellule e tessuti, compresa la loro riconfigurazione e auto-guarigione. Stanno emergendo alcuni approcci molto promettenti, in particolare alla "produzione di materiali strutturati gerarchicamente". I principi dell'auto-organizzazione molecolare, per esempio la cristallizzazione controllata, renderanno possibili approcci tecnici alla produzione di trame superficiali come quelle basate sul modello a foglia di loto o sulla pelle di squalo. Possono anche portare a metodi per la produzione di materiali anisotropici strutturati gerarchicamente sulla base del modello di ossa, denti e steli di piante. In una prospettiva ulteriore sullo sviluppo, possiamo aspettarci che i "materiali intelligenti" possano

reagire a carichi differenti e, se necessario, persino ripararsi da soli. Attualmente è probabile che si creino forti dinamiche tra i tre filoni, sia per quanto riguarda la ricerca stessa, sia per le possibilità di attuazione.

Per ora, però, i grandi successi innovativi in questo filone nanobiomimetico sono ancora in fase di studio. Ma le prospettive sono piuttosto interessanti e molto promettenti.

Particolarmente diffuso in questo terzo filone, come anche in quello di sviluppo biocibernetico, è la ricerca e lo sviluppo di principi di auto-organizzazione molecolare (per esempio monostrati autoassemblanti o SAM, micelle, membrane biologiche artificiali, superfici funzionalizzate, biomineralizzazione controllata da modelli, ecc.), si basano chiaramente su modelli naturali e possono quindi essere inclusi nella biomimetica. Nella robotica, etichette che riportano la dicitura "bioispirate" sono usate frequentemente, ma in questo terzo filone un vocabolario paragonabile viene usato raramente, i ricercatori potrebbero ricorrere al termine "biomimetico", rispetto all'uso del termine "bionico" del secondo filone.

1.4.4 Convergenza delle linee di sviluppo

Esiste una tendenza alla convergenza tra i tre filoni di sviluppo biomimetico. In particolare, lo sviluppo di forma e funzione e la nanobiomimetica sembrano fondersi. In molti casi, è solo ora con le possibilità tecniche offerte dal terzo filone che diventa possibile una vasta realizzazione e implementazione tecnica dei risultati derivati dalla micro e nanodimensione con la morfologia funzionale. Il seguente breve esempio dell'effetto del loto lo chiarirà. Per produrre una superficie nanostrutturata basata sulla foglia di loto, non solo è necessario risolvere i problemi di produzione tecnica della superficie strutturata gerarchicamente, ma anche affrontare i problemi con il mantenimento di questa struttura per tutta la durata di un prodotto.

Solo quando gli scienziati saranno in grado di avvicinarsi al modello biologico

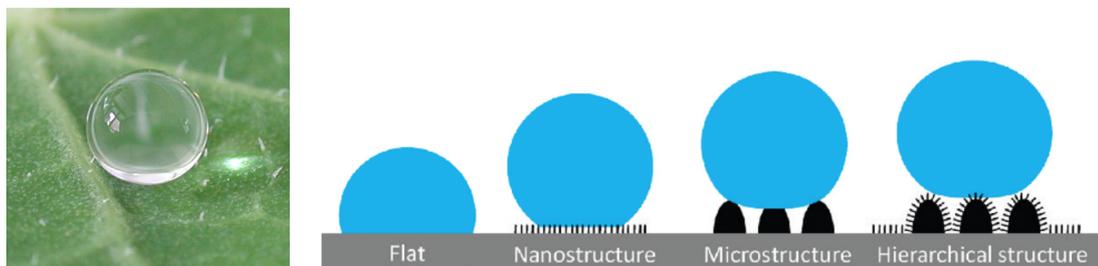


Figura 1.6: A sinistra una goccia d'acqua sulla superficie di una foglia di loto, a destra uno schema di bagnatura delle quattro diverse superfici.[23]

e alle sue capacità di crescita e di autoriparazione saranno in grado di risolvere adeguatamente questi problemi.

Quindi sembrerebbe che nella comunità biomimetica la caratteristica della crescita autonoma di strutture complesse si evolverà ulteriormente in un principio guida o un modello per lo sviluppo di una biomimesi nel futuro. Infine, anche la biomimetica potrebbe non essere in grado di evitare l'attuale chiara tendenza verso una continua fusione delle linee un tempo separate di sviluppo scientifico e tecnologico. Questo è attualmente un argomento di discussione di spicco nell'ambito della rubrica *Tecnologie convergenti* di Roco Bainbridge e Nordmann. È molto probabile che la biomimetica, come la nanotecnologia, svolgerà un ruolo essenziale nel corso di questo processo di consolidamento. I candidati più importanti che sono stati proposti per la convergenza insieme alla nanotecnologia sono le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, le scienze cognitive, la robotica, la bioingegneria e l'ingegneria genetica. In tutte queste aree, i concetti di auto-organizzazione, adattabilità, auto-guarigione e auto-ottimizzazione che si ritrovano nella biomimetica, giocano un ruolo importante.

1.5 Sviluppi futuri

L'alto potenziale della biomimetica nella scienza e nella tecnologia è una buona ragione per intensificare la ricerca. L'immagine pubblica della biomimetica è positiva, e se punta sempre più a fornire soluzioni sostenibili, questa immagine potrebbe non cambiare. Come in qualsiasi tecnologia, anche la biomimesi può essere utilizzata in modi pericolosi. Ora che iniziamo a capire il linguaggio e i concetti della vita stessa, un'attenta selezione tra ciò che è possibile, ma dannoso, e ciò che è possibile e utile deve essere fatto. I cyborg, i dispositivi della biologia sintetica, i sistemi auto-replicanti bioispirati e simili, non passano attraverso milioni di anni di selezione naturale, e quindi potrebbero mostrare esiti imprevedibili. Le persone dovranno stabilire codici etici di condotta per l'utilizzo di nuove tecnologie, specialmente al di fuori dello spazio protetto del laboratorio. In alcuni casi potrebbe essere vantaggioso non seguire alcuni percorsi.[24] La biomimesi non è un obiettivo ma un mezzo, il fine ultimo deve essere trovato al di fuori di essa. I biomimetici sono pensatori intrinsecamente interdisciplinari. È necessario creare un linguaggio comune per biologi e ingegneri, in cui le descrizioni a diversi livelli di dettaglio diventino più compatibili.

Nei prossimi decenni, i ricercatori e gli sviluppatori che pensano regolarmente

oltre i confini, devono implementare con successo le conoscenze per risolvere le principali sfide del loro tempo. Dati i numerosi esempi in cui possiamo imparare dalla natura vivente e il tempo necessario per applicare tali elementi in ingegneria, è molto probabile che la biomimetica continui a esistere come disciplina scientifica nel prossimo futuro.

1.5.1 La promessa biomimetica

Inizialmente si può affermare che la biomimesi affascina, in un modo diverso e più forte che altre aree di ricerca e sviluppo. Le soluzioni biomimetiche godono di una enorme risonanza positiva con il pubblico. Con grande probabilità il fascino largamente esercitato dalla natura gioca un ruolo importante, come anche l'estetica e l'eleganza associate alle sue molte manifestazioni e modi di azione, in cui "tutto è così perfettamente interconnesso". La biomimetica promette, più o meno esplicitamente, di fornire soluzioni di qualità eccezionale. L'eccezionale qualità delle soluzioni si prevede che si manifesti in tre aspetti: 1. in un basso grado di rischio, 2. in una maggiore possibilità di appropriazione ecologica e quindi un contributo alla sostenibilità e 3. in un'ingegnosità in precedenza irraggiungibile, giustificata con un processo di ottimizzazione fondamentalmente multidimensionale. Si presume che le soluzioni che si sono dimostrate nel processo competitivo dell'evoluzione debbano possedere le rispettive qualità per il successo. Anche così però la validità di questa promessa deve essere criticamente messa in discussione. Ma prima, diamo un'occhiata alle ragioni di una possibile legittimità della promessa biomimetica. I seguenti principi possono essere formulati come fattori per il successo nell'evoluzione biologica e come linee guida per una tecnologia più sostenibile.[4]

- Opportunismo di energia solare: i processi naturali sono essenzialmente basati sull'uso dell'energia solare.
- Opportunismo delle materie prime: l'evoluzione biologica degli organismi si basa su relativamente pochi elementi, la struttura è fornita principalmente da C, O, H, N, P, Ca, S e Si. Gli organismi usano principalmente quelle sostanze e fonti di energia che sono direttamente disponibili per loro. Questo da un lato limita le loro possibilità, ma dall'altro permette di attingere alle massicce risorse di energia e ai campi bio-geochimici della natura.
- Efficienza delle risorse e ingegneria del ciclo di vita: in quelle aree in cui le risorse naturali sono tra i fattori limitanti in un ecosistema, l'utilizzo efficiente di tali risorse scarse è un vantaggio evolutivo. Naturalmente, un anello completamente chiuso è un ideale teorico; nemmeno in natura ci sono

1 Cos'è la biomimetica

anelli chiusi perfettamente, ma quando nuove sostanze vengono sviluppate dagli organismi, di regola, i "rifiuti" organici vengono riutilizzati da altri organismi, fino a quando rimangono solo humus o componenti minerali.

- Diversità, ridondanza, modularità e multifunzionalità: la diversità delle risorse e delle soluzioni gioca un ruolo importante di produzione e stabilizzazione nell'evoluzione. Moduli come organi, cellule e molecole rendono possibile la diversità sulla base di un insieme limitato di strutture.
- Ottimizzazione multicriterio (multidimensionale) in ambienti dinamici: l'ottimizzazione multicriterio è forse uno dei risultati più interessanti dei processi evolutivi. I nostri stessi artefatti tecnici sono troppo spesso ottimizzati concentrandosi solo su alcune funzioni target e dipendono inoltre da vincoli ben definiti. Gli organismi al contrario sono in grado di funzionare anche in ambienti diversificati e turbolenti.
- Adattabilità, resilienza e auto-guarigione: disturbi e aggressioni sono normali in natura. I sistemi naturali non possono limitarsi alla sola difesa o fuga. Devono imparare a gestire i disordini e le aggressioni senza essere completamente sbilanciati. I termini operativi qui sono la costruzione e il rafforzamento della difesa o dei sistemi immunitari, come i meccanismi di auto-guarigione, resilienza e robustezza.
- Auto-organizzazione: la capacità di costruire strutture complesse è tra le capacità più interessanti di organismi e popolazioni e di interi processi evolutivi. Le opportunità per un'implementazione tecnologica biomimetica di questo principio potrebbero già iniziare nell'area inorganica con i SAMs (self-assembled monolayers, monostrati autoassemblati) e la cristallizzazione controllata. In una prospettiva a lungo termine, questa diventa una questione di "lasciare crescere le cose". Tali forme di controllo non diretto, ma solo "controllo contestuale", fanno un uso molto efficiente dell'energia, monitoraggio pratico e controllo delle prestazioni.

In realtà, le soluzioni biomimetiche non possono e non devono necessariamente soddisfare tutti questi aspetti contemporaneamente, ma quanto più essi sono soddisfatti, tanto maggiore è la legittimità della promessa biomimetica. La validità di una soluzione, tuttavia, può essere raggiunta solo quando i rispettivi principi sono implementati nella tecnologia corrispondente. Successivamente, le rispettive condizioni d'uso e i contesti applicativi potrebbero quindi portare a un giudizio molto diverso.[4]

Capitolo 2

Processi e metodi

La biomimesi è un campo in rapida crescita, con una crescente domanda di formazione sulla teoria e sulla pratica, un aumento di brevetti, articoli accademici e assegni di ricerca. La divulgazione della biomimetica è interessante soprattutto per il suo enorme potenziale di ispirare progetti eco-compatibili, in questo momento critico della storia umana in cui si è iniziato a considerare il nostro pianeta e le sue risorse come qualcosa di limitato e prezioso.[2] Nella costante ricerca di metodi e soluzioni per porre rimedio a questa situazione ci si è rivolti al mondo naturale per cercare di ottenere delle risposte per quanto riguarda problemi come l'efficienza energetica e gli scarti di produzione. Secondo Janine Benyus, la biomimesi è una nuova disciplina che cerca di imparare dal mondo naturale e ne ascolta i consigli. Non possiamo fare a meno di ricordare che gli organismi e gli ecosistemi sanno come vivere su questo pianeta da milioni di anni. La biomimesi forza una nuova serie di domande che possono essere applicate al processo di progettazione. La più significativa è sicuramente: "In che modo lo fa la natura?". Questo approccio è profondamente influenzato dalla biologia, il pensiero progettuale si allontana da un modello antropocentrico e considera i cicli di vita del prodotto e i limiti del sistema terrestre. I biologi sono quindi attori chiave nel processo di progettazione della biomimetica che si basa molto sulla conoscenza biologica; tuttavia, la figura del progettista rimane centrale in quanto il suo ruolo è quello di astrarre strategie biologiche in principi progettuali più largamente applicabili e di implementarli per risolvere le sfide umane. L'obiettivo non è quindi quello di creare una replica esatta di una forma, un processo o un ecosistema naturale, quanto quello di estrapolare i principi di progettazione dalla biologia e usare quei principi come stimolo per l'ideazione.[2]

2.1 Classificazione

Gli esseri umani utilizzano attualmente energia e risorse in modo insostenibile. Attraverso la biomimetica, i progettisti possono guidare lo sviluppo di tecnologie più sostenibili poiché le soluzioni biologiche sono state testate nel tempo da miliardi di anni di evoluzione e incarnano strategie di successo per prosperare sulla terra. Non bisogna pensare però che l'approccio biomimetico sia l'utilizzo di esseri viventi, come per esempio accade nel campo dell'architettura sostenibile con l'uso di vegetazione.

Una soluzione biomimetica dovrebbe chiaramente dimostrare un trasferimento di principi funzionali o organizzativi dalla biologia. Dopotutto, il suo scopo è quello di sfruttare la conoscenza incarnata dai 3,8 miliardi di anni di ricerca e sviluppo della natura, e realizzare questo obiettivo non è possibile se l'analogia funzionale tra il modello naturale e il progetto finale si perde nella traduzione.

Per facilitare il processo quindi è bene suddividere la biomimetica in tre livelli, i quali definiscono un diverso approfondimento della natura.[2]

I livello: Forma

È il livello più superficiale che studia l'aspetto formale degli organismi, le forme della natura. Definito da Janine Benyus *Shallow biomimicry*. Da non confondere con il biomorfismo che trova le sue ragioni anche in valenze simboliche o estetiche, piuttosto che funzionali o ecologiche. Il biomorfismo infatti è caratterizzato da una libera ispirazione alla natura, come l'emulazione di pattern, di cromatismi e di andamenti morfologici. La biomimetica deve invece rimanere fedele agli obiettivi di sostenibilità e ottimizzazione dei cicli.[12]

Per capire meglio il concetto di biomimetica superficiale si può analizzare il progetto *Vertebrae Staircase* dell'architetto Andrew McConnell. Ispirato alla spina dorsale di una balena, precisamente quella della balenottera azzurra, la *Vertebrae Staircase*, non è semplicemente una mimica della forma organica, ma un'esplorazione nella struttura di sagomatura. Lo studio delle vertebre della zona lombare, il modo in cui si incastrano le une nelle altre, ha portato alla progettazione del singolo componente, o vertebra, che accoppiandosi tra loro creano una colonna vertebrale unificata che va dal pavimento al solaio, creando una struttura rigida e autosufficiente. La superficie esterna è composta da più strati di un materiale in fibra composita resistente, mentre all'interno sono presenti gli elementi strutturali chiave. Le vertebre sono accoppiate usando raccordi in acciaio e bloccate insieme con perni sempre in acciaio. Quando tutte le connessioni sono state realizzate, le

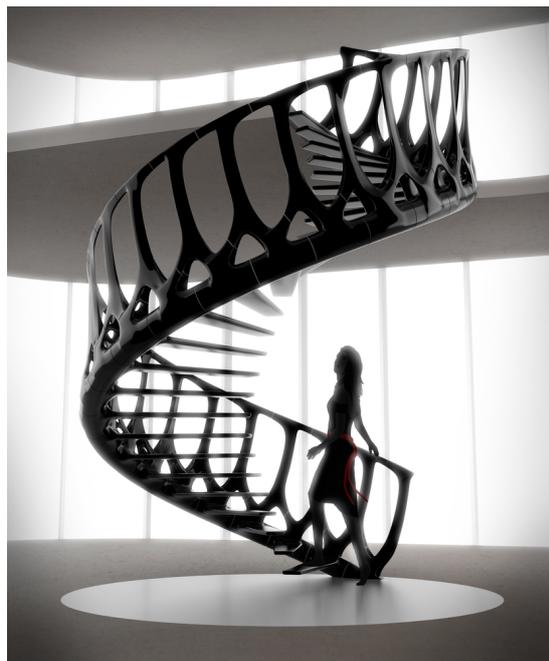


Figura 2.1: A sinistra, il singolo elemento che compone la scala ispirata alla vertebra di balena di Andrew McConnel.[25]

spirali strutturali continue passano attraverso ogni lato del corrimano e accanto a ogni gradino. Oltre alle piastre in acciaio, non ci sono supporti nascosti in quanto la *Vertebrae Staircase* è progettata per agire come un elemento strutturale, sopportando i carichi dei suoi utenti e trasferendo queste forze al solaio, consentendo anche alla scala di resistere con successo alle torsioni e alle forze rotazionali risultanti dalla spirale e dai gradini a sbalzo.[25]

II livello: Processo

Emula il funzionamento degli organismi e la simulazione dei processi. Definito come *Behavioural biomimicry*, concerne uno studio più approfondito dei principi naturali rispetto al solo livello formale. L'applicazione di questo livello di emulazione può riguardare diversi aspetti degli organismi biologici: singole parti dell'organismo, funzioni di adattabilità, processi di formazione e sviluppo.

L'esempio più famoso è sicuramente l'*Eastgate Centre* un centro commerciale e un edificio per uffici progettato dall'architetto Mick Pearce ad Harare nello Zimbabwe. La posizione geografica e soprattutto le condizioni climatiche non sono delle più favorevoli per la costruzione di un edificio così grande. La sfida consisteva infatti nel creare un sistema di ventilazione autoregolante che mantenesse l'edificio a temperature che fossero confortevoli per lavoratori e residenti. Anziché utilizzare un tradizionale sistema di climatizzazione a base di combustibili fossili per regolare la temperatura all'interno dell'edificio, l'*Eastgate Centre* è stato pro-

gettato per sfruttare i meccanismi di controllo climatico passivi, sicuramente più efficienti dal punto di vista energetico. L'architetto è stato ispirato da modelli di regolazione della temperatura interna dei termitai. Le termiti nello Zimbabwe costruiscono enormi tumuli all'interno dei quali coltivano un fungo che costituisce la loro principale fonte di cibo. Il fungo deve essere mantenuto esattamente a 30°C, mentre le temperature esterne vanno da 0°C di notte a 40°C durante il giorno. Le termiti raggiungono questa straordinaria impresa aprendo e chiudendo costantemente una serie di bocchette di riscaldamento e raffreddamento lungo tutto il corso del giorno. Con un sistema di correnti convettive attentamente regolate, l'aria viene aspirata nella parte inferiore del tumulo, giù in recinti con pareti fangose, e attraverso un canale fino al culmine del termitaio. Le termiti industrie scavano costantemente nuove aperture e tappano quelle vecchie per regolare la temperatura. L'Eastgate Centre, ha un sistema di ventilazione che funziona in modo simile. È stato costruito utilizzando materiali con un'elevata capacità termica, che consentono di immagazzinare e rilasciare il calore ottenuto dall'ambiente circostante. Questo processo è facilitato dai ventilatori che operano su un ciclo temporizzato, migliorando lo stoccaggio di calore durante il giorno quando fa più caldo, rilasciando il calore durante la notte quando la temperatura diminuisce drasticamente. Il calore interno generato dagli occupanti e dagli apparecchi dell'edificio contribuisce inoltre a guidare il flusso d'aria all'interno degli ampi spazi dell'edificio, salendo dagli uffici e dai negozi situati ai piani inferiori verso i camini aperti sul tetto. L'Eastgate Center utilizza meno del 10% dell'energia di un edificio convenzionale delle sue dimensioni. Il risparmio per i proprietari dell'Eastgate Centre è stato di 3,5 milioni di dollari solo grazie a questo sistema di condizionamento. Inoltre questi risparmi si riversano anche sugli inquilini le cui spese sono inferiori del 20% rispetto a quelle degli occupanti degli edifici circostanti.[26][27]

III livello: Ecosistema

L'ultimo livello, è il più profondo, tanto che viene definito *Deep biomimicry*, emula il funzionamento di intere unità ecologiche. Si tratta di un processo complesso che richiede un'analisi accurata e che in campo architettonico spesso sposta l'attenzione dall'aspetto spaziale a quello funzionale, a tal punto da sacrificare aspetti basilari della disciplina architettonica, come gli aspetti morfologici, contestuali o allegorici. Per questo motivo, viene applicato in casi specifici che hanno a che vedere per esempio con processi produttivi o situazioni ambientali estreme. Uno degli esempi più conosciuti è *Biosphere 2.0*. Il suo ideatore John Allen ha unito il pensiero di due personaggi altrettanto importanti che lo hanno precedu-

2.1 Classificazione

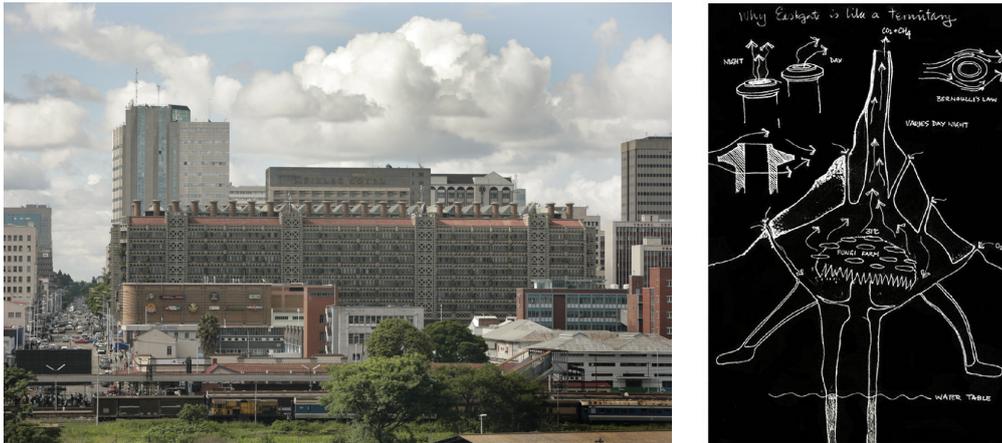


Figura 2.2: A sinistra, l'Eastgate Centre ad Harare, Zimbabwe. A destra schema di un termitaio con canali di areazione messi a confronto con i camini preseti sul tetto dell' Eastgate Centre[27]

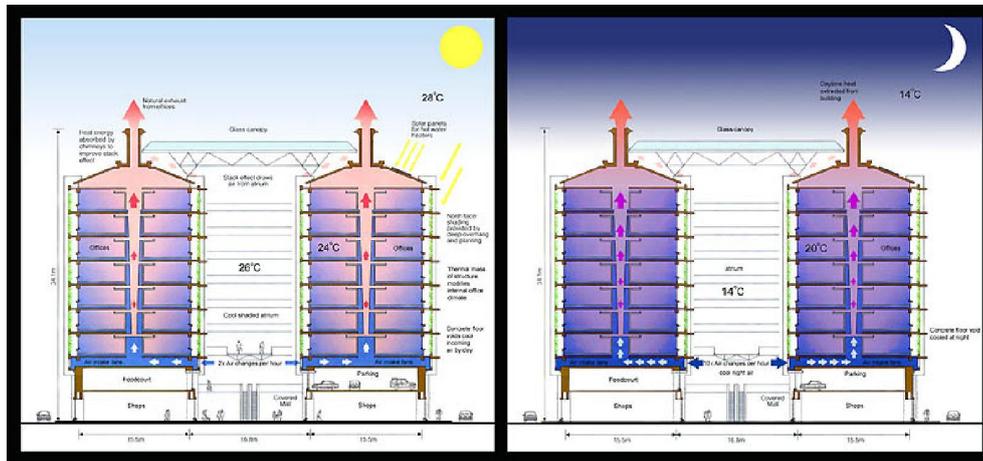


Figura 2.3: Schema di funzionamento del sistema di ventilazione tra giorno e notte .[27]

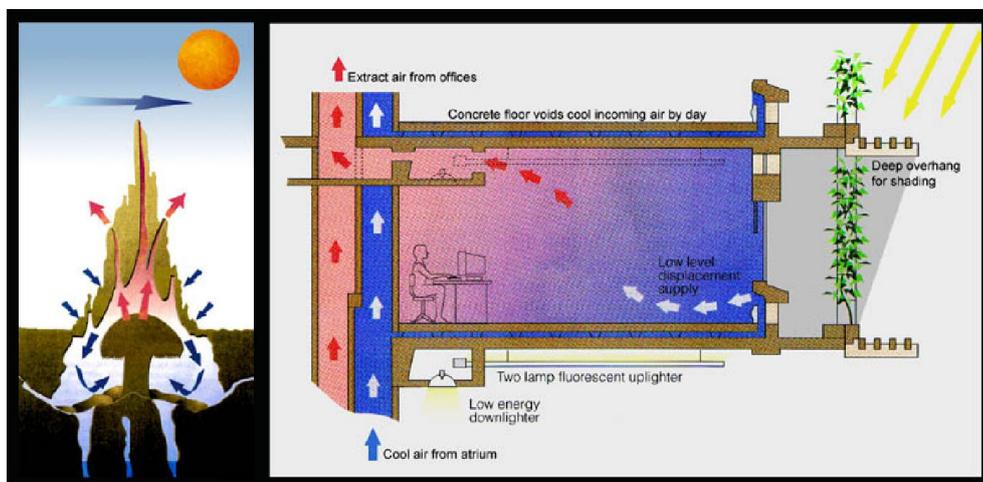


Figura 2.4: Confronto tra termitaio e un'unità presente all'interno dell'Eastgate Centre.[27]

2 Processi e metodi

to: Vladimir Vernadsky e Buckminster Fuller. Il primo è stato un mineralogista e geochimico russo che con i suoi studi ha sviluppato il concetto di Biosfera precedentemente concepito da Eduard Suess nel 1885, il secondo è conosciuto principalmente per le sue cupole geodetiche. Il lavoro di Allen è stato quello di fondere sinergicamente il pensiero di questi due studiosi, mettendo in pratica il concetto di biosfera di Vernadsky attraverso la tecnica di Fuller. Biosphere 2.0 nasce nel 1992 in Arizona su un'area di circa 12700 m² e comprende sette biomi concepiti in termini ecologici, che funzionano cioè secondo cicli chiusi, minimizzando la quantità di rifiuti prodotti ed il consumo energetico e massimizzando la rigenerazione delle risorse. Al suo interno furono inseriti anche spazi abitativi, lavorativi e per la socialità, in quanto l'esperimento (il cui funzionamento e i risultati sono descritti nel paragrafo 3.1.5) prevedeva la permanenza per due anni di 8 scienziati a dimostrazione dell'effettiva vivibilità e sostenibilità del progetto.[12]



Figura 2.5: Vista aerea di Biosphere 2.0 in Arizona.[12]



Figura 2.6: zona della savana.[12]



Figura 2.7: zona del deserto[12]

2.2 Processi

La biomimetica offre una prospettiva unica che aiuta gli innovatori nel loro lavoro di progettazione, attraverso processi ispirati alla natura in grado di dare vita a soluzioni sostenibili.

2.2.1 Funzioni e strategie

Per applicare la biomimetica è importante capire prima alcuni concetti fondamentali, come quello di funzione e quello di strategia.

Una funzione per definizione è un'attività svolta in vista di un determinato fine [10], è lo scopo di qualcosa; in campo biomimetico è l'insieme di tutti gli adattamenti o i comportamenti di un organismo che gli permettono di sopravvivere ed è ciò che distingue il processo biomimetico dal biomorfismo già citato in precedenza (paragrafo 2.1). Invece di guardare semplicemente alle qualità visive ed estetiche del mondo biologico, la biomimetica si concentra sull'apprendimento, sul modo in cui gli esseri viventi incontrano funzioni specifiche.

Ma la funzione può essere intesa anche come qualcosa di cui si ha bisogno per risolvere un determinato problema. Gli organismi per esempio soddisfano i propri bisogni funzionali attraverso strategie biologiche. Una strategia è la tecnica per individuare gli obiettivi generali di qualsiasi settore di attività, nonché i modi e i mezzi più opportuni per raggiungerli[10].

Una strategia biologica in particolare è quindi una caratteristica, un meccanismo o un processo che svolge una funzione a favore di un organismo. È un adattamento che l'organismo ha per sopravvivere.

Altro aspetto importante da considerare è il contesto. In biologia il contesto comprende l'ambiente circostante e tutti gli altri fattori che influenzano la sopravvivenza dell'organismo; in ambito progettuale invece, comprende i fattori che influenzano come e dove viene utilizzato il progetto e da chi. Esistono molti modi per eseguire una determinata funzione ma le strategie variano a seconda del contesto o delle condizioni in cui vengono applicate. Il contesto determina in che modo un organismo o un ecosistema soddisfa con successo i suoi bisogni funzionali. Sia nella biologia che nel design, una strategia che funzioni bene in una determinata situazione, potrebbe non funzionare in un contesto diverso. Per ottenere la stessa funzione o risultato, può essere necessaria una strategia diversa. Inoltre, poiché i contesti sono complessi, gli organismi e i progetti umani devono svolgere molteplici funzioni e utilizzare più strategie contemporaneamente.[28]

2.3 Cos'è un sistema

Nell'ambito scientifico viene definito sistema un qualsiasi oggetto di studio che, pur essendo costituito da diversi elementi reciprocamente interconnessi e interagenti tra di loro o con l'ambiente esterno, reagisce o evolve come un tutto, con proprie leggi generali.[10] Un sistema inoltre ha proprietà che non sono direttamente derivabili dalle proprietà delle sue parti prese singolarmente. Si possono distinguere:

- i sistemi naturali inanimati** ad esempio il sistema solare;
- i sistemi viventi** come un singolo organismo con le sue diverse funzioni o un insieme di organismi come per esempio una colonia di formiche;
- i sistemi artificiali** progettati e costruiti dall'uomo, come il motore di una automobile o una rete di comunicazioni;
- i sistemi di attività umane** cioè sistemi di attività collegate tra loro da una struttura logica che permette di dare ad esse degli scopi comuni, come ad esempio un'azienda.

Nel successivo paragrafo l'attenzione sarà rivolta ai sistemi viventi.

2.3.1 I sistemi viventi

Un sistema, come già accennato, è un insieme di parti che svolgono funzioni differenti, ma interdipendenti in modo tale che il risultato sia una funzione svolta dall'insieme in quanto sistema. Cosa rende tale un sistema vivente? Cosa differenzia un sistema vivente da uno inanimato? Per capire meglio questa differenza, facciamo riferimento a tre criteri fondamentali:

- a) l'organizzazione delle relazioni fra le parti;
- b) la struttura, cioè la materializzazione dell'organizzazione;
- c) il processo di riproduzione della struttura o di parti di essa che vanno riparate o sostituite.

Analizzando i sistemi attraverso questi tre criteri possiamo constatare che i primi due sono applicabili sia ai sistemi viventi sia a quelli inanimati, ma la differenza sostanziale sta nell'applicazione del terzo criterio ovvero quello del processo di riproduzione. Nei sistemi inanimati questo processo avviene tramite un intervento esterno, mentre per i sistemi viventi la riproduzione della struttura avviene tramite un processo interno. Quindi un sistema vivente è sempre lo stesso in quanto ad organizzazione pur non essendo mai lo stesso in quanto a struttura poiché il processo di riproduzione è continuo. Questa caratteristica viene definita autopoiesi, la capacità di un sistema complesso, per lo più vivente, di mantenere

la propria unità e la propria organizzazione, attraverso le reciproche interazioni dei suoi componenti.

«In una ragnatela, ciò che accade su una parte della ragnatela influisce su ogni altra parte. Lo stesso vale per i sistemi viventi, che siano una colonia di formiche, o una foresta. Come una ragnatela, un sistema vivente è così intricato che nessuna parte esiste in isolamento.»

Esistono sistemi viventi molto diversi tra loro, dal più piccolo plancton, al corpo umano, fino al pianeta nel suo insieme. Quando capiamo cosa costituisce un sistema vivente e ne capiamo le relazioni che lo governano, possiamo progettare seguendo i suoi principi. Per fare ciò bisogna però prestare attenzione ad alcuni fondamenti che guidano i sistemi viventi.

Biodiversità: varietà e complessità di specie che rendono gli ecosistemi sani e resilienti.

Interdipendenza: relazioni che intercorrono tra le parti del sistema vivente. Ogni componente dipende da un altro.

Cooperazione: non solo le parti del sistema sono dipendenti le une dalle altre ma scambiano tra loro energie e risorse.

Giuste dimensioni: le dimensioni di un sistema influenzano la sua stabilità e la sostenibilità.

Ciclicità: i processi sono circolari e si ripetono all'infinito ritornando sempre al punto iniziale.

Rifiuti: sempre nell'ottica dei cicli chiusi si inserisce il concetto di rifiuto che diventa nutrimento per un altro sistema.

Flusso: movimento continuo di energia, materia e informazioni. Consente al sistema vivente di essere flessibile ed in continua evoluzione, rimanendo "aperto" ed in condivisione con ciò che lo circonda.[29]

2.3.2 Visione sistemica

Il nostro mondo è composto da sistemi, dagli ecosistemi in natura alle organizzazioni e alle tecnologie nella società umana. Imparare a vedere, capire e pensare sistematicamente è importante, perché molte delle maggiori sfide che il nostro mondo deve affrontare oggi sono il risultato di guasti di sistema. Un approccio sistemico al processo decisionale si basa su una visione complessiva ed integrata della realtà. La realtà viene vista come un sistema, in modo tale che il tutto, sia qualcosa di più che la somma o giustapposizione delle parti.[28]

«L'insieme è più della somma delle sue parti»

La base della visione sistemica è da ricercare nella filosofia della Gestalt.¹ Il pensiero sistemico è la disciplina che studia le connessioni causali e retroattive tra gli eventi al fine di comprenderli, prevenirli, influenzarli, al minor costo di intervento possibile. Il campo del pensiero sistemico si è evoluto negli ultimi 50 anni come un insieme di metodi e strumenti che si concentrano sui sistemi piuttosto che sui frammenti, per definire e risolvere problemi complessi e per promuovere un apprendimento e una progettazione più efficaci. La pratica del pensiero sistemico ci aiuta a smettere di operare da crisi a crisi e a pensare in un modo meno frammentato e più integrato.

L'educatrice di sistemi e scrittrice Linda Booth Sweeney distingue tra "sistema", dove l'intero ha proprietà che le parti non hanno, e "ammasso", o collezione di cose che non ha una funzione superiore. Pensare ai sistemi significa prestare attenzione alle interrelazioni, ai modelli e alle dinamiche, nonché alle parti. Imparare a conoscere i sistemi non è sempre facile. Non possiamo effettivamente vedere la maggior parte dei sistemi. Invece, dobbiamo immaginare le interconnessioni e i processi che danno integrità al sistema.[29]

I sistemi assumono molte forme. Possono essere molto grandi, la Terra stessa è un sistema e molto piccoli ad esempio una cellula. Possono essere fisicamente tangibili come una casa o astratti, come un sistema governativo o una rete di computer. Possono anche essere una combinazione di entrambi. Una delle informazioni chiave acquisite da una visione sistematica è che tutto è connesso. Nessun organismo può sopravvivere completamente isolato dagli altri esseri viventi, inclusi gli esseri umani. Tutti gli esseri viventi dipendono dalle risorse e dai servizi ecosistemici resi disponibili attraverso reti interconnesse di relazioni che compongono il sistema vivente che è la Terra stessa. Il mondo costruito dall'uomo è allo stesso modo intrecciato e complesso; nessun problema o soluzione progettuale esiste in isolamento. Sono inestricabilmente parte di sistemi di flussi di materiali ed energia, relazioni e informazioni. Poiché il mondo è pieno di sistemi complessi, l'adozione di una visione sistemica può essere un mezzo molto efficace per comprendere una

¹La filosofia o psicologia della Gestalt (dove la parola tedesca Gestalt significa forma, schema, rappresentazione), è una corrente psicologica riguardante la percezione e l'esperienza che nacque e si sviluppò agli inizi del XX secolo in Germania nel periodo tra gli anni '10 e gli anni '30. Fondatori della psicologia della Gestalt sono di solito considerati Kurt Koffka, Wolfgang Köhler e Max Wertheimer che sono stati certamente i principali promotori e teorizzatori scientifici di questa corrente di ricerca in Psicologia. I loro studi psicologici si focalizzarono soprattutto sugli aspetti percettivi e del ragionamento/problem-solving. La Gestalt contribuì a sviluppare le indagini sull'apprendimento, sulla memoria, sul pensiero, sulla psicologia sociale. L'idea portante dei fondatori della psicologia della Gestalt, era che il tutto fosse diverso dalla somma delle singole parti, in qualche modo si opponeva al modello dello strutturalismo, diffusosi dalla fine dell'Ottocento. E da qui la famosa massima: «Il tutto è più della somma delle singole parti».

sfida progettuale a un livello più profondo e identificare i punti appropriati per l'intervento. Per un progettista biomimetico, conoscere le interconnessioni del sistema può aiutare a ottimizzare i risultati del progetto considerando al contempo quanto bene il progetto si adatti al contesto della Terra.[28]

2.4 Metodo

Lo sviluppo di un progetto biomimetico ha bisogno di un'organizzazione metodologica precisa e un insieme di conoscenze molto vasto. Proprio per questo in un team di ricerca e sviluppo si potranno trovare architetti, ingegneri specializzati, biologi, chimici, fisici, in un contesto multidisciplinare, di integrazione e di scambio di conoscenze. Non solo, la buona riuscita di un progetto biomimetico, deriva anche da un metodo efficace.

2.4.1 Approcci alla biomimetica

La fondatrice del Biomimicry Institute Janine Benyus insieme al suo team di ricerca ha sviluppato nel corso del tempo due differenti approcci, tradotti graficamente nelle *biomimicry design spirals*.

La scelta della spirale non è stata casuale. È un riferimento ai cicli naturali i quali non sono propriamente circolari in quanto, con il passare del tempo, il punto finale di ogni ciclo non è mai uguale a quello iniziale. Inoltre quella che viene definita spirale logaritmica² è un elemento che si ritrova spesso in natura, in tutte le dimensioni; nei boccioli dei fiori, nella disposizione delle foglie di alcune piante, come per esempio le foglie dell'Aloe, nella conformazione del broccolo romanesco o nell'ordinamento delle scaglie dell'ananas. Ma anche nelle conchiglie di molti molluschi, e perfino nella conformazione delle galassie.

La prima versione della spirale è definita *Biology to design* ed è un approccio orientato alla ricerca guidato dalla biologia. Le principali fasi sono:

1. scoperta;
2. astrazione;
3. brainstorming;
4. emulazione;
5. valutazione.

²La spirale logaritmica è una particolare spirale in cui le distanze fra i bracci aumentano secondo una progressione geometrica. Venne descritta per la prima volta da Descartes e successivamente indagata estesamente da Jakob Bernoulli, che la definì *spira mirabilis*, "la spirale meravigliosa"



Figura 2.8: Esempi di spirale logaritmica presenti in natura

La fase della scoperta è intesa come ricerca, in quanto questo è un approccio che parte dallo studio di una particolare caratteristica di un organismo naturale. La fase successiva riguarda l'astrazione, cioè la traduzione della specifica caratteristica studiata in termini più facilmente trasferibili al progetto. Nella fase di brainstorming invece, si cerca di capire il contesto e l'ambito di applicazione più adatti prima di arrivare alla fase di emulazione, ovvero di progettazione vera e propria. Infine, la fase di valutazione verifica l'effettiva efficacia del prodotto finale e che questo rispecchi i principi della biomimetica.

Nel 2011 la spirale *Biology to design* viene rivisitata e trasformata sulla base di un precedente lavoro condotto da Carl Hastrich³ chiamato *Challenge to design*. Le fasi di questa versione sono:

1. identificazione
2. definizione

³Nel 2005 il designer industriale Carl Hastrich, crea la *Challenge to Biology Design Spiral*. Partendo da un processo di progettazione "standard" e aggiungendo le fasi necessarie per la biomimetica, ha trasformato un processo lineare in un processo a spirale.

2 Processi e metodi

3. biologizzazione
4. scoperta
5. astrazione
6. emulazione
7. valutazione

In questo caso il punto di partenza è un'esigenza o un problema e ci si chiede in che modo il mondo della natura lo ha risolto. In questo modo gli studi sono focalizzati solo su alcune specie o organismi che sono in grado di risolverlo.[12]

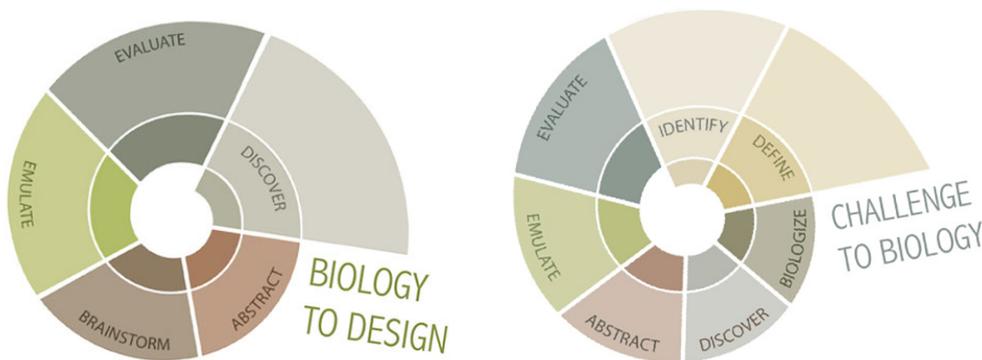


Figura 2.9: Schema dei due approcci metodologici *Biology to design* del 2007 e *Challenge to biology* del 2011.[12]

2.4.2 Biomimicry Design Spiral

È importante ricordare che la spirale biomimetica è un processo in continua evoluzione. Il Biomimicry Institute infatti propone sul proprio sito, come strumento metodologico aggiornato, la versione del 2017 della Biomimicry design spiral che suddivide l'approccio biomimetico in fasi tali da poter condurre facilmente i progettisti nel processo di ingegnerizzazione interno alla biomimetica, per giungere infine alla fase di traduzione delle soluzioni naturali in soluzioni artificiali. Di seguito sono descritte nel dettaglio le fasi che compongono la spirale.

Define - Definire

È la fase iniziale di definizione del problema che si vuole risolvere. In generale è il primo passo di qualsiasi processo di progettazione. Un lavoro di preparazione in cui vengono stabiliti criteri e vincoli.

Un buon approccio iniziale è quello di impostare la sfida progettuale come una domanda per definire meglio il problema da risolvere. “Come posso...?” cercando però di individuare la giusta domanda, che non sia né troppo generale, quindi con un obiettivo troppo ampio e con una soluzione difficilmente individuabile, ma

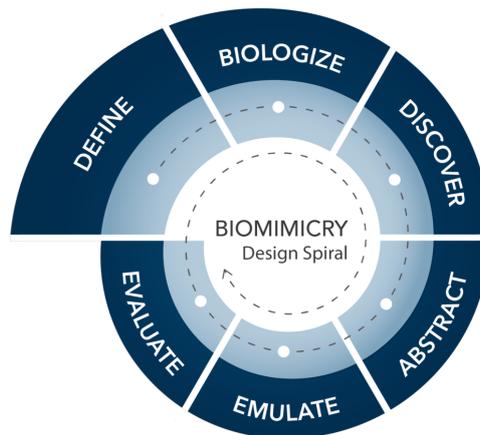


Figura 2.10: Versione aggiornata della Biomimicry design spiral.[28]

neanche troppo ristretto il che potrebbe limitare la scelta delle soluzioni. Lo scopo non è quindi decidere cosa progettare, ma cosa il tuo progetto è in grado di fare, a chi si rivolge e in quale contesto verrà inserito.

Biologize - Biologizzare

Una volta definito il problema si può “chiedere aiuto alla natura” riformulando la domanda posta nel passaggio precedente, in un contesto biologico. In questo passaggio si iniziano a cercare le strategie naturali che possono risolvere uno specifico problema progettuale. Se prima la domanda da porsi era “Come posso...?” in questa fase diventa “Come fa la natura...?”. Strumenti utili per avere dei riferimenti di funzioni e strategie utilizzate dalla natura sono la biomimicry taxonomy e il database asknature (descritti più dettagliatamente nel paragrafo successivo). In questa fase però, limitare la funzione può limitare la soluzione. Potrebbero esistere diverse funzioni che definiscono il contesto del problema in esame. Bisogna quindi considerare il problema che si vuole risolvere sotto diversi aspetti. Ad esempio, se la domanda "biologizzata" è "In che modo la natura trattiene i liquidi?", ci si potrebbe anche chiedere "In che modo la natura respinge i liquidi?" Meccanismi simili potrebbero essere alla base del controllo del movimento di un liquido. Oppure, se si è interessati al volo silenzioso, sapendo che il rumore del volo è una conseguenza della turbolenza, ci si potrebbe chiedere in che modo la natura riduce la turbolenza nell'acqua, in quanto l'aria e l'acqua condividono simili dinamiche fluidodinamiche.

Discover - Scoprire

È la fase in cui si cercano i modelli naturali da seguire. Fondamento di questo passaggio è la ricerca e la raccolta di informazioni, prendendo spunto da specie ed ecosistemi.

La ricerca può avvenire direttamente sul campo, quindi osservando la natura da vicino, chiedendosi il perché di alcune caratteristiche o comportamenti degli organismi viventi. Si può attingere ad altri strumenti meno diretti come AskNature, alla letteratura scientifica o direttamente a specialisti come biologi o zoologi.

Abstract - Astrarre

Una volta identificate alcune strategie biologiche chiave che soddisfano le funzioni e il contesto, bisogna studiare attentamente le caratteristiche o i meccanismi essenziali che rendono efficaci le strategie biologiche per poi poterle tradurre in strategie di progettazione.

L'obiettivo di creare una strategia di progettazione è rendere più facile la traduzione delle lezioni della biologia, in soluzioni progettuali. Ciò facilita la collaborazione interdisciplinare perché una strategia di progettazione si concentra su funzioni e meccanismi senza il bagaglio di termini biologici potenzialmente sconosciuti. Disegnare schizzi della strategia biologica, identificare le parole chiave sono metodi efficaci da usare come riferimento per riscrivere la strategia in termini progettuali.

Emulate - Emulare

Dopo aver trovato un certo numero di strategie biologiche, averle analizzate per estrapolarne strategie di progettazione, inizia la fase dell'emulazione. L'emulazione è il cuore della biomimetica; imparare dalle cose viventi e poi applicare quelle intuizioni alle sfide che gli umani vogliono risolvere. Più che una copia meccanica delle strategie della natura, l'emulazione è un processo esplorativo che cerca di catturare una "strategia" o "progetto" dall'esempio della natura e che può essere modellato in base alle nostre esigenze.

Durante questa parte del processo, è necessario conciliare ciò che si è appreso negli ultimi quattro passaggi della spirale di progettazione in un concetto di pro-

gettazione coerente e orientato alla vita.

Evaluate - Valutare

La fase che completa un giro della spirale è la valutazione del progetto. È importante testare il progetto sviluppato durante la fase di emulazione per valutare quanto bene risolve la sfida di progettazione, la fattibilità e la sostenibilità, cercando ciò che non funziona al fine di migliorarlo. Sebbene la fase di valutazione sia indicata come l'ultimo passaggio nella spirale di progetto, questa dovrebbe verificarsi più volte durante il processo e con crescente rigore.[28]

2.5 Strumenti per la progettazione

La tassonomia nelle scienze naturali è un termine usato spesso come sinonimo di sistemica. In modo più preciso viene utilizzato per indicare le tecniche per lo studio teorico della classificazione filogenetica dei viventi, attraverso la definizione esatta di principi, procedure e norme che la regolano.[10]

La tassonomia biomimetica viene usata quindi per classificare le strategie biologiche degli organismi. Classificare le strategie biologiche in uno schema di facile consultazione da parte di specialisti della natura è un obiettivo ambizioso. Per questo proposito è stata creata la *Biomimicry Taxonomy*, un sistema di classificazione sviluppato dal Biomimicry Institute per organizzare contenuti biologici. Questa classifica i diversi modi in cui gli organismi e i sistemi naturali incontrano le sfide funzionali in gruppi di funzioni correlate. Il sistema si basa su un meccanismo di classificazione gerarchica su tre livelli (rappresentati in figura 2.11).

In questo modo una singola strategia viene classificata in più categorie. Inoltre bisogna ricordare che le strategie biologiche si verificano attraverso l'interazione di funzioni a diverse scale (molecole, cellule, tessuti, organi, sistemi organici, organismi) ed è quindi possibile una molteplice classificazione.

Per esempio la strategia usata da un polipo per muoversi attraverso l'uso delle ventose può essere classificata attraverso i tre livelli come: "move or stay put", "attach", "temporarily". Sta quindi alla persona che cerca l'ispirazione dalla natura il compito di individuare correttamente il suo problema all'interno della giusta classe di tassonomia biomimetica.

Seguendo lo schema della biomimicry taxonomy nel 2008 sempre il Biomimicry Institute elabora un database di classificazione automatica chiamato AskNature, un sito open source contenente studi, strategie e progetti realizzati e organizzati

2 Processi e metodi

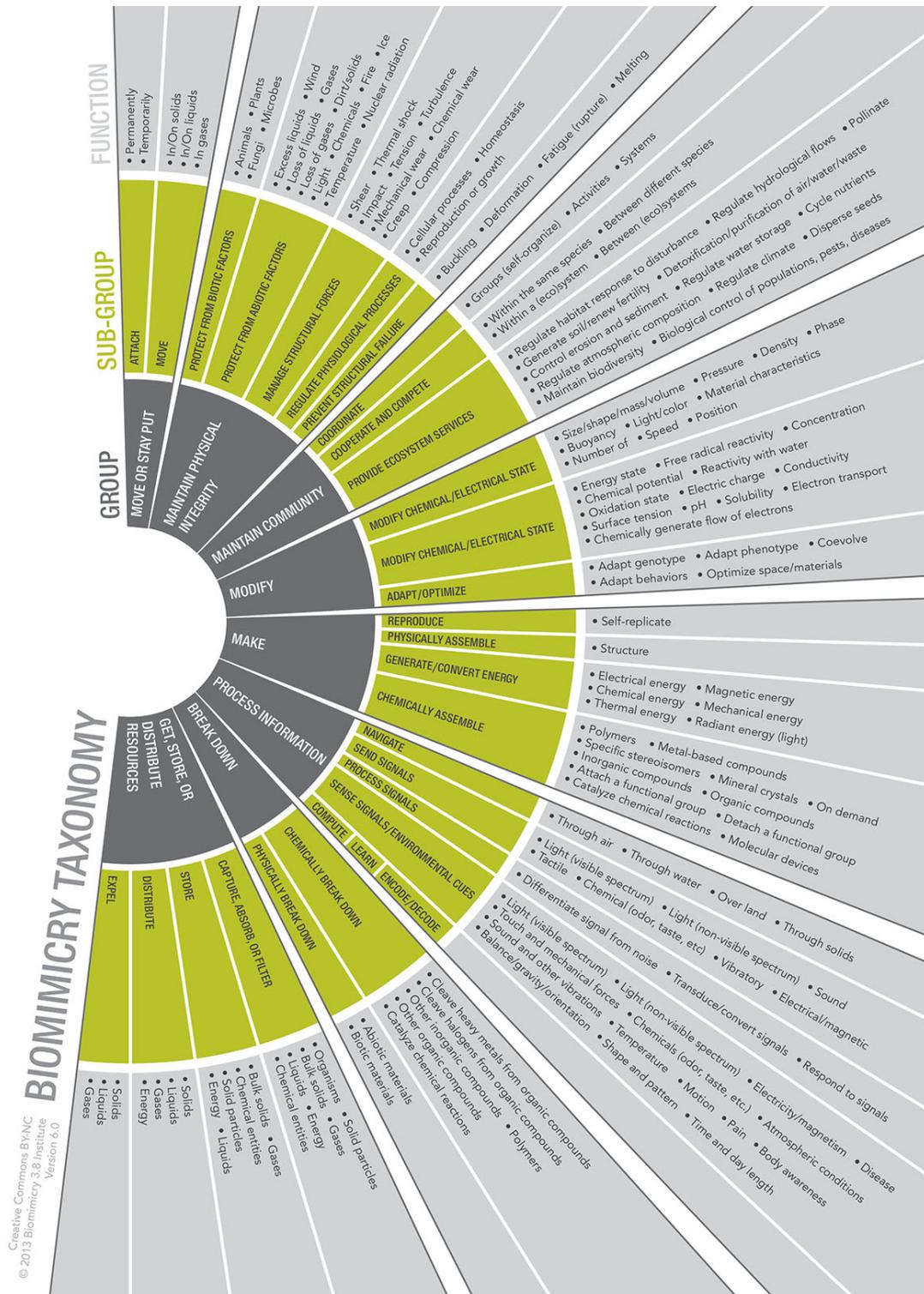


Figura 2.11: Schema di classificazione della tassonomia biomimetica

2.5 Strumenti per la progettazione

in base ai livelli della biomimicry taxonomy. Il database può essere ampliato manualmente da chiunque; i testi sono preelaborati per eliminare sezioni comuni presenti in tutti i documenti e le descrizioni delle strategie compattate al fine di massimizzare il loro effetto durante la fase di ideazione.[30]

Capitolo 3

Biomimesi e architettura

3.1 L'evoluzione dell'architettura biomimetica

Gli architetti sono stati a lungo ispirati dalla natura. Le prove della sua influenza possono essere viste attraverso i secoli, dal simbolismo naturale dell'antica architettura greca e romana alle opere del XX secolo di Frank Lloyd Wright, che progettò edifici per completare il paesaggio naturale.

Le nuove tecnologie stanno ora aiutando gli architetti a ricreare strutture complesse trovate nella natura utilizzando moderni metodi e materiali di costruzione. L'architettura biomimetica trae la sua influenza dalla Terra. Dall'incredibile Tempio del Loto in India al ponte a spirale di Singapore.

In questo capitolo sono stati osservati alcuni tra i progetti principali che rappresentano le tappe principali dello sviluppo dell'architettura biomimetica nell'ultimo secolo, dalle opere zoomorfiche di Antoni Gaudì agli ecosistemi chiusi delle biosfere.

3.1.1 I primi progettisti moderni

Tra i progettisti che, per metodo, risultati ed espressività del proprio lavoro, devono certamente essere annoverati tra i precursori biomimetici, certamente Antoni Gaudì occupa una posizione di rilievo. Le sue indagini sulle analogie tra costruzione plastica e immaginari zoomorfici e fitomorfici, sebbene inseriti in un contesto generale, quello del modernismo catalano, che impiegava diffusamente l'analogia naturale per mitigare l'impatto delle novità introdotte dalle lavorazioni industriali, rappresentano importanti precedenti metodologici per molti architetti.[12]

Una delle frasi più famose, spesso ripetute, di Antoni Gaudì era: «L'originalità sta tornando all'origine». Per Gaudì, un uomo profondamente religioso, questa origine era la natura. Gaudì considerava il mondo naturale perfetto, una creazione

3 Biomimesi e architettura

da cui traeva ispirazione. Da nessuna parte questa connessione è più chiaramente visibile che nel suo capolavoro, la Sagrada Familia di Barcellona. La Sagrada Familia rappresenta il culmine della carriera di Gaudì. Ha usato le sue opere precedenti come terreno di prova per strutture e tecniche che alla fine sarebbero state implementate nella Sagrada Familia. Gli elementi trovati nel lavoro ispirato alla natura di Gaudì, possono essere classificati come ornamentali o strutturali. Elementi strutturali ispirati alla natura includono: archi di catenaria, scale a chiocciola, tetti a forma di conoide e un nuovo tipo di colonna ispirata agli alberi che utilizza come base i paraboloidi iperbolici. Gli elementi ornamentali naturali includono: cancelli a nido d'ape, fregi ispirati alla vite, finestre a diatomea, gargoyle raffiguranti animali e pinnacoli a forma di erbe e cristalli di pirite.

Sia durante la vita di Gaudì che dopo la sua morte, il suo lavoro fu considerato rivoluzionario. A differenza della maggior parte degli architetti, non passò il suo tempo a disegnare piani in due dimensioni ma lavorava con argilla, roccia, corda, carta e qualsiasi altro mezzo modellabile disponibile. Ha espresso i suoi piani e le intenzioni attraverso i modelli e ha usato piante viventi, animali e umani come riferimenti. Gaudì non si considerava rivoluzionario: cercava semplicemente di replicare la perfezione che vedeva in natura.

Alcune delle tecniche strutturali più interessanti di Gaudì hanno avuto succes-



Figura 3.1: Le prime due foto a sinistra mettono a confronto le colonne della Sagrada Familia con il tronco di un albero, le due foto a destra invece il tetto sinusoidale della scuola nei pressi della chiesa con una foglia di *Magnolia Macrophylla*. [31]

so nel velocizzare la costruzione e consumare meno materie prime. Il tetto che progettò per la scuola di architettura sul terreno della Sagrada Familia è simile a una foglia di magnolia. Questa forma d'onda presente in natura canalizza l'acqua piovana dal tetto e può essere resa più sottile, richiedendo meno materiale, grazie alla sua forza innata. Le sue colonne ispirate agli alberi potrebbero anche avere un diametro più piccolo grazie alla capacità portante progettata nelle loro forma multifaccia. Adrian Bejan descrisse Gaudì come:

3.1 L'evoluzione dell'architettura biomimetica

«Un funambolo sulla linea del collegamento tra arte e scienza. Compresa che la natura è costruita dalle leggi della matematica. Ciò che è più forte è intrinsecamente più leggero e più efficiente.»[32]

Un caso prototipico dell'evoluzione dell'approccio bioispirato è quello del Crystal Palace, realizzato per l'esposizione di Londra del 1851. Quando Joseph Paxton si trovò a dover progettare e costruire un enorme padiglione espositivo di ferro e vetro, costruito con elementi strutturali prefabbricati, dovette trovare soluzioni strutturali innovative per riuscire a coprire la luce della campata principale del padiglione. Per non incorrere in un eccessivo spessore degli archi che avrebbero retto la volta a botte del transetto principale, Paxton si fece ispirare dalla struttura filamentosa delle foglie della *Victoria Amazonica*, nota anche come ninfea tropicale gigante, da poco scoperta dai botanici europei. Le foglie sono infatti caratterizzate da un'alta densità di nervature, leggere in sé ma resistenti grazie alla fitta orditura e alla progressiva rastremazione degli elementi.[12]

Dal 1928 a determinare in maniera decisiva le tracce di sviluppo dell'architettura

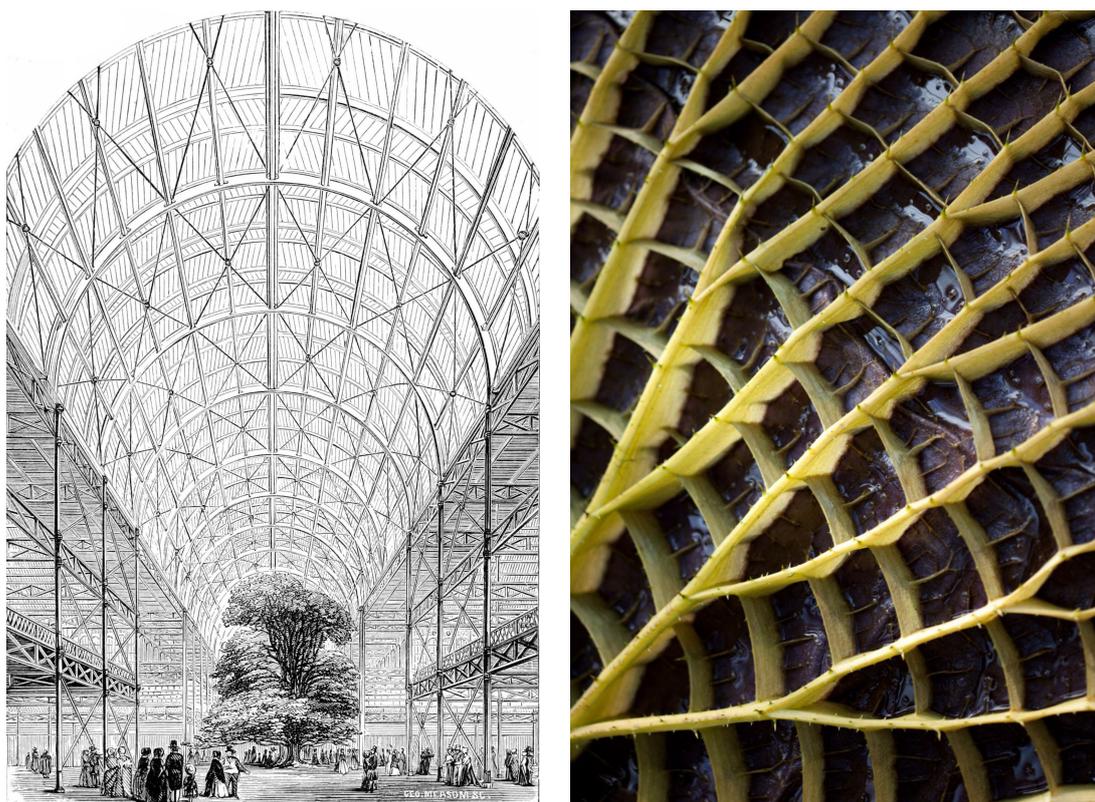


Figura 3.2: La struttura delle foglie della *Victoria Amazonica* ripresa da Paxton nel Crystal Palace.[33]

moderna saranno le linee guida dettate dal CIAM, Congresso Internazionale di Architettura Moderna. Pur se composto da anime eterogenee, il CIAM si fece

3 *Biomimesi e architettura*

portatore delle principali istanze di quegli anni in termini di architettura e sviluppo urbano, dovendo rispondere, da una parte, all'emergenza abitativa generata dalla grande massa di popolazione che dalla campagna si spostava verso la città e le fabbriche e, dall'altra, alla necessità di sviluppare nuovi modelli abitativi e di insediamento che rappresentassero la nuova società meccanizzata e redistribuissero dignità ed uguaglianza sociale. La crescente pressione esercitata da queste incombenti crisi ha portato la maggioranza degli architetti moderni, certamente quelli centro-europei, ad impegnarsi sempre più sul fronte dell'ottimizzazione o sugli aspetti tecnico-politici, alterando in maniera significativa il rapporto uomo-ambiente e, specialmente, quello edificio-ambiente. Quest'ultimo in particolare sarà connotato da un approccio funzionalista volto al miglioramento delle condizioni di salubrità, igiene ed efficienza che i nuovi standard richiedevano, determinando uno scollamento fondamentale tra l'ambiente naturale, virtualmente trasformato in un «vassoio teoricamente illimitato, omogeneo in tutte le dimensioni» ed il manufatto architettonico. «Gli edifici, liberati dalla strada corridoio, diventano blocchi perfettamente funzionali nelle loro dimensioni, esposti alla luce secondo le leggi più opportune».

Pur in un contesto così fortemente determinato, approcci che miravano ad una maggiore integrazione tra architettura e natura non sono mancati anche nell'era funzionalista. La biomimetica continuava ad essere integrata nella disciplina dell'architettura, e si stava evolvendo in due definizioni aggiuntive, ma uniche. In primo luogo, il bio-utilizzo e in secondo luogo il biomorfismo. Bio-utilizzazione, un termine che si riferisce all'uso fisico della natura come materiale nel design, e il bio-morfismo come la mimesi delle qualità formali della natura. Un esempio di bio-utilizzazione incorporerebbe fisicamente la presenza della natura (alberi, arbusti, fiori, ecc.) intorno all'edificio per migliorare le strategie di ventilazione passiva. Piantando alberi, piante, arbusti e persino incorporando la presenza di acqua, nelle immediate vicinanze del perimetro di un edificio, le temperature dell'aria esterna possono diventare più fresche. L'aria fresca può quindi essere assorbita dall'edificio aprendo le finestre, riducendo la necessità di sistemi di raffreddamento attivi.

Il biomorfismo, più comunemente presente nell'era dell'architettura moderna, utilizza la natura come fonte per la creazione di forme non convenzionali e riferimenti simbolici. Ad esempio, nei Johnson Wax Headquarters a Racine in Wisconsin (1936), l'architetto Frank Lloyd Wright imita la forma delle ninfee. Le colonne che sarebbero normalmente viste come un pugno nell'occhio, diventano eleganti sotto forma di supporto per la struttura. Tuttavia, per quanto elegante e spettacolare possa essere esteticamente, le forme hanno poco in comune con le caratteristiche



Figura 3.3: Johnson Wax Corporation Building.[35]

strutturali dei gigli.[34] Un primo tentativo di superamento del biomorfismo possiamo individuarlo negli anni '30, con la scuola nordica, specialmente nelle opere di Alvar Aalto in cui l'elemento naturale, reinterpretato, diventa generatore di una spazialità che reifica l'organicità dell'ambiente non antropizzato.[12]

Le curve degli edifici di Aalto erano in relazione con la sua continua ricerca di forme antropomorfe e di forme ispirate a fenomeni naturali, dal mobile fino alla definizione di ampi schemi del paesaggio finlandese. L'idea aaltiana di edifici come intermediari tra vita umana e paesaggio naturale venne esplorata continuamente negli anni del dopoguerra cercando un modo per coniugare architettura moderna e topografia in luoghi rurali e semi-rurali.

Villa Mairea (1939) a Noormarkku in Finlandia fu il punto di svolta per Aalto, in questo progetto l'architetto si lasciò andare in una virtuale "mitologia della foresta". La casa era organizzata come una serie di strati con temi strutturali metaforici che si dipanavano muovendosi dall'ingresso, attraverso gli interni; negli ambienti venivano esplorati i diversi stati del legno, dai rami grezzi alle fibre fatte con rametti spaccati e listelli. La pianta nell'insieme evocava un organismo che lo storico dell'architettura William J. R. Curtis definì come un pesce curvo con testa, corpo e coda, dal carattere cubista. L'insieme della villa, con il suo campo di supporti strutturali, i suoi spazi liberi e i suoi vialetti, era come la trasposizione di una radura boschiva in forme architettoniche. Era il tema della "casa naturale" ma organizzato in una sorta di spettacolo: la stessa foresta rappresentava lo

3 Biomimesi e architettura

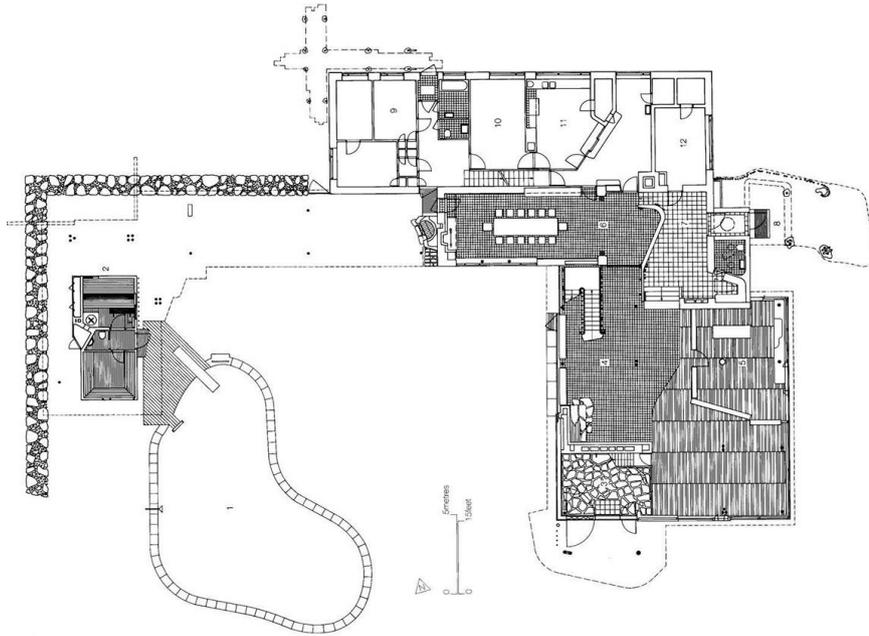


Figura 3.4: Villa Mairea di Alvar Aalto a Noormarkku, la foresta che fa da sfondo è anche oggetto di ispirazione per gli ambienti dell'abitazione[36]

3.1 L'evoluzione dell'architettura biomimetica

sfondo e il riferimento conclusivo.

La villa Mairea segnò anche una fase di sviluppo del Movimento Moderno, un'importante mossa oltre il funzionalismo e non solo l'apposizione di decori fitomorfici. La transizione che Aalto introduce negli anni trenta sembra porre il primo passo verso un'architettura biotecnica ponendo profonde risonanze fisiche e psicologiche.

In alcuni progetti più recenti Aalto cominciò a percepire l'esistenza di configurazioni quasi archetipiche, capaci di esprimere le forme base della società umana. Uno di questi archetipi era il cortile o, per essere più precisi, l'"insenatura", costituita da un edificio rivolto all'interno, perimetrale su tre lati, collegato all'intorno con una profusione di scalini e livelli. In molti progetti pubblici ricorsero variazioni di questa concezione, nel momento in cui vi fu bisogno di un centro che fosse connesso ad un contesto più vasto. La sensibilità di Aalto emergeva nella sua descrizione del "villaggio careliano", un tipo di aggregazione rurale tipica della Finlandia orientale:

«In un certo senso la casa careliana è una costruzione che incomincia con una singola e modesta cella o con un imperfetto edificio embrionale, rifugio per l'uomo e per gli animali, e che, in senso figurato, cresce di anno in anno. In un certo senso "la casa careliana estesa" può essere paragonata a una formazione cellulare biologica...»[37]

È interessante conservare questa immagine quando ci si avvicina al Centro Civico di Säynätsalo (1952) collocato nel cuore di una comunità insulare, cosicché



Figura 3.5: Centro Civico di Säynätsalo, Alvar Aalto 1952.

lo spazio centrale diventa, in un certo senso, il punto focale dell'intera società locale. Con i suoi gradini ricoperti d'erba, la sua variazione di profilo e i materiali erosi, Säynätsalo aveva quasi l'aria di un antico complesso di edifici cresciuto gradualmente, pezzo dopo pezzo. Le costruzioni si legavano allo sfondo boschivo e ai diversi livelli del terreno e ogni eventuale caduta nel mero pittoresco veniva tenuta sotto controllo da un'implicita disciplina formale.

Aalto si interessò a un'idea di architettura vicina alla natura, che andasse oltre una semplice insistenza sui materiali naturali e sulla topografia locale: ciò significava concepire la natura come fonte di leggi, come "modello per l'architettura". Il tema della natura come abaco ispirazionale per la creazione di spazialità e soluzioni costruttive si fa strada nella cultura architettonica degli anni '50. In Italia, ad esempio, i primi passi verso un nuovo paradigma per l'architettura furono mossi da ingegneri strutturisti, con Riccardo Morandi, Sergio Musmeci e Pier Luigi Nervi. Un principio operativo legava il lavoro di queste figure: un approccio metodologico volto al perfezionamento o all'invenzione di tipi strutturali che partiva sempre dall'osservazione e sintetizzazione di principi naturali.[12]

3.1.2 **La natura come modello strutturale**

Il processo mentale nella progettazione di Musmeci, non procede dal dimensionamento di morfologie astratte o semplificate ma dalla ricerca della forma migliore per la trasmissione delle forze.

Quando, nel 1967, Musmeci iniziò a progettare il suo celebre ponte sul Basento, studiò dei modelli che potevano ammettere soltanto sforzi di trazione, come le membrane di gomma e i film di sapone; la struttura realizzata, costituita da una membrana in cemento armato di trenta centimetri a compressione uniforme per tutto il suo sviluppo, presenta una linea fluida e continua tra i piloni di appoggio e le "ali" di sostegno dell'impalcato. La ricchezza del progetto, costituito da una forma organica, continua, articolata, rivela ad un tempo la sua naturalezza e la sua complessità: come tutti gli artefatti antropici elaborati a partire dall'evoluzione di processi naturali, manifesta un'articolazione elaborata.[12]

Un metodo che presenta analogie con quello utilizzato da Musmeci è il metodo "synthetic analogy research", impiegato da Frei Otto nel corso della sua intera carriera. Lavorando attraverso la manipolazione di modelli analogici-organici e procedendo per astrazioni e deduzioni, Otto fu capace di formalizzare e perfezionare le regole di funzionamento delle tensostrutture. I suoi esperimenti sulla resistenza delle membrane generate dall'acqua saponata tesa tra supporti rigidi e

3.1 L'evoluzione dell'architettura biomimetica

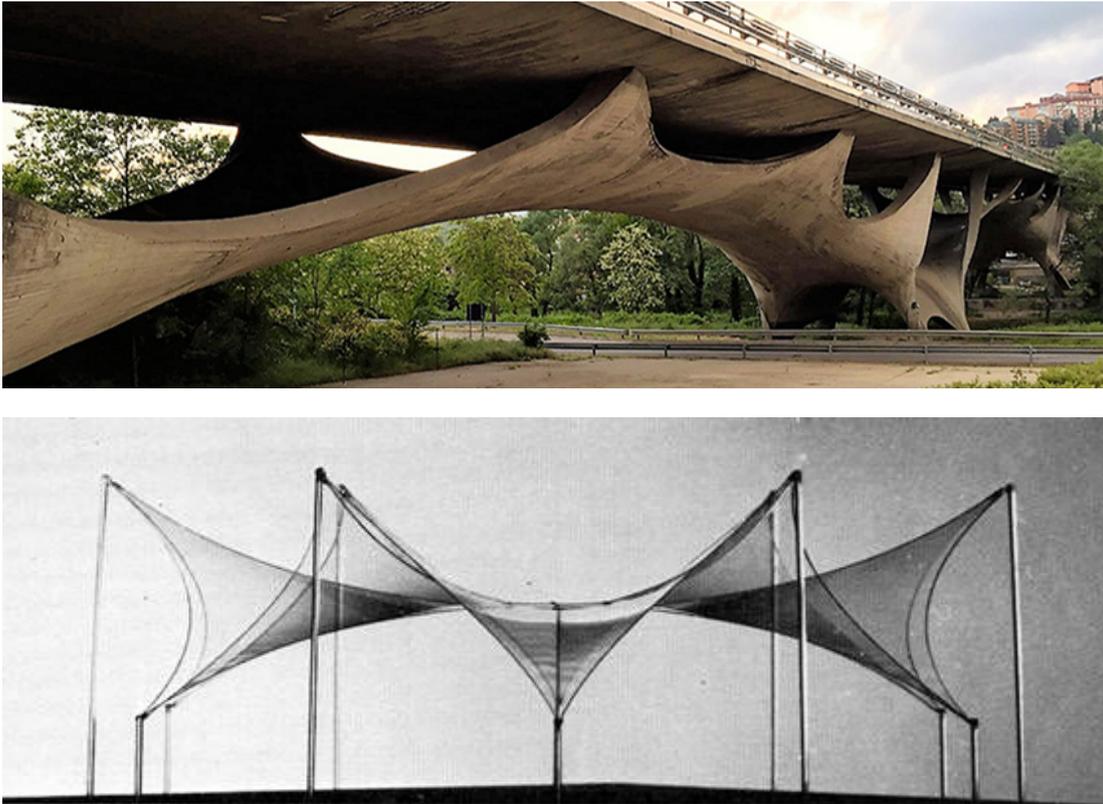


Figura 3.6: Sopra il ponte sul Basento di Sergio Musmeci (1967), sotto uno studio di Otto Frei in film di acqua saponata.

quelli su strutture filamentose tessute come ragnatele, sono sempre stati coniugati con una ricerca di meccanica teorica. Lavorando attraverso la manipolazione di modelli analogici-organici, Otto fu capace di perfezionare le regole di funzionamento delle tensostrutture, diventato lo standard per la realizzazione di questo tipo di costruzione.[12]

Il lavoro di Frei Otto è importante anche per le sue teorie sulle "costruzioni naturali" che secondo l'architetto possono includere:[38]

1. costruzioni e strutture osservabili in natura, a tutti i livelli di scala, dalla struttura gerarchica delle foglie di loto agli ecosistemi;
2. costruzioni realizzate dagli animali, come i nidi degli uccelli o le dighe dei castori;
3. costruzioni vernacolari umane, sviluppate nel corso dell'evoluzione della civiltà.
4. le architetture che presentano aspetti naturali, come ad esempio il design sostenibile.

Anche le costruzioni vernacolari umane possono essere considerate naturali, in quanto nella sua evoluzione l'uomo è parte della natura. Secondo questo punto di vista, le costruzioni tribali non sono diverse da un formicaio in quanto possono

3 Biomimesi e architettura

essere considerate parte integrante di un ciclo naturale.

Se Frei Otto può essere considerato il padre delle moderne tensostrutture, Heinz Isler lo è delle strutture a guscio. Nel 1959, al primo congresso dell'International Association for Shell Structures a Madrid, Isler esordì con i suoi metodi *la collina dalla forma libera, la membrana sotto pressione e il tessuto appeso rovesciato* nel contesto della sua presentazione *Nuove forme per le conchiglie*. Con questa presentazione ha innescato un'intensa discussione tra i suoi colleghi. La discussione ruotava attorno a tre temi: il rapporto tra modello e realtà e il problema della scala; la difficoltà di descrivere la forma risultante e il problema associato di realizzabilità economica; l'autosufficienza dei metodi di ricerca della forma rispetto alle esigenze architettoniche.

Durante la sua prima giovinezza, Isler sviluppò un rapporto intimo e diretto con la natura che avrebbe poi plasmato il suo intero lavoro. Le forme delle conchiglie in particolare hanno suscitato la sua curiosità e il suo senso di meraviglia: in cozze, gusci d'uovo, noci, petali di fiori e bucce di cipolla egli vide gusci irrigiditi, gusci a doppia curvatura, gusci di rotazione, gusci impeccabilmente formati in innumerevoli variazioni, sottilissimi e resistenti. Secondo Isler, la forma della conchiglia è sempre ottimale: "È la legge naturale, e quindi anche la forma più ecologica nell'universo." [39]

L'amore di Isler per la natura e il suo interesse per l'ingegneria si uniscono. La soluzione di problemi tecnici basati sull'ispirazione dalla natura, tuttavia, non costituivano l'obiettivo primario di Isler nei suoi rapporti con la costruzione di conchiglie; la soluzione di tali problemi, era molto più della conseguenza di una considerazione estetica della struttura di supporto. L'autore, nel 1954, scoprì il potenziale virtualmente illimitato delle forme a conchiglia non geometriche, che gli piacque particolarmente per il loro alto valore estetico. Per Isler, le questioni di costruzione, statica ed economia possono essere centrali, ma non rappresentano la motivazione primaria per il design. Piuttosto, sono la gradita conseguenza del metodo di ricerca della forma che è radicato nella natura. Per questo motivo, l'aspetto ingegneristico non costituisce la preoccupazione principale del progetto. Furono gli edifici che Isler progettò, come la stazione di servizio di Deitingen (1968), il Wyss Garden Center a Solothurn (1962) o il supermercato di Bellinzona (1964), che portarono la struttura a conchiglia a nuove funzioni non prettamente industriali, com'era avvenuto fino agli anni '60.

Nei progetti di Isler, la transizione spaziale tra interno ed esterno spesso costituisce un luogo di rottura; spazialmente, l'edificio sembra essere aggiunto, piuttosto che integrato. Questo è vero anche perché la forma della conchiglia generata è interpretata da Isler come una forma pura ed immutabile ed espressione di leggi



Figura 3.7: La collezione di conchiglie di Isler a sinistra, mentre a destra il suo progetto nella stazione di servizio di Deitingen (1968).

naturali. Per questo motivo, non prova alcun adattamento successivo alle circostanze del luogo reale di costruzione. Pertanto, in particolare in un contesto urbano, il guscio e l'area circostante spesso non comprendono un'entità unificata. Isler era consapevole di questo problema. L'ambiente corretto per i suoi gusci è l'ambiente più immutato e più naturale possibile (Figura 5), poichè *«la sua forma naturale e armoniosa, trovata nelle leggi della natura, si adatta meglio a molti paesaggi naturali di quanto non faccia con altre forme costruite»*. Secondo Isler, solo nel paesaggio non adulterato le leggi della natura possono davvero armonizzarsi con le leggi dell'architettura e generare bellezza. Sia Frei Otto che Heinz Isler usano modelli analogici per trovare la forma di un edificio in relazione al flusso di forze, le geometrie dei modelli in scala vengono trasferite in scala 1:1. In contrasto con un semplice approccio formale, la mimizzazione è la chiave per comprendere e utilizzare aspetti funzionali e costruttivi.[39]

3.1.3 L'architettura come organismo

Sempre negli anni '60, si sviluppa il movimento del metabolismo in Giappone. Kisho Kurokawa, esponente di questo movimento, medita lungamente il tema della metamorfosi, osservando come il ventesimo secolo, età dello sviluppo della società industriale e della macchina, confluisca in un nuovo scenario da lui chiamato *the age of life principles*. Stimoli nuovi ed estranei incoraggiano nuove sperimentazioni architettoniche e urbanistiche. Crescita, cambiamento, sviluppo, diventano principi irrinunciabili di un'epoca che si sveste del pesante fardello della macchina per seguire nuove dottrine. In questa cornice, il Maestro Kurokawa

3 *Biomimesi e architettura*

propone un nuovo punto di vista, rigettando l'integrità dei principi geometrici cari all'architettura passata, in favore di sistemi che, combinando le loro attività, si trasformano progressivamente in dinamici giganti spaziali e temporali. Secondo Kurokawa geometrie semplici e volumi puri possono essere estesi a una visione organica di architettura in continua metamorfosi, che al pari delle strutture vitali, si può sviluppare nell'indeterminatezza e nell'instabilità della natura. Il rapporto architettura-natura introduce nuove possibilità, che invitano a ripensare l'architettura del "principio della vita" non come assemblaggio o ricombinazione di elementi, ma come intervento in mutazione che coinvolge più ruoli e crea interrelazioni tra differenti dimensioni. Un interscambio dunque, che può realizzarsi su diversi livelli interessando la dimensione antropologica, architettonica, biologica, informatica. Se nella simbiosi si verifica la presenza simultanea del tempo passato, presente e futuro, inteso come movimento verticale verso ciò che il domani prospetterà, allora è in questa continua evoluzione che è possibile rintracciare il codice innovatore dell'architettura metabolista. L'idea che a ogni spazio corrisponda una funzione è sovvertita, poiché i bisogni umani sono nella realtà più complessi e possono contemplare più attività umane nel medesimo luogo. Non esiste più una corrispondenza univoca tra le attività dormire, mangiare, discorrere e gli spazi delle camere, della cucina e del soggiorno; così come la zonizzazione che ha portato all'impoverimento dell'ambiente urbano deve "complicarsi" e "sfumare" in un'immagine meno nitida ma integrata. La non definizione degli spazi esterni e interni si riscontra nelle realizzazioni di alcuni edifici pubblici come il Museo Municipale di Arte Moderna di Nagoya in cui portici coperti e colonnati scoperti si compenetrano. La città contemporanea perde in "raffigurabilità", si frammenta ma al tempo stesso rafforza il sistema arterioso che ne garantisce la comunicazione e l'interconnessione. L'immagine vivace di fasci di fibre che innervano testa, collo e intestino evoca agli architetti metabolisti i processi dinamici che caratterizzano l'organizzazione delle città contemporanee. Le caratteristiche del sistema di intercomunicazione dei media simulano la trasmissione degli impulsi umani e la stimolazione delle sinapsi, diffondono i loro tentacoli e offrono possibilità all'uomo sempre più aperte e globalizzate.

La vitalità di un sistema pulsante che continuamente si replica, si rinnova, sostituendo i tessuti invecchiati con brulicanti cantieri, ci restituisce il significato intrinseco di questo codice architettonico.[40]

Il paradigma di questa concezione architettonica è la Nagakin Capsule Tower di Kisho Kurokawa, realizzata nel 1972 a Tokyo, un totale di 140 capsule sono impilate e ruotate con angoli diversi attorno a due nuclei centrali. La tecnologia sviluppata da Kurokawa ha consentito di installare ciascuna unità sul nucleo in



Figura 3.8: Nagakin Capsule Tower di Kisho Kurokawa, realizzata nel 1972 a Tokyo.[41]

calcestruzzo con solo 4 bulloni a tensione, che permettono la sostituzione delle unità senza toccare quelle adiacenti. Ogni capsula misura 4 x 2,5 metri, lasciando spazio sufficiente per una persona a vivere comodamente. La sostituzione delle capsule era prevista ogni 25 anni, anche se ad oggi non è mai stata cambiata nessuna unità. L'idea era quella di un organismo vivente, in cui le capsule, come le cellule di un tessuto, hanno una vita propria ma sono connesse fra loro, sostituibili a fine vita o se danneggiate, senza compromettere la funzionalità e il sistema architettonico.[42]

3.1.4 Progettazione ecologica e integrazione col paesaggio

Dagli anni '80 l'architettura bioispirata inizia a diffondersi sempre di più, probabilmente in seguito sia alle teorie introdotte da Shmitt, Steel, e Nachtigall in ambito tecnologico (paragrafo 1.2.3), ma soprattutto ad una maggiore sensibilità ai temi di sostenibilità ambientale che si fanno strada dopo la crisi energetica del '73.

Il movimento di progettazione ecologica riguarda l'efficienza dei materiali e dell'energia e l'influenza del costruire sull'ambiente. L'aumento delle possibilità tecnologiche porta a una rinascita generale della forma libera, un esempio emblematico è la Desert House nel deserto Joshua Tree in California, realizzata tra il 1988 e il 1993 dall'architetto Kendrick Bangs Kellogg e dal designer John Vugrin.

3 Biomimesi e architettura



Figura 3.9: La Desert House in California, progettata dall'architetto Kendrick Bangs Kellogg nel 1988 e arricchita dal designer d'interni John Vugrin con un arredamento ispirato a forme scheletriche.[41]

3.1 L'evoluzione dell'architettura biomimetica

«L'idea era che la casa si sarebbe sistemata nel paesaggio, come se fosse accucciata sulle rocce, forse come un animale addormentato.»[43]

Una struttura armoniosa che, per tutto il suo splendore, riesce a mimetizzarsi nei suoi dintorni rocciosi. La Desert House è costruita con diverse lastre di cemento sovrapposte che si abbinano all'estetica del terreno desertico circostante, mentre le interconnessioni delle partizioni di vetro fungono da tessuto connettivo per la struttura scheletrica della casa. L'uso di vetro, ornamenti in legno e elettrodomestici, ispirati a strutture scheletriche, formazioni di pietra naturale e design contemporaneo sono stati perfettamente eseguiti e offrono agli artisti, creatori e altri designer l'incentivo a utilizzare la natura per progetti futuri. Kellogg ritrova gli elementi naturali forniti dalla Terra, specialmente con un grande pubblico che diventa sempre più informato sugli effetti dannosi che sono stati conferiti al nostro pianeta.[43] L'architettura curvilinea di Kellogg ricorda le fantasiose creazioni di Antoni Gaudì in Spagna, mentre i caminetti centrali e le linee geometriche sono modellate dagli insegnamenti di Frank Lloyd Wright.

3.1.5 Nuovi ecosistemi sperimentali

Un altro esempio, questa volta più incentrato sulla sostenibilità energetica, riguarda il "Bioricovero" realizzato da Solsearch Architects e The New Alchemy Institute a Cape Cod nel 1976. La loro ricerca ha progressivamente diffuso una visione degli spazi architettonici e urbani volti ad un'integrazione sostenibile tra il mondo naturale e quello artificiale, sin dagli anni '60, verso la resilienza e l'utilizzo di principi biologici nella progettazione degli artefatti umani e nelle modalità di organizzare le attività.

La prima versione del bioricovero è stata realizzata nel 1976 al fine di sperimentare e studiare il funzionamento di un sistema volto alla produzione di alimenti, a cui si aggiunse in seguito la valenza abitativa, basata sull'utilizzo dell'energia solare per il riscaldamento, la produzione invernale di cibo, l'acquacoltura e la predisposizione di un sistema ecologico di agricoltura indoor.

La soluzione utilizzata in quest'opera si avvicina ad un concetto che poi Benyus definirà di *deep biomimicry*, ovvero si basa sull'imitazione del funzionamento degli ecosistemi naturali per la realizzazione di ambienti artificiali. Esso trova, inoltre, un precedente storico nell'archetipo delle fattorie dell'isola di Giava. L'agricoltura tradizionale di quest'isola aveva creato un ecosistema complesso capace di migliorare nel tempo la resa agricola. Questa fu un'opera pionieristica di grande importanza nella sperimentazione dei metodi biomimetici e per le coltivazioni

agricole in ambiti urbani.[44]

Il lavoro del New Alkemy Institute propose anche altri progetti sperimentali per

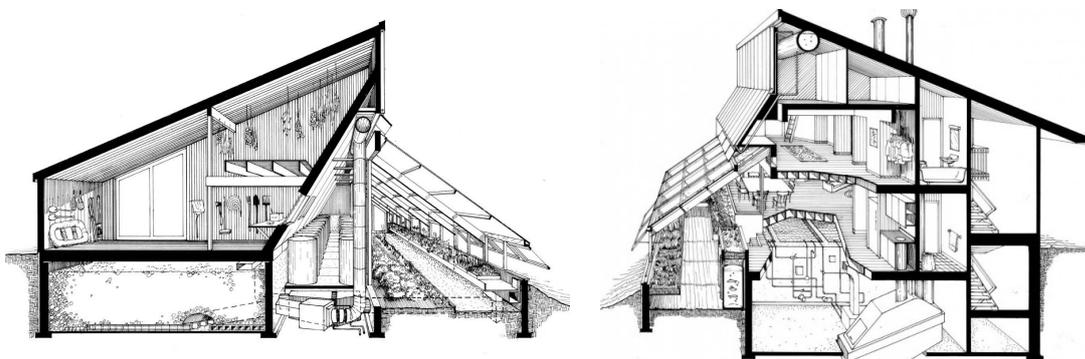


Figura 3.10: I disegni tratti dal sito web di Pei Ark rappresentano i bioricoveri di Solsearch Architects e The New Alchemy Institute del 1976. A sinistra il primo progetto per l'agricoltura, a destra l'adattamento abitativo.

la coltivazione di specie vegetali, fra questi le cupole geodetiche per la ricostruzione di ecosistemi naturali.

Le strutture geodetiche ebbero forti sviluppi già a partire dagli anni '60, con le prime cupole realizzate da Buckminster Fuller.¹ Poi vennero riprese anche da ricercatori scientifici per la realizzazione di laboratori di ricerca ambientale e la ricostruzione di ecosistemi naturali: il BIOS-3 a Krasnoyarsk in Russia (1972) e la Biosphere 2 (già citata nel paragrafo 2.1) a Oracle in USA (1991) sono gli esempi più famosi, il primo venne utilizzato per lo sviluppo di ecosistemi chiusi in grado di supportare al massimo tre persone all'interno di un volume di 315 metri cubi, il secondo venne sviluppato per sostenere e mantenere la vita umana nello spazio. Nella Biosphere 2, in particolare, si svolsero due missioni: una dal 1991 al 1993 e la seconda da aprile a settembre 1994, con un equipaggio di otto persone. Gli esperimenti dovevano servire per acquisire conoscenze sull'uso di biosfere chiuse nella colonizzazione dello spazio. Le sue sette aree ecosistemiche erano costituite da una foresta pluviale di 1.900 m², un oceano di 850 m² con una barriera corallina, zone umide di mangrovie di 450 m², praterie di savana da 1.300 m², un deserto di nebbia di 1400 m² e due biomi antropogenici: un sistema agricolo di 2.500 m² e un habitat umano con spazi abitativi e laboratori.[45]

La prima missione dimostrò che l'ecosistema agricolo raggiungeva produzioni estremamente alte anche se con il passare dei mesi, parassiti e organismi patogeni avevano diminuito la produttività. Con la seconda missione molte piante

¹Fuller non fu l'inventore delle cupole geodetiche (che già furono introdotte dalla società ottica Zeiss negli anni '20) ma era attratto dalla loro struttura, estremamente forte per il loro peso, la superficie stabile e la forma quasi sferica che racchiude il volume più grande con la superficie minima. Con i suoi progetti, e in particolare con la Biosfera di Montreal del 1967 portò questo tipo di architettura sulla scena mondiale.

3.1 L'evoluzione dell'architettura biomimetica

vennero sostituite con specie più resistenti; la resa del riso della seconda missione poteva superare di 5 volte la produzione unitaria delle migliori aree produttive dell'Indonesia e della Cina.[46]

Tuttavia, come struttura integrata di supporto vitale, le tecnologie di rigenerazione che erano in vigore durante gli esperimenti non erano efficaci nel riciclaggio di acqua, solidi ed eccessi di sostanze atmosferiche. Queste difficoltà si sarebbero potute superare con alcuni accorgimenti, quindi nel complesso, il sistema ha avuto un notevole successo, date le dimensioni e i requisiti per il funzionamento.

Nel contesto degli studi sull'agricoltura sostenibile, un futuro con un'elevata concentrazione di CO₂ e un'elevata disponibilità di nutrienti potrebbe migliorare i rendimenti complessivi e la biodiversità dei sistemi agricoli sostenibili che forniscono acqua a sufficienza. A differenza delle concentrazioni di CO₂ nell'atmosfera della Biosfera 2, l'atmosfera della Terra non dovrebbe superare i 4000 ppm nei prossimi decenni; tuttavia, è chiaro che questo sistema, con alcune modifiche, potrebbe essere utilizzato per studiare aspetti della sostenibilità agricola in condizioni future simulate.[46]

L'ultimo progetto da citare in questo paragrafo è l'Eden Project, realizzato circa

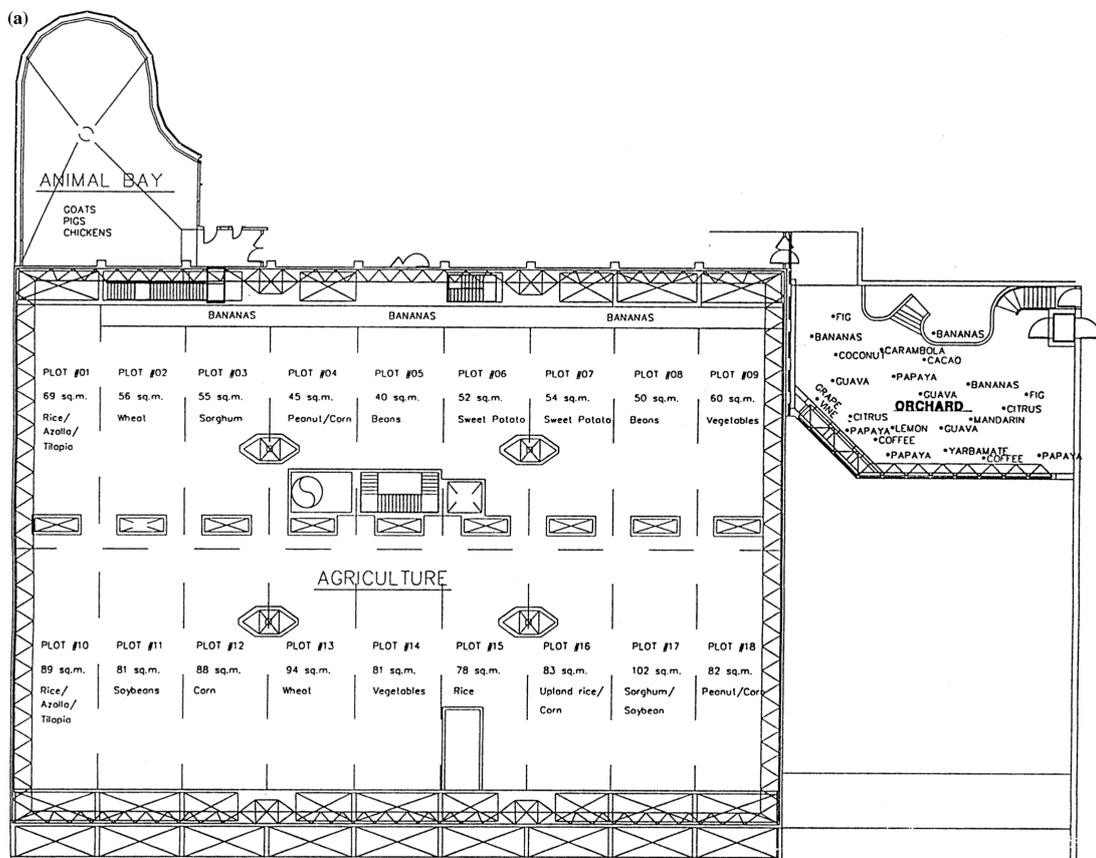


Figura 3.11: Pianta dell'interno dell'area agricola del Biosphere 2.[46]

3 Biomimesi e architettura

dieci anni dopo il Biosphere 2 in Cornovaglia, è costituito da un complesso che si sviluppa attorno a due biosfere composte da diverse cupole geodetiche. La prima di 330.000 m³ ospita un ambiente tropicale, la seconda di 86.000 m³ un ambiente caldo temperato, simile a quello mediterraneo. L'Eden Project è stato realizzato per creare degli ecosistemi semichiusi, in quanto raccolgono comunque le acque piovane dall'esterno per l'irrigazione e l'umidificazione degli spazi e vi sono delle bocchette di ventilazione apribili che sfruttano l'effetto camino delle cupole, questi ecosistemi sono inoltre aperti al pubblico e alle attività didattiche. In quest'ultimo progetto vengono anche superati alcuni problemi della Biosphere 2, come il problema della carenza di luminosità esterna, grazie alle maggiori dimensioni delle cupole e alle strutture più leggere in acciaio galvanizzato.[44]

La realizzazione di questi ecosistemi sono oggetto di diversi studi accademici e associativi in sviluppo ancora oggi, al fine di studiare sistemi alternativi e più efficienti per l'agricoltura nel futuro sulla terra ma anche su altri pianeti. Senza dubbio l'ecosistema terrestre, nella sua molteplicità di ambienti, è l'oggetto ultimo che si cerca di ricreare, ma è anche fonte di ispirazione per trovare le migliori soluzioni ai problemi incontrati.



Figura 3.12: L'interno della biosfera con clima temperato dell'Eden Project.

3.2 Biomimetica ed architettura oggi

Nel corso del ventunesimo secolo, sono molti gli esempi di ricerca scientifica progettuale che fanno riferimento alla natura come ispirazione tecnologica. Progetti di ricerca e sviluppo, alcuni dei quali attualmente in corso, come studi di fluidodinamica per ridurre i consumi di carburante nel car design e le vernici autopulenti che consentono di pulire le superfici esposte all'ambiente esterno con il solo intervento della pioggia. Negli ultimi decenni, anche in campo architettonico sono state molte le sperimentazioni derivanti dallo studio della natura. Diversi sono gli esempi realizzati che seguono questo approccio ispirato alla natura come il *Quadracci Pavilion* o il *Turning Torso* dell'architetto spagnolo Santiago Calatrava.

3.2.1 Il Quadracci Pavillion del Milwaukee Art Museum

Il primo esempio fa parte del Milwaukee Art Museum, che comprende oltre che al Quadracci Pavilion, la storica struttura museale del War Memorial Center realizzato nella seconda metà degli anni cinquanta su progetto di Eero Saarinen. La nuova struttura, realizzata dall'architetto Santiago Calatrava, presenta una combinazione di forme organiche e innovazione tecnologica, incorporando molti elementi naturali e altri suggeriti dalla posizione del museo sul lungolago. Secondo Calatrava, il design del Padiglione Quadracci «risponde alla cultura del lago: le barche a vela, il tempo, il senso del movimento e del cambiamento». Il padiglione è sovrastato da 72 nervature in acciaio di lunghezza variabile che ricordano le ali di un uccello, che si possono muovere per offrire una protezione solare con un'apertura di circa 70 metri. L'intera struttura pesa 90 tonnellate e ci vogliono 3,5 minuti per aprire o chiudere le ali. I sensori sulle alette monitorano continuamente la velocità e la direzione del vento; il ponte strallato, sospeso a un pilone slanciato, è ispirato dalla forma di una barca a vela, mentre la galleria interna dalla forma ondulata richiama il movimento delle onde.[47]

3.2.2 Il grattacielo Turning Torso a Malmö

Il Turning Torso è un grattacielo residenziale costruito a Malmö nel 2005 e la sua forma è un immediato riferimento al dorso umano nell'atto della rotazione. L'edificio, costruito in acciaio, vetro e cemento armato, è composto da nove cubi che ruotano attorno ad un nucleo centrale di 10,6 metri di diametro. Il suo centro corrisponde esattamente con l'asse di rotazione dei piani. Il progetto rientra per-

3 Biomimesi e architettura

fettamente in un'ottica di biomorfismo in quanto richiama il movimento umano, ma osservato da un punto di vista biomimetico, il processo di astrazione e traduzione dalla natura viene completamente a mancare in quanto, il funzionamento dell'edificio è molto diverso da quello di una spina dorsale umana composta da singoli elementi che collaborano tra di loro senza bisogno di alcuna struttura di supporto interna o esterna. [12]



Figura 3.13: Da sinistra il Quadracci Pavilion e il Turning Torso dell'architetto Santiago Calatrava[47][12]

3.2.3 Gli Honeycomb Apartments in Slovenia

Rimanendo sempre in un contesto di biomorfismo nel 2006 è stato completato il progetto degli Honeycomb Apartments a Izola in Slovenia. È il progetto vincitore di un concorso per la progettazione di due blocchi abitativi destinati a Social Housing nella periferia dell'abitato. Il brief richiedeva 30 appartamenti di diverse dimensioni da distribuire in due blocchi da 60x28 metri. Il principale problema era quindi la gestione e la funzionalità dello spazio. L'ispirazione è arrivata dalle celle esagonali che compongono i nidi delle api la cui particolare composizione geometrica permette di massimizzare lo spazio all'interno del favo. La trasposizione della strategia naturale nel progetto, non si evince solo dagli appartamenti piccoli, con camere di dimensioni minime secondo gli standard sloveni e senza elementi strutturali al loro interno, offrendo quindi flessibilità e possibilità di riorganizzazione, ma anche nella forma dei balconi. Questi ultimi sono dotati di schermi solari in tessuto integrati alla forma obliqua delle celle, fornendo uno spazio esterno intimo, in parte collegato con l'interno, ombreggiato e natural-

mente ventilato. In estate l'area calda accumulata dietro le tende è naturalmente ventilata attraverso le pareti laterali perforate dei balconi con fori di 10 cm. In inverno l'aria calda rimane nella zona e fornisce un ulteriore riscaldamento.[48]



Figura 3.14: Facciata degli Honeycomb Apartments[48]

3.2.4 Il National Stadium e l'Aquatics Center di Beijing

Per le olimpiadi di Pechino del 2008 sono stati realizzati il Beijing National Stadium, più comunemente conosciuto come il Bird's Nest e il Beijing National Aquatics Center o Water Cube. Il Beijing National Stadium è una struttura innovativa progettata da Herzog e De Meuron in collaborazione con Arup Sport e China Architecture Design and Research Group ed è stata soprannominata "nido d'uccello", a causa del suo impatto visivo e i suoi accenti stilistici che fondono la moderna costruzione in acciaio con le forme che si trovano in natura. Lo stadio ha due strutture indipendenti, una "ciotola" in cemento rosso in cui sono posizionati i sedili, e una struttura esterna in acciaio che la circonda. Questa particolare scelta è stata dettata dalla necessità di creare una struttura abbastanza flessibile per gestire una notevole attività sismica, dato che lo stadio si trova in una delle zone più sismiche del mondo. Una serie di capriate a sbalzo è stata progettata per supportare il tetto, proteggendo i sedili. Essa infatti si presenta come una mastodontica griglia di elementi d'acciaio chiusa da uno strato di materiale semi-trasparente. Dispone inoltre di un sistema di recupero dell'acqua piovana e di protezione dal vento. Durante la progettazione dello stadio, architetti e inge-

3 Biomimesi e architettura

gneri hanno anche assicurato posti confortevoli e una vista ottimale per tutti gli spettatori.[49]

Il progetto del Beijing National Aquatics Center invece, è dello studio australiano PTW Architects che si è aggiudicato l'incarico del nuovo complesso in collaborazione con la China State Construction Engineering Corp e la Ove Arup Ltd. La costruzione iniziata nel dicembre 2003, si basa sull'idea di bolle che vanno ad unirsi in una struttura a reticolo, dando un effetto molto scenografico che ricorda la struttura chimica dell'acqua. È stata realizzata seguendo i principi di design ecosostenibile: l'impianto è ricoperto da una membrana di un materiale chiamato Etfè (Etilene di Tetrafluoroetilene) che facilita il riscaldamento degli ambienti interni. Il 90% dell'energia solare che riscalda l'edificio infatti, viene catturata e riutilizzata per riscaldare le piscine e gli interni del complesso. L'insolita geometria dell'intelaiatura consente, inoltre, di rispondere efficacemente ai requisiti antisismici imposti dalle particolari caratteristiche del luogo. John Bimon, direttore dello studio PTW descrive la particolare struttura: *«Ad un primo sguardo può sembrare che si tratti di un sistema naturale creatosi quasi fortuitamente; in realtà uno studio matematico rigoroso ha consentito l'effetto straniante delle bolle d'acqua. [...] La trasparenza dell'acqua, insieme al misterioso effetto delle bolle, porta inevitabilmente coloro che si trovano sia all'esterno che all'interno della struttura a soffermarsi e riflettere sulla propria esperienza con l'acqua.»*[50]

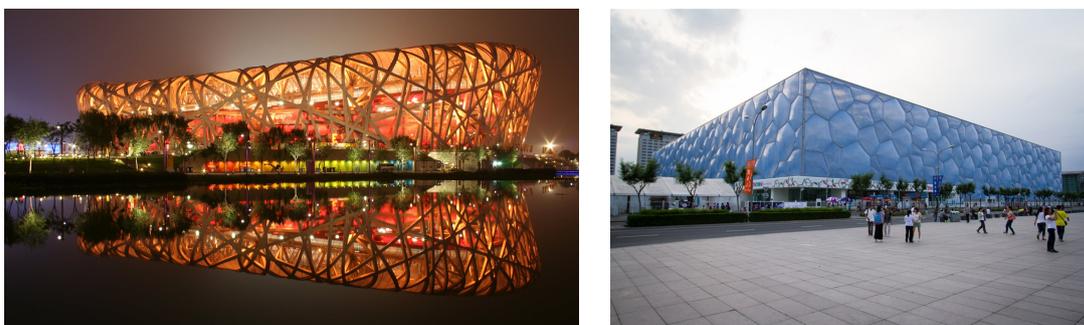


Figura 3.15: A sinistra il Beijing National Stadium.[49] A destra il Beijing National Aquatics Center.[50]

3.2.5 La fabbrica di sapone Method

Il nuovo centro di produzione Method, progettato da William McDonough a Chicago e completato nel 2015, è un edificio pulito che utilizza energia pulita, acqua e materiali per creare prodotti per la casa innovativi. Method e il team di design di William McDonough hanno voluto rendere il più sostenibile possibile il ciclo di

3.2 Biomimetica ed architettura oggi

produzione della fabbrica, stabilendo alcuni punti fondamentali per promuovere un modello di industria rivoluzionaria, sostenibile nella produzione dei prodotti e per i lavoratori.

La fabbrica è in buona parte autonoma dal punto di vista energetico grazie ad



Figura 3.16: La fabbrica Method a Chigago, lo stabilimento sottostante produce sapone mentre sul tetto vengono coltivati diversi tipi di ortaggi come rucola, lattuga e cavoli.[51]

una turbina eolica da 600 kW e tre alberi solari che forniscono fino a 45,9 kW di energia ciascuno. I collettori solari termici inoltre forniscono acqua calda ai lavandini e alle docce degli uffici. Su un tetto di 7000 m² è stata realizzata una serra idroponica a controllo climatico di tale grandezza da essere la serra su un tetto più grande del mondo. Produrrà più di un milione di sterline di prodotti freschi e privi di pesticidi ogni anno, che saranno venduti ai ristoranti locali e ai mercati. I metodi di produzione richiedono 20 volte meno terra e 10 volte meno acqua rispetto all'agricoltura convenzionale ed evitano il deflusso di fertilizzanti e pesticidi, una delle principali cause di inquinamento idrico globale. La serra si

3 Biomimesi e architettura

tradurrà in una riduzione delle emissioni di CO² e dei costi di trasporto dovuti alla distribuzione locale. L'acqua piovana dalle superfici pavimentate viene catturata in alcune caditoie dove può filtrare nel terreno.

La parete sud della fabbrica è altamente trasparente e funge da metafora della trasparenza aziendale e offre ai lavoratori una forte connessione visiva con l'esterno e un'abbondanza di luce naturale. La comunità attorno al complesso può usare il cortile anteriore della fabbrica come un parco. Per quanto riguarda i materiali utilizzati anch'essi, in fase di progettazione, sono stati scelti in base ad un sistema di produzione CtC certificato. Il Progetto intende portare l'alloggio e la vendita al dettaglio nell'area offrendo opportunità per supportare una comunità in crescita e incoraggiare i suoi dipendenti a vivere nelle vicinanze in modo che possano andare al lavoro facilmente e utilizzare il trasporto pubblico locale.[51]

Capitolo 4

Sostenibilità dell'architettura biomimetica

4.1 Architettura sostenibile

Il termine "sostenibilità" nasce negli anni '80 e trae la sua origine dall'ecologia; la sostenibilità di un ecosistema è «la capacità di mantenere nel futuro biodiversità e produttività, utilizzando le risorse naturali ad un ritmo tale che esse si possano rigenerare naturalmente».[52] Questo concetto è stato introdotto dal rapporto della commissione Brundtland nel 1987 e successivamente ribadito alla conferenza delle Nazioni Unite a Rio de Janeiro nel 1992. Per sviluppo sostenibile si intende:

«Far sì che esso soddisfi i bisogni dell'attuale generazione senza compromettere la capacità di quelle future di rispondere alle loro. Il concetto di sviluppo sostenibile implica limiti, non limiti assoluti ma limiti imposti dallo stato attuale della tecnologia e dall'organizzazione sociale, dalle risorse ambientali e dalla capacità della biosfera di assorbire gli effetti delle attività umane. Ma la tecnologia e l'organizzazione sociale possono essere gestite e migliorate per far posto a una nuova era di crescita economica.

Lo sviluppo globale sostenibile richiede che coloro che sono più ricchi adottino stili di vita all'interno dei mezzi ecologici del pianeta (...) quindi lo sviluppo sostenibile può essere perseguito solo se la dimensione della popolazione e la crescita sono in armonia con il potenziale produttivo mutevole dell'ecosistema.»[53]

Fare architettura sostenibile significa saper costruire e gestire un'edilizia in grado di soddisfare al meglio i bisogni e le richieste dei committenti, tenendo conto già dalla fase embrionale del progetto, i ritmi e le risorse naturali, senza arrecare

danno o disagio agli altri e all'ambiente, cercando di inserirsi armoniosamente nel contesto, pensando quindi anche ad un riuso totale dello spazio e dei materiali. Nel corso degli ultimi decenni l'approccio all'architettura sostenibile si è evoluto, dando forma, come per la biomimesi, a diverse accezioni. Qui di seguito sono state fornite alcune delle definizioni più utilizzate.

Architettura Bioclimatica Il tema della progettazione accorta rispetto alle caratteristiche del clima e alla possibilità di sfruttare le fonti naturali di energia, ha ricevuto un notevole impulso nei primi anni '70, in seguito alla prima crisi petrolifera mondiale, da questo momento si sviluppò il tema del risparmio energetico e quello della introduzione di energie rinnovabili. Si ricava un'idea delle grandi potenzialità espressive cui è capace un'architettura interagente con le dinamiche del clima e congruente con le opportunità offerte dalla collocazione geografica.

Architettura ecologica Definita, nella conferenza ONU del 2002, anche come "attività costruttiva sostenibile", fa riferimento a temi specifici, come l'inquinamento indoor, il ciclo di vita dei materiali e dei componenti, il comportamento energetico degli edifici e delle soluzioni tecnologiche, la valutazione ecologica ed economica delle varie fasi del processo edilizio e del suo impatto sull'ambiente, il riuso e riciclaggio dei materiali e la ricerca di soluzioni alternative rispetto a sostanze rivelatesi dannose per la salute o per l'ambiente.[52]

Bioedilizia (1976) Termine che focalizza la propria attenzione sul manufatto, utilizzato soprattutto per indicare materiali, processi e metodi edilizi rispettosi della salute degli abitanti, possibilmente di origine naturale ed a basso impatto ambientale. Il merito principale della bioedilizia è quello di aver spostato l'indagine dall'oggetto costruito alle sue incidenze sull'uomo che lo abita, occupandosi quindi delle condizioni di benessere fisico ma anche psichico delle persone in rapporto alle abitazioni e ai luoghi su cui queste sono edificate.

Bioarchitettura (1987) Acquisiti i principali temi dell'architettura ecologica ed i valori della bioedilizia, in particolare lo sforzo di riportare l'edificare in un corretto rapporto sia con gli eventi esterni (suolo, sole, vento, acqua, clima, flora, fauna, paesaggio naturale) che con le necessità biologiche, la bioarchitettura tende a declinarli in visione storicistica e antropologica. Per dare significato ad ogni sommatoria di tecnologie e materiali bisogna coinvolgerla nelle tradizioni, nei codici, nei linguaggi adottando un'ottica complessiva, inevitabilmente urbana. Questa è l'unica strada possibile affinché l'atto del costruire torni ad essere percepito dalla società, così come è stato in

ogni tempo, non più come temibile fonte di aggressione per l'uomo e per l'ambiente, da cui difendersi e tutelarsi attraverso leggi, ordinamenti, disposizioni via via sempre più (inutilmente) fiscali, bensì come alleanza tra l'abitante e la sua abitazione, momento centrale di relazione tra l'uomo e il mondo.[54]

4.2 Il rapporto della biomimesi con la sostenibilità architettonica

Anche se il metodo biomimetico non è ancora molto diffuso nell'applicazione tecnica, come si è visto l'uso di modelli presi dalla natura sembra essere usato abbastanza frequentemente nella progettazione architettonica attuale. Bisogna considerare però che la crescente popolarità della biomimetica è dovuta anche a un comune fraintendimento delle tecnologie bioispirate direttamente collegate alla sostenibilità e quindi "più verdi" rispetto a qualsiasi altro metodo di innovazione. È fuori discussione che la natura e le tecnologie naturali forniscano una maggiore conoscenza e consapevolezza delle interconnessioni ecologiche, ma come i ricercatori hanno ripetutamente ribadito, la biomimetica come unico strumento di innovazione può anche fornire prodotti insostenibili e non può essere considerata un panacea per tutti i problemi globali. L'intenzione di progettare prodotti ecologicamente responsabili e sostenibili è indipendente da questo metodo di progettazione. I valori in base ai quali vengono progettate le nuove applicazioni si riferiscono a norme sociali e culturali. Ciò non cambierà in futuro, il che significa che la biomimetica sarà ancora un metodo di innovazione, caratterizzato dal trasferimento strategico delle informazioni, indipendente da un sistema di valori.[24] Lo sviluppo architettonico dovrebbe essere mirato alla sostenibilità e all'energia e efficienza delle risorse, ma l'applicazione di un metodo di innovazione biomimetica non garantisce una soluzione ecologica. Alla metodologia biomimetica si deve associare quindi la conoscenza dei principi di sostenibilità già citati in precedenza (paragrafo 1.5.1) al fine di ottenere risultati migliori e completamente sostenibili. Per quanto riguarda il design architettonico, è indubbio come la biologa Janine Benyus sia stata in prima linea nella diffusione della biomimesi e illustra chiaramente molte applicazioni in una vasta varietà di campi, le sue pubblicazioni però non parlano molto del rapporto specifico con l'architettura. Non si discute del processo di progettazione creativa e di come impieghi specificamente la biomimetica. William McDonough, che ha teorizzato il processo Cradle to Cradle esplora i metodi che utilizzano la natura come modello. Gli esempi di McDonough sono

per lo più basati sulla produzione, ma nella sua pratica architettonica (un esempio è riportato al paragrafo 3.2.5) applica le strategie biomimetiche nella creazione di "sinergie ecosistemiche" tra i processi. Il processo Cradle to Cradle sottolinea come i principi siano applicati ai processi di produzione su scala macro piuttosto che alla micro scala necessaria per progettare gli spazi abitativi.

L'architetto Eugene Tsui ragiona sulla biomimetica in senso scientifico per creare spazi che siano strutturalmente più efficienti, meglio ventilati e più rispettosi dell'ambiente.[55] Tsui indaga il mondo naturale delle scienze per risolvere problemi di progettazione architettonica, osservando molti fenomeni naturali, dalle termiti ai castori, dai bachi da seta ai nidi delle vespe; esegue prove scientifiche quali test in galleria del vento e prove di trazione e compressione su oggetti come nidi di uccelli e gusci di lumaca. La sua ricerca è una delle più approfondite nell'architettura degli ultimi decenni e usa queste lezioni dalla natura per migliorare i metodi e i materiali di costruzione, la ventilazione, l'isolamento e l'apporto solare.

4.3 I principi per un'architettura evolutiva

Nel corso dei suoi studi Eugene Tsui ripensa ad alcuni argomenti nevralgici per la progettazione sostenibile, come l'energia o l'uso dell'acqua e riscrive alcuni punti per una nuova architettura sostenibile e più "verde".[56]

Acqua e aria Sviluppare e implementare i sistemi di riciclaggio dell'acqua potabile, delle acque reflue e dell'aria pulita. I sistemi e gli impianti per assolvere queste funzioni dovrebbero essere integrati nell'edificio e non qualcosa di aggiunto a una struttura predeterminata, come nel caso della gran parte dell'architettura di oggi, ciò minimizza lo spreco di spazio e allo stesso tempo permette la continuità di struttura e forma.

Energia Utilizzare sistemi energetici autosufficienti, quali turbine eoliche, celle solari passive, il fotovoltaico, la conversione dell'energia termica, le onde degli oceani e altri mezzi per ridurre la dipendenza dell'edificio da fonti di energia prodotte esternamente. I vantaggi a lungo termine spesso superano la convenienza a breve termine. Le aziende elettriche utilizzano spesso metodi di generazione di energia che sono sia dispendiosi che dannosi per gli ambienti di vita. Le fonti specifiche del sito, quando progettate in modo intelligente, possono fornire energia adeguata in condizioni di vita normali con un danno minimo o nullo per l'ambiente naturale. L'indipendenza

4.3 I principi per un'architettura evolutiva

energetica risultante è economica e psicologicamente gratificante, aumenta significativamente la produttività e il senso di benessere.

Materiali Quando è possibile utilizzare materiali da costruzione riciclati, si possono considerare anche materiali non convenzionali per l'edilizia come pneumatici, scarti di automobili, lattine, bottiglie, legno riutilizzato, ecc. I materiali riciclati hanno dimostrato in molti casi di essere superiori alla resistenza all'umidità e al fuoco, più leggeri e più resistenti meccanicamente ai materiali convenzionali. Inoltre il fatto di utilizzare materiali naturali solo per immergerli per sempre, come nel caso dei chiodi nelle pareti in legno o degli igloo nei vespai, solleva seri interrogativi sul valore di tali pratiche. È semplicemente una questione di convenienza, convenzione e metodi consolidati di lavoro e profitto. Il motivo, secondo Tsui, per cui molti di questi nuovi materiali non vengono utilizzati è in gran parte una questione di indolenza e condizionamento tradizionale.

Design per la sicurezza Oggi, le forme dell'edilizia comune sono scelte per convenienza e convenzione. Dopo che numerosi edifici in tutto il mondo, sono completamente bruciati, sono stati spazzati via dalle inondazioni e sono crollati a causa di terremoti, ciò che viene poi eretto al loro posto, dagli stessi proprietari, sono repliche dei loro precedenti edifici. Sembra evidente che nemmeno eventi devastanti sembrano avere un effetto. Il radicamento nella tradizione e nella vendibilità dell'architettura sembra più importante rispetto ad alternative più sicure.

Minimizzare la richiesta di risorse Ridurre il consumo di suolo, migliorare la forma architettonica per massimizzare il volume, ridurre i consumi di materiale e lavoro, proprio come ci insegna l'evoluzione di qualsiasi organismo vivente, ovvero fare di più con meno. Dato il progresso tecnologico e l'avanzamento di materiali e metodi, ora possiamo creare edifici che non sarebbe mai stato possibile realizzare un secolo fa. Le nostre risorse naturali si stanno lentamente esaurendo e questa circostanza introduce la necessità di utilizzare meglio i materiali. Gli architetti sono gli astuti amministratori della terra e gli innovatori perspicaci della scienza. L'uso attuale di materiali e pratiche di consumo di manodopera sono sia pericolosi che dispendiosi. Il costo dei materiali in proporzione all'efficienza della struttura è elevato. Lo sviluppo evolutivo naturale procede verso materiali che costano meno e lavorano con maggiore efficienza, e questo ha molto a che fare con l'ingegno e l'immaginazione del progettista.

Conformazione dello spazio È un dato di fatto che gli esseri umani e le altre creature viventi si muovono. Un edificio dovrebbe accogliere il nostro com-

portamento pedonale naturale attraverso lo spazio. La maggior parte degli edifici presuppone che gli esseri umani si muovano in modo rettilineo come cadetti militari disciplinati. Infatti, i cadetti militari sono spesso costretti a camminare in modo tale da manipolare e abbattere la loro psiche. Ma ora perchè dobbiamo vivere e lavorare in ambienti così rettilinei? Se i nostri ambienti non migliorano le nostre propensioni naturali, allora di quali benefici sono portatori? Se i nostri ambienti sono dannosi per il nostro benessere, allora dovremmo trovare il modo di sfidare questa odiosa pratica.

Semplificazione La semplicità è l'ultima direttiva dell'evoluzione. Molti degli elementi di un edificio, vale a dire l'involucro, i telai delle porte, le cornici delle finestre e gli elaborati ornamenti di un edificio, possono essere eliminati. Utilizzando materiali che svolgono funzioni simultanee, sono resistenti all'acqua, ignifughi, antisismici, resistenti ai parassiti e si possono eliminare diverse fasi di manodopera nel processo di costruzione. Il progettista ha il compito di escogitare i mezzi per educare l'appaltatore e i subappaltatori, spesso diffidenti, a eseguire il lavoro utilizzando metodi e materiali atipici che riducono il numero di sequenze di costruzione.

Nuove tecnologie Essere costantemente informati sugli sviluppi scientifici è essenziale per l'evoluzione delle idee in architettura. È la tecnologia che rivoluziona i mezzi e i metodi di costruzione. Scienza, tecnologia e biologia si stanno fondendo nel nostro mondo moderno e l'architettura è l'incarnazione di questa unione. È imperativo discutere ed esplorare le possibilità di materiali comuni e non comuni. Il progresso della tecnologia ha prodotto in precedenza materiali e sistemi energetici inimmaginabili che rendono i nostri edifici attuali come artefatti goffi. Eppure ci aggrappiamo ancora alle tradizionali immagini del mondo costruito che abitiamo e i nostri ambienti creati dall'uomo sono esempi imbarazzanti di un modo di costruire obsoleto.

L'edificio come un organismo vivente L'edificio può espandersi, contrarsi, allungarsi e contrarsi a seconda del cambiamento e dei bisogni climatici. L'architettura non è più statica, pesante e ingombrante. Ora disponiamo delle conoscenze per creare spazi che si piegano e ruotano, il nostro senso dell'ambiente intorno a noi è espansivo e non limitato.

Deframmentazione degli spazi Tutti gli elementi dell'edificio, come pareti, mensole, contatori, dovrebbero considerarsi estensioni espressive dell'edificio stesso. La frammentazione lascia il segno ovunque; le stanze sono sotto compartimenti di compartimenti più grandi. Divisioni e interruzioni sono rivelate ad ogni svolta di un corridoio. La natura non conosce interruzioni di materiali e superfici, Tutto è una sintesi concordante di spazio e struttura

nel regno dell'economia dei materiali, dei metodi e degli scopi.

Siamo ancora piuttosto lontani dai principi usati nelle strutture naturali. Questo è dovuto principalmente alla disinformazione. Muoversi verso studi ancora poco conosciuti è il primo passo per iniziare un percorso di evoluzione.

4.4 Alcuni esempi

Un esempio di recente architettura biomimetica e sostenibile è l'edificio per uffici *Council House 2* (CH2). Progettato dall'architetto Mick Pearce, progettista del già citato Eastgate Centre (paragrafo 2.1), in collaborazione con la città di Melbourne si pone l'obiettivo di essere un sistema di riferimento per nuovi sviluppi edilizi influenzare il design futuro più sostenibile ed efficiente. Il design segue un modello che promuove un ruolo più interattivo tra la città e la natura, in cui tutte le parti dipendono l'una dall'altra. CH2 impiega espressioni letterali e metaforiche con intenzioni ambientali nella sua composizione architettonica, la natura è utilizzata come ispirazione. L'efficienza energetica e le prestazioni dell'edificio sono garantite sia da strategie di intervento attive, direttamente connesse con il supporto tecnologico degli impianti, sia passive, legate invece alle caratteristiche dell'involucro edilizio. Il sistema di climatizzazione è assolutamente all'avanguardia: il raffrescamento avviene grazie ai pannelli radianti posti nei soffitti in calcestruzzo. L'acqua refrigerata viene pompata all'interno dei pannelli radianti, raffrescando naturalmente la massa termica del soffitto e mantenendo la temperatura costante a 20°C. Tre serbatoi d'accumulo posti sotto l'edificio consentono di refrigerare l'acqua pompata nel sistema. All'interno delle tre strutture sono inseriti migliaia di sfere in acciaio inox contenenti un particolare tipo di Phase Change Material (PCM), una sostanza che ghiaccia a 16°C raffrescando naturalmente l'acqua più calda proveniente dall'edificio. La massa termica dell'edificio inoltre viene raffrescata durante la notte, grazie ad un sistema automatizzato connesso con le piccole aperture poste in corrispondenza del soffitto. Quando necessario queste finestre si aprono automaticamente creando una corrente fresca che abbassa la temperatura interna. Sulla facciata sud dell'edificio, sono posizionate le "Shower Tower", 5 tubi in tessuto leggero che percorrono l'edificio per 13 metri all'interno dei quali una "doccia" d'acqua induce il movimento dell'aria e il raffrescamento. L'acqua fresca viene utilizzata anche per preraffreddare il liquido dei pannelli radianti a soffitto, facilitando l'azione finale dei tre serbatoi e delle sfere di PCM. Un sistema di recupero e trattamento delle acque permette di trasformare i liquidi accumulati in acqua potabile per i servizi igienici ed in

parte in acqua non potabile per l'irrigazione del verde pensile e per l'impianto di refrigerazione. Sul tetto sono presenti anche delle mini turbine eoliche che servono sia a produrre energia elettrica che a garantire lo smaltimento dell'aria viziata degli uffici interni. I progettisti hanno anche utilizzato un innovativo concetto di design utilizzando la stessa quantità di fogliame sull'edificio che sarebbe stato presente se il sito fosse ancora nel suo stato vegetativo naturale originale. Ciò si ottiene utilizzando un giardino pensile, che funge anche da spazio per lo svago del personale.[57][58]

L'unione di un approccio biomimetico e l'applicazione dei principi di sostenibilità può dare vita a progetti sostenibili in grado di risolvere molti dei problemi che affliggono il nostro mondo come la gestione dell'acqua e il consumo energetico negli edifici. La voglia di rimanere attenti all'ambiente e migliorare l'efficienza si ripercuote anche sulle forme architettoniche. La tendenza degli ultimi anni è quella di andare contro le forme costruttive classiche come rettangoli o forme cubiche, abbracciando piuttosto forme curve, che ricordano o imitano la natura come le forme di alberi, fiori, corsi d'acqua, piante e ogni altra cosa che appartiene alla sfera biologica. Cercare di passare dall'architettura classica a modelli più efficienti di costruzione, sbarazzarsi di rigidi schemi e di rigide forme geometriche sembra essere la scienza costruttiva del futuro. Un esempio è il *30 St Mary Axe* conosciuto anche come "The Gherkin" (Il Cetriolo) è il primo edificio ecologico alto di Londra, si distingue per la sua forma facilmente riconoscibile che si aggiunge allo skyline della città ed è diventato un vero e proprio landmark nel centro finanziario più importante d'Europa. Generato da un piano circolare, con una geometria radiale, l'edificio si allarga di profilo mentre si sviluppa in altezza e si assottiglia verso l'apice. Questa forma distintiva risponde ai vincoli del sito: l'edificio appare più snello di un blocco rettangolare di dimensioni equivalenti e il dimagrimento del suo profilo verso la base massimizza la sfera pubblica a livello della strada. Concettualmente, la torre sviluppa idee esplorate nel progetto teorico del Climatroffice di Buckminster Fuller, che suggerisce un nuovo rapporto tra la natura e il luogo di lavoro.

La forma esteriore del 30 St Mary Axe esplora una serie di curve progressive ottenute mediante tecniche di modellazione parametrica attraverso computer. La forma e la geometria hanno affinità con le forme che ricorrono in natura. La pigna, per esempio, è una spirale naturale e, come questo edificio, si apre e si chiude a seconda dei diversi cambiamenti del tempo. Oppure la spugna marina vetrosa che è costituita da un esoscheletro che crea un'ossatura rigida dalle prestazioni meccaniche elevate, e che grazie ai pori presenti sull'esoscheletro consente di canalizzare le correnti d'acqua all'interno di una fitta rete di canali per estrapolarne



Figura 4.1: Facciata meridionale del Council House2[58]



Figura 4.2: 30 St Mary Axe conosciuto anche come "The Gherkin"[59]

le sostanze nutritive.[44] Similmente la struttura esterna, realizzata in acciaio, si presenta particolarmente forte ma anche leggera, grazie alla sua geometria triangolare, permettendo uno spazio flessibile e senza colonne all'interno agli spazi di lavoro; sono presenti pozzi di luce a spirale per ventilare naturalmente gli interni degli uffici e minimizzare la dipendenza da fonti di riscaldamento e raffrescamento artificiale. I pozzi di luce e la forma dell'edificio massimizzano l'entrata di luce diurna naturale, moderando l'uso di luce artificiale. Le vetrate dei pozzi di luce che salgono a spirale nella torre consistono in pannelli apribili realizzati con doppio vetro grigio e uno strato ad alte prestazioni che effettivamente riduce il guadagno di calore dovuto al sole. Le vetrate degli spazi per uffici sono costituiti da un doppio vetro verso l'esterno e uno singolo verso l'interno, composti in una sorta di pannello sandwich con una cavità ventilata che funziona come una zona "cuscinetto" per ridurre il bisogno di riscaldamento e raffrescamento.[59]

Un altro edificio quasi unico nel suo genere e che esce dagli schemi convenzionali della progettazione architettonica è l'*AlDar Headquarters*, progettato nel 2010 ad Abu Dhabi. Caratterizzato da un design distintivo e innovativo, è un edificio semisferico costituito da due facciate circolari convesse collegate da una sottile fascia di vetro rientrato. Questa iconica struttura vetrata è completamente circolare in altezza e curvata in tutte le altre direzioni. Sin dall'antichità gli architetti hanno utilizzato la forma geometrica rotonda nei loro progetti. Basti pensare per esempio all'architettura greca e alla forma circolare della *thòlos*, ripresa poi anche negli edifici a base circolare dell'architettura romana. Anche nel corso della sto-

ria moderna dell'architettura, gli architetti hanno progettato e realizzato edifici circolari, torri rotonde, cupole e sfere utilizzate in particolare per lo sviluppo di planetari e teatri. La forma circolare è sempre stata utilizzata nelle planimetrie, ma nessuno aveva mai tentato di costruire una struttura completamente circolare in elevazione. Tra i principali motivi di scelta della particolare forma dell'edificio c'è sicuramente il simbolismo del cerchio. Rappresenta infatti l'unità, la stabilità, la razionalità e una completezza che abbraccia tutto lo spazio e il tempo. È il simbolo geometrico definitivo. Inoltre gli architetti hanno ricercato nella natura una forma circolare che rispondesse alle loro esigenze. Da qui la scelta di ispirarsi al guscio della vongola come simbolo di forma rotonda e regolare tra le forme naturali, sotto la guida di un concetto di regolarità, immaginando l'edificio composto da due enormi pareti circolari curve di vetro che ricordano appunto un guscio di vongola aperto. Per dare vita all'enorme concetto circolare, i problemi di stabilità visiva, armonia e dinamismo si sono dimostrati fondamentali. La vera sfida della facciata era trovare i due punti in cui l'edificio doveva poggiare sul terreno. Per risolvere questo problema si è deciso di utilizzare la sezione aurea che, come già accennato precedentemente, anche questo è un elemento presente



Figura 4.3: In alto i prospetti frontale e laterale dell'AlDar Headquarters.[60]

in natura. In questo progetto, il cerchio che compone la facciata è stato diviso in un pentagramma, sul quale è giustapposto un corpo umano con la testa e quattro arti nei cinque punti della figura. Di conseguenza, i punti che corrispondono alla base del pentagramma risultano essere anche i punti di stabilità della facciata circolare. Il progetto inoltre è stato sviluppato in linea con il sistema di valutazione LEED del Green Building Council degli Stati Uniti. È uno dei primi edifici ecocompatibili ad Abu Dhabi, costituito da materiali riciclabili, nonché efficienti sistemi di illuminazione e gestione dell'acqua.[60]

4.5 Progetti futuri

Il futuro dell'architettura in un'ottica di salvaguardia del pianeta quindi prevederà progetti sempre più ardimentosi e "futuristici".

Come la *Bionic Tower* ad Abu Dhabi ideata dal team LAVA (Laboratory for Visionary Architecture) composto dagli architetti Chris Bosse, Tobias Wallisser e Alexander Rieck.

Il progetto ha lo scopo di imitare l'organizzazione biologica dell'ecosistema. Pro-

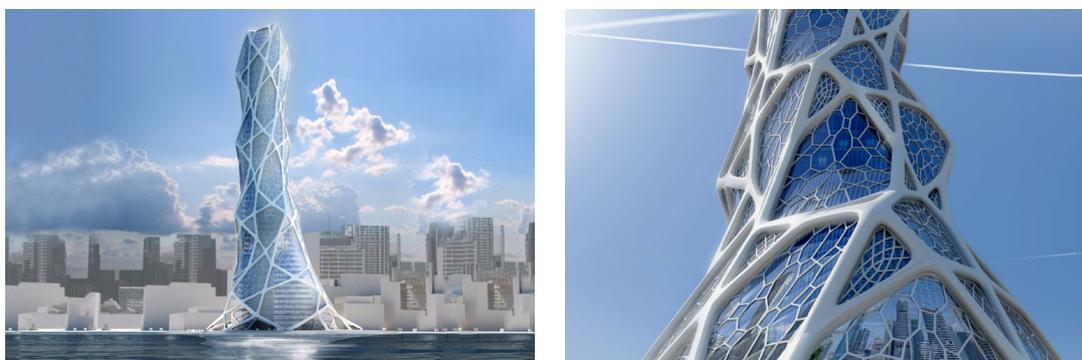


Figura 4.4: *Bionic Tower* del team LAVA[61]

prio come succede in natura, i singoli componenti costituiscono l'intero sistema. Per fare ciò è stata usata la modellazione parametrica in grado di ottimizzare costantemente il sistema. In questo progetto inoltre, gli architetti sembrano affrontare i problemi di ventilazione, accesso al sole e raccolta dell'acqua come un istinto evolutivo di autoconservazione, trovato nella natura e adottato dall'architettura. In questo progetto, la facciata intelligente comunica con l'ambiente circostante per creare la massima efficienza energetica e il comfort dell'utente. I sistemi e la pelle della torre reagiscono a influenze esterne come pressione atmosferica, temperatura, umidità, inquinamento atmosferico e radiazione solare.

Inoltre, nuovi materiali e tecnologie consentono adattabilità, reattività, consapevolezza ambientale e forza. L'architettura deve funzionare come un ecosistema all'interno del tessuto organico della città.[61]

Altra *Bionic Tower* è quella ideata dagli architetti spagnoli Eloy Celaya, Javier Pioz e María Rosa Cervera. Le trasformazioni di cui sono state protagoniste le città negli ultimi 100 anni hanno comportato, in termini ecologici, alla graduale distruzione del mondo vegetale, allo sfruttamento ambientale, nonché ad un irrazionale spreco energetico. I progettisti hanno visto nell'architettura verticale una possibile soluzione a questi problemi. Si tratta infatti del primo modello di una vera e propria città verticale intesa come struttura urbana ecologica, ispirata a strutture e principi appartenenti alla natura. Il progetto si compone di due complessi urbani bioecologici integrati l'uno nell'altro, che si sviluppano rispettivamente in verticale ed in orizzontale. Il primo, la "Torre Bionica", si compone di 12 quartieri che si sviluppano in verticale per una altezza media di 80 metri ciascuno. Il secondo complesso, "the Island Base", è una pianta ellittica il cui diametro misura 1 km dove trovano spazio edifici di altezza comune, giardini, laghi e collegamenti. Secondo gli architetti: "La natura non costruisce con colonne e travi. La sua logica costruttiva è la tutela dell'energia, l'adattabilità e la flessibilità". Le fondamenta del grattacielo bionico imitano infatti la struttura delle radici di un albero con un sistema di cementificazione flottante che si sviluppa come ramificazione di centinaia di bracci sotterranei lungo i quali vengono frammentati e dispersi i movimenti causati dal vento o da eventuali sismi. I 12 quartieri sono inoltre separati da aree vuote di 15 metri di altezza che servono



Figura 4.5: A sinistra la Bionic Tower ideata dagli architetti spagnoli Celaya, Pioz e Cervera.[62] A destra il Treescaper tower of tomorrow di William McDonough.[63]

da ammortizzatori in caso di emergenze, proprio come il tronco di un albero, per resistere a vento, incendi o terremoti, aumenta il vuoto interno man mano che cresce in altezza.[62]

Un altro esempio di architettura verticale è la *Treescraper tower of tomorrow* di William McDonough. Il particolare nome si riferisce al fatto che il grattacielo funzionerebbe esattamente come un albero, producendo ossigeno, distillando l'acqua, producendo energia e cambiando a seconda delle stagioni. La forma aerodinamica dell'edificio permette di ridurre l'impatto del vento mentre quella curva riduce la quantità di materiali necessari per la costruzione, aumenta la stabilità strutturale e massimizza lo spazio racchiuso. Molta attenzione è stata posta alla gestione e al riciclo delle acque reflue, utilizzate sia per l'irrigazione dei giardini. La facciata meridionale inoltre sarebbe composta da circa 100.000 metri quadrati di pannelli fotovoltaici; a questo si aggiungerà un impianto di cogenerazione, che sarà alimentato dal gas naturale, che potrebbe fornire l'energia che i pannelli solari non sono in grado di alimentare.[63]

Capitolo 5

Linee guida per una progettazione sostenibile

Aumento della popolazione mondiale, crescente bisogno di risorse, inquinamento di acqua aria e suolo, sono solo alcuni dei principali problemi che riguardano il nostro presente. In questo contesto la progettazione biomimetica costituisce un valido elemento per affrontare alcuni di questi problemi, riconoscendo l'interdipendenza tra edificio e ambiente circostante e acquisendo processi biologici per ottimizzarne le prestazioni.

L'intento è quello di formulare delle linee guida in grado di aiutare i progettisti che vogliono avvicinarsi al mondo della biomimetica.

5.1 Approccio alla progettazione

Nel libro *Design with Climate: bio-climatic approach to architectural regionalism*, Victor Olgyay individua quattro campi del design: climatologia, biologia, tecnologia e architettura. Secondo Olgyay, questi quattro campi si susseguono, seguendo ogni fase della metodologia progettuale:

«Il primo passo verso uno sviluppo dell'architettura ambientale parte dall'analisi degli elementi climatici in un dato luogo. Poiché l'uomo è la misura fondamentale in architettura e il riparo è progettato per soddisfare i suoi bisogni biologici, il secondo passo è valutare ogni impatto del clima in termini fisiologici. Come terzo passo, le soluzioni tecnologiche devono essere applicate a ogni problema di comfort climatico. Nella fase finale queste soluzioni dovrebbero essere combinate, in base alla loro importanza, nell'unità architettonica.» [64]

Nella terza fase, "tecnologia", Olgyay considera altri fattori: selezione del sito, orientamento solare, calcolo dell'ombreggiatura, forme abitative e forme degli edifici, movimenti dell'aria (vento e ventilazione) e temperatura interna. Tutti questi fattori contribuiscono a realizzare un "rifugio equilibrato". Questi quattro campi descrivono tutte le condizioni climatiche degli spazi interni e degli ambienti diretti di un "rifugio".

Tuttavia questi aspetti, che garantiscono la funzione primaria di un edificio, dovranno essere integrati da osservazioni nel campo dello sviluppo sostenibile e dei cambiamenti climatici globali indispensabili a perseguire gli obiettivi globali sintetizzati dal *Millennium Project* e dai *Global Goals*.

5.1.1 Sintesi dei principi progettuali

Il Biomimicry 3.8 ha delineato i *Life's Principles*, ovvero modelli dominanti che hanno reso possibile la sopravvivenza delle specie e la vita sulla terra. Assimilando e imparando queste lezioni possiamo modellare strategie innovative e progettare seguendo questi punti di riferimento sostenibili.

Evolgere per sopravvivere L'evoluzione non è intesa solo come cambiamento, ma si tratta anche di ripetere approcci di successo e riconoscere gli adattamenti che funzionano. Ciò che funziona per aiutare la specie a sopravvivere e prosperare passa di generazione in generazione, mentre quegli adattamenti che rendono l'organismo meno adatto alla vita, vengono eliminati nel tempo. In campo architettonico questo si traduce in ricerca e sperimentazioni che possono portare a nuove forme e funzioni, andando a reiterare e migliorare nel corso del tempo le soluzioni ottimali ed abbandonare quelle obsolete.

Adattarsi al cambiamento In natura i polpi, hanno cellule della pelle altamente specializzate in grado di adattare il loro colore ad ogni nuova situazione: possono mimetizzarsi per nascondersi dai predatori, o sfoggiare colori sgargianti per attirare un compagno. Allo stesso modo l'architettura biomimetica deve essere in grado di produrre spazi flessibili, modellando la forma alla funzione, adattandosi alle esigenze dei suoi fruitori, o anche ai cambiamenti ambientali. Deve quindi rispondere in modo appropriato alle sfide ambientali, come temperatura, umidità, luce solare, includendo processi, sistemi o forme che soddisfino bisogni funzionali e modellando gli adattamenti per prosperare.

Essere localmente responsabile Dato che, come già detto, il successo della sopravvivenza di tutti gli organismi dipende dall'essere in grado di adattarsi

5.2 Produrre un progetto bioispirato e sostenibile

al contesto, questi devono essere in sintonia con il loro ambiente e in linea con le realtà di quel particolare luogo e degli altri esseri viventi con cui interagiscono. Analizzare il contesto, essere consapevoli delle risorse, dei vantaggi, delle criticità e perfino dei sistemi costruttivi tradizionali che offre il luogo di costruzione, è un metodo per essere in sintonia con l'ambiente senza deturparlo e costruire in modo responsabile.

Essere materialmente ed energeticamente efficiente La natura funziona grazie al sole, usa solo l'energia di cui ha bisogno e ricicla tutto. In campo edilizio bisogna ottimizzare e non massimizzare. Quindi ridurre gli scarti derivanti dalla costruzione e dalla demolizione, avere un approccio minimalista per quanto riguarda l'uso delle risorse, utilizzare quanto più possibile risorse e materiali rinnovabili e gestire sapientemente quelle non rinnovabili. Riciclare quando più possibile utilizzando gli scarti come nuove risorse rientrando in un'ottica di "circolo chiuso".

Integrare lo sviluppo e la crescita In natura lo sviluppo non è mai indiscriminato e infinito. Dopo una fase iniziale di crescita e moltiplicazione, ne segue una di stabilizzazione e infine una di declino che riporta però il ciclo al punto di partenza.

Lo sviluppo dell'uomo deve seguire le stesse logiche. Incentivare strategie per promuovere una crescita integrata ad uno sviluppo sostenibile basandosi sull'auto-organizzazione, evolvendosi secondo un sistema di cooperazione ed interdipendenza, generando condizioni favorevoli alla vita e supportando il ripristino dei sistemi degradati anziché crearne di nuovi.

Usare processi di produzione sostenibili La natura nonostante disponga di pochissimi elementi di base riesce a sviluppare una moltitudine di materiali diversi. L'uomo al contrario necessita di molti più elementi che deve trasformare attraverso processi di produzione energeticamente dispendiosi e spesso dannosi per l'ambiente. L'obiettivo è semplificare tali processi e renderli più adatti alla vita.[65]

5.2 Produrre un progetto bioispirato e sostenibile

È ormai chiaro che per utilizzare la biomimetica in campo architettonico è necessario impostare un nuovo metodo di progettazione.

Sulla base dei precedenti principi, sono state sviluppate delle linee guida applicabili in diversi contesti, che aiutino i progettisti a individuare le problematiche relative alle caratteristiche peculiari dell'area di progetto e sviluppare soluzioni

architettoniche sostenibili.

La progettazione degli edifici non può prescindere infatti dal contesto in cui essi sono inseriti: clima, paesaggio, topografia, contesto edilizio, trasporti e infrastrutture si ripercuotono su ogni singolo edificio e contribuiscono alla creazione di un contesto. L'architettura va inoltre inserita in un sistema di alimentazione e smaltimento che interessi le istituzioni sociali e culturali, che assicuri la mobilità e la comunicazione; anche l'utilizzo efficiente della superficie ha un'importanza decisiva per l'ottimizzazione energetica dell'edificio e dello spazio.[66]

5.2.1 Le analisi del contesto

Sito

Le condizioni climatiche di un luogo determinano il tipo di offerta energetica di cui si può disporre in loco e di conseguenza anche le potenzialità di sviluppo formali e strutturali dell'edificio stesso. L'involucro dell'edificio svolge la funzione protettiva contro gli effetti negativi del clima esterno e può all'occorrenza trarre dall'ambiente circostante l'energia di cui ha bisogno.

Clima

L'analisi del clima determina le condizioni di benessere per l'uomo e gli accorgimenti conseguenti.

- Zona a clima freddo: le strutture in queste aree devono più delle altre assolvere alle funzioni di isolamento termico sfruttando materiali isolanti efficienti e dei rapporti dimensionali adatti al mantenimento del calore interno. Sistemi di assorbimento dell'irraggiamento solare sono molto utili per il risparmio energetico.
- Zona a clima temperato: In questa zona è necessario prestare attenzione alle perdite di calore per conduzione e alla formazione di correnti d'aria, gli effetti termici indesiderati possono essere contenuti oltre che dall'isolamento termico anche da masse di accumulo. La forma e la compattezza dell'edificio saranno elementi rilevanti per prevenire le perdite energetiche attraverso l'involucro.
- Zone a clima caldo umido: il clima di queste aree vanifica e neutralizza l'effetto delle masse di accumulo integrate nell'edificio. L'architettura è solitamente costituita da costruzioni leggere, la conformazione deve perseguire una funzione rinfrescante e volta al ricambio d'aria, proteggere dalle piogge e dai raggi solari.

Territorio

Osservare le caratteristiche del territorio può aiutare nella ricerca di soluzioni che possano sfruttare le caratteristiche locali, come la capacità di assorbimento e immagazzinamento dell'energia solare delle superfici, come si nota ad esempio nelle aree costiere o lacustri. Le acque assorbono parte dell'energia incidente mantenendo un clima più temperato, al contrario della terra che si riscalda molto più rapidamente. Effetti analoghi possono essere considerati anche su diverse tipologie di terreni, provocati dalle caratteristiche topografiche e dall'ombreggiamento. Queste caratteristiche determinano venti ascensionali, brezze e anche la quantità di umidità dell'aria e le precipitazioni. Fattori particolarmente importanti nelle aree urbane sono la possibilità di garantire immissioni di aria fresca e la conservazione dell'acqua piovana nel sistema urbano.

Acqua

Nelle aree con forti precipitazioni sono importanti i corsi d'acqua e le reti di canalizzazione. Bisogna osservare la corretta gestione delle aree libere da edifici cercando di non interrompere il ciclo naturale delle acque piovane, senza ritardare lo scolo delle acque e sfruttare le potenzialità per influenzare positivamente il microclima urbano e l'evaporazione.

Sole

In relazione al clima di un determinato luogo, assumono particolare importanza le misure protettive contro gli effetti climatici e la possibilità di sfruttamento delle fonti energetiche presenti nell'ambiente circostante. Un'elevata radiazione solare e una lunga esposizione sono condizioni favorevoli per un potenziale sfruttamento dell'energia solare, anche se possono comportare un surriscaldamento dell'edificio. L'ombreggiamento delle superfici esterne può essere analizzato studiando la posizione del sole, intervenendo eventualmente con le soluzioni protettive necessarie; al contrario si può considerare un potenziamento dell'irraggiamento agendo sulla riflessione dei materiali, orientando la luce naturale verso l'edificio.

Vento

Edifici particolarmente esposti all'azione dei venti possono presentare elevate dispersioni energetiche attraverso l'involucro. Soluzioni per ridurre la velocità del vento in prossimità degli edifici potrebbero rivelarsi efficaci per ridurre le dispersioni termiche. Sistemi di riduzione delle differenze di temperatura circostanti

evitano la formazione di correnti ascensionali aumentando il grado di comfort nella calura estiva.

Sfruttare adeguatamente il vento naturale potrebbe inoltre rivelarsi utile per esempio per la purificazione dell'aria e la ventilazione dell'edificio.

Conformazione dell'edificio

Anche la struttura e la conformazione dell'edificio permettono di minimizzare le dispersione di energia e massimizzare il rendimento. Tipologia e dimensioni definiscono il fabbisogno corrispondente. L'orientamento ottimale degli ambienti e delle funzioni vengono decisi in base ai fattori climatici quali l'irradiazione solare e al fabbisogno di luce. Anche il posizionamento delle masse di accumulo devono essere sistemate adeguatamente evitando il rischio di surriscaldamento.

L'attenta analisi delle variabili esterne e delle esigenze interne permette di valutare criticamente le tipologie classiche di edificio e di svilupparne di nuove, per questo possono contribuire riflessioni di carattere energetico e di destinazione d'uso.

Infrastrutture e tecnologie

Gli edifici non sono entità isolate ma sono inseriti in una rete di infrastrutture, producono acque di scarico e rifiuti e devono essere collegati alle vie di comunicazione. Anche se in futuro gli edifici consumeranno una minore quantità di risorse essi continueranno a dipendere dalla fornitura di energia e materie prime dell'esterno. Sistemi di trattamento e deflusso delle acque, reti infrastrutturali per il trasporto energetico, impianti, raccolta e trattamento dei rifiuti, collegamenti stradali e trasporti urbani restano necessità con cui fare i conti anche nella progettazione futura.

5.2.2 Il confronto biologico

La fase successiva presuppone la ricerca all'interno del mondo biologico di soluzioni alle problematiche individuate nel paragrafo precedente. Il progettista potrebbe essere aiutato nella sua ricerca ponendosi le domande: "Come fa la natura a fare questo?", "come un determinato organismo risolve questo problema?". Spesso l'osservazione di organismi o ecosistemi che sopravvivono in aree simili, per clima e caratteristiche del territorio, a quello di progetto sono quelli adatti a trovare le migliori soluzioni. Ad esempio se il progettista dovrà lavorare in zone desertiche è facile che la soluzione ai problemi di abduzione di acqua e protezione dal caldo la possa trovare osservando la flora e la fauna locale piuttosto

che quella delle aree paludose, poichè le sfide che deve affrontare un progetto in tali luoghi saranno le medesime di quelle degli organismi locali. Tale affermazione può aiutare per facilitare un primo approccio alla ricerca biologica, soprattutto se non si dispone delle conoscenze di un biologo nel proprio team di lavoro, ma non bisogna considerarla come una regola assoluta, infatti si possono trovare soluzioni adatte anche in contesti completamente diversi, ad esempio la capacità di ridurre le perdite di acqua attraverso la respirazione degli elefanti marini[26] potrebbe rivelarsi utile per la conservazione dell'acqua in ambienti desertici.

Uno strumento utile e di facile utilizzo nella ricerca di soluzioni naturali e progetti bioispirati è il motore di ricerca web gratuito *AskNature* che offre soluzioni non solo nel campo dell'architettura ma anche in quello della tecnologia generale.

Lo schema nell'immagine 5.1 rappresenta un metodo con cui possono essere estratte le tipologie di soluzioni principali per quanto riguarda le caratteristiche ambientali: temperatura, aria, acqua e luce, individuando gli elementi essenziali per la ricerca di strategie che possano essere applicate agli edifici. In un processo progettuale, in cui le idee sono basate sulle funzioni, è importante tener presente i collegamenti tra i processi fisici e le loro applicazioni.[67]

5.2.3 La definizione del concept

Individuate le funzioni e la tipologia edilizia, le caratteristiche del territorio e le relazioni con il sistema urbano, individuate le soluzioni che il mondo biologico ha sviluppato per problemi analoghi, il concept rappresenta l'elaborato finale del metaprogetto, rappresenta le soluzioni propositive incorporando le strategie e le linee guida che accompagneranno la fase esecutiva.

In termini biomimetici questa è la fase caratterizzante e più importante della progettazione biomimetica, che mette a frutto l'unione tra le scienze biologiche e l'architettura, unisce le soluzioni naturali alle sfide progettuali.

All'interno di un percorso progettuale possono esserci più proposte concettuali, che nel succedersi testimoniano i punti che il designer ha seguito per reinterpretare le soluzioni bioispirate nella realtà progettuale.

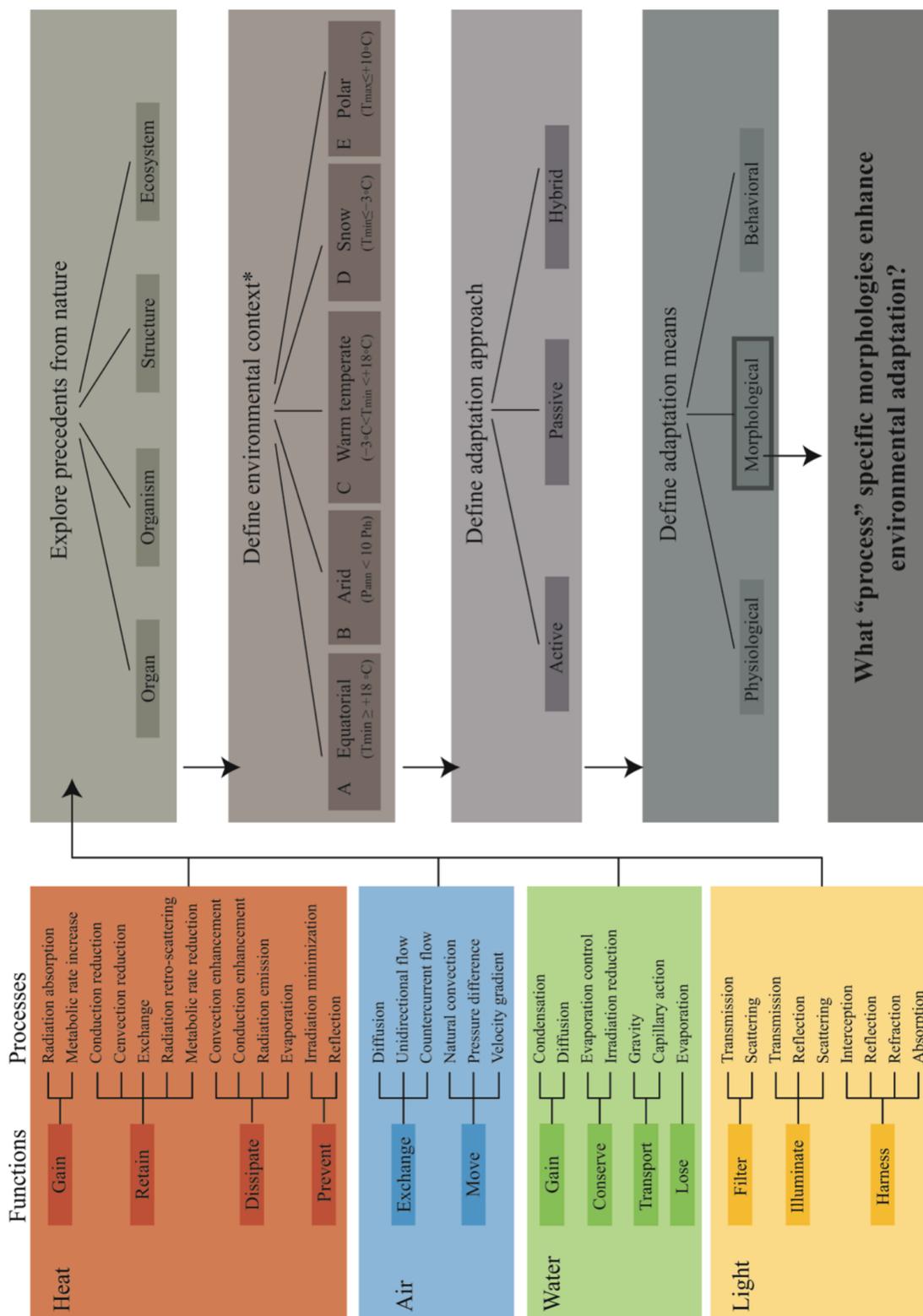


Figura 5.1: Modello combinato di quattro aspetti ambientali, funzioni rilevanti, processi corrispondenti e procedure per identificare i mezzi morfologici per l'adattamento.[67]

5.3 Esempi applicativi

5.3.1 Regolare il calore come il pinguino imperatore

L'IBN (Institute for Forestry and Nature Research) di Wageningen nei Paesi Bassi necessitava di una struttura che regolasse la temperatura dei giardini interni e dei laboratori. Per fare ciò si è sfruttato un sistema applicato all'involucro esterno ispirato al pinguino imperatore.

I pinguini imperatori si riproducono durante il freddo inverno antartico, dove le temperature possono raggiungere -30°C . Per conservare l'energia e proteggersi dal freddo, adottano una strategia comportamentale basata sull'unirsi in gruppi numerosi. Rannicchiarsi uno sull'altro è fondamentale per la loro capacità di sopravvivere nel clima polare. Essi hanno diversi schemi che si susseguono in diverse fasi di allevamento, con il maggior numero di pinguini che si accalcano durante il periodo di incubazione delle uova che dura 105 - 115 giorni, durante i quali i maschi devono sopravvivere al digiuno mentre cercano anche di tenere calde le uova.[26]

Quando calano le temperature, le centinaia di maschi di una colonia si uniscono in un numeroso gruppo; questo comportamento ha alcune conseguenze importanti: il rapporto superficie-volume del gruppo è molto più basso rispetto a quello del singolo animale; i pinguini al centro della colonia sono protetti dalle tempeste e dai venti, inoltre il calore che producono è condiviso tra loro. Questa condivisione del calore riduce notevolmente la necessità di generare calore, riducendo il tasso metabolico fino al 25%.

Questi animali si comportano secondo due condizioni: "non accalcato" e "accalcato". L'assunzione di una o dell'altra condizione, dipende dalla temperatura esterna e dalla disponibilità di fonti di cibo: quando non c'è cibo e la temperatura diminuisce, viene eseguita la condizione "accalcata". Altrimenti, il risultato è una configurazione "non accalcata". Si tratta quindi di una risposta al clima e alla disponibilità di cibo.

L'IBN è stato quindi dotato di un sistema termico "equivalente". La soluzione architettonica sarebbe l'apertura e la chiusura delle pensiline del tetto in base alle condizioni esterne, consentendo o evitando l'entrata dell'aria esterna. Un'importante differenza con il pinguino imperatore è che in questo modo non si svolge solo uno scambio di calore tra gli uffici e i giardini interni. Durante il giorno, i sistemi di ombreggiatura bloccano il sole mentre la massa termica assorbe il guadagno di calore solare; mentre di notte, la tettoia si apre, in modo che il calore intrappolato possa uscire. Quando il calore è necessario, l'involucro è chiuso, intrappolando il

calore all'interno degli spazi del giardino.[64]

5.3.2 Gestire lo spazio con la spirale di fibonacci

Come possono le macchine e i reparti essere disposti in una struttura produttiva ottimale, in modo che le perdite di tempo, i percorsi di trasporto, il carburante ecc. siano ridotti al minimo? Uno studio effettuato dalle università di tecnologia di Graz e Cottbus[69] ha osservato i flussi di materiali all'interno di uno stabilimento industriale con lo scopo di proporre layout distributivi diversi e verificarne l'efficienza.

La loro domanda era se gli approcci di pianificazione esistenti e i modelli di progettazione dei sistemi di fabbrica possano essere adattati in modo che i processi relativi al flusso di materiali dalla produzione e dalla logistica ricevano un adattamento ottimale a un cambiamento intelligente dell'ambiente.

Per facilitare la ricerca di analogie è stato suddiviso il tema della pianificazione distributiva della struttura ideale in due categorie: processi di crescita e input-output. La prima categoria osserva i processi di crescita delle fabbriche, perché un layout di fabbrica di oggi non dovrebbe essere una concezione fissa. Piuttosto dovrebbe avere la capacità di crescere con le crescenti richieste di prestazioni o anche di ridursi se le circostanze economiche globali, le politiche aziendali, i cambiamenti di prodotto, ecc. lo rendano necessario. La seconda categoria individua i processi input-output come un tema centrale delle fabbriche, poiché rappresenta l'obbligo principale che una fabbrica deve soddisfare. Con l'aiuto di queste categorie, sono state ricercate nel mondo vivente della natura alcuni modelli biologici applicabili nella progettazione del sistema.

Per un confronto dell'efficienza dei nuovi sistemi, come primo passo sono stati raccolti i dati sul flusso di materiali delle strutture reali di riferimento. Come secondo passo sono stati applicati metodi logistici tradizionali per la pianificazione teorica ideale. In una terza fase sono stati applicati gli approcci naturali individuati: il guscio di nautilus, la ragnatela e il nido d'ape, per organizzare lo schema ideale per la distribuzione delle aree.

Dopo aver esaminato diverse varianti, la scoperta finale è stata che gli approcci bioispirati erano in grado di stare al passo con i metodi tradizionali, inoltre un approccio biomimetico basato sul nautilus, ovvero sulla spirale di Fibonacci, poteva addirittura battere il miglior metodo tradizionale (metodo distributivo del triangolo, Grundig 2013) del 13,6%.

5.3 Esempi applicativi

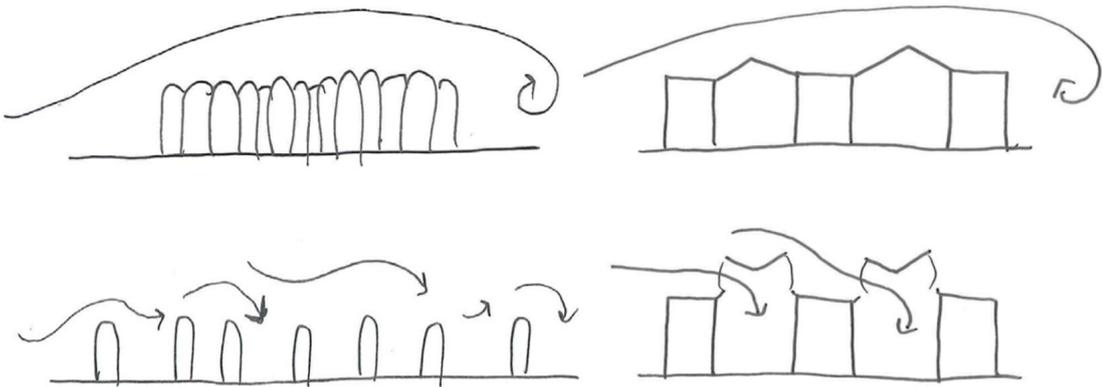


Figura 5.2: Applicazione del sistema di regolazione termica del pinguino imperatore nella sede dell'IBN a Wageningen.[64][68]

5 Linee guida per una progettazione sostenibile

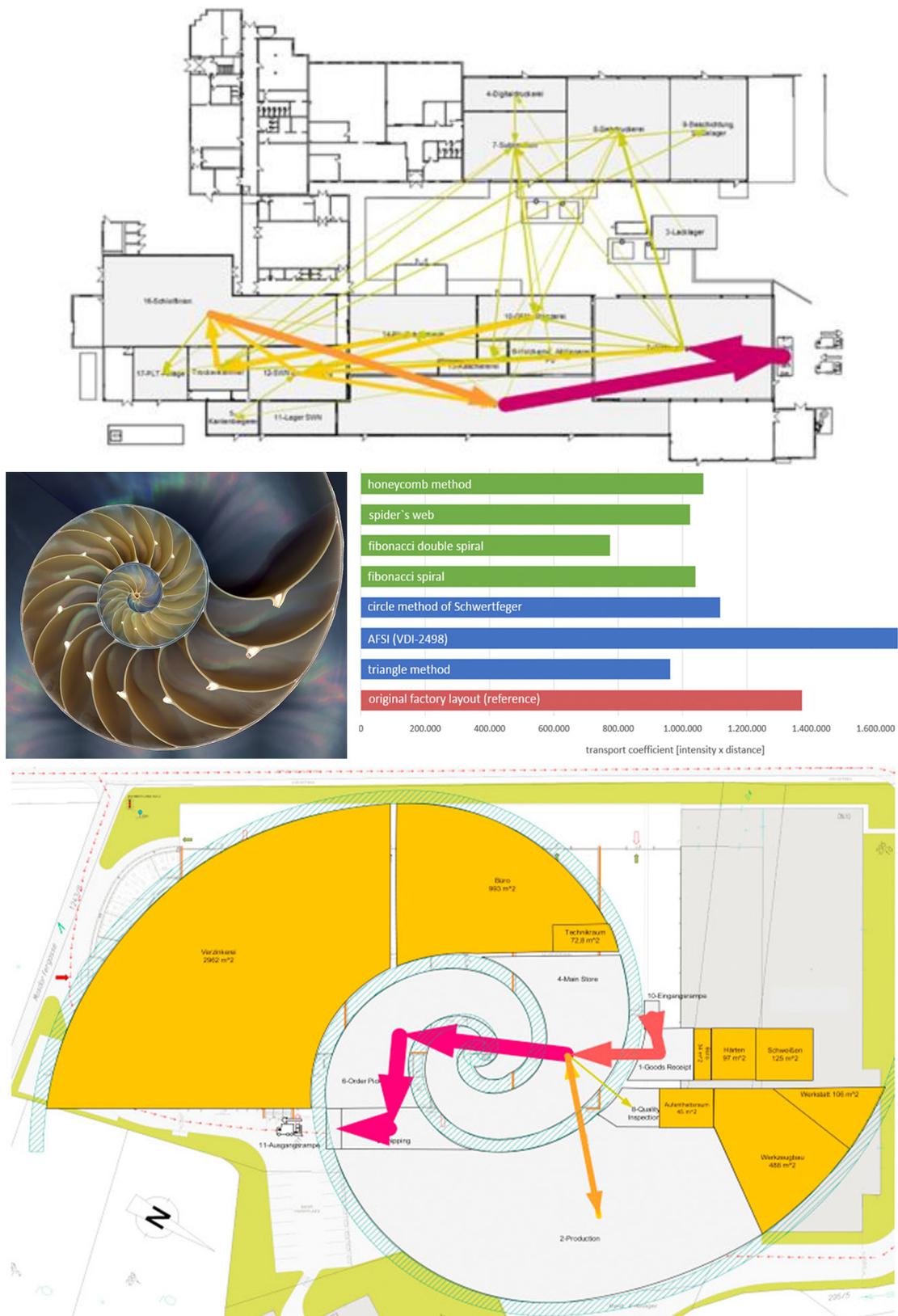


Figura 5.3: In alto il caso studio reali per le analisi, sotto il progetto teorico per verificare l'efficienza di una fabbrica con layout ispirato alla spirale del nautilus (le frecce più spesse indicano una maggiore intensità di trasporto).[69]

Capitolo 6

Analisi

Finora si è parlato di cos'è la biomimetica e come può essere applicata per dare vita a soluzioni tecnologiche. In particolare, facendo riferimento al campo architettonico, si cercano soluzioni in grado di migliorare la vita dell'uomo, imparando dalla natura senza danneggiare l'ambiente.

Successivamente, sono state create delle linee guida per un nuovo processo progettuale che al suo interno integri la biomimetica e la sostenibilità ambientale.

Ne capitoli seguenti verrà mostrata un'applicazione concreta di questo processo, al fine di mostrare come la biomimetica può essere applicata al progetto architettonico.

Individuare gli obiettivi è prioritario per definire quali caratteristiche dovrebbe avere il progetto finale e su quali problematiche focalizzarsi.

Nel caso studio che sarà definito successivamente, la scelta degli obiettivi ricade su alcuni processi che costituiscono frequenti problemi riguardanti la sostenibilità ambientale, la produzione di energia, la gestione delle acque, il processo di produzione di cibo e dei rifiuti.

6.1 Scelta del progetto

La scelta di un progetto adatto al presente lavoro di tesi ha dovuto osservare alcuni requisiti, atti ad applicare in modo esemplificativo i principi descritti nei capitoli precedenti. La ricerca in ambito nazionale e internazionale di bandi di concorso anziché l'ipotesi di progetti teorici si è rivelata utile in quanto l'applicazione della biomimetica a progetti reali permette di approfondire aspetti climatici e territoriali propri di una determinata area di progetto.

Nel periodo di stesura del presente lavoro i progetti pubblici disponibili e aperti a tutti si svolgevano principalmente in ambito internazionale. Pertanto la scelta è caduta su un concorso di idee presso la città di Tallinn in Estonia. Questa scelta si

è rivelata adatta allo scopo in quanto richiedeva delle idee di valorizzazione di un'area della città, senza particolari vincoli urbanistico-architettonici. Le particolari condizioni climatiche del luogo inoltre, molto diverse da quelle italiane, avrebbero stimolato la ricerca di interessanti soluzioni bioispirate, anche per il fatto che, stando alle ricerche effettuate, molto si è studiato e realizzato per climi secchi e caldi, meno per quelli freddi e con deficit di luce solare, il che avrebbe portato ad analizzare tali problematiche.

6.1.1 Tallinn Architecture Biennale 2019

"Beauty Matters: The Resurgence of Beauty" è il tema della *Tallinn Architecture Biennale 2019* (TAB) che si svolgerà nella capitale estone dall'11 settembre al 3 novembre, per la sua quinta edizione. È un festival internazionale di architettura e urbanistica con un programma diversificato che promuove la cultura architettonica e incoraggia la sinergia tra architetti estoni e stranieri, creando contatti e scambi di idee.

La Biennale di Architettura di Tallinn sarà ospitata in diverse sedi nel centro della città, come il Museo dell'architettura estone e l'Hub creativo di Tallinn. Il programma TAB comprenderà diversi eventi: una Curatorial Exhibition, un Symposium e una Vision Competition;^[70] ed è proprio quest'ultima che rappresenta il punto di arrivo degli elaborati del progetto.

6.1.2 TAB 2019 Vision Competition: "New Habitats, New Beauties"

In relazione al tema principale, la Vision Competition di quest'anno si concentra sul lato sud del caratteristico quartiere di Kalamaja, un'area urbana a nord di Tallinn. Il team curatoriale chiede che le proposte sfuggano alla blanda globalizzazione dell'architettura e trovino nuovi concetti in linea con gli stili di vita alternativi degli abitanti di Kalamaja. L'obiettivo del concorso è quindi trovare nuove soluzioni per modellare l'ambiente di vita con spazi condivisi e privati in cui vivere e lavorare ed evitare un'architettura globalizzata. Le dimensioni dell'area di gara sono scelte in modo da consentire l'attenzione ai dettagli e incoraggiare il pensiero dal punto di vista della pianificazione urbana. Il Capo Curatore, il Dr. Yael Reisner afferma: «*A goal is to envision the shared eco-system, enhancing relationships between people, flora and fauna, exploring the relationship between*

the organic and inorganic, and considering indoors as outdoors»¹. [71][72]

6.2 Tallinn e il quartiere di Kalamaja

Il sito di progetto si trova a Tallin, una città di 400 mila abitanti e capitale dell'Estonia.

L'area di progetto è situata all'interno del quartiere di Kalamaja, un quartiere a ovest del centro storico in prossimità della costa. Kalamaja è considerata una delle zone più vivaci di Tallinn ed è divenuta molto popolare tra giovani e famiglie. L'attività industriale, molto forte in passato, ora si sta spostando nelle zone più periferiche della città e oggi rimangono attivi solo alcuni stabilimenti.

L'intervento avverrà nella fascia compresa tra via Kopli e la linea ferroviaria che si trova a sud-ovest, una vasta area di stoccaggio delle merci divide l'area dal vicino quartiere di Pelgulinn e nel prossimo futuro sarà oggetto di una importante riqualificazione. A nord-est c'è la linea tranviaria che, seguendo via Kolpli, costituisce un importante collegamento con la zona del centro e la penisola di Kopli, dove si trova il cantiere navale. Sul lato opposto alla strada sono presenti abitazioni in legno dell'inizio del XX Secolo.

6.2.1 Storia della città

I primi insediamenti umani nelle coste della Baia di Tallinn risalgono a 5000 anni fa mentre la prima fortificazione venne realizzata intorno al 1050 d.C. sulla collina di Toompea, un piccolo altopiano che si alza di circa 20 - 30 metri sopra la pianura circostante e che oggi è la sede del parlamento estone, del governo e di alcune ambasciate.

Tra il XI e XIII secolo il porto si sviluppò grazie al commercio tra la Russia e la Scandinavia. Durante il periodo delle crociate del Nord per la cristianizzazione dell'Europa settentrionale diventò un bersaglio per l'espansione dei Cavalieri Teutonici e il Regno di Danimarca.

La città, allora conosciuta come Reval, aderì nel 1285 alla Lega Anseatica, costituendone il porto più settentrionale. In epoca medievale godeva di una posizione strategica, crocevia del commercio tra Europa Occidentale, Settentrionale e la Russia, Reval raggiunse una popolazione di 8000 abitanti. A questo periodo ri-

¹«Un obiettivo è immaginare l'ecosistema condiviso, migliorare i rapporti tra le persone, la flora e la fauna, esplorare il rapporto tra organico e inorganico e considerare gli interni come esterni»

6 Analisi



Figura 6.1: Vista aerea dell'area di progetto

6.2 Tallinn e il quartiere di Kalamaja

sale la conformazione del centro storico sotto la collina di Toompea, le mura vennero ampliate e fortificate con 66 torri di difesa. Anche al di fuori delle mura si trovavano diversi insediamenti oggi scomparsi a causa delle guerre e degli assedi avvenuti nei secoli successivi. Nel 1561, Reval si pose sotto il dominio svedese per ricevere protezione contro la Russia e la Polonia. Nel periodo svedese la città sviluppò la prima scuola secondaria per le materie umanistiche voluta dal re svedese Gustav Adolf, le linee postali con gli altri centri del regno e il giornale della città "*Revalsche Post-Zeitung*".

Nel XVII secolo si crearono degli insediamenti stabili fuori dalle mura storiche,

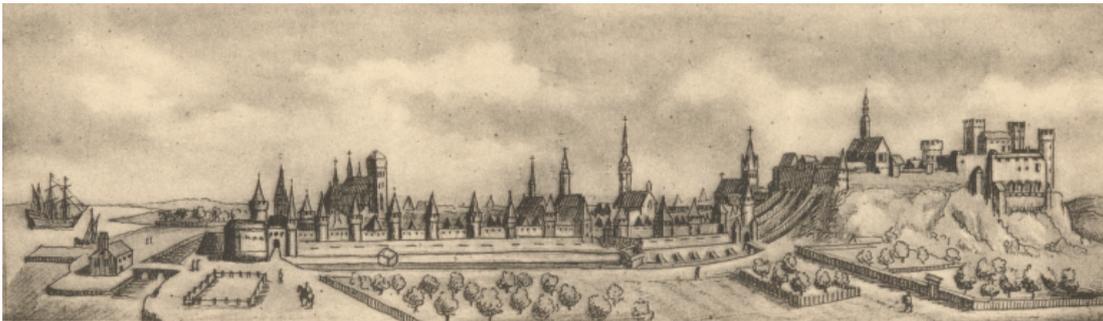


Figura 6.2: Tallinn nel 1650, a destra si vede l'altura di Toompea e la città anseatica all'interno della cinta muraria.[73]

vennero così ad ampliarsi le frazioni di Kalamaja, Tõnismäe e Kivisilla che richiesero nuovi progetti per l'ampliamento delle mura difensive solo in parte poi realizzati.

In seguito ad un assedio da parte dell'Impero Russo, Tallinn entrò a far parte della Russia nel 1710, pur conservando le istituzioni di auto-governo locale, come la Magistratura di Reval e la Cavalleria di Estonia.

Sotto il dominio degli Zar, Tallinn intraprese alcune importanti trasformazioni urbane, tra le più significative vi furono la ricostruzione del castello e il potenziamento delle difese portuali, la realizzazione delle chiese ortodosse e il trasferimento del cimitero fuori dalle mura.

L'imperatore russo Pietro I fece realizzare un cantiere per la costruzione di navi da guerra e mercantili. Il cantiere navale necessitava inoltre di altri edifici per il suo funzionamento, tra cui officine, magazzini, fucine, edifici amministrativi e l'arsenale. Assieme a queste attività sorsero altre manifatture, imprese di costruzione, laterizi e una segheria.

Intorno all'anno 1730, venne istituito a Tallinn il Military College, dove gli studenti di scienza militare e umanistica vivevano a fianco dell'esercito e di un certo numero di lavoratori qualificati, come falegnami, calzolai e sarti.

In prossimità delle guerre napoleoniche a Tallin era concentrata quasi tutta la

6 Analisi

flotta baltica dell'impero e per la protezione del porto vennero preparate fortificazioni e ripari.

Nel 1825 la città di Tallinn rilasciò delle norme edilizie che limitavano la costruzione nei quartieri urbani per questioni di sicurezza militare. I quartieri vennero divisi in quattro divisioni di pre-sicurezza (*Festung-Distanzen*) che vennero mantenute fino al 1858, anno in cui l'Impero russo tolse la città dalla lista delle fortezze di terra.

Lo sviluppo dell'Estonia nella seconda metà del XIX secolo fu caratterizzato da una generale modernizzazione, industrializzazione e un nazionalismo diffuso. Gli Estoni hanno cominciato a sentire un'identità nazionale, che si è svolta in modi molto simili ad altre piccole nazioni europee.

Tallinn in questo periodo aumentò il numero di abitanti e nuove aree residenziali sorsero attorno a quelle già esistenti. Si ampliarono le aree artigianali e industriali e nacquero importanti stabilimenti metalmeccanici e nuove officine.

Nel 1864 venne fondata la *Revaler Gesellschaft für Wasserleitung und Gasbeleuchtung* (gestione delle risorse idriche luce e gas di Reval), che progettò la distribuzione dell'acqua, la fognatura e la gestione del gas.

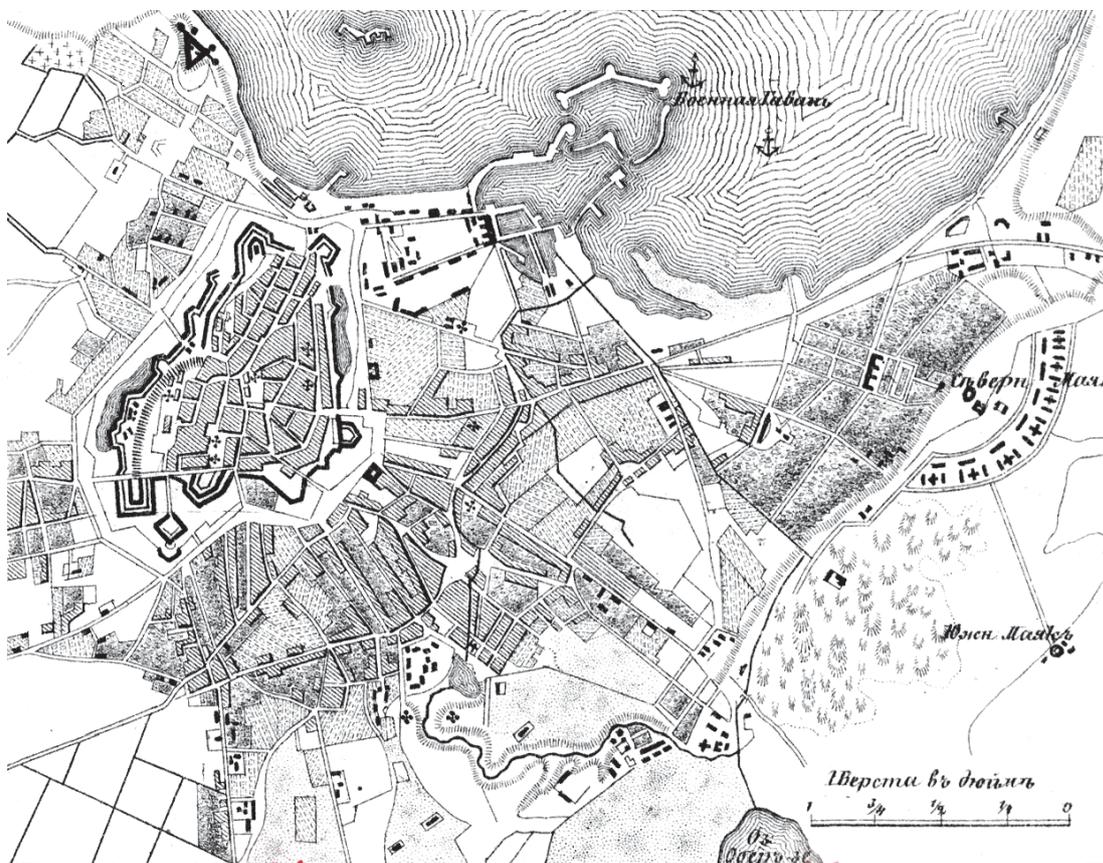


Figura 6.3: Tallinn nel 1876, prima della realizzazione delle linee ferroviarie.[74]

6.2 Tallinn e il quartiere di Kalamaja

Il 24 agosto 1888 venne inaugurata la prima linea del tram a cavallo "*Konka*", mentre la rete ferroviaria venne inaugurata nel 1870 con una prima tratta che collegava Tallinn a San Pietroburgo.

Nei primi anni del '900 l'ammiragliato imperiale sviluppò un piano di rinnovamento della flotta alla fonda a Tallinn e decise di spostare la base dei nuovi cantieri nella penisola di Kopli a ovest della città.

In questo periodo la città conobbe una fenomenale crescita urbana, se alla fine dell'800 la città abitata si limitava al centro storico e a bassi quartieri periferici, nel 1915 dopo l'introduzione del nuovo piano urbanistico redatto da Eliel Saarinen (padre del famoso architetto Eero Saarinen), si moltiplicarono anche all'esterno delle mura scuole e altri edifici pubblici.

In seguito alla Prima Guerra Mondiale e agli avvenimenti della rivoluzione russa

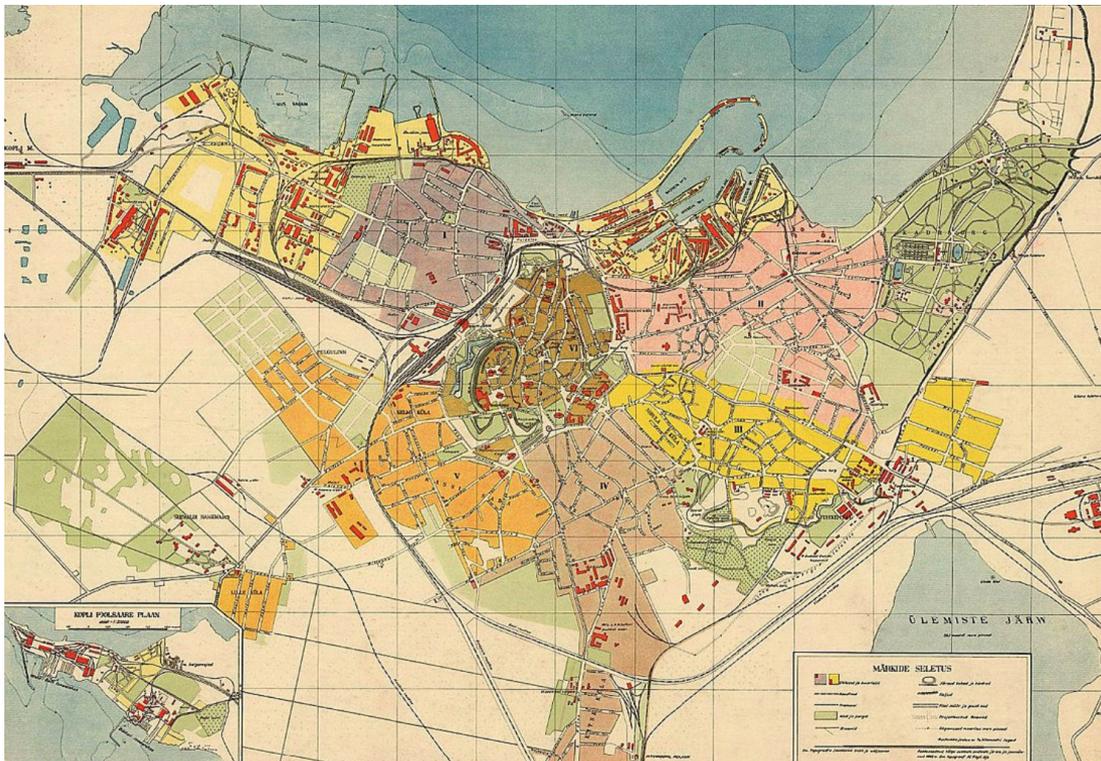


Figura 6.4: Tallinn nel 1930, la città si espande e le industrie navali si spostano nella penisola di Kopli.[74]

cade il potere dell'Impero e l'Estonia annuncia la sua indipendenza il 23 febbraio 1918 ponendo come capitale Tallinn. Nel breve periodo della repubblica estone la città verrà dotata di nuove linee ferroviarie elettrificate e verranno realizzati alcuni importanti edifici come il museo marittimo, lo zoo e alcuni istituti professionali e licei.

I territori della repubblica verranno occupati dall'Unione Sovietica in seguito al patto Molotov-Ribbentrop stipulato nel 1939, poi nel 1941 dalla Germania nazi-

sta e di nuovo dall'URSS nel 1944. Alla fine della Guerra l'Estonia, fortemente indebolita dal conflitto, fu inglobata nell'Unione Sovietica e Tallinn divenne la capitale della RSS Estone.

Durante il periodo di occupazione sovietica, durato quasi cinquant'anni, il centro storico medioevale subì una fase di degrado: avvenne un lento spopolamento in cui gran parte dei cittadini di Tallinn preferì spostarsi nelle periferie, dove vennero edificate residenze a blocco di stampo sovietico che accoglievano anche i nuovi immigrati russi. Gli ambienti residenziali, disegnati seguendo i principi dell'architettura e dell'urbanistica moderna divennero accessibili alle masse e la periferia di Tallinn venne disseminata di appartamenti comuni realizzati per ospitare diverse famiglie le quali avevano cucina e bagno condiviso. Si calcola che l'occupazione di queste case fosse di 10,6 mq/ab.

Per migliorare gli spostamenti pubblici venne introdotto il filobus alla fine degli anni '60 per migliorare i trasferimenti degli abitanti nelle periferie. Dal decennio successivo vengono invece realizzate opere grandiose come l'Hotel Olympia di 26 piani, il Linnahall, un edificio polifunzionale per la cultura e lo sport realizzato in occasione delle olimpiadi del 1980 e il terminal aeroportuale.[75]

Il 20 agosto 1991, con la dissoluzione dell'Unione Sovietica, l'Estonia ebbe riconosciuta l'indipendenza ponendo Tallinn come capitale. Dopo questo evento la popolazione diminuì di circa il 10% poiché molti russi lasciarono il paese.

L'asse economico e il commercio estero dell'Estonia si spostarono dall'oriente verso i mercati occidentali, statunitensi ed europei. Sono state rapidamente privatizzate le aziende nazionali e la città riprese a crescere dal punto di vista economico. Nel 1997 il centro storico di Tallinn divenne patrimonio dell'umanità poiché riuscì a conservare quasi perfettamente le caratteristiche e l'aspetto della città anseatica.

Riacquistata l'indipendenza, molte persone cominciarono a preferire un'abitazione di proprietà e tra il 1990 e il 2000 si assistette in tutta l'Estonia a un periodo di sprawl, l'ampliamento delle aree suburbane seguirono quindi ad un miglioramento del benessere e alla volontà dei cittadini a lasciare le proprie vecchie case.[76]

Alcune imprese industriali sovietiche si sono riorganizzate e hanno continuato a operare, seppure a un volume minore. Nuove scuole secondarie e università sono emerse, in particolare scuole private di diritto ed economia.[77] Tallinn oggi è il principale porto dell'Estonia e costituisce un discreto polo di attività produttive. Si sono sviluppate industrie elettroniche e cantieristiche, importante è il settore informatico e la più nota start-up estone del settore è senza dubbio la Skype Technologies S.A., che ha elaborato l'omonimo software.

Anche il turismo si è molto affermato negli ultimi anni principalmente provenien-

te dalla Finlandia e dalla Russia.

6.2.2 Il quartiere di Kalamaja

Il quartiere di Kalamaja venne menzionato per la prima volta nel XIV ma si sviluppò principalmente alla fine del '500 come sobborgo della città di Tallinn. Inizialmente venne utilizzato dai pescatori da cui prese il nome (*Kala* significa pesce e *Maja* significa casa) e dai costruttori di navi, nel 1527 contava 78 famiglie. Oltre ad una funzione residenziale Kalamaja era caratterizzata dalla presenza di molte taverne a causa della vicinanza con il porto. Proprio grazie al porto adiacente, sotto la protezione di navi da guerra e al forte della città, era un posto molto più sicuro rispetto ad altre parti della periferia di Tallinn. Durante il dominio svedese Kalamaja venne distrutta e saccheggiata più volte a causa delle guerre contro i russi, nonostante ciò venne sempre ricostruita.

Nel XVII sec. le case erano piuttosto piccole, spesso senza giardino, simili a capanne. Sebbene ci fossero anche abitanti benestanti, la dimensione degli edifici non corrispondeva al loro livello di ricchezza. La costruzione delle case fuori dalle mura della città fu proibita per ragioni militari inoltre la sera le porte della città chiudevano e i viaggiatori che arrivavano al porto di Tallinn spesso dovevano pernottare fuori le mura trovando riparo nelle numerose locande di questo quartiere.

Con l'ampliamento delle mura cittadine e in particolare per la realizzazione del *bastione di Skoone* si rese necessaria la demolizione di tutte le abitazioni del quartiere entro i 270 metri dal confine esterno della fortezza. Con l'assedio da parte dell'Impero Russo del 1710 Kalamaja, priva di difese, venne bruciata completamente.

Grazie alle opere volute dallo Zar Pietro I, la creazione di un nuovo cantiere navale e le manifatture annesse, il quartiere si riprese molto velocemente. Le batterie di difesa e il corpo di guardia vennero posti lungo la costa, a difesa del porto militare.

A causa di una nuova legge del 1772, che vietava la sepoltura nelle chiese, venne istituito il nuovo cimitero presso Kopli, a nord est di Kalamaja, venne quindi realizzata la strada che ancora oggi taglia il quartiere.

Dopo che Tallinn venne tolta dalla lista delle aree di interesse militare nel 1858, Kalamaja iniziò gradualmente a diventare un'area industriale. Venne aperta la fabbrica di gas di Tallinn, il laboratorio di F. Wiegand Welder e l'industria del metallo di E. Lausmann. La costruzione di grandi fabbriche ha facilitato la crescita dell'area. Secondo le memorie locali, i nuovi ritmi delle fabbriche erano



Figura 6.5: Kalamaja alla fine del XVII secolo.[78]

pesanti. Le giornate lavorative erano lunghe, la giornata di lavoro alla Wiegand iniziava alle 6.30 e terminava alle 19.00 di sera. Il ritardo sul lavoro, la partenza anticipata o l'assenza arbitraria erano punibili con multe piuttosto gravose. Nello stesso periodo, la ferrovia San Pietroburgo-Tallinn venne completata e venne realizzato, al confine tra Kalamaja e Pelgulinn, lo stabilimento per la riparazione delle locomotive ferroviarie e delle carrozze. Nel 1880 lavoravano in fabbrica 500 persone. Nel 1915 venne aperta la prima linea di tram a vapore che arrivava fino a via Telliskivi.

Negli anni '20 Kalamaja costituiva uno dei principali poli industriali, vennero introdotte le fabbriche di Volta e Franz Krull per la realizzazione di locomotive e macchine per l'agricoltura e l'industria; ma vi erano anche fabbriche molto più piccole, ad esempio per la produzione del cioccolato, la lavorazione dei metalli, dei pizzi, ecc.

I lavoratori di queste e delle altre fabbriche si stabilirono a Kalamaja e si rese necessaria la costruzione di molte altre abitazioni, inizialmente costruite in legno ad uno o due piani. A metà degli anni '30 venne creata la maggior parte della rete stradale esistente e venne realizzato un parco, dove attualmente si trova il Centro Culturale Salme. Anche le case che lo circondano sono di questo periodo, per lo più case in legno.

Con la seconda guerra mondiale il quartiere venne bombardato distruggendo il

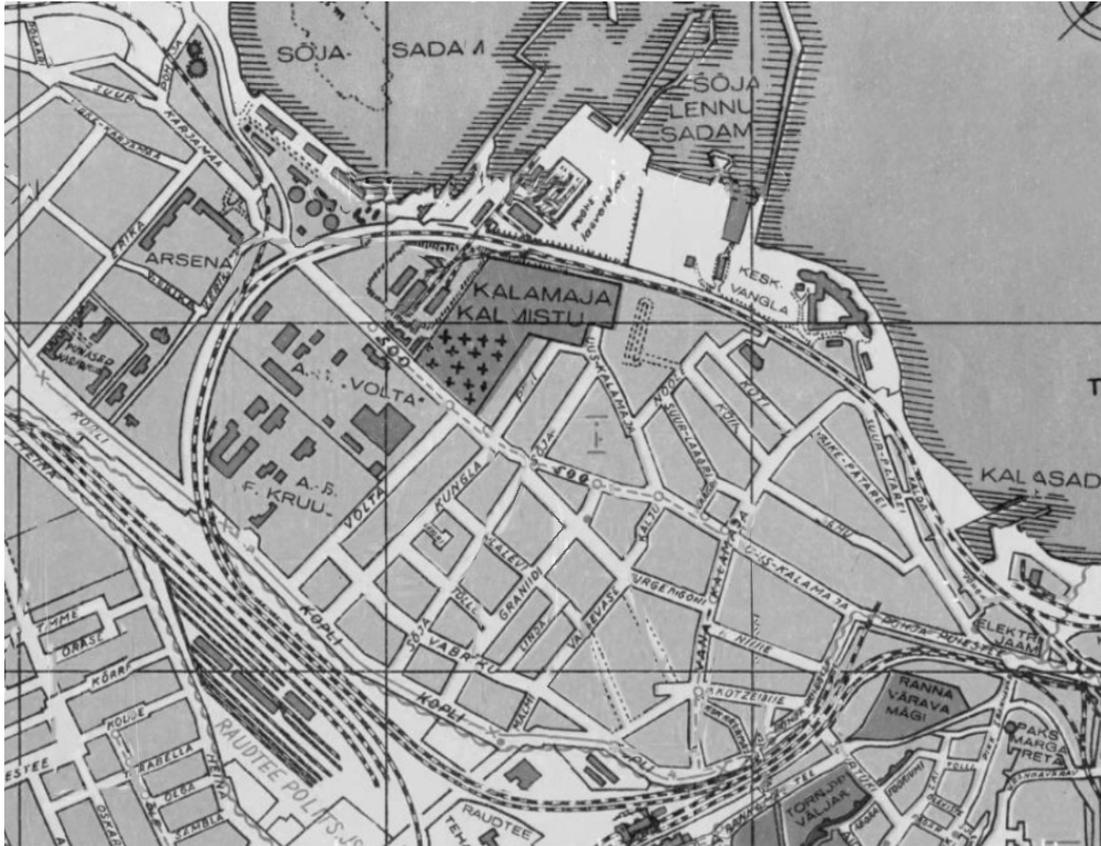


Figura 6.6: Il quartiere di Kalamaja nel 1938.

centro e molti edifici nelle vicinanze.

L'occupazione sovietica che seguì, nazionalizzò gran parte delle case prima private e l'"Ufficio per la Costruzione e Riparazione" del distretto di Kaliningrad si occupò di rinnovare gli edifici residenziali.[78]

6.3 Analisi territoriale

6.3.1 Clima e demografia

Tallinn si trova al 59° parallelo pertanto ha inverni freddi e nevosi. Le temperature medie estive si aggirano attorno ai 17°C a luglio e ai -4°C a febbraio raggiungendo picchi di -30°C nelle notti particolarmente rigide. Anche il mare ghiaccia, solitamente nel periodo compreso tra i mesi di gennaio e aprile. Gli inverni sono inoltre nuvolosi e poco soleggiati e al solstizio d'inverno il sole è presente per solo 6 ore, al contrario d'estate la luce solare raggiunge le 18 ore. Le precipitazioni sono più o meno distribuite equamente durante tutto l'anno e non sono particolarmente abbondanti (circa 600 mm/anno).



Figura 6.7: Tipiche case in legno in via Graniidi realizzate tra gli anni '20 e '30. I colori delle tavole di legno e gli infissi bianchi caratterizzano tutte le case di Kalamaja.

Per quanto riguarda la popolazione negli ultimi anni Tallinn ha raggiunto nel 2018 i 450 mila abitanti, anche Kalamaja è in crescita passando da 8.254 abitanti nel 2011 a 10.756 nel 2017.[79]

6.3.2 Funzioni nell'area

Le funzioni nell'area sono prevalentemente residenziali e industriali, Kalamaja è sempre stata una delle zone maggiormente industrializzate della città.

All'interno dell'area di progetto si trovano alcuni edifici dismessi, alcuni sono affittati come spazi per lo stoccaggio delle merci come quelli al civico 23 e 23a, mentre al 19 si trovano gli uffici della Shipco Transport Eesti, un'azienda che si occupa della gestione dei trasporti merci marittimi.

Subito a nord si trova il grande stabilimento della ex Krull che produceva locomotive e grandi macchinari per l'industria e l'agricoltura, mentre oggi è per la maggior parte affittato. L'entrata principale dell'ex Krull si trova proprio di fronte all'area di progetto.

Più distante si trova l'ex Volta da cui prende il nome l'omonima via e, oltre via Tööstuse, si trova uno stabilimento per la produzione di pianoforti.

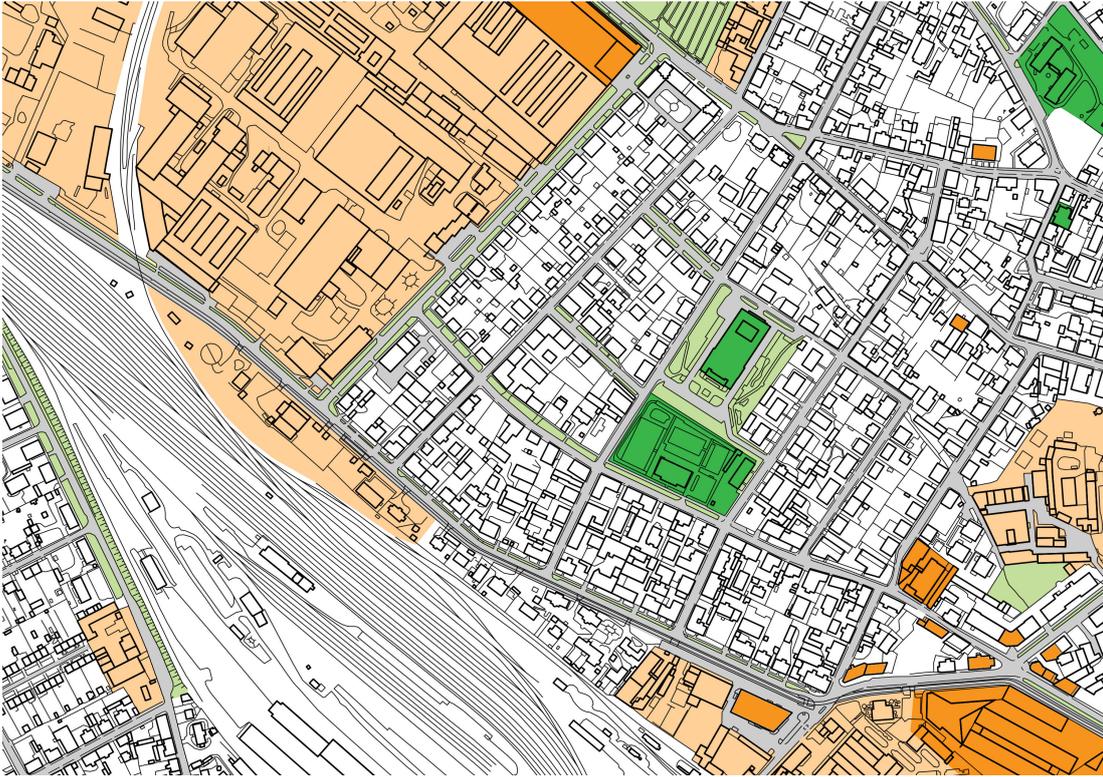


Figura 6.8: Mappa dell'area meridionale di Kalamaja, in arancione scuro le aree commerciali, in chiaro le aree produttive e in verde gli edifici e il verde pubblico.

Altre aree industriali minori si sviluppano verso il centro città e fra queste si trova il "Balti Jaama Turg" un vasto mercato coperto a più piani per le merci alimentari, indumenti, materiali sportivi e oggetti d'antiquariato. Piccole attività commerciali sono sparse per Kalamaja, principalmente bar e ristoranti.

Per quanto riguarda gli edifici ad uso pubblico, a due isolati di distanza si trova la scuola elementare "Kalamaja Põhikool" e subito di fronte il "Salme Kultuurikeskus", un grande edificio che offre spazi ed eventi culturali come concerti o opere teatrali.

Nelle vicinanze della fabbrica di pianoforti si trova l'unica area verde oltre a quella attorno al Salme Kultuurikeskus, si tratta di un parco pubblico sorto al posto dell'antico cimitero di Tallinn; l'unica chiesa nelle vicinanze dell'area è invece la "Tallinna Kalju Baptistikoguduse kirik" di religione protestante battista, l'edificio ha inoltre un certo interesse turistico oltre che religioso nonostante le sue ridotte dimensioni.



Figura 6.9: Mappa dei trasporti, in verde le linee tranviarie 1 e 2, in arancione la linea 3 del bus.

6.3.3 Trasporti pubblici

I trasporti pubblici di Tallinn sono in generale molto efficienti e quasi completamente gratuiti per i cittadini residenti, ciò permette di alleggerire notevolmente il traffico urbano e la mobilità privata.

Il quartiere è attraversato da diverse linee di trasporto pubblico, quelle più vicine all'area di progetto sono:

Linea Tram 1: parte dal Parco di Kadriorg a est del centro storico, passa a nord delle mura e, dopo la fermata presso la stazione principale, percorre via Kopli fino alla penisola;

Linea Tram 2: parte dal quartiere di Ülemiste, vicino all'aeroporto, raggiunte le mura a nord del centro completa lo stesso percorso della linea 1 fino ai cantieri;

Linea Bus 3: parte dal quartiere di Veerenni a sud del Centro, circonda le mura a est e prosegue lungo la strada centrale di Kalamaja fino a Pelguranna, un quartiere di residenze sociali a sud dei cantieri di Kopli.[80]

6.3.4 Architettura

Kalamaja è costituita per la maggior parte delle case in legno che danno al quartiere un'atmosfera molto apprezzata dagli abitanti e dai visitatori. Le case tipiche di quest'area possono essere suddivise in due gruppi: Le case *Lender* e le *Tallinn*.

Le case tipo Lender

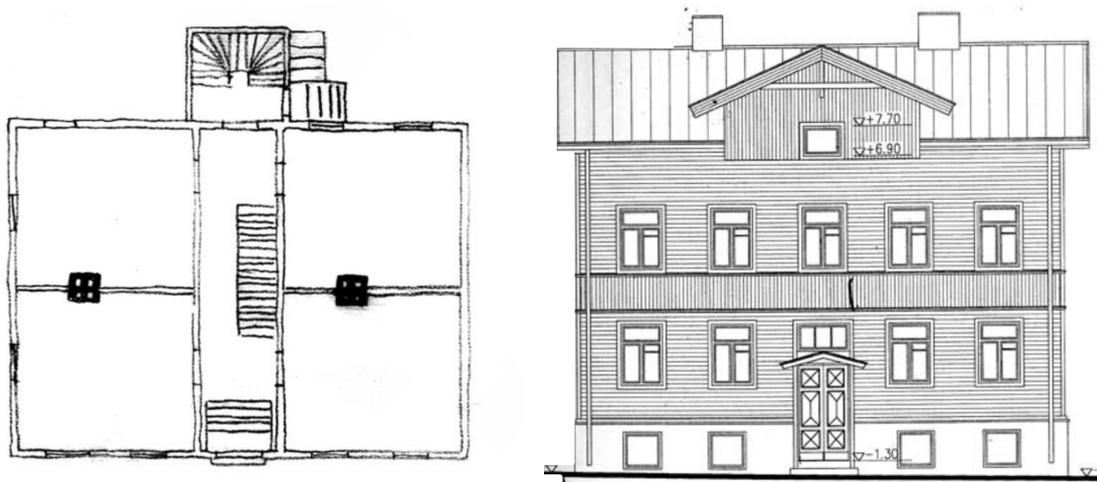


Figura 6.10: Pianta e facciata tipo di una casa Lender.[81]

Il nome di questa tipologia è collegata all'architetto Voldemar Lender, che in passato aveva ideato la maggior parte dei progetti per questo tipo di case. Nel 1903 le baraccopoli di legno crebbero molto velocemente assieme all'industrializzazione. Lender introdusse un nuovo tipo abitativo che rappresentava una svolta nelle condizioni di vita, soprattutto perché la toilette e l'acqua si trovavano dentro casa. Il piano di base della casa è molto semplice: scala posizionata sull'asse centrale e quattro monolocali su ogni piano. La porta si apriva sul livello stradale ma un altro ingresso e le scale furono posizionate sul retro per rispettare prescrizioni antincendio.

Inoltre, i regolamenti cittadini non permettevano di costruire una casa di legno con più di due piani. Ma poiché il tipo non poteva crescere in altezza, cresceva in lunghezza lungo la strada. Spesso, le case erano costruite lungo il perimetro di un isolato, con case di legno allineate lungo la strada e un'altra fila di case che a volte formava una seconda fila sul retro.

Le caratteristiche decorative più comuni erano una porta a due ante con dettagli scolpiti e una tenda da sole in ferro battuto sulla porta d'ingresso, pannelli con un semplice ornamento segato attorno alle finestre e un traverso decorato sulla

sommità del timpano. Quando sono insieme, le case Lender, creano un paesaggio molto gradevole lungo le strade.[81]

Le case tipo Tallinn.

Negli anni '20 la carenza di alloggi fu talmente acuta che furono costruite case di legno anche tre piani, a condizione che avessero una scala centrale in pietra. Le parti mansardate, piuttosto alte, hanno permesso la costruzione di appartamenti anche in quest'ultimo piano.

Di conseguenza si è evoluto un altro nuovo tipo di residenza tra la fine degli anni '20 e '30. Il tipo di casa Tallinn divenne tanto competitivo in termini sociali quanto architettonici.

La casa Tallinn si distribuiva nel seguente modo: al primo e al secondo piano c'erano appartamenti con due camere e al piano seminterrato c'erano negozi e piccole imprese. La scala di pietra era prominente dando il tipico accento sulla facciata verso la strada.

Le aree ricreative hanno anche segnato la differenza tra le case di Lender e Tal-

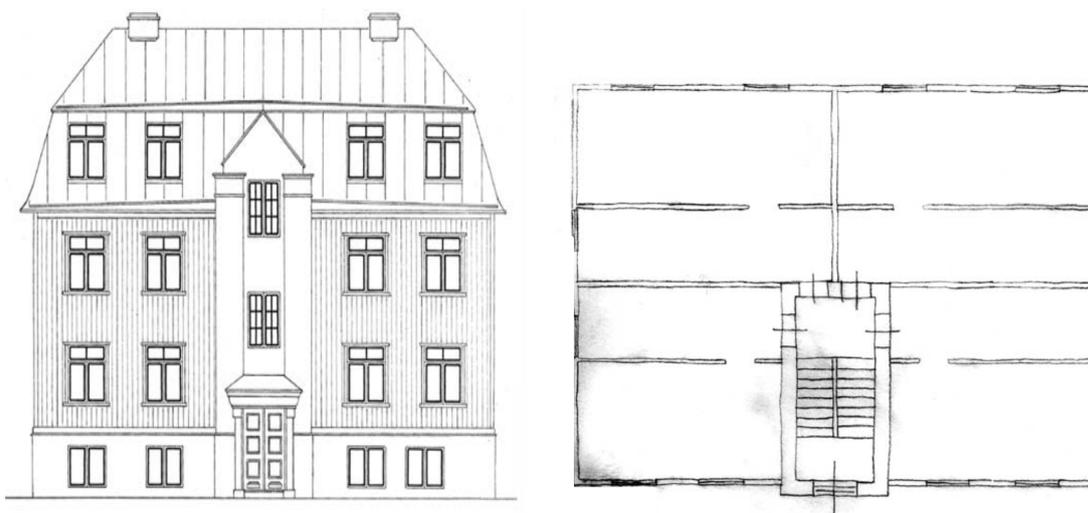


Figura 6.11: Pianta e facciata tipo di una casa Tallinn.[81]

linn. Di solito era l'ultimo tipo che prevedeva i suoi caratteristici cortili alberati. Si dice che questo tipo di casa si sviluppò solo a Tallinn e non è noto in altre città. L'architetto che più di ogni altro progettò questo tipo di case fu Karl Tarvas. Le sue case sono presenti in quasi tutti i quartieri di Tallinn. Inizialmente le case di Tarvas conservavano alcune caratteristiche dell'Art Nouveau con un ricco idioma di forma e una linea plastica e snella del tetto.

Entrambi i tipi di casa venivano affittate alle famiglie della classe operaia; lo

stato della classe sociale e le possibilità determinavano il modo in cui le famiglie avrebbero vissuto, si può dire che certi stili di vita erano legati a questi tipi di casa, ad esempio era previsto in questi tipi di abitazione lavare la biancheria in comune in orari prestabiliti al piano inferiore o nel cortile. Queste attività quotidiane insieme all'architettura degli edifici costituivano l'essenza di Kalamaja. All'inizio del XXI secolo molte case subirono interventi di rinnovamento, in particolare molte scale comuni vennero divise permettendo un accesso privato ad ogni appartamento, così come vennero separati i bagni e le cucine.[81]



Figura 6.12: Distribuzione delle case Lender in blu e Tallinn in arancione.[81]

6.4 Analisi SWOT

Successivamente all'analisi territoriale ed ambientale, è stata effettuata un'analisi SWOT al fine di analizzare al meglio l'area di progetto e il suo contesto. Questo particolare strumento, la cui ideazione è attribuita all'economista statunitense Albert Humphrey nella seconda metà del '900, serve a valutare i vantaggi e gli svantaggi dati da fattori sia interni che esterni di una specifica attività per individuare le linee di azione necessarie alla riuscita del progetto. Anche se viene utilizzata prevalentemente in campo economico, è possibile effettuare un'analisi

SWOT anche nella progettazione architettonica per agevolare il processo di pianificazione.

L'analisi è costituita da una matrice in cui vengono esaminati i punti di forza (*Strengths*), le debolezze (*Weaknesses*), le opportunità (*Opportunities*) e le minacce (*Threats*). I primi due riguardano fattori interni al progetto, mentre i secondi riguardano fattori esterni. La combinazione dei quattro fattori permette di individuare le migliori strategie decisionali.

Per quanto riguarda l'area di progetto sono stati studiati i punti di forza e i punti di debolezza che potrebbero essere migliorati o resi ancora più vulnerabili attraverso le opportunità e le minacce legate al contesto.

6.4.1 Punti di forza

L'area di progetto è situata in un quartiere periferico poco distante dal centro storico della città, è ben servita dai mezzi pubblici ed è nelle vicinanze della stazione ferroviaria principale della città. Sono presenti servizi, come scuole, mercati e centri culturali, è una zona molto frequentata e di passaggio sia per chi vuole raggiungere il centro, sia per raggiungere la parte nord della penisola di Kopli.

Sono presenti molte aree verdi, soprattutto private e un parco cittadino. Il quartiere in forte sviluppo grazie anche alla crescita della popolazione, comprende residenze di un grande valore storico e architettonico e questo, assieme alla vicinanza del centro, rappresenta un forte incentivo per il trasferimento delle persone.

6.4.2 Punti di debolezza

Se la prossimità alla stazione ferroviaria costituisce un punto di forza, la vicinanza invece dei binari costituisce un punto di debolezza. Il deposito ferroviario a sud divide l'area dal quartiere di Pelgulinn, creando una frattura fra le parti della città. Inoltre è presente anche una grande area industriale. Tra i servizi di cui l'area è carente ci sono quelli legati indirettamente all'educazione, come per esempio le biblioteche, una carenza individuata già dal programma di sviluppo della città.

6.4.3 Opportunità

L'area si presenta come un elemento di collegamento tra i due quartieri di Kalamaja e di Pelgulinn, cosa che verrà accentuata con il futuro prolungamento delle strade Volta e Kungla, mentre buona parte dell'adiacente ferrovia, che ora si pone come punto di debolezza, verrà quasi completamente dismessa.

La volontà di realizzare spazi lettura e biblioteche individuati dal programma di sviluppo potrebbe essere presa in considerazione in un intervento nell'area, proponendo funzioni di interesse cittadino. Inoltre l'aumento della popolazione e il bisogno di nuove residenze rappresenta un'ulteriore opportunità di sviluppo per il quartiere e per il settore dell'edilizia.

6.4.4 Minacce

Seppure Kalamaja sia un quartiere di un certo valore architettonico e attiri un certo numero di visitatori, alcune case sono in stato di degrado, inoltre il quartiere di Kopli a nord-ovest presenta alcune situazioni di disagio sociale. Un intervento nell'area che non osserva le presenti situazioni potrebbe ridurre significativamente gli sforzi per rivitalizzare il quartiere.

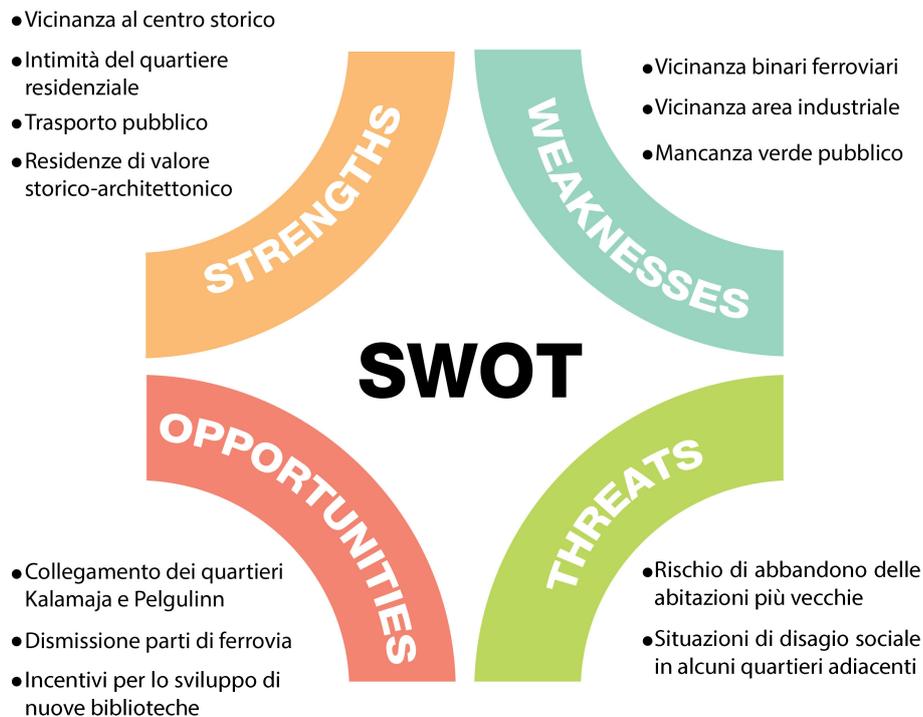




Figura 6.13: Immagini fotografiche dello stato di fatto dell'area di progetto, le immagini estive sono state fornite dal bando di concorso[71], quelle invernali sono state effettuate durante un sopralluogo il 3 dicembre 2018.



1



2



3

6 Analisi



4



5



6



7



8



9

Capitolo 7

Progetto

Dalle analisi specifiche del territorio effettuate nel capitolo precedente e dalle problematiche globali possono essere individuati alcuni aspetti su cui focalizzare l'attenzione per un'applicazione della biomimetica al progetto. Il tentativo del seguente lavoro è quello di fornire un esempio ispirato alle forme e alle tecnologie naturali per la risoluzione di tali questioni.

La descrizione del progetto seguirà per semplicità tre livelli: urbanistico, architettonico e tecnologico, i quali non sono stati sviluppati in modo sequenziale ma per una migliore esposizione verranno così suddivisi. In particolare i primi due livelli, urbanistico e architettonico, derivano da forme e soluzioni bioispirate pensate ex novo specificatamente per questo progetto, mentre l'ultimo, il livello tecnologico, descriverà l'applicazione di alcune tecnologie biomimetiche già esistenti e riadattate al caso descritto.

7.1 Obiettivi

Gli aspetti su cui lavoreremo riguardano le problematiche emerse dall'analisi SWOT e dai principi di sostenibilità ambientale.

Esigenza abitativa : la crescita della domanda verso il quartiere rende auspicabile la realizzazione di nuovi spazi residenziali.

Clima : le soluzioni dovranno cercare di risolvere le condizioni ambientali dell'area, in particolare il clima rigido e nevoso.

Luce : catturare la poca luce solare invernale è fondamentale per migliorare la qualità visiva degli spazi interni, l'umore dei fruitori e il risparmio energetico.

Acqua : recuperare le acque meteoriche e riutilizzarle per molteplici funzioni.

Ecosistema : creare un ecosistema interno tale da ridurre gli apporti di energia e utenze dall'esterno e rendere l'area il più autonoma possibile.

Forma : ispirarsi alla natura significa mettere in discussione le forme dell'architettura tradizionale e dare forma a nuovi spazi incentrati sulla sostenibilità, l'efficienza funzionale, energetica e il benessere degli abitanti.

Funzione : proporre funzioni attinenti alle esigenze necessarie e riposizionare quelle già esistenti.

Integrazione : l'inserimento del progetto in un area dai forti connotati storici e architettonici deve tener presente di quelle caratteristiche già consolidate che si pongono come punti di forza e caratteristiche della propria identità. Il nuovo sistema che verrà inserito dovrà quindi correlarsi (o comunque non minare) agli aspetti positivi ed efficaci dell'ecosistema antropico esistente.

7.2 Livello urbanistico

In questa parte dev'essere risolta la definizione delle nuove funzioni e il riposizionamento delle attività esistenti. La creazione di un ecosistema individuando le strutture necessarie per assolvere le varie attività, e il posizionamento di esse all'interno di un disegno d'insieme.

7.2.1 Funzioni e ecosistema

La funzione principale di quest'area sarà quella residenziale, verranno proposti dei nuovi insediamenti in risposta alla crescente domanda di trasferimento presso il quartiere di Kalamaja, alcuni spazi verranno riservati alle attività già presenti come l'azienda Shipco (rif. 6.3.2). La presenza dell'accesso principale dello stabilimento Krull di fronte l'area offre la possibilità di realizzare dei servizi per i lavoratori e per gli abitanti del quartiere, come attività di ristorazione, sale lettura o biblioteche la cui carenza a Tallinn di spazi dedicati a queste ultime è stata individuata anche dal programma di sviluppo della città.[82]

Partendo da queste funzioni necessarie si possono sviluppare i punti base su cui impostare un ciclo ecosistemico interno all'area. Data l'ipotesi di realizzare un punto di ristoro per gli abitanti di Kalamaja e gli operai della Krull e la vicinanza al mercato di Balti jaama proponiamo una struttura adatta a una produzione agricola autosufficiente e locale tale da poter fornire, almeno in parte, di ortaggi e frutta le attività locali.

7.2.2 Organizzazione degli spazi

In natura la modularità può riferirsi alla costruzione di un organismo cellulare che unisce insieme unità standardizzate per formare composizioni più grandi, come ad esempio, le celle esagonali in un nido d'ape, oppure può essere usata per riferirsi a organismi che hanno una struttura che comprende moduli di varia complessità (ad esempio foglie, rametti) i quali possono essere montati senza limiti rigorosi sul loro numero o posizionamento.

L'area di progetto è stata suddivisa in moduli da 6 metri perpendicolari al fronte sulla strada principale di via Kopli.

Sappiamo che sarà prevista la realizzazione di due strade che collegano i quartieri di Pelgulinn e Kalamaja attraversando l'area ferroviaria, che in parte sarà dismessa. Queste strade costituiscono i prolungamenti di via Volta e via Kungla, il progetto dovrà tener conto dell'area occupata da queste strade posizionando di conseguenza gli altri elementi all'interno del masterplan.

Il posizionamento dell'area rispetto al centro storico, offre un asse visivo verso uno dei monumenti più importanti di Tallinn, nonché punto di riferimento per i cittadini, ovvero il campanile della cattedrale di Toompea (Toomkirk). Mantenere un cono visivo senza occupare l'asse con elementi di varia altezza permetterebbe al monumento cittadino di essere ben visibile nonostante la distanza di circa 1km. Con questo asse si crea inoltre uno spazio centrale su cui realizzare una viabilità pedonale interna ai cui lati vengono posizionate le unità abitative, una parte parallela a via Kopli e un'altra all'asse stesso.

Per evitare una maniacale ripetizione di forma le abitazioni saranno di due tipo-

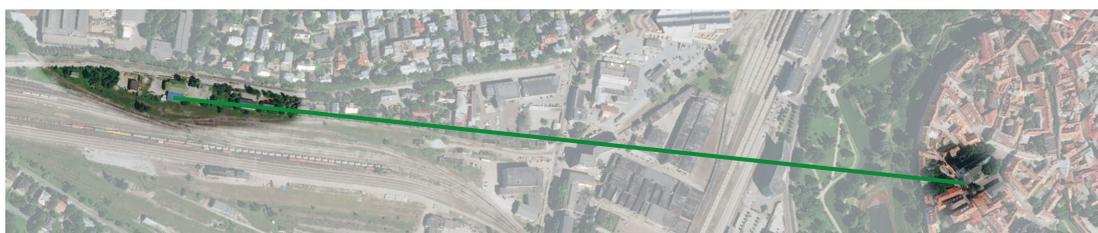


Figura 7.1: Asse visivo tra l'area di progetto e il campanile di Toomkirk

logie pur mantenendo un disegno simile: un primo tipo, che chiameremo "*Suur*", avrà un ingombro di 12 x 15 m, il quale con una superficie di circa 540 m² potrà accogliere due famiglie composte da 4 persone ciascuna; un secondo tipo detto "*Väike*", di 9 x 12 m più modesta, offrirà uno spazio di circa 300 m², per ospitare anch'essa due famiglie. Questa differenza permette di diversificare l'offerta abitativa all'interno dell'area pur rientrando all'interno di uno stesso modello architettonico generativo. Le case *Suur* inoltre, essendo più grandi, potranno

ospitare anche i nuovi insediamenti per le attività presenti attualmente nell'area. Per il posizionamento delle unità abitative abbiamo preferito mantenere le facciate su via Kopli in linea con i binari del tram, mentre sul lato opposto le case sono leggermente arretrate.

Il lato di 12 metri comune sia per il modello Suur che per quello Väike, sarà parallelo a via Kopli, per questo motivo le case più grandi avranno il lato principale orientato perpendicolarmente alle altre case e verranno pertanto posizionate agli angoli dei tre isolati, in modo da avere i lati lunghi affacciati sulle nuove vie che attraverseranno l'area. Una volta posizionate le unità abitative, sono state create le relative aree attraverso un metodo di divisione bioispirato.

Un edificio più grande, sarà posto alla testa del sistema, all'estremità opposta dell'asse visivo verso Toomkirk, questa struttura ospiterà le funzioni ad uso pubblico come il ristorante, spazi associativi, e altre attività commerciali integrando le attività del Balti Jama, l'ambiente al chiuso permetterà di aggregare questi spazi rendendosi fruibile anche nei mesi più freddi. Il fronte principale viene posto in corrispondenza di una piazza di fronte all'entrata dello stabilimento Krull, mediando la differenza di scala architettonica fra le abitazioni residenziali e gli stabilimenti industriali. Lo spazio aperto frapposto fra i tre elementi si pone inoltre come punto d'incontro delle tre tipologie di utenza rivelandosi come punto focale e vero centro dell'intero sistema.

L'ultimo elemento di importanza urbanistica è la serra, il luogo di produzione di prodotti locali utili alle attività di ristorazione dell'edificio multifunzionale. Il corpo della serra verrà posto fra le abitazioni e il deposito ferroviario, creando un limite visivo semitrasparente, basso abbastanza da lasciar passare la luce alle residenze ma esposto a sud per poter coltivare gli ortaggi. La geometria della serra sviluppandosi curvilinea, si contrappone per funzione e forma all'angolato viale pedonale.

7.2.3 Geometria delle aree

Il tema della divisione degli spazi ha portato ad approfondire quale fosse il sistema più efficiente per la divisione dei cortili. In questa direzione si può ragionare sullo studio fatto dal matematico Thomas Hales Callister nel 1999, da cui ricavò la sua *Congettura sul nido d'ape*. La congettura ipotizza che le celle esagonali tipiche del nido d'ape rappresentino il modo migliore di racchiudere e separare infinite regioni di area unitaria con il minor perimetro.[83]

In questo caso le unità abitative non sono poste in modo regolare, ma in mo-

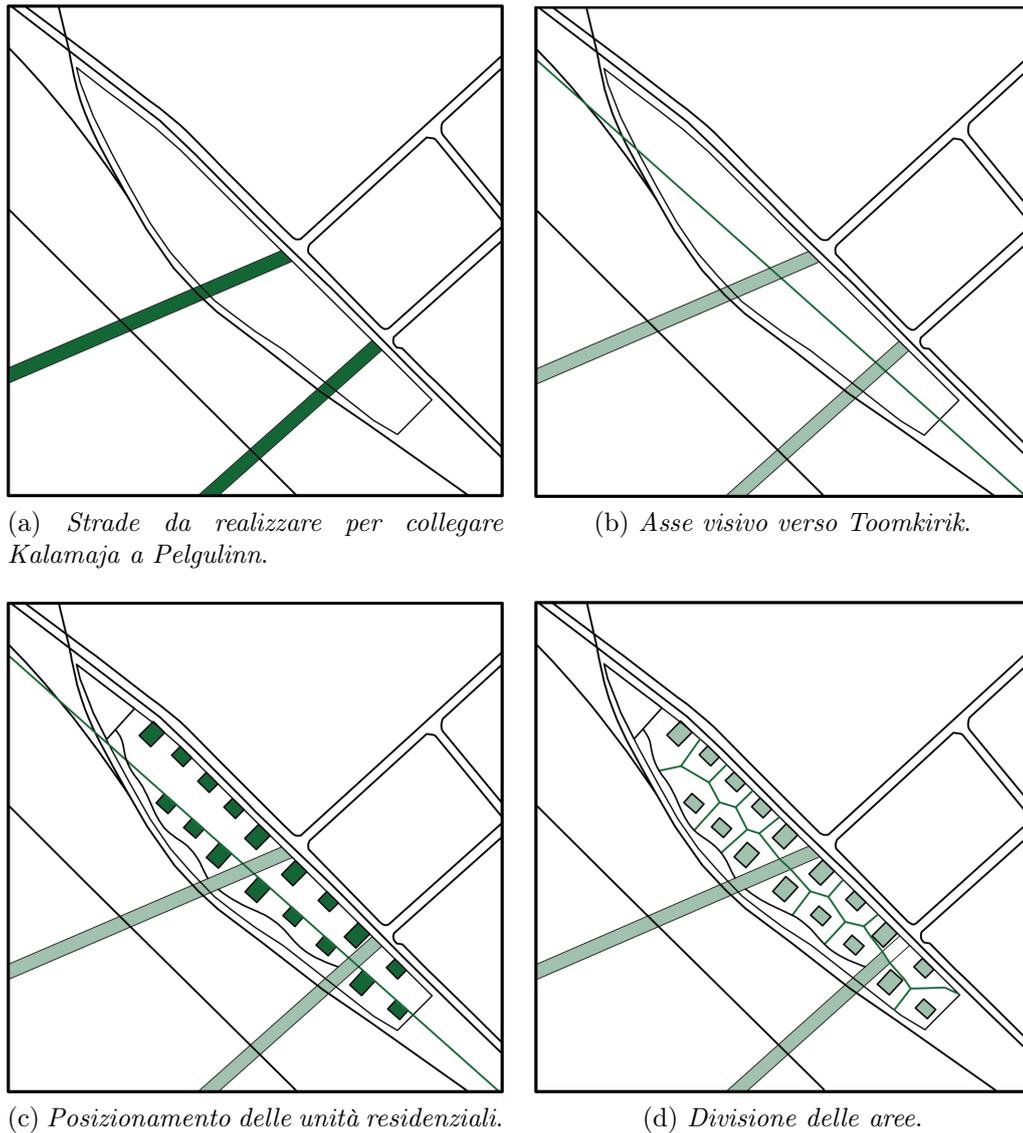


Figura 7.2: Concept progettuali

do sfalsato tra la fila verso la ferrovia e quella su via Kopli. Per questo motivo abbiamo applicato la *tassellazione di Voronoj*: la tassellazione di Voronoj è una modalità di scomposizione dello spazio metrico determinata dalla distanza rispetto ad un numero di oggetti posti nello spazio. Dati dei punti su un piano, viene preso in considerazione un determinato punto P, il tassello di Voronoj rispetto a P corrisponderà al luogo dei punti più vicini a P rispetto ad ogni altro punto del piano.[84] Il caso più semplice si vede su un piano occupato da due soli punti A e B in cui si nota che il confine della tassellazione è equivalente al luogo dei punti equidistanti da A e da B (vedi fig.7.3).

Le geometrie di Voronoj sono assimilabili a numerose organizzazioni spaziali presenti in natura a scale diverse e la realizzazione di architetture basate su que-

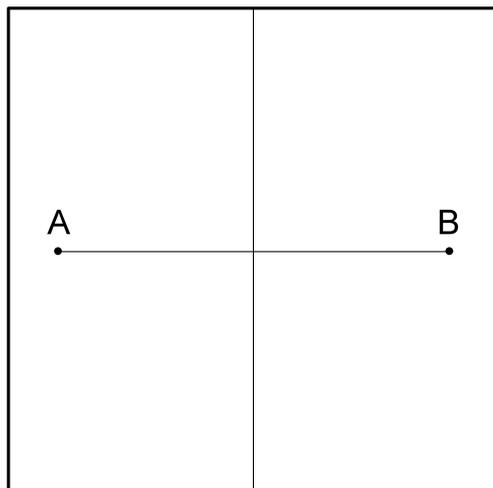


Figura 7.3: Fra due punti il confine dei tasselli di Voronoi corrisponde con la retta bisettrice della congiungente

sto sistema fanno parte quindi di un processo biomimetico.[84] Queste strutture possono essere molto articolate e flessibili: costituite a partire da punti determinati possono creare forme sempre diverse o ripetute a seconda dell'ordine in cui i punti vengono disposti. Se ad esempio poniamo i punti in fila ed equidistanti fra loro ecco che si formeranno le perfette celle esagonali di Hales, mentre se andiamo a studiare i tessuti cellulari noteremo che la loro parete o membrana cellulare si dispone come se fosse stata disegnata con il metodo di Voronoi.

Definito il metodo, la tassellazione di Voronoi è stata applicata al caso progettuale in esame, ponendo il baricentro delle unità abitative come punti sul piano spaziale corrispondente al suolo dell'area. Il risultato ha dato forma a cortili di varie forme di 4 o 5 lati di cui uno (due per le unità agli angoli) corrispondente con il perimetro dell'area.

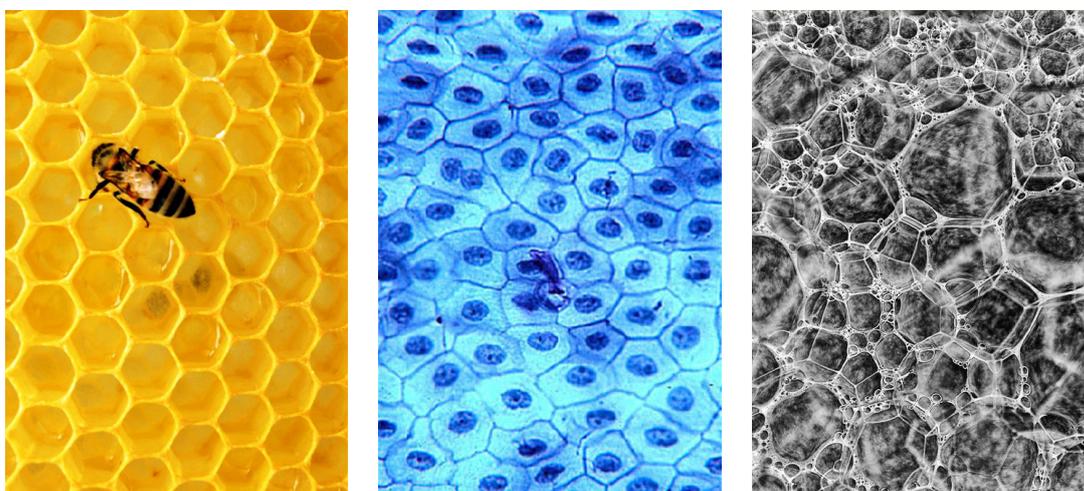


Figura 7.4: Da sinistra: alveare, struttura cellulare e bolle

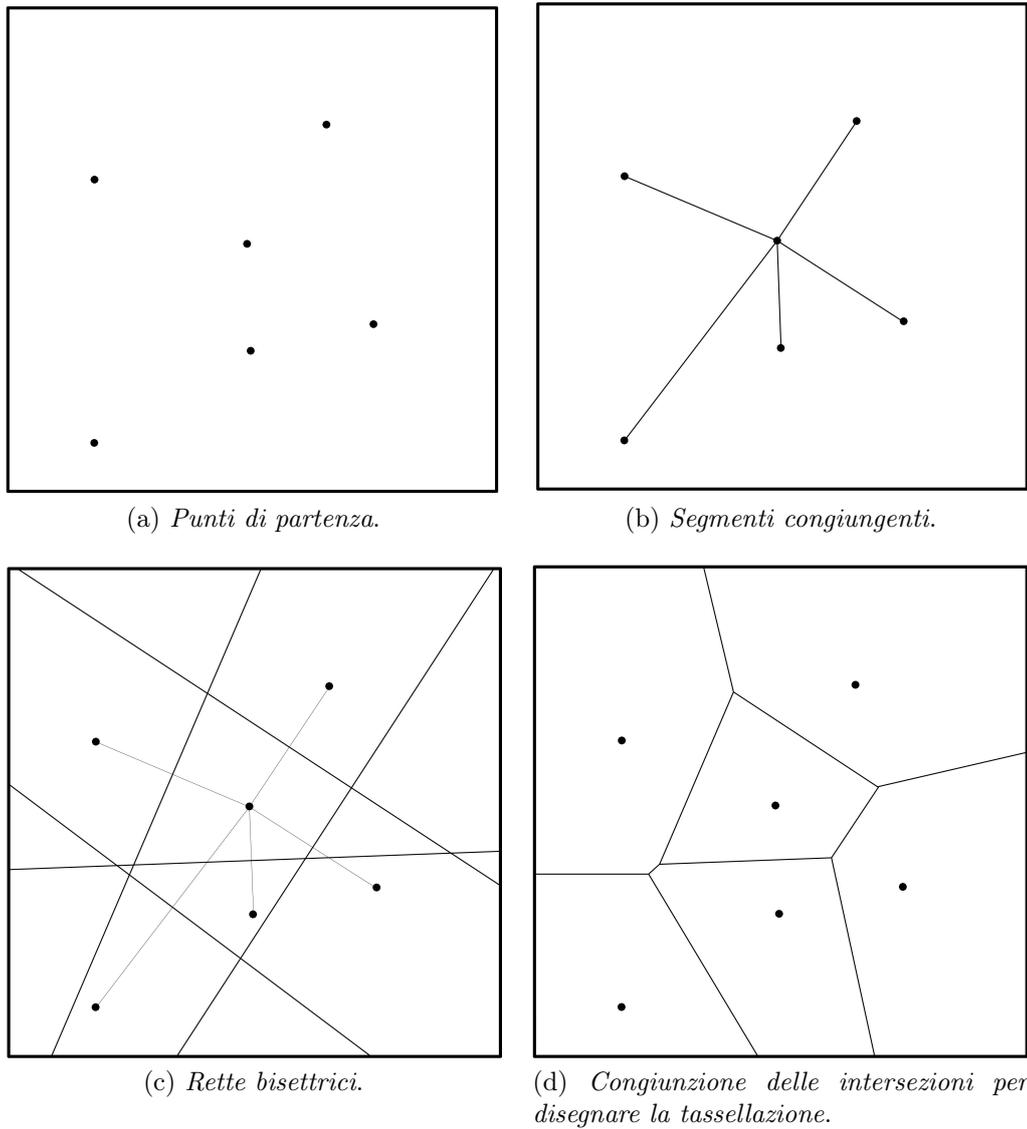


Figura 7.5: Costruzione della tassellazione di Voronoi

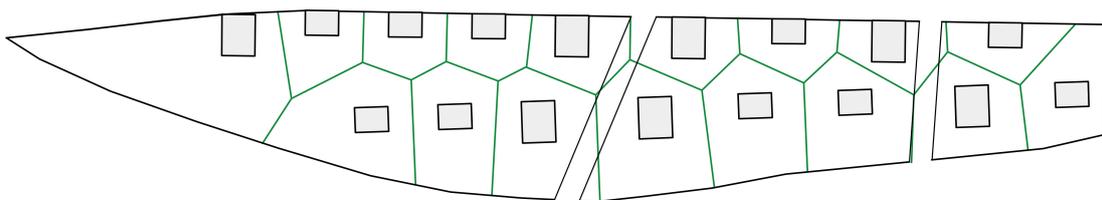


Figura 7.6: Area di progetto suddivisa con il metodo di Voronoi

7.2.4 Percorsi interni

La linea spezzata centrale che genera il confine tra le unità verso via Kopli e quelle verso la ferrovia si pone come base per la creazione di una viabilità interna, utile per raggiungere le abitazioni non adiacenti alle strade carrozzabili. L'allargamento di questa traccia a 4,5 metri rende la strada carrozzabile oltre che pedonale inserendosi all'interno del cono visivo. La strada si interrompe dove incontra la fine dell'isolato in corrispondenza dei nuovi prolungamenti di via Volta e via Kungla. La passeggiata, seguendo un tracciato non rettilineo, genera spazi di varie forme poligonali che si allargano in corrispondenza dell'intersezione con le strade principali adiacenti. Quest'ultimo elemento raggiunge il suo apice all'estremità settentrionale, dove si apre formando una piazza che funge da ingresso principale all'intero lotto. La piazza, come definito dal paragrafo 7.2.2, serve come punto di snodo tra le varie funzioni residenziale, terziaria e industriale che rivolgono il loro affaccio su questo spazio aperto comune.

Su di un lato della strada centrale è presente in modo alternato sui vari segmenti che percorrono l'area una copertura in legno che funge da riparo e che in alcuni punti interseca gli ingressi esterni delle unità abitative.

Una viabilità secondaria e privata, collega perpendicolarmente le abitazioni e il ramo centrale, mantenendo la stessa copertura all'interno della suddivisione delle aree.



Figura 7.7: Masterplan.

7 Progetto



Figura 7.8: Vista a volo d'uccello del progetto (base del fotoinserimento fornita da *TAB Visualcompetition*[72]).



Figura 7.9: Vista della parte residenziale dalla piazza.

7.3 Livello Architettonico

Definite le funzioni e l'organizzazione spaziale e compositiva generale, nella seconda sezione il progetto entra nei particolari delle singole strutture, le abitazioni, l'edificio multifunzionale e la serra. La definizione di un disegno architettonico che dia forma ai manufatti inseriti nell'area, tale che rientri nel canone del metodo biomimetico, deve trovare dei riferimenti biologici alle problematiche definite dalle analisi effettuate in precedenza.

7.3.1 La casa *Suur*

La prima tipologia di residenza si colloca agli angoli della viabilità principale, affacciandosi perpendicolarmente a via Kopli. Il perimetro rettangolare definisce la forma dell'abitazione riprendendo le proporzioni delle tradizionali case *kalamajane*, lo schema compositivo dell'elevato viene reinterpretato rispetto quello originale mantenendo un corpo centrale in facciata tipico delle case tipo *Tallinn*. L'altezza raggiunge i tre piani abitabili e l'ultimo trova spazio nel sottotetto a doppia falda fortemente inclinato per le frequenti nevicate invernali. Con lo scopo di permettere alla luce di penetrare all'interno anche dell'ultimo piano, degli abbaini sono stati posti sui lati lunghi. È proprio nella la forma della copertura che si trova un primo riferimento bioispirato: il tentativo in questo caso è stato quello di trovare una conformazione adatta a molteplici funzioni, ovvero l'illuminazione dell'ultimo piano, altrimenti coperto dalle falde stesse, e un efficace sistema di recupero delle acque meteoriche utili per l'utilizzo in serra.

Gli esempi derivano sia da modelli naturali che da altre realizzazioni bioispirate: il primo è un riferimento al *Potamogeton Crispus*[86] una pianta acquatica presente nell'emisfero settentrionale caratterizzata da foglie con un bordo finemente dentellato; questo permette alle foglie del *Potamogeton* di avere una maggior resistenza allo schiacciamento facendo scorrere la corrente sulle foglie, evitando di appiattirle sulla superficie dell'acqua. La loro caratteristica inoltre evita la completa copertura della superficie acquatica permettendo alla luce solare di penetrare sul fondale sottostante, tale sistema consente lo sviluppo anche di altre specie vegetali e animali nello spazio sottostante.

La forma ondulata delle foglie venne ripresa anche nella copertura della *Scuola della Sagrada Familia* progettata da Antoni Gaudì che, oltre a canalizzare l'acqua piovana, conferisce alla struttura un senso di leggerezza e anche una grande resistenza (descrizione al paragrafo 3.1.1).

7.3 Livello Architettonico

Con l'intenzione di integrare le abitazioni all'architettura tradizionale di Kalamaja sono stati ripresi alcuni materiali e colori caratterizzanti delle case locali. Le tavole esterne da 15 cm che avvolgono le superfici opache sono state ridipinte con diverse tonalità cromatiche, rosso, arancione, blu, verde, marrone, colori comuni anche nelle abitazioni interne del quartiere. Il basamento in mattoni viene anch'esso riproposto per la necessità di sollevare la struttura in legno dall'umidità del terreno. Il corpo centrale, sottolinea gli accessi alle case rivelandone la conformazione bifamiliare.

Ampie vetrate catturano il più possibile la scarsa luce solare ma rompono l'ordine della tradizione architettonica generata dal richiamo dei colori e dei materiali appena descritti e dalle finestre quadrangolari, viene comunicato così il tentativo di un nuovo disegno architettonico.

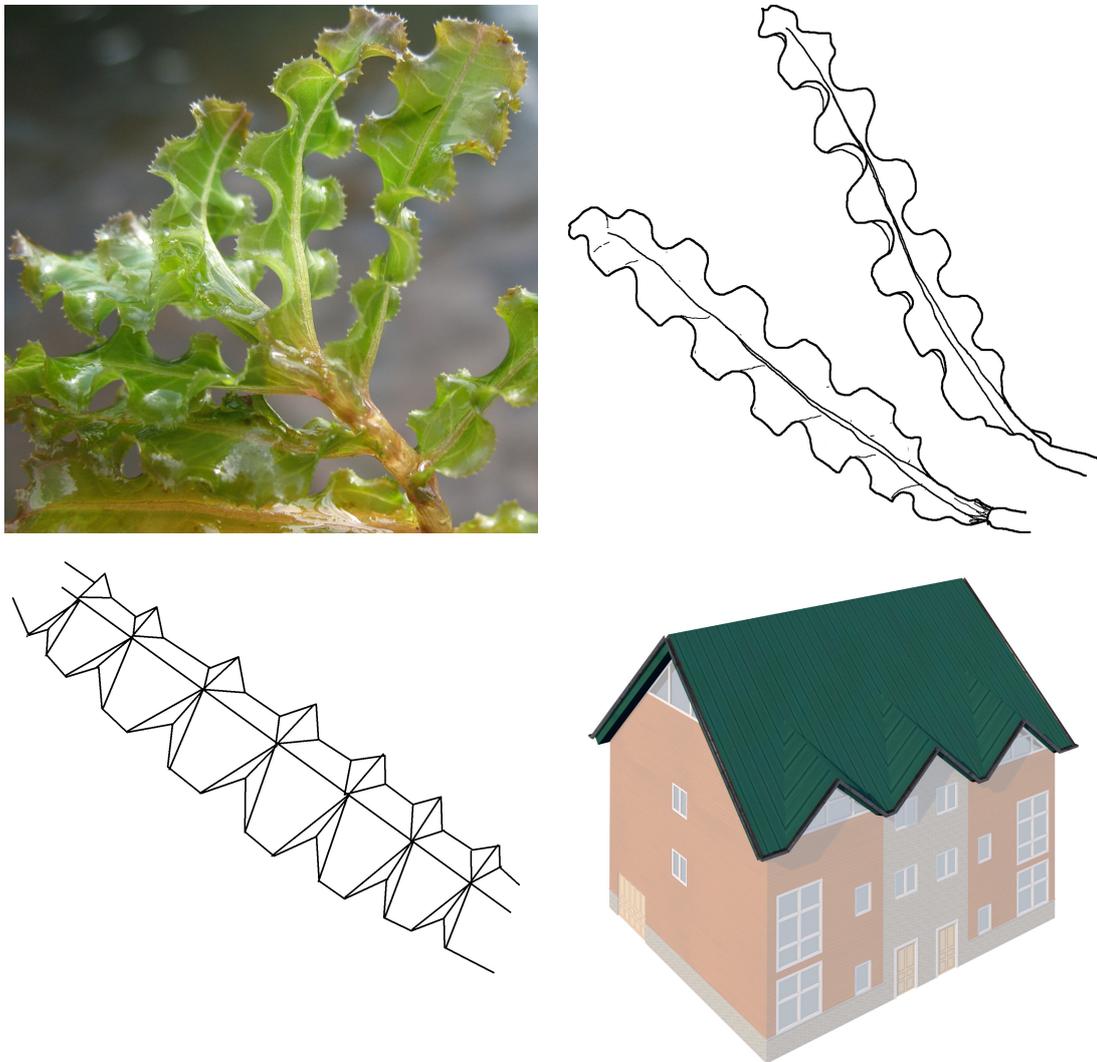


Figura 7.10: Schema applicativo delle strategie sviluppate dalle foglie del potamogeton crispus.[85]

7 Progetto

La struttura portante dell'edificio è costituita da uno scheletro in legno di abete e riempito con un composto di terra e legno, una tecnica tipicamente usata nelle case a *graticcio* che permette di utilizzare l'inerzia termica della massa riempitiva del terreno, chiusa poi da una superficie intonacata verso l'interno. Verso il lato esterno, in corrispondenza dei lati maggiormente esposti all'irraggiamento solare, è stato applicato un sistema di assorbimento del calore solare ispirato alla pelliccia dell'orso polare. Per isolarsi contro il freddo artico, l'orso polare ha uno spesso strato di pelliccia e, contrariamente a ciò che si potrebbe osservare, i peli sono in realtà traslucidi e cavi, mentre la pelle sottostante è nera. I peli cavi catturano e intrappolano il calore solare e lo fanno penetrare per riflessione fino alla pelle, dove viene assorbito. La pelliccia agisce come un dispositivo di cattura del calore ed è così efficiente che l'orso è quasi invisibile ad una telecamera a infrarossi. Osservando tale sistema è stato sviluppato un materiale plastico che funziona



Figura 7.11: Comparazione dei materiali tradizionali usati a Kalamaja con quelli utilizzati nel progetto.

in modo simile[87], composto da piccoli capillari estrusi che imitano la capacità riflessiva del pelo dell'orso e funziona anche da isolamento termico. Sono state effettuate diverse applicazioni dall'azienda tedesca *Okalux*[88] ed è possibile constatare la sua efficienza grazie ai dati ricavati. I valori di trasmittanza termica raggiungono $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ per pannelli di 42 mm di spessore (scheda tecnica 7.49). L'applicazione al progetto prevede il fissaggio sulle pareti meridionali di pannelli con dimensioni massime di 150 x 150 e 8 cm di spessore, corrispondenti alle travi di sostegno, così da facilitare il montaggio dei telai in alluminio. A completare la facciata, come descritto precedentemente, sono fissate delle tavole inclinate in modo da far penetrare la luce verso i pannelli e mantenere l'immagine di una facciata in legno.

La struttura portante della casa Suur, come anche quella Väike, è realizzata in travi in legno incastrate, disposte verticalmente, orizzontalmente e obliquamente, riempiendo gli spazi con composti di argilla e paglia compressa tale da conferire alla parete una certa capacità di isolamento e inerzia termica. Questa tecnica si riferisce alle case a graticcio, comuni dell'Europa settentrionale, le cui origini si trovano già nell'antichità. I materiali utilizzati sono comuni e poco costosi, la tecnica costruttiva facilita le sostituzioni e può essere smantellata in modo sostenibile. La costruzione inoltre è ignifuga e l'argilla funge da conservante naturale della struttura in legno.[89] Le pareti, escludendo gli altri strati isolanti esterni, avranno valori di conducibilità termica che raggiungono $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ per 16 cm di spessore e un peso specifico di 450 Kg/m^3 [90]. La presenza della terra nell'impasto, inoltre, garantisce una tenuta al fuoco REI 30 (proprietà tecniche 7.53).

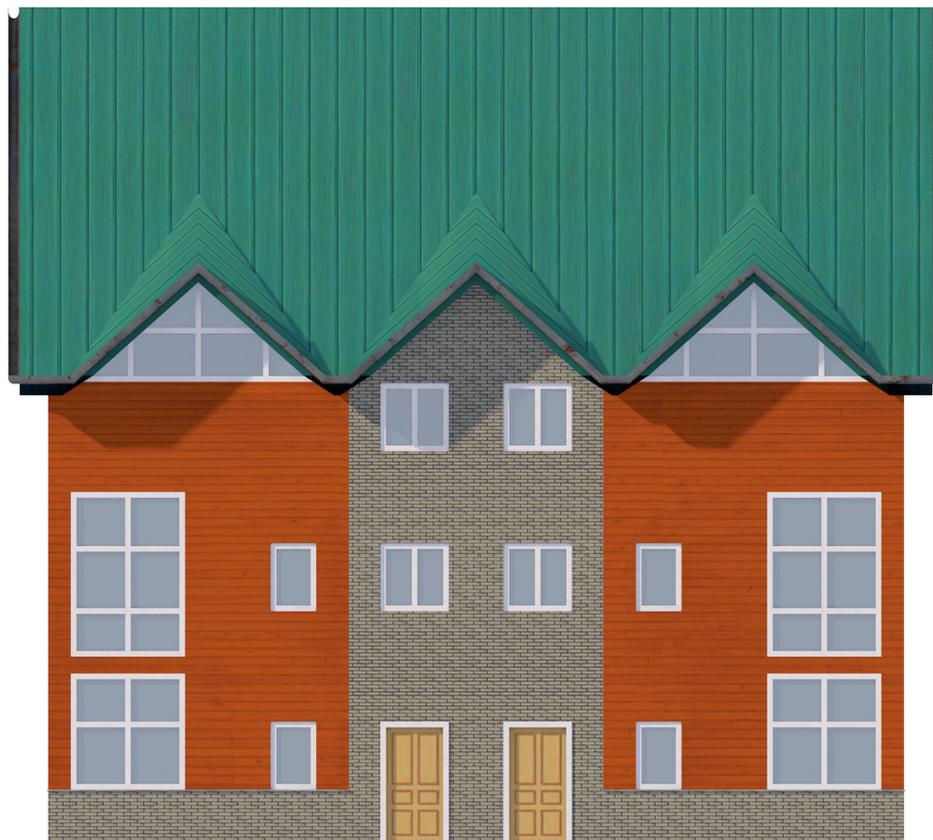


Figura 7.12: Prospetto sud-est Casa Suur



Figura 7.13: Prospetto sud-ovest Casa Suur



Figura 7.14: Prospetto nord-ovest Casa Suur



Figura 7.15: Prospetto nord-est Casa Suur



Figura 7.16: Pianta Casa Suur piano terra

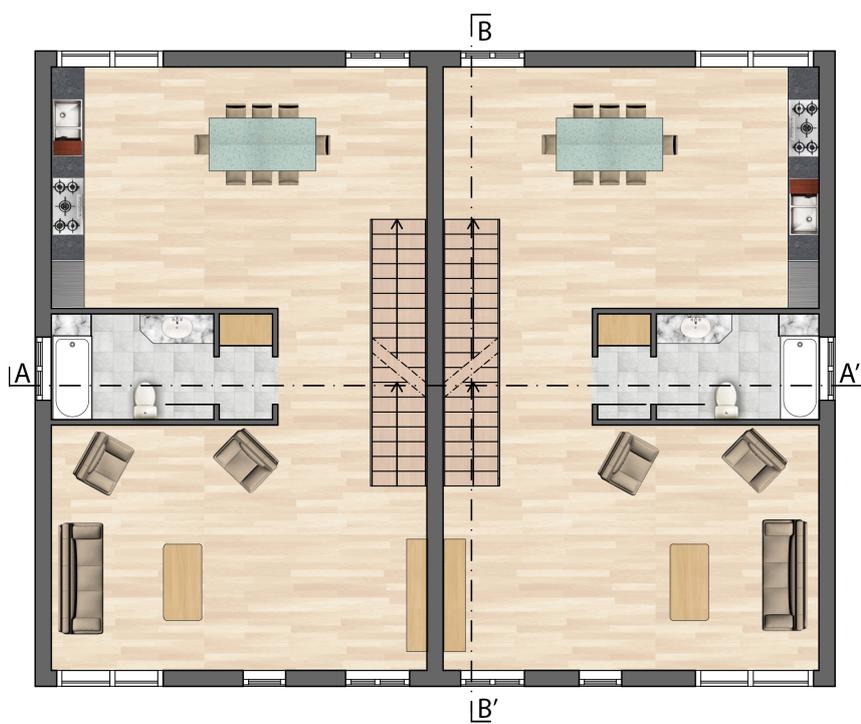


Figura 7.17: Pianta Casa Suur primo piano

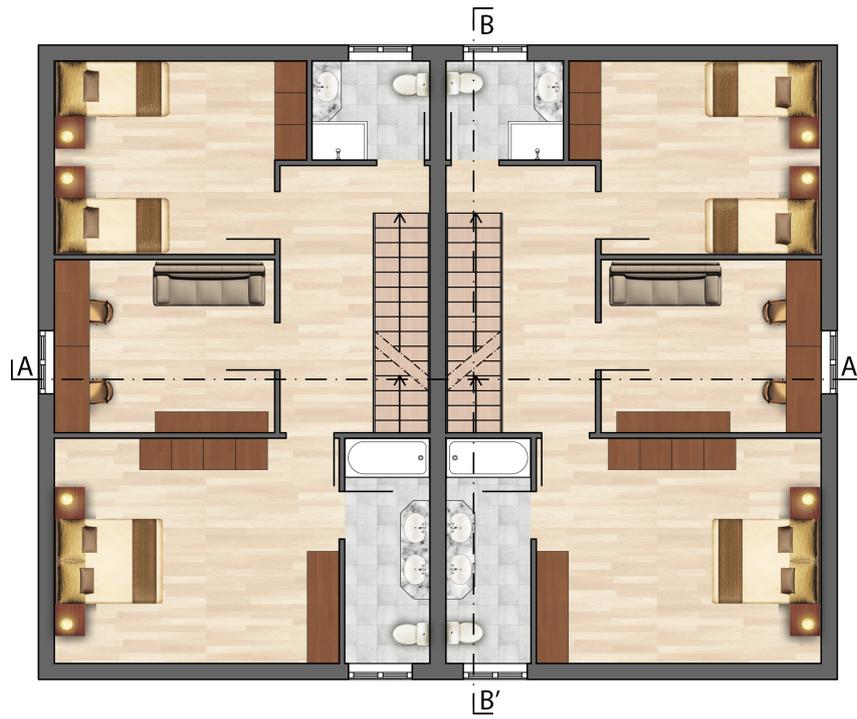


Figura 7.18: Pianta Casa Suur secondo piano

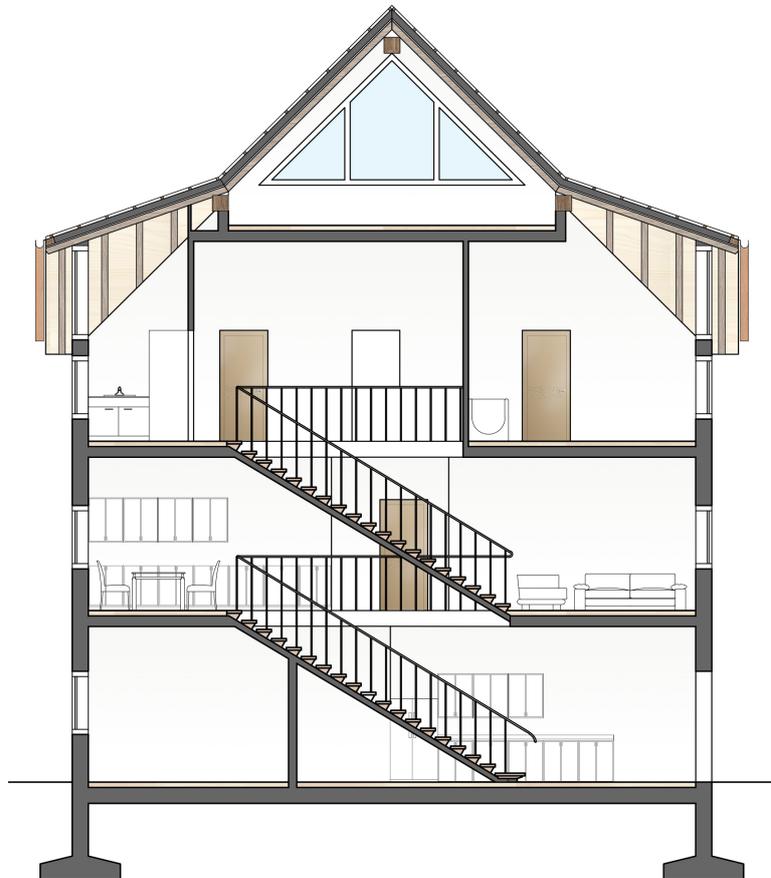


Figura 7.19: Sezione AA'

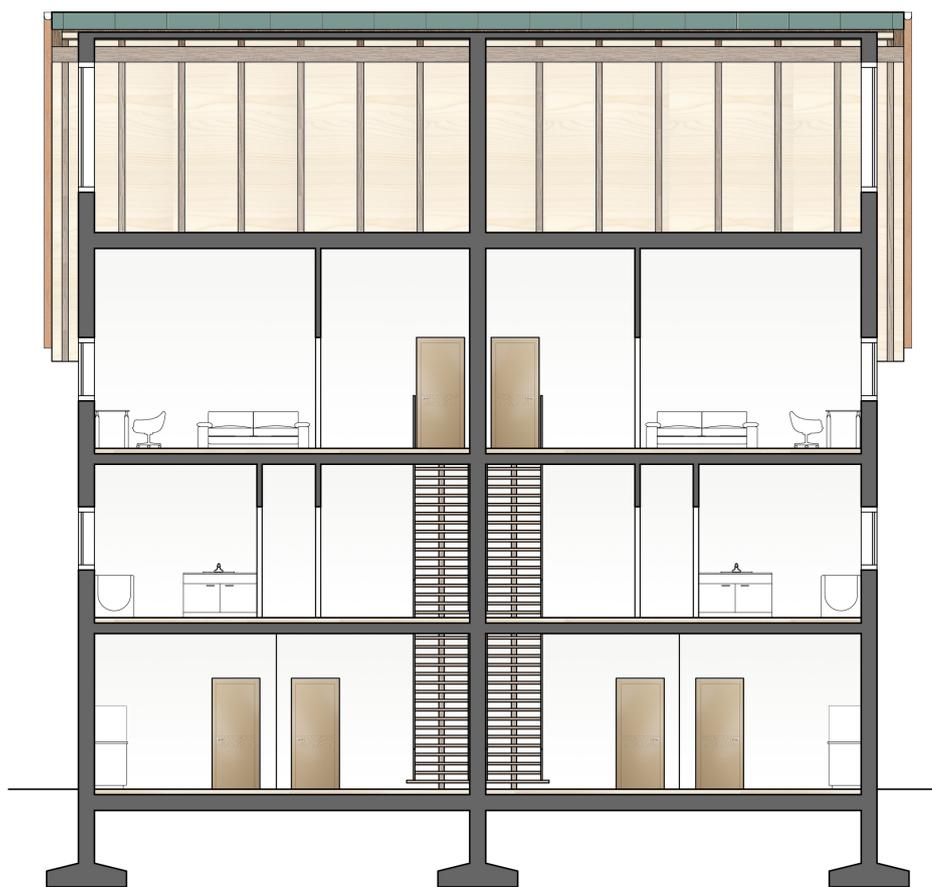


Figura 7.20: Sezione BB'



Figura 7.21: Orsi polari e sezione di un pelo al microscopio.[91]

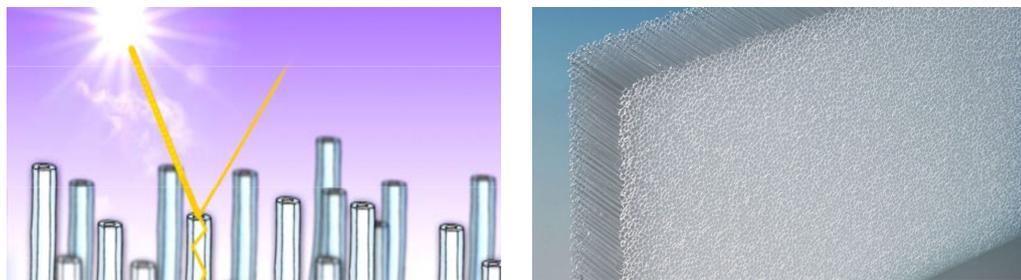


Figura 7.22: Il principio di assorbimento luminoso applicato al pannello Okalux.[87][88]

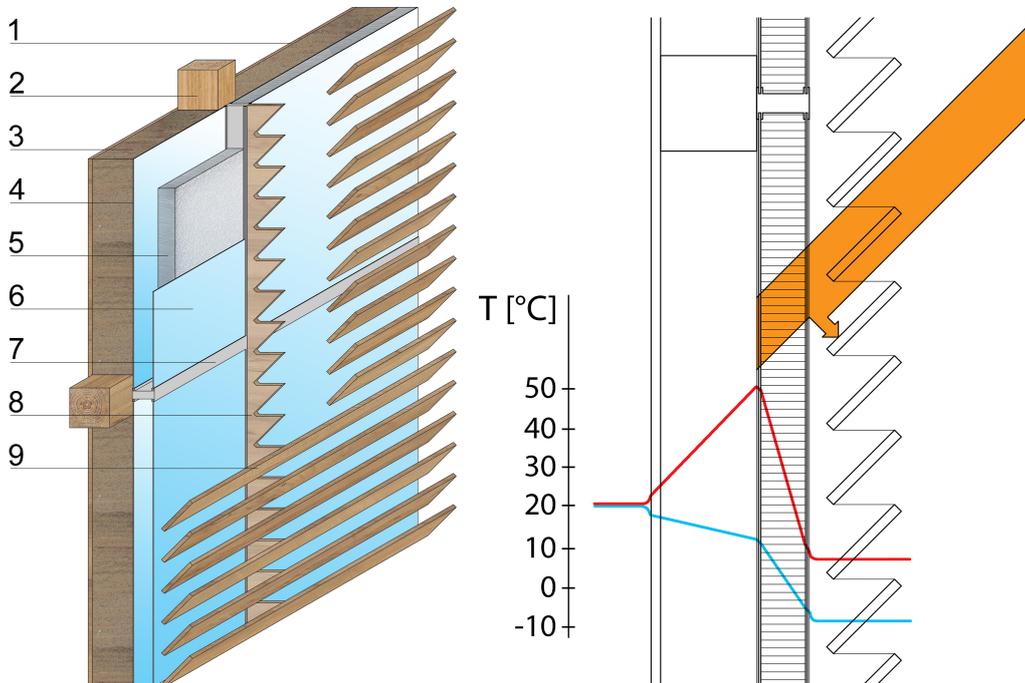


Figura 7.23: A destra un dettaglio assonometrico di facciata: 1) tavolato intonacato interno, 2) trave in legno 10x10 cm, 3) riempimento in limo e legno 10 cm, 4) superficie ricevente, 5) materiale Okalux 8 cm, 6) vetro trasparente esterno, 7) sostegni in alluminio, 8) sostegno per tavolato esterno, 9) tavolato esterno. A sinistra schema della variazione termica stratigrafica.[92]

7.3.2 La casa *Väike*

La seconda casa, dalle dimensioni leggermente più modeste, viene posta nelle suddivisioni più interne dell'area generando un leggero allargamento nella parte centrale degli isolati. Nonostante le assonanze materiche, oltre alle dimensioni, si notano subito alcuni elementi che differenziano questa abitazione da quella di tipo *Suur*: l'asimmetria e l'associazione di volumi completamente differenti e riconoscibili sin da un primo approccio esterno.

Questa scelta deriva da una ricerca effettuata per risolvere principalmente l'apporto di luce naturale e la conservazione del calore. Durante un'analisi della vegetazione che occupa le aree alpine sono stati individuati due organismi che uniscono le loro qualità per sopravvivere negli ambienti difficili: i licheni. Il lichene è un organismo composto da alghe e funghi che convivono traendo reciproco vantaggio: il fungo sopravvive grazie ai composti organici prodotti dalla fotosintesi dell'alga, mentre quest'ultima riceve in cambio, sali minerali ed acqua. La simbiosi che viene a crearsi nei licheni è così ben bilanciata che potrebbe essere considerata come un piccolo ecosistema in miniatura che permette a questi organismi di resistere a qualsiasi condizione ambientale dal livello del mare alle vette delle montagne. Altre forme di simbiosi mutualistica¹ possono essere individuate in natura, come ad esempio la convivenza tra il pesce pagliaccio e l'anemone di mare o la flora intestinale e l'uomo.

Nel caso in esame, l'abitazione descritta tende a risolvere le due problematiche principali, ovvero la conservazione del calore e l'apporto di luce esterna. Abbiamo in tal senso considerato alcune soluzioni che potessero far coesistere assieme le due funzioni tralasciando momentaneamente i metodi sviluppati dall'architettura tradizionale.

La parte che assolverà le funzioni di isolamento termico sarà rivolta verso nord che, oltre ad essere la parte meno soleggiata, è anche il lato da cui provengono i venti freddi notturni di brezza marina, l'involucro manterrà dei materiali prevalentemente opachi consentendo di collegare positivamente questa parte all'architettura del quartiere e delle case del primo tipo. Il volume che quindi occuperà l'angolo a sud dovrà assolvere alla funzione di apporto solare e anche in questo caso la soluzione proviene da un disegno bioispirato. Un organismo che ha dato una soluzione interessante è stata la *fenestraria*, una pianta tipica delle

¹La simbiosi comprende diverse forme di convivenza che si distinguono per un diverso grado di vantaggi per gli organismi che lo formano: il *parassitismo*, svantaggioso per uno e vantaggioso per l'altro, come le zecche; il *commensalismo* in cui un organismo approfitta del nutrimento o degli scarti dell'altro senza arrecare danno come il paguro e il *mutualismo* in cui i due organismi ricevono un reciproco vantaggio, come il lichene

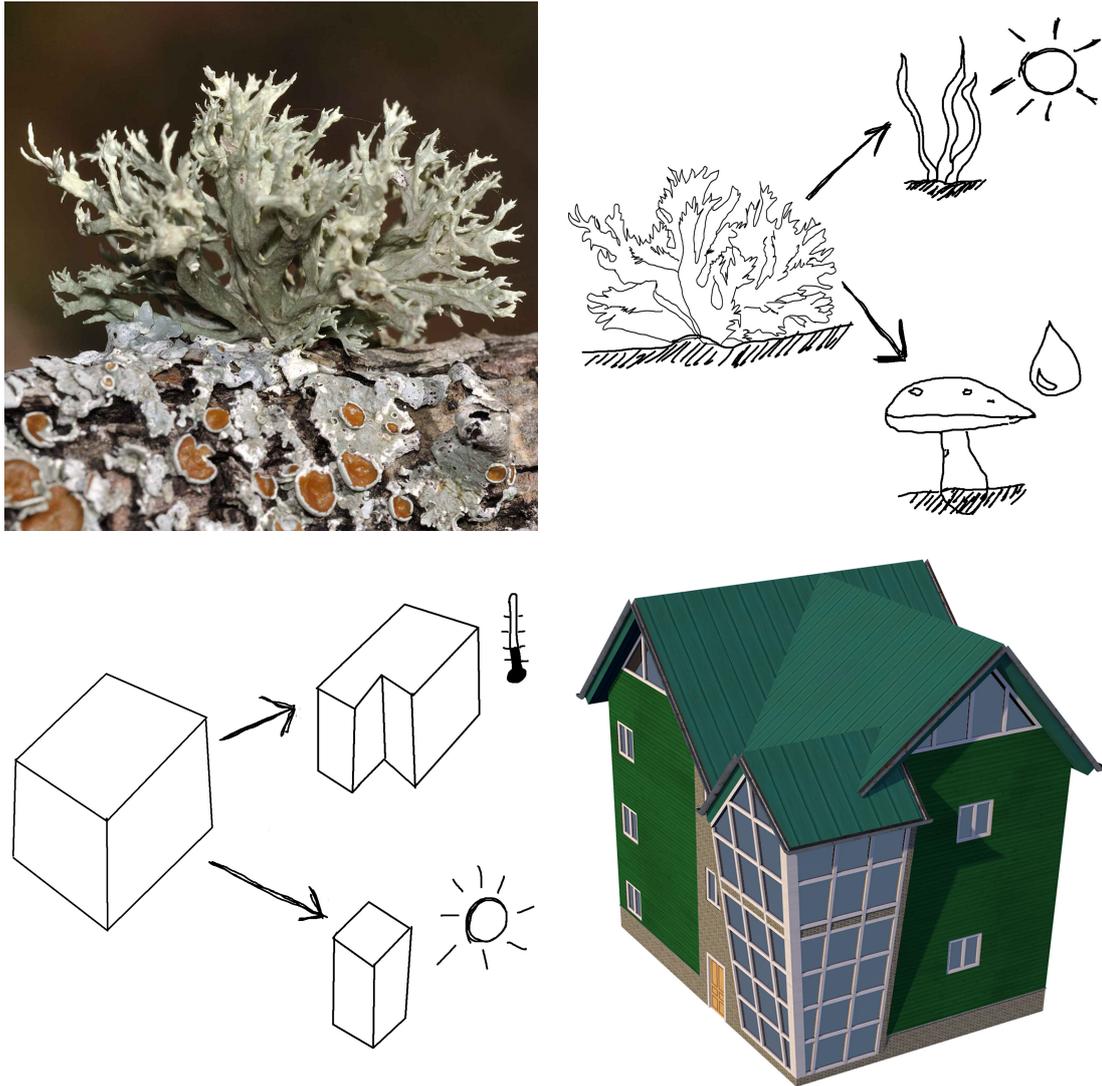


Figura 7.24: Schema applicativo delle strategie sviluppate dal lichene al progetto.[93]

aree più aride della Namibia. L'associazione di una pianta che vive in aree aride ed estremamente soleggiate potrebbe sembrare insolita per un ambiente freddo e relativamente umido come quello dell'Europa settentrionale, in realtà la soluzione sta nel suo sistema di catturare la luce solare al suo interno. L'ambiente particolarmente torrido della Namibia obbliga la fenestraria a sviluppare una sorta di protezione dal caldo senza compromettere la fotosintesi, la pianta la cui sommità risulta trasparente, si sviluppa sottoterra, lasciando solo alcuni centimetri fuori dal suolo. Ciò permette alla fenestraria di sopravvivere al di sotto del suolo, conservando umidità e temperatura, facendo penetrare la luce dall'alto all'interno della sua stessa struttura.

La scelta di apporre all'angolo sud un volume quasi completamente vetrato si sviluppa quindi dalla pianta di fenestraria. Alcuni adattamenti sono stati necessari,

7 Progetto

la "finestra" non è posta in cima al volume, in quanto l'inclinazione solare nei più brevi giorni invernali non supera i 10 gradi, se nel deserto namibiano la finestra viene rivolta verso l'alto, qui sarà posta verticalmente; il volume è addirittura inclinato verso l'alto e richiama la forma aggregativa delle colonie, consentendo una schermatura invece per i giorni estivi.

Gli ambienti interni della casa che corrispondono al volume vetrato sono per la maggior parte "open space" riducendo i tramezzi che potrebbero ostacolare l'ingresso della luce verso le parti più interne della casa; anche per tale motivo la suddivisione dei due appartamenti sarà sopra - sotto anziché destra - sinistra come nella casa tipo *Suur*, così da permettere ad entrambi gli appartamenti di godere della luce solare.

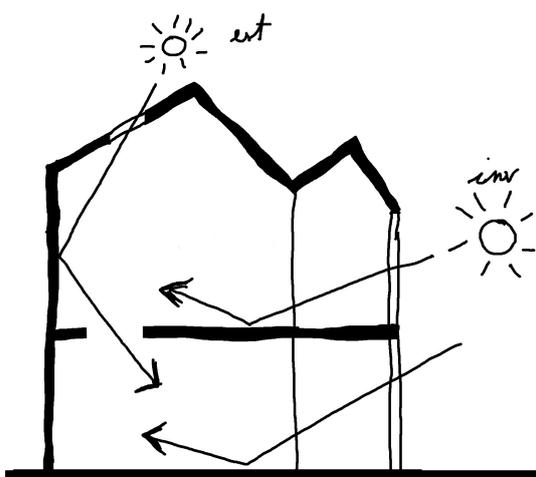
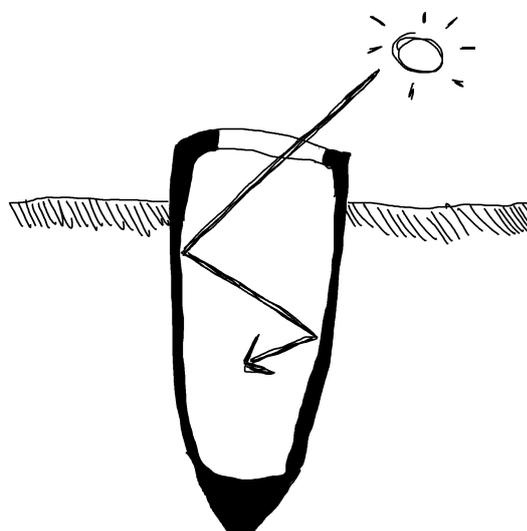


Figura 7.25: Schema applicativo delle strategie sviluppate dalla fenestrazione al progetto.[93]

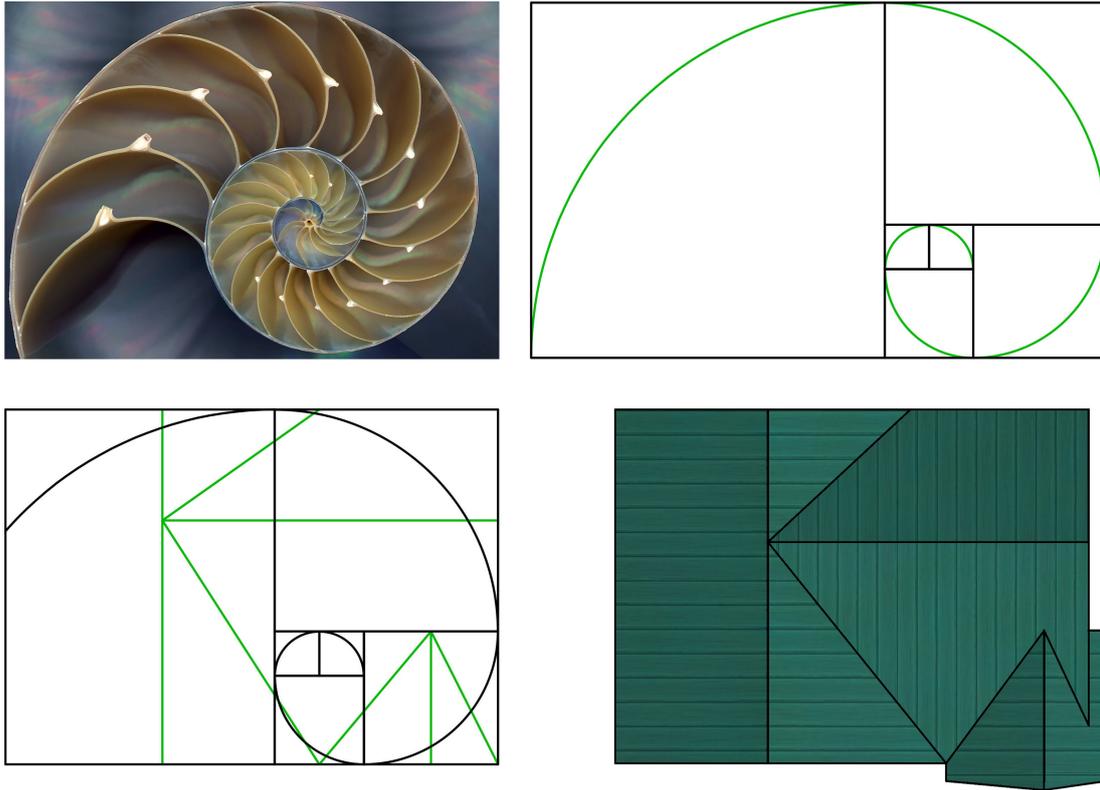


Figura 7.26: Schema concettuale della copertura ispirata dalla spirale aurea.[93]

La suddivisione dei due volumi non è casuale, deriva da uno studio precedente sul disegno della copertura in rame la quale, vista dall'alto, rivela la suddivisione che si proietta, generando l'involucro verticale. Il disegno delle falde e la scelta delle suddivisioni riprendono le proporzioni auree, che com'è noto è il risultato dei rapporti dimensionali più comune in natura.

Il corpo più basso è posto a sud cosicché anche le falde adiacenti restano esposte al sole, analogamente alle formiche rosse, le quali realizzano l'inclinazione del formicaio in modo tale che possa ottenere la massima quantità di calore solare. Una coppia di piccole finestre sulle falde settentrionali reitera il sistema della fenestrazione, per far entrare la luce indiretta negli ambienti più svantaggiati, pertanto anche i solai interni sono stati adattati per sfruttare anche l'apporto luminoso di queste soluzioni creando delle piccole "caditoie" di luce.

Gli ambienti interni ospitano gli spazi necessari a due famiglie che vi accedono da un ingresso comune. La successione organica delle stanze riprende il tema degli ambienti naturali utilizzato anche per le case più grandi, scalinate e separate dividono le stanze più grandi tagliando e smorzando il sole che entra dalle pareti vetrate. La scelta di posizionare una così ampia vetrata, deriva dalla volontà di risolvere i problemi legati all'efficienza energetica e all'illuminazione naturale, ma di conseguenza comporta un problema che non sempre viene considerato dai pro-

7 Progetto

gettisti. Le proprietà trasparenti e riflettenti del vetro rendono queste superfici pericolose per gli uccelli che non sempre riescono a percepire in tempo l'ostacolo. La *Arnold Glas*, una società tedesca, ha ideato per questo motivo la lastra di vetro "ORNILUX", ispirandosi alla tela dei ragni. Le ragnatele di alcune specie di ragni infatti, sono caratterizzate da fili di seta che riflettono i raggi UV. Poiché gli uccelli possono vedere uno spettro più ampio di UV rispetto agli esseri umani, i fili riflettenti impediscono loro di scontrarsi e distruggere le ragnatele. Gli ornamenti di seta bianca noti come "stabilimenta", che si trovano comunemente nella rete a orbita di alcuni ragni, sembrano essere dispositivi di protezione che avvertono gli uccelli della presenza di ragnatele nella loro traiettoria di volo. Alcuni esperimenti hanno dimostrato che le reti dotate di equivalenti artificiali di stabilimenta tendevano a sopravvivere intatte al primo mattino quando gli uccelli sono in volo, mentre le reti non marcate hanno mostrato un'alta incidenza di distruzione.[94] La lastra di vetro progettata dalla Arnold Glas è dotata di uno speciale rivestimento che riflette la luce UV. Il rivestimento non è applicato su tutta la superficie, ma parzialmente sotto forma di una struttura intrecciata. Per gli uccelli, il rivestimento diventa visibile e riconoscendo i vetri come un ostacolo, al contrario per l'occhio umano, rimane quasi invisibile. La società American Bird Conservancy ha testato questo prodotto in una galleria di volo provando che almeno il 70% degli uccelli evitava il prodotto riconoscendolo come un ostacolo.[95] Gli infissi scelti per il progetto, basati su questa tecnologia sono composti da un triplo vetro isolante con rivestimento basso emissivo dello spessore complessivo di 44 mm, intercapedini riempite con Argon, ed un valore di trasmittanza U_g di $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (scheda tecnica 7.50).



Figura 7.27: Vetro "ORNILUX" ispirato alla tela del ragno



Figura 7.28: Prospetto sud-est Casa Väike



Figura 7.29: Prospetto sud-ovest Casa Väike

7 Progetto



Figura 7.30: Prospetto nord-ovest Casa Väike



Figura 7.31: Prospetto nord-est Casa Väike

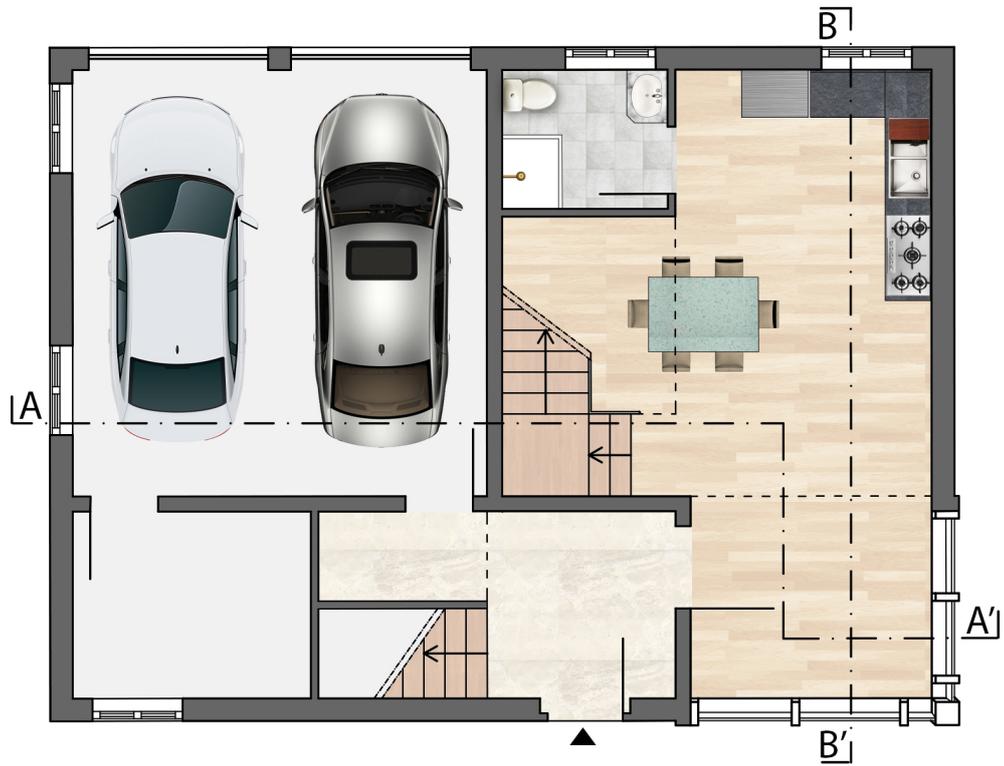


Figura 7.32: Pianta Casa Väike piano terra

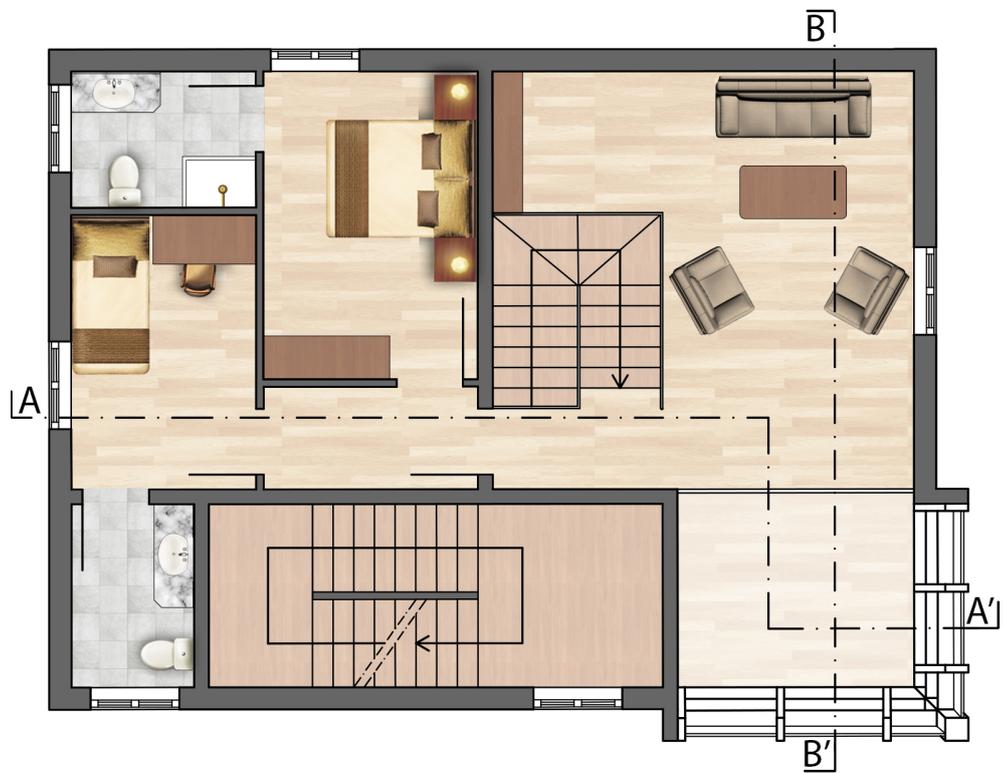


Figura 7.33: Pianta Casa Väike primo piano



Figura 7.34: Pianta Casa Väike secondo piano

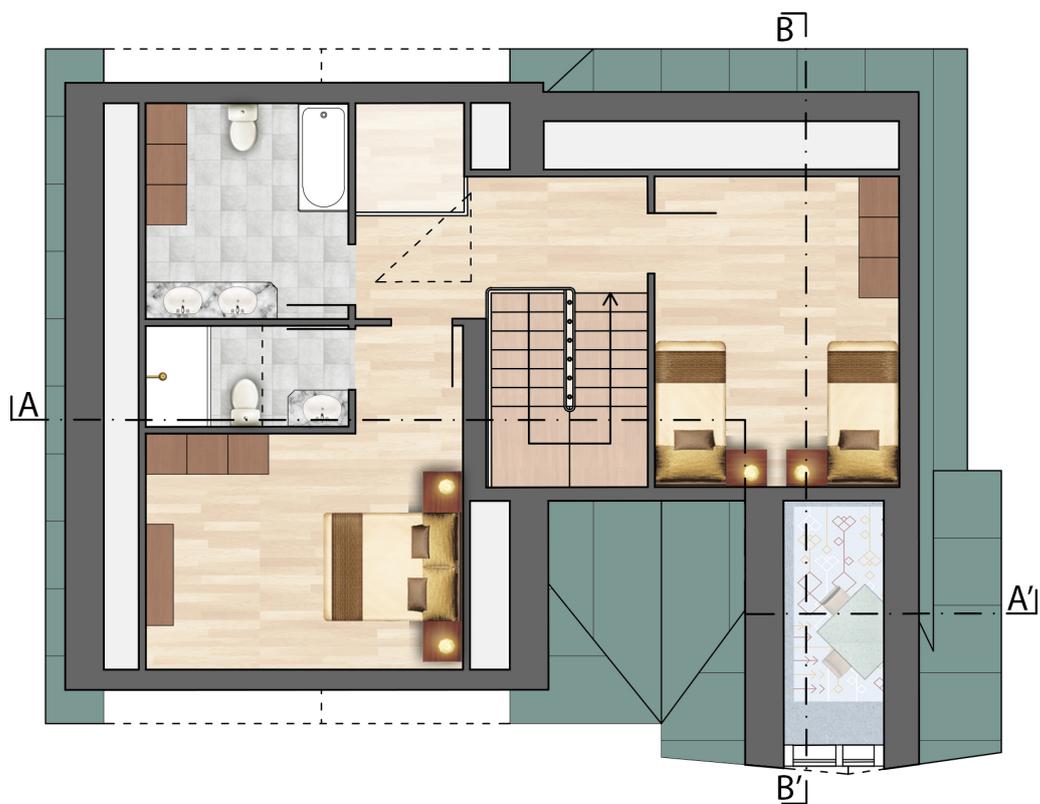


Figura 7.35: Pianta Casa Väike terzo piano



Figura 7.36: Sezione longitudinale Casa Väike



Figura 7.37: Sezione trasversale Casa Väike



Figura 7.38: Vista dal soggiorno dell'appartamento superiore.



Figura 7.39: Vista dall'ingresso dell'appartamento superiore. Gli arredi presenti nelle viste interne sono stati tratti dalle opere realizzate da Alessandra Sanna, tappeti (2018); Igor Fabris *Per trenta denari* (1973); Filippo Enna, *Impressionismo a Venezia* (2018); Graeme Manson e John Fawcett *orphan Black*, *Cosima's spiral tattoo* (2013); Alexey Bogolybov *Port of Tallinn* (1853); armadi e sedute sono state rielaborate da 3dbar.net.

7.3.3 L'edificio polifunzionale e la serra

L'edificio polifunzionale si sviluppa su un'area di circa 1000 m² ed è situato all'estremità nord-ovest dell'area di progetto, perpendicolarmente all'asse visivo in direzione del campanile della cattedrale di Toompea.

Al suo interno sono presenti un ristorante, una biblioteca, delle attività commerciali e un magazzino di stoccaggio. Attraverso queste funzioni l'edificio si configura come elemento di unione tra gli edifici residenziali e la serra per creare un ecosistema efficiente e autonomo, ma anche a livello architettonico tra l'area e il quartiere circostante tale da rendere armonioso l'inserimento del progetto nel contesto di Kalamaja.

La particolare conformazione dell'area di progetto, ha determinato la forma in pianta di quest'ultimo. La facciata principale in corrispondenza della piazza centrale e la "punta" posteriore sono formate da ampie pareti vetrate che favoriscono un'illuminazione naturale degli ambienti interni rispetto alle due facciate laterali. Per la progettazione del tetto è stato ripreso ancora una volta, come nel caso del tetto delle case Suur ma in modo più accentuato, il riferimento architettonico della Scuola della Sagrada Familia di Antoni Gaudì (3.1.1) e quello bioispirato della forma ondulata delle foglie. Sono presenti infatti, delle grandi falde triangolari sfalsate, che si sviluppano lungo i due lati lunghi dell'edificio andandosi a rimpicciolire sempre di più verso la fine, in modo tale che ad una falda alta di un lato ne corrisponda una bassa dal lato opposto. Questo sistema facilita il deflusso e il recupero dell'acqua piovana, e l'illuminazione lungo le due facciate lunghe.

L'ingresso principale è situato in corrispondenza della piazza principale. Al piano terra è situato il ristorante, alcune attività commerciali e il magazzino di stoccaggio; una scala centrale serve il primo e il secondo piano dove sono posizionati rispettivamente altre attività commerciali e la biblioteca.

A quest'ultimo si connette un altro elemento fondamentale dell'ecosistema del progetto: la serra. L'edificio della serra collegandosi direttamente ai locali di servizio del ristorante, si snoda lungo quasi tutto il perimetro sud dell'area, costeggiando i binari e creando un filtro visivo e acustico tra la ferrovia e le residenze. Riprendendo le teorie di Fuller sulle cupole geodetiche (par. 3.1.5), che consentono di avere il massimo rapporto tra volume e peso, la serra è costituita da una struttura a tunnel in alluminio (vedi fig. 7.42) rivestita in Etilene TetrafluoroEtilene (ETFE), un polimero termoplastico contenente atomi di fluoro particolarmente leggero, trasparente e autopulente, la cui resistenza chimica, termica e all'attacco dei raggi UV lo rendono un'ottima alternativa al vetro. Inoltre è un materiale al 100% riciclabile, grazie alla possibilità di rifonderlo completamente alla fine del

suo ciclo vitale.[96] Già ampiamente utilizzato in architettura per la realizzazione per esempio dell'involucro dell'Allianz Arena di Monaco progettata da Herzog e de Meuron e del Water Cube di Pechino dei PTW Architects o ancora le biosfere dell'Eden Project.

All'interno della serra, che in questo caso tipologicamente viene definita fredda, quindi non climatizzata, vengono coltivati ortaggi particolarmente resistenti ai climi rigidi come insalate, carote, cavoli, porri, spinaci e rape, che verranno poi utilizzati come materia prima all'interno del ristorante.

Le tecnologie di assemblaggio della struttura geodetica e dell'applicazione dell'involucro in ETFE sono state riprese dell'azienda inglese Architen Landrell[97] la quale afferma che un cuscino standard a tre strati può raggiungere un valore U di $1,96 \text{ W/m}^2\text{K}$ e una trasmissione della luce visibile fino all'85% (scheda tecnica 7.48). Si stima inoltre un'aspettativa di vita per questo sistema di 50 anni. Tutte le strutture in ETFE sono progettate con una curvatura tale da garantire che l'acqua piovana non si accumuli sulla parte superiore della membrana, poiché ciò porta alla deformazione delle lamina. L'acqua piovana sarà quindi convogliata al perimetro dell'involucro dove potrà essere raccolta nel sistema di grondaia principale.



Figura 7.40: Prospetto sud-ovest dell'edificio di testa.



Figura 7.41: Prospetto sud-est dell'edificio di testa.

7 Progetto

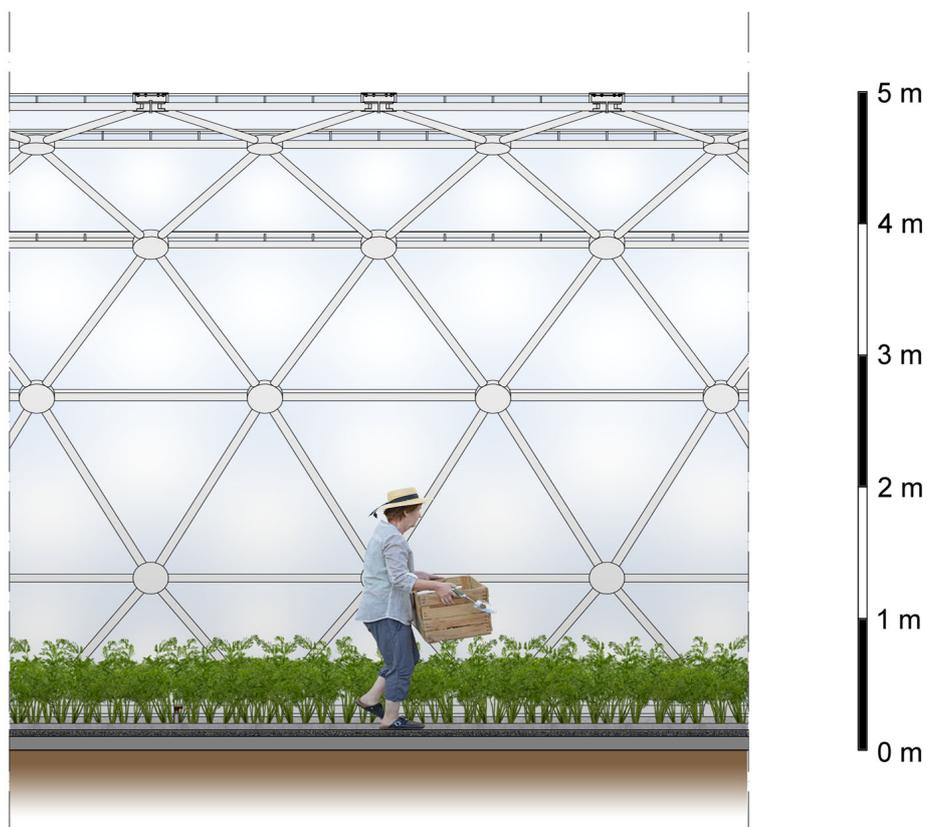


Figura 7.42: Sezioni trasversale e longitudinale della serra.

7.4 Processi sostenibili

Sempre con la natura come fonte d'ispirazione, l'intenzione del progetto è quella di creare un'area in grado di coniugare funzioni sociali ed economiche in un'ottica biomimetica. Si è più volte detto che la natura nei suoi processi riduce sprechi ed ottimizza gli scarti. Allo stesso modo l'obiettivo è quello di creare un ecosistema composto da cicli chiusi in cui ogni scarto di un processo sia materia prima di un altro. Gli elementi principali di questo ciclo sono:

- il recupero dell'acqua piovana;
- la produzione di cibo;
- il riciclo degli scarti alimentari.

Il punto di partenza del ciclo è senza dubbio il recupero delle acque piovane. In questa fase è fondamentale il sistema di falde presente sugli edifici la cui ispirazione biomimetica è stata descritta in dettaglio precedentemente.

L'acqua recuperata attraverso le grondaie viene incanalata verso il sistema di depurazione ad osmosi inversa.

L'osmosi inversa è una tecnologia per il trattamento delle acque reflue usata

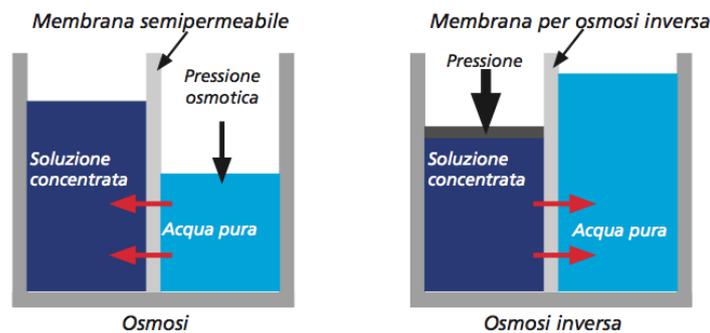


Figura 7.43: Differenza tra osmosi naturale e osmosi inversa[98]

anche per la desalinizzazione dell'acqua marina. Il termine osmosi si riferisce in fisica, al fenomeno di diffusione tra due liquidi attraverso una membrana di separazione [10] e si verifica quando un solvente (acqua) a bassa concentrazione di soluto (inquinanti) si muove attraverso una membrana per raggiungere la soluzione concentrata più alta. Questo processo naturalmente avviene in un'unica direzione, ma nell'osmosi inversa invece si applica una pressione, affinché il solvente filtri dal concentrato alto nella soluzione concentrata inferiore. Quindi, invece di creare un equilibrio più equo di solvente e soluto in entrambe le soluzioni, si separa il soluto dal solvente.[99]

Per il sistema di osmosi inversa è stata utilizzata una membrana sviluppata dalla società danese "Aquaporin" (scheda tecnica 7.52) ispirata alle *Acquaporine*, delle

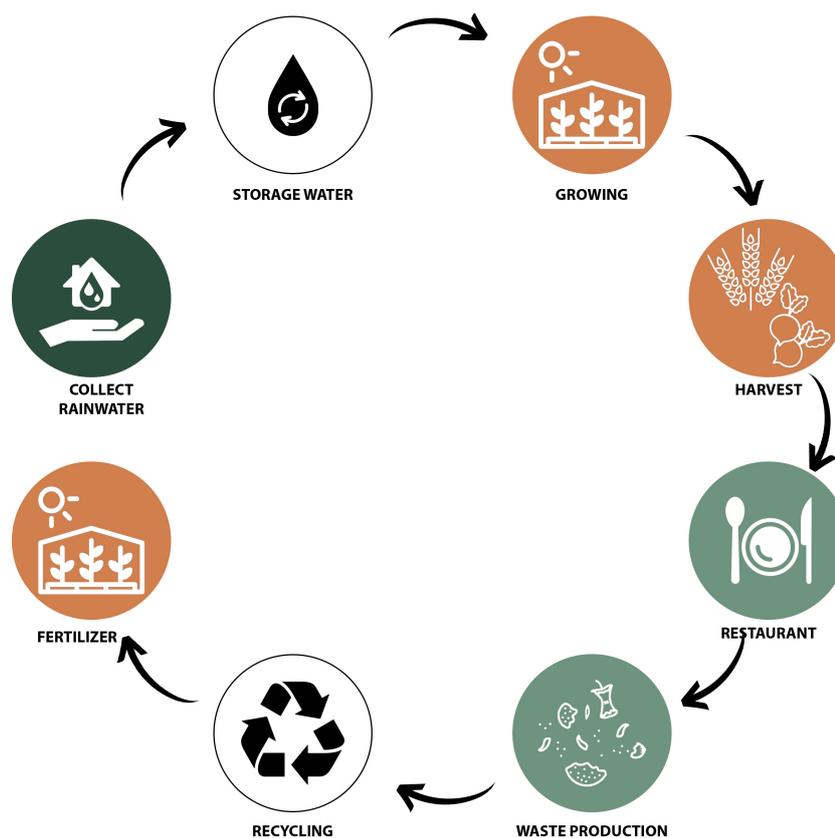


Figura 7.44: Ecosistema a ciclo chiuso

proteine-canale presenti in molte membrane cellulari che formano pori nella membrana delle cellule biologiche, facilitando il trasporto di acqua tra le cellule.[44] L'acqua così depurata, verrà poi impiegata per l'irrigazione della serra e la coltivazione di prodotti utilizzati nel ristorante.

Di conseguenza gli scarti prodotti dalla ristorazione, verranno poi riutilizzati come fertilizzante all'interno della serra attraverso un sistema di compostaggio. Il processo di compostaggio ricicla materiali organici considerati come prodotti di scarto attraverso un processo aerobico di decomposizione biologica. Si sviluppa principalmente di due fasi. Una prima fase in cui in cui dei microorganismi effettuano degli intensi processi di degradazione sulle frazioni organiche più facilmente degradabili ed una seconda fase di maturazione in cui la frazione si stabilizza e avviene la vera e propria trasformazione delle sostanze organiche.[101] La tecnologia utilizzata all'interno del progetto è composta da un CSC-Container (Collecting-Sanitisation-Composting Container), sviluppato in particolare per la raccolta biologica aerobica e il trattamento dei rifiuti, dalla società danese *Compost System* (scheda tecnica 7.51).[102]

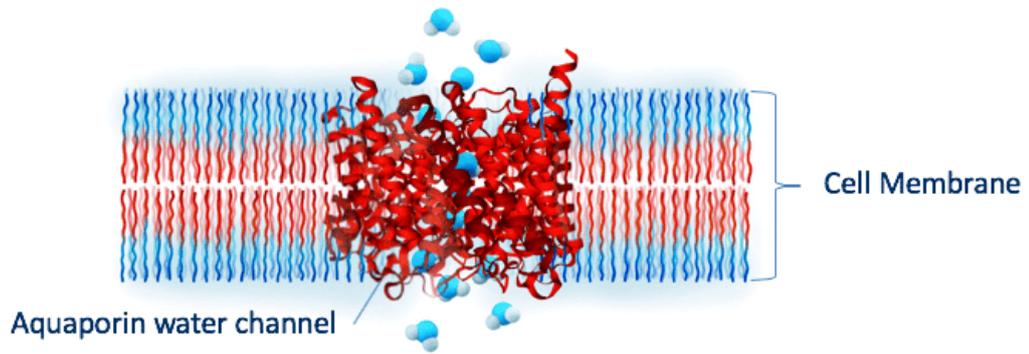


Figura 7.45: Struttura delle acquaporine all'interno di una membrana cellulare[100]



Figura 7.46: Elemento membrana *Aquaporin Inside*[100]

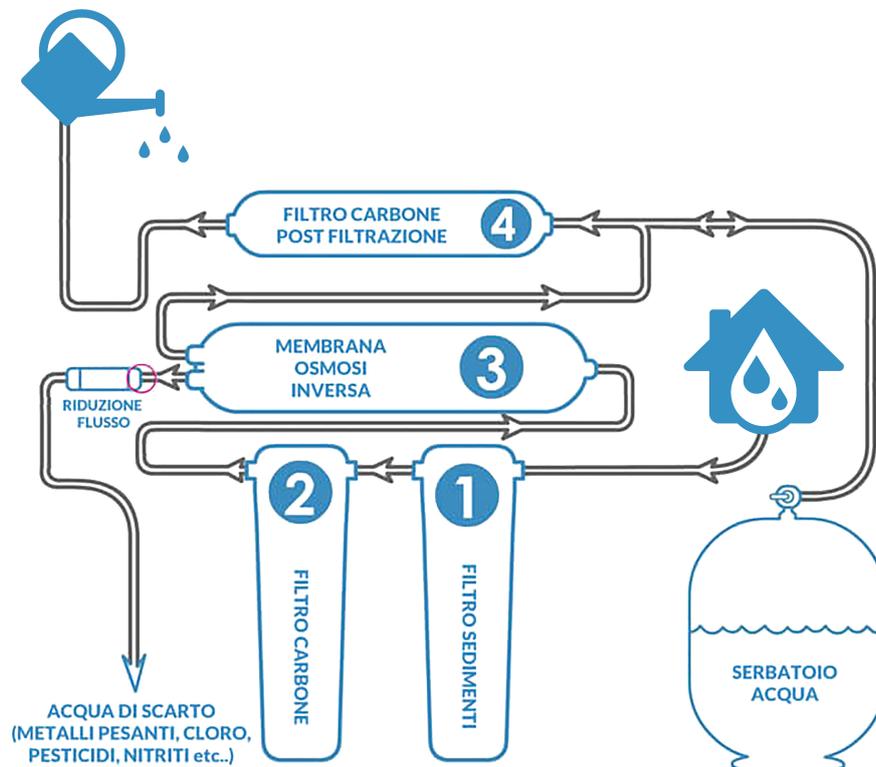


Figura 7.47: Schema impianto osmosi inversa: l'acqua raccolta tramite i sistemi di raccolta presenti nelle residenze viene convogliata nel sistema di depurazione che utilizza la membrana per l'osmosi inversa *Aquaporin Inside*

7.5 Schede tecniche

Tefzel® ETFE

Fluoropolymer Film

Table 1: Typical Properties of Tefzel® ETFE Fluoropolymer Film

Property	Test Method*	Typical Value**	
		SI Units	English Units
Mechanical			
Tensile Strength at Break	D882	41 MPa	6000 psi
Elongation at Break	D882		300%
Flex Modulus	D882	830 MPa	120,000 psi
Folding Endurance (MIT)	D2176		50,000 cycles
Tear Strength—Initial (Graves)	D1004	4.90 N	500 g
Tear Strength—Propagating (Elmendorf)	D1922	0.74 N	75 g
Thermal			
Melt Point	D3418	260–280 °C	500–536 °F
Thermal Conductivity	Cenco-Fitch	0.24 W/(m·K)	1.65 Btu-in/(hr-ft ² ·°F)
Specific Heat	—	1172 J/(kg·K)	0.28 Btu/(lb·°F)
Dimensional Stability	30 min at 150 °C (302 °F)		MD = 1% shrinkage TD = 5% shrinkage
Oxygen Index	D2863		30%
Electrical			
Dielectric Strength, short-time, in air at 23 °C (73 °F), 6.35 mm (1/4 in) diameter electrode, 0.79 mm (1/32 in) radius, 60 Hz, 500 V/s rate of rise: 0.025 mm (1 mil) film	D149 Method A	160 kV/mm	4000 V/mil
Dielectric Constant, 25 °C (77 °F), 1 KHz	D150		2.6
Dissipation Factor, 25 °C (77 °F), 1 KHz	D150		0.0007
Volume Resistivity, 170 °C (338 °F)	D257		>1 x 10 ¹⁷ ohm-cm
Chemical			
Moisture Absorption	—		<0.02%
Permeability, Gas: Carbon Dioxide Nitrogen Oxygen	D1434		cm ³ /(m ² ·24 hr·atm)*** 3.9 x 10 ³ 0.5 x 10 ³ 1.6 x 10 ³
Permeability, Vapor: Water	E96	g/(m ² ·d) 7.8	g/(100 in ² ·24 hr) 0.5
General			
Density	D1505	1700 kg/m ³	106 lb/ft ³
Coefficient of Friction Kinetic (Film-to-Steel)	D1894		0.2–0.3
Refractive Index	D542		1.4
Solar Transmission	E424		90%

*ASTM method, unless otherwise specified

**For 0.050-mm (2-mil) film at 25 °C (77 °F), unless otherwise specified

***To convert to cm³/(100 in²·24 hr·atm), multiply by 0.0645

Figura 7.48: Scheda tecnica del film in EFTE utilizzato per i cuscini trasparenti della serra (azienda Tefzel EFTE [97]).

7.5 Schede tecniche

Products	View	Structure facade	Structure Roof	Dimensions max [mm] (h x l)	Total thickness [mm]	Type	Krypton U _g -value [W/(m ² K)] ²	Argon U _g -value [W/(m ² K)] ²	Air U _g -value [W/(m ² K)] ²	TSET, SHGC % direct ³	TSET, SGCC % diffused ³	TSET, Δg ₅₀ shading coefficient SC ₅₀ ³	Light transmission % direct ³	Light transmission diffused ³	Preferred application
OKALUX®				2000 x 4500	ab 16	45/47 38/40 25/28			2,7 - 1,3 ¹ [0,48 - 0,23]	47 40 28	36 31 23	59 (55) 50 (46) 36 (33)	45 38 25	34 29 19	Very narrow double glazing can be used for example for restoration of listed objects
OKALUX®+				1230 x 4000	ab 26	39/34 34/22 24/16	0,9 [0,16] 0,9 [0,16] 0,9 [0,16]	1,3 [0,23] 1,3 [0,23] 1,3 [0,23]	1,5 [0,26] 1,5 [0,26] 1,5 [0,26]	34 22 16	28 18 14	43 (40) 27 (25) 20 (19)	39 34 24	30 26 18	Narrow layout with optimized U _g -values (Btu) for museums and sports halls
OKALUX® K K-value (Btu) optimized				2000 x 6000	ab 30	43/37 38/23 24/18	0,8 [0,14] 0,8 [0,14] 0,8 [0,14]	1,1 [0,19] 1,1 [0,19] 1,1 [0,19]	1,4 [0,25] 1,3 [0,23] 1,3 [0,23]	37 23 18	28 18 14	46 (43) 29 (27) 22 (20)	43 38 24	32 28 17	Optimized triple glazing for industrial and administrative buildings, schools, universities
OKALUX® EVO				2000 x 6000	ab 28	42/36 37/22 31/20	0,8 [0,14] 0,8 [0,14] 0,8 [0,14]	1,0 [0,18] 1,0 [0,18] 1,0 [0,18]	1,2 [0,21] 1,1 [0,19] 1,1 [0,19]	36 22 20	26 16 14	45 (42) 28 (26) 23 (23)	42 37 31	28 24 21	Optical depth effect through visible capillary structure for roof and facade glazing
KAPILUX® T Translucent				2400 x 6000	ab 42	62/47 54/30 46/26	0,8 [0,14] 0,8 [0,14] 0,8 [0,14]	1,0 [0,18] 1,0 [0,18] 1,0 [0,18]	1,2 [0,21] 1,1 [0,19] 1,2 [0,21]	47 30 26	34 21 19	59 (55) 37 (35) 33 (31)	62 54 46	41 36 31	High requirements on light transmission and sun protection with partial transparency
KAPILUX® W White				2400 x 6000	ab 42	35/29 31/19 26/17	0,8 [0,14] 0,8 [0,14] 0,8 [0,14]	1,0 [0,18] 1,0 [0,18] 1,0 [0,18]	1,2 [0,21] 1,1 [0,19] 1,2 [0,21]	29 19 17	18 11 10	36 (34) 23 (22) 21 (19)	35 31 26	18 16 13	High demands on sun and glare control with partial throughvision (transparency)
KAPILUX® WS White / inclined				2400 x 4400	ab 42	35/29 31/19 26/17	0,8 [0,14] 0,8 [0,14] 0,8 [0,14]	1,0 [0,18] 1,0 [0,18] 1,0 [0,18]	1,2 [0,21] 1,1 [0,19] 1,2 [0,21]	29** 19** 17**	18** 11** 10**	36 (34)** 23 (22)** 21 (19)**	35** 31** 26**	18** 16** 13**	Roof glazing with high demands on sun and glare control

The listed values are estimates. They were determined on the basis of measurements conducted by certified test institutes and the calculations derived from them in compliance with the relevant valid standards. Values determined on a project-specific basis may vary from the above values. The values continue to vary if other coatings are used. You will find more detailed, glass-specific information on soundproofing, fire protection, building and personal protection etc. in the Internet www.okalux.com, along with specified texts which we will provide on request.

* Depending on OKAPAME insert 8 - 40 mm

¹ Maximally dimensioned glazing may necessitate blunt joints or joint profiles

² DIN EN 673 | ³ DIN EN 410

⁴ VDI 2078 | ⁵ GAMA Manual

All technical values, such as light transmission, total solar energy transmittance and U_g-values (Btu) can be varied by using other constructions and glass types.

Subject to technical changes

Figura 7.49: Scheda tecnica del prodotto Okalux (azienda Okalux [88]).

ISOLAR ORNILUX® MIKADO – TRANSPARENTRE BESCHICHTUNG AUF GLAS

Nachfolgend sind verfügbare ISOLAR ORNILUX® mikado Glastypen dargestellt, für die in Flutunnelversuchen nachgewiesen werden konnte, dass sie signifikant seltener angefliegen wurden als die Kontrollscheiben (6 mm Floatglas). Zur besseren Vergleichbarkeit der U_g -Werte werden alle Zweifach-Isolierglastypen mit 16 mm SZR (Argon), alle Dreifach-Isolierglastypen mit 2 x 14 mm SZR (Argon) aufgeführt.

Isolierglas mit Low-E-Beschichtung

Produktbezeichnung	Glasaufbau	U_g -Wert in W/m ² K	LT in %	g-Wert in %
ISOLAR ORNILUX® mikado uno // ✓	6:/16 Ar:/VSG 8	1,0	66	47
ISOLAR ORNILUX® mikado advance 34 // ✓	4:/16 Ar:/VSG 8	1,1	77	61

ORNILUX® mikado advance // ist alternativ in Weißglas oder mit der premium Low-E-Beschichtung erhältlich.

Dreifach-Isolierglas mit Low-E-Beschichtung

Produktbezeichnung	Glasaufbau	U_g -Wert in W/m ² K	LT in %	g-Wert in %
ISOLAR ORNILUX® mikado advance 34 /// ✓	4:/14 Ar:/4/14 Ar:/VSG 8	0,6	70	52

ORNILUX mikado advance /// ist alternativ mit der premium Low-E-Beschichtung erhältlich.

Isolierglas mit Sonnenschutz-Beschichtung

Produktbezeichnung	Glasaufbau	U_g -Wert in W/m ² K	LT in %	g-Wert in %
ISOLAR ORNILUX® mikado A70 // ✓	6:/16 Ar:/VSG 8	1,0	66	36
ISOLAR ORNILUX® mikado A60 // ✓	6:/16 Ar:/VSG 8	1,0	58	32
ISOLAR ORNILUX® mikado A50 // ✓	VG 10:/16 Ar/4	1,0	51	27
ISOLAR ORNILUX® mikado A40 // ✓	VG 10:/16 Ar/4	1,0	41	22

Dreifach-Isolierglas mit Sonnenschutz-Beschichtung

Produktbezeichnung	Glasaufbau	U_g -Wert in W/m ² K	LT in %	g-Wert in %
ISOLAR ORNILUX® mikado A70 /// ✓	6:/14 Ar:/4/14 Ar:/VSG 8	0,6	60	33
ISOLAR ORNILUX® mikado A60 /// ✓	6:/14 Ar:/4/14 Ar:/VSG 8	0,6	53	29
ISOLAR ORNILUX® mikado A50 /// ✓	6:/14 Ar:/4/14 Ar:/VSG 8	0,6	45	25
ISOLAR ORNILUX® mikado A50 /// ✓	VG 12:/14 Ar/4/14 Ar:/4	0,6	46	24

Verbundglas

Produktbezeichnung	Glasaufbau	U_g -Wert in W/m ² K	LT in %	g-Wert in %
ISOLAR ORNILUX® mikado mono	36 mm VG (12:/12:/12)	4,7	76	57
ISOLAR ORNILUX® mikado mono	12 mm VG (4:/4:/4)	5,3	84	71

Fragen Sie uns nach weiteren objektspezifisch getesteten Aufbauten.

Jeder einzelne neue Glastyp muss auf seine Wirksamkeit hin im „Flutunnel“ überprüft werden, daher kann sich bei abweichenden Glasaufbauten in Bezug auf die Glasdicke und SZR-Breite eine Abweichung der Anflugrate gegenüber dem geprüften Aufbau einstellen.

✓ Diese ORNILUX® Glastypen haben in ABC Flutunnel-Tests eine Anflugrate von mindestens 70 % zur Kontrollscheibe erreicht („EFFECTIVE“-Kategorie). Mehr Informationen unter www.birdsmartglass.org. Das „ABC Glass Collisions Program“ ist eine verlässliche Quelle für die Bewertung von verschiedenen Glasprodukten bzgl. des Bedrohungsfaktors für die Vögel. Die Flutunnel-Ergebnisse bilden die Basis für den LEED Pilot Credit 55. www.usgbc.org



Hunsrücker Glasveredelung Wagener GmbH & Co. KG

Otto-Hahn-Straße 1 · 55481 Kirchberg

Tel. +49 6763 9305 0 · www.glaswagener.de

Glaswerke Arnold GmbH & Co. KG (Stammsitz)

Alfred-Klinge-Straße 15 · 73630 Remshalden

www.ornilux.de · www.arnold-glas.de



Figura 7.50: Scheda tecnica del prodotto Ornilux (azienda Arnold Glas [95]).



- ✓ Modular independent solution
- ✓ Intelligent process control via Internet
- ✓ GPS tracking
- ✓ Decentralised and odour free collection
- ✓ Odour free composting
- ✓ Fully documented sanitisation
- ✓ Controlled temperature monitoring

TECHNICAL DATA

Outside dimension	CSC-20	CSC-30
Length	~5.85 m	~6.40 m
Width	~2.20 m	~2.50 m
Height	~2.20 m	~2.48 m
Capacity	19 m ³	29 m ³
Maximum input weight	12 t	17 t
Aeration technology	Active positive aeration	
Power supply	230 V	
Installed Power	80 W	
Power consumption	max. 61 W	
Odour reduction	Semi-permeable membrane ➔ 95 % odour reduction through a pendulum flap	
Unloading	GPS	
Localisation	GPRS	
Connection	Temperature	
Measurement of	Filling level	
	Open/closed lid	
	Pressure	

Container framework build according to DIN 30722
Option: Made in stainless steel (floor, side walls)

Figura 7.51: Scheda tecnica del container per il compostaggio degli scarti organici (azienda Compost Systems [102]).



- ✓ Revolutionary high water flux for most efficient water treatment
- ✓ Enables water treatment with low energy consumption
- ✓ High rejection of harmful pollutants ensures safe and healthy drinking water
- ✓ Manufactured in Europe using Nature's water channels

Product type

The Aquaporin Inside® Tap Water Reverse Osmosis (TWRO) membrane element is produced with aquaporin proteins, Nature's own water filter. It is the aquaporin protein that provides Aquaporin Inside® membranes with its unique properties.

All Aquaporin Inside® TWRO membranes are available in standard configurations and are shipped wet or dry.



Certified to NSF/ANSI 61

Product specifications

Product name	Permeate flow rate		Stabilized salt rejection (%)	Applied pressure (psi)	Recovery (%)
	GPD	L/h			
TWRO4040	2700	425	98	100	15

The stated product performances are based on 500 ppm NaCl softened tap water at 25°C / 77°F. Individual element permeate flow rate may vary ± 15%

Figura 7.52: Scheda tecnica del prodotto Aquaporin per la depurazione delle acque reflue (azienda Aquaporin [100]).

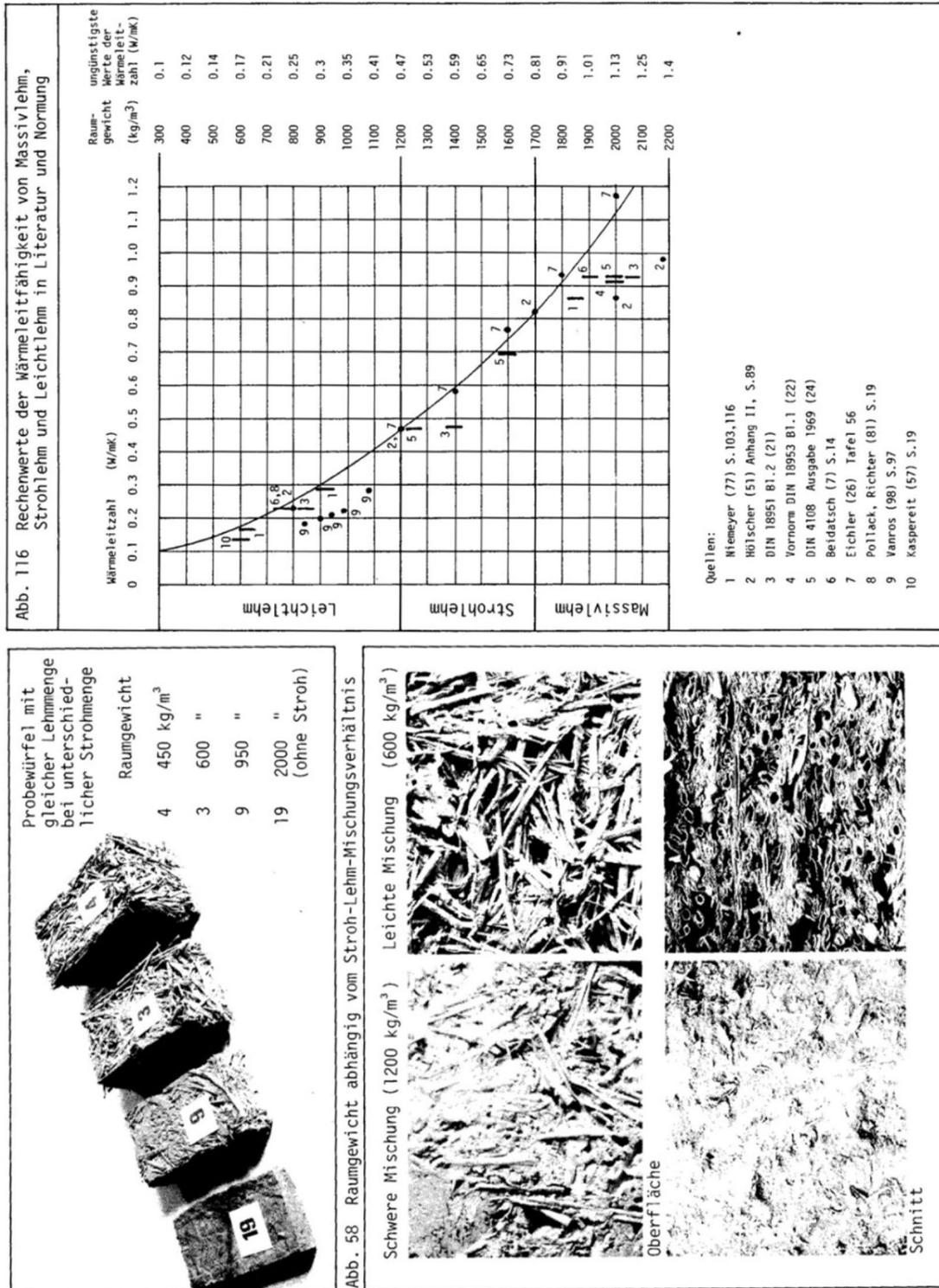


Figura 7.53: Proprietà tecniche dei riempimenti in paglia tratti dal libro di Franz Volhard.[90]

Conclusioni

Il lavoro di tesi svolto, ha definito un metodo da applicare ad un processo progettuale sostenibile dal punto di vista ambientale e ispirato alla natura.

La letteratura scientifica utilizzata ci ha permesso di analizzarne i processi, gli strumenti, e le applicazioni esistenti in ambito biomimetico. Il nostro lavoro quindi è stato quello di analizzare il rapporto che questi elementi hanno con la sostenibilità e gettare le basi per la formulazione di un processo che guidi le scelte del progettista.

Nonostante da sempre gli architetti siano stati ispirati dalla natura, solo recentemente si è arrivati alla concezione di "natura come mentore" da cui imparare processi e strategie, traducendoli in soluzioni progettuali tecnologiche efficienti e sostenibili. Alcune dimostrazioni sono ad esempio sistemi di ventilazione passivi per regolare il calore interno ripresi dal pinguino imperatore applicati ai laboratori dell'IBN o dal materiale fotoconduttore sviluppato da Okalux che imita la struttura della pelle dell'orso polare.

Studiare come gli organismi viventi, che si sono evoluti in migliaia di anni, risolvano i problemi legati alla sopravvivenza e come lo facciano senza danneggiare l'ambiente, ha fatto sì che vedessimo i problemi legati all'architettura e alla sostenibilità ambientale da un altro punto di vista.

Il progetto esemplificativo sviluppato per la riqualificazione della zona adiacente alla ferrovia nel quartiere di Kalamaja a Tallinn, ci ha permesso di analizzare i problemi legati a quel determinato contesto, come l'esigenza abitativa, la suddivisione dello spazio, l'illuminazione naturale, la dispersione di calore, e risolverli prendendo come modello la natura.

Seppure non accompagnati dalle conoscenze di un approfondito studio sulla biologia e sui sistemi dei viventi, l'utilizzo di software di libera consultazione come AskNature e la ricerca in rete ci ha permesso di individuare soluzioni adeguate al caso studio.

La nostra sfida, analoga a quella di qualsiasi progettista che si avvicina a questo campo, è stata quella di saper reinterpretare i principi degli organismi al sistema

architettonico. Avere le capacità di realizzare un concept osservando gli strumenti che la natura ci ha messo a disposizione.

Il risultato è stato un progetto dall'aspetto volutamente tradizionale per la particolare localizzazione e storicità dell'area, armonizzandosi in maniera ottimale con l'architettura del quartiere, ma che traduce in sé molti insegnamenti naturali rendendolo efficace e innovativo dal punto di vista tecnologico e sostenibile.

L'indagine e la sperimentazione su diverse scale e funzioni ha diversificato le esigenze primarie di ogni parte del progetto, talvolta un maggiore apporto di luce solare altre volte la raccolta e il drenaggio delle acque, dando l'occasione di studiare diverse strategie naturali e mettere in pratica l'ideazione di soluzioni innovative.

L'effettivo funzionamento di nuove strategie non è ovviamente garantito, in quanto ogni innovazione introdotta nel mondo tecnologico necessita di un periodo di valutazione corrispondente al ciclo di vita della tecnologia stessa. L'architettura biomimetica in questo caso è relativamente giovane e le valutazioni empiriche sono ancora in corso, il fatto però che la natura abbia già valutato in miliardi di anni le strategie e principi applicabili, pone questo approccio in netto vantaggio rispetto a qualsiasi altra soluzione esistente. Il ragionamento bioispirato quindi, può effettivamente essere la risposta alle sfide dell'architettura sostenibile, la corretta applicazione con la conoscenza del mondo biologico conferisce alla ricerca progettuale un valore aggiunto che dovrebbe essere la base per tutti i futuri processi progettuali.

Bibliografia

- [1] Autori vari. *Enciclopedia Italiana*. Treccani, Roma, 1978.
- [2] Emily Kennedy. *Biomimicry: A Path to Sustainable Innovation*. MIT Press Journals, Cambridge, 2015.
- [3] Alëna Iouguina. *Biology to Design. A key to good design is a sense of responsibility*. Wordpress, <https://biologytodesign.wordpress.com>, consultato: 4 settembre 2018, pubblicato: 8 maggio 2012.
- [4] Ulrich Petschow Arnim von Gleich, Christian Pade. *Potentials and Trends in Biomimetics*. Springer, Heidelberg, 2010.
- [5] Armand Marie Leroi. *The Lagoon: How Aristotle Invented Science*. Penguin Books, Bloomsbury, 2015.
- [6] Gay Robins. *The Art of Ancient Egypt*. Harvard University Press, Cambridge, 2018.
- [7] Jean Paul Richter. *The Notebooks of Leonardo da Vinci*. Revised edition, Dover, 1994.
- [8] Eugene Willis Gudger. *The Five Great Naturalists of the Sixteenth Century: Belon, Rondelet, Salviani, Gesner and Aldrovandi: A Chapter in the History of Ichthyology*. Isis, Oxford, 1934.
- [9] David Taylor. *From bird wings to biomimetics: a brief history of bioengineering*. Engineers Journal, Dublino, Irlanda, 2013.
- [10] Autori vari. *Enciclopedia Treccani*. Treccani, Roma, 2007.
- [11] William Morton Wheeler. *Introduction, annotations and bibliography. A.F. de Réaumur*. Knopf, New York City, USA, 1926.
- [12] Matteo Baldissara. *Biomimetica degli spazi, Sperimentazioni digitali di processi biologici in architettura*. Università Sapienza, Roma, 2018.
- [13] S. O. Michaels. *Biomimetics: the early years*. Annals of Ibadan Postgraduate Medicine, Ibadan, Nigeria, 2014.
- [14] Jake Scobey Thal. *Biomimetics: A Short History, Why imitating nature's greatest tricks is the future of engineering*. Foreign Policy Magazine, Washington DC, 2014.

- [15] Daniel Christian Wahl. *Bionics vs. biomimicry: from control of nature to sustainable participation in nature*. Medium, <https://medium.com>, consultato: 3 settembre 2018, pubblicato: 14 giugno 2017.
- [16] Wes Jackson. *From a meme to a movement: reflections on 20 years of biomimicry*. Biomimicry Institute, <https://medium.com>, consultato: 3 settembre 2018, pubblicato: 19 dicembre 2017.
- [17] Freya Mathews. *Towards a Deeper Philosophy of Biomimicry*. SAGE Publications, Thousand Oaks, California, 2011.
- [18] Lucia Pietroni. *Biomimesi: Definizione, Principi e Strumenti*. <http://www.genitronsviluppo.com>, consultato: 6 settembre 2018, pubblicato: 27 ottobre 2011.
- [19] William McDonough. *Dalla culla alla culla. Come conciliare tutela dell'ambiente, equità sociale e sviluppo*. Blu Edizioni, Torino, 2003.
- [20] Janine Benyus. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Harper Perennial, New York, 1997.
- [21] Yoseph Bar Cohen. *Biomimetics: Using nature as an inspiring model for human innovation*. California Institute of Technology, Pasadena, 2006.
- [22] Janine Benyus. *Conferenza per TED Ideas worth spreading*. <https://www.ted.com>, Monterey, California, consultato: 11 settembre 2018, sviluppato: 05 febbraio 2005.
- [23] Bharat Bhushan Yong Chae Jung. *Mechanically durable carbon nanotube-composite hierarchical structures with superhydrophobicity, self-cleaning, and low-drag*. <https://www.semanticscholar.org>, consultato: 16 settembre 2018, pubblicato: 2 settembre 2009.
- [24] Petra Gruber. *A gaze into the crystal ball: Biomimetics in the year 2059*. Institute of Applied Physics, Vienna University of Technology, Vienna, consultato: 16 settembre 2018, pubblicato: 29 novembre 2009.
- [25] Karissa Rosenfield. *Vertebrae Staircase / Andrew McConnell*. <https://www.archdaily.com>, consultato: 16 settembre 2018, pubblicato: 09 febbraio 2013.
- [26] Biomimicry institute. *AskNature*. <https://asknature.org>, consultato in varie date tra settembre 2018 e gennaio 2019, pubblicato: n.d.
- [27] Abigail Doan. *Biomimetic Architecture: Green Building in Zimbabwe Modeled After Termite Mounds*. <https://inhabitat.com/>, consultato: 16 settembre 2018, pubblicato: 29 novembre 2012.
- [28] Biomimicry Institute staff. *Biomimetic Architecture: Green Building in Zimbabwe Modeled After Termite Mounds*. <https://toolbox.biomimicry.org>, consultato: 24 settembre 2018, pubblicato: gennaio 2015.

- [29] Linda Booth Sweeney. *Biomimetic Architecture: Green Building in Zimbabwe Modeled After Termite Mounds*.
<http://www.lindaboothsweeney.net/>, consultato: 24 settembre 2018,
 pubblicato: 29 novembre 2012.
- [30] S. Dewulf D. Vandevenne, P. A. Verhaegen. *Automated classification into the biomimicry taxonomy*. International design conferenze - design 2012, Dubrovnik, 2012.
- [31] Team Basilica de la Sagrada Familia. *Geometry*.
<http://www.sagradafamilia.org>, consultato: 03 ottobre 2018, pubblicato: 03 marzo 2016.
- [32] Fernando Baptista Kaitlin Yarnall. *Gaudi's Masterpiece: Nature-Inspired Architecture*. <https://www.hisbigcity.net>, consultato: 02 ottobre 2018, pubblicato: 15 dicembre 2010.
- [33] Charles Fowler Peter Berlyn. *The Crystal Palace: Its Architectural History and Constructive Marvels*. <https://www.gutenberg.org>, consultato: 02 ottobre 2018, pubblicato: 16 novembre 2013.
- [34] Tyler L. Walter. *Biomimicry, architecture imitating life's principles*. University of Cincinnati, 2015.
- [35] Jack E. Boucher. *Johnson Wax Corporation Building*.
<https://www.printcollection.com>, consultato: 04 ottobre 2018, pubblicato: 16 settembre 2015.
- [36] Åke Lindman. *Villa Mairea, Alvar Aalto*. <http://archeyes.com>, consultato: 04 ottobre 2018, pubblicato: 30 agosto 2016.
- [37] William J. R. Curtis. *L'architettura moderna dal 1900*. Phaidon Press Limited, London, 1982.
- [38] Christian Hellmich Petra Gruber, Dietmar Bruckner. *Biomimetics - Materials, Structures and Processes*. Springer, Heidelberg, 2011.
- [39] Toni Kotnik and Joseph Schwartz. *Journal of the international association for shell and spatial structures: Heinz Isler, 50 years of "new shapes for shells"*. Abel and Chilton, Zurigo, 2011.
- [40] Martina Pacifici. *Il metabolismo: assonanze e similitudini tra città e corpo umano*. lab2.0 Magazine, DailySTORM, Roma, 2014.
- [41] wikiarquitectura. *Nagakin Capsule Tower*.
<https://en.wikiarquitectura.com>, consultato: 11 ottobre 2018, pubblicato: 17 novembre 2010.
- [42] Megan Sveiven. *AD Classics: Nakagin Capsule Tower / Kisho Kurokawa*.
<https://www.archdaily.com>, consultato: 11 ottobre 2018, pubblicato: 9 febbraio 2011.

- [43] Jessica Stewart. *Sculptural Desert Home in Joshua Tree Is a Masterful Display of Organic Forms*. <https://mymodernmet.com>, consultato: 15 ottobre 2018, pubblicato: 23 gennaio 2018.
- [44] Jean-Marc Tulliani Roberto Pagani, Giacomo Chiesa. *Biomimetica e architettura*. FrancoAngeli s.r.l., Milano, 2015.
- [45] University of Arizona. *Biosphere2, where science lives*. <http://biosphere2.org>, consultato: 22 ottobre 2018, pubblicato: 18 agosto 2018.
- [46] John W. Druitt Bruno D.V. Marino, Tilak Ram Mahato. *The agricultural biome of Biosphere 2: Structure, composition and function*. Harvard University, Cambridge, 1997.
- [47] Milwaukee Art Museum. *Quadracci Pavilion*. <https://mam.org/>, consultato: 16 ottobre 2018, pubblicato: 2018.
- [48] OFIS Arhitekti. *Honeycomb apartments*. <http://www.ofis-a.si>, consultato: 16 ottobre 2018, pubblicato: 2005.
- [49] Sam Pomager Monika Mickute. *Beijing National Stadium*. <https://beijingbirdsnest.com>, consultato: 12 ottobre 2018, pubblicato: 27 settembre 2010.
- [50] Claudia Redaelli. *Pechino 2008: inaugurato il Water Cube*. <http://www.archimagazine.com>, consultato: 12 ottobre 2018, pubblicato: gennaio 2008.
- [51] mcdonough and partners. *Method Manufacturing Facility: The South Side Soapbox*. <http://www.mcdonoughpartners.com>, consultato: 24 ottobre 2018, pubblicato: nel 2018.
- [52] Simonetta Pagliolico. *Sostenibilità di processi e prodotti nei materiali per l'architettura*. Politecnico di Torino, Torino, 2017.
- [53] Rapporto Bruntland. *Our Common Future*. Organizzazione delle Nazioni Unite, Oxford, 1987.
- [54] Wittl Mitterer. *Architettura bioclimatica, architettura ecologica, bioedilizia e bioarchitettura*. Fondazione Italiana di Bioarchitettura, <https://ingenio-web.it>, consultato: 4 settembre 2018, pubblicato: 27 agosto 2014.
- [55] Joseph William McGovern. *Biomimicry: how learning from nature can restore sustainability in architecture*. University of Cincinnati, Cincinnati, USA, 2009.
- [56] Eugene Tsui. *Evolutionary Architecture: Nature as a Basis for Design*. Wiley, Hoboken, New Jersey, 1999.

- [57] Rinnovabili.it. *L'edificio dei record*. <http://www.rinnovabili.it>, consultato: 14 ottobre 2018, pubblicato: 16 aprile 2013.
- [58] Archdaily. *CH2 Melbourne City Council House 2 / DesignInc*. <https://www.archdaily.com>, consultato: 14 ottobre 2018, pubblicato: 30 giugno 2013.
- [59] fosterandpartners. *30 St Mary Axe*. <https://www.fosterandpartners.com>, consultato: 16 ottobre 2018, pubblicato: 2004.
- [60] Archdaily. *Al Dar Headquarters / MZ Architects*. <https://www.archdaily.com>, consultato: 14 ottobre 2018, pubblicato: 4 giugno 2012.
- [61] Lidija Grozdanic. *Bionic Tower combines Structure and Ornament*. <http://www.evolo.us>, consultato: 11 ottobre 2018, pubblicato: 2 gennaio 2012.
- [62] Roberta Dragone. *Bionic Tower: architettura verticale a Shangai*. <https://www.archiportale.com>, consultato: 17 ottobre 2018, pubblicato: 03 ottobre 2006.
- [63] Mahesh Basantani. *William McDonough's Treescraper Tower of Tomorrow*. <https://inhabitat.com>, consultato: 17 ottobre 2018, pubblicato: 01 febbraio 2008.
- [64] Marcello Soeleman. *Responsive climate design: a biomimetic approach*. Delft University of Technology, Delft, Paesi Bassi, 2012.
- [65] Biomimicry Institute. *Biomimicry life's principles*. <https://bio-sis.net/life-principles/>, consultato: 16 novembre 2018.
- [66] Hegger Fuchs Stark Zeumer. *Atlante della Sostenibilità*. UTET, Milano, 2008.
- [67] Lidia Badarnah. *Form Follows Environment: Biomimetic Approaches to Building Envelope Design for Environmental Adaptation*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2017.
- [68] Behnisch Architekten. *Projects*. <https://behnisch.com>, Consultato: 20 gennaio 2019.
- [69] Dirk Jodin Daniel Tinello, Herwig Winkler. *Biomimetics applied to logistics: Assignment of operational resources within ideal facility layouts by applying Fibonacci, spider webs, nautilus shell and honeycombs*. www.researchgate.net, Graz University of Technology, Graz, Austria, 2016.
- [70] Tallinn Architecture Biennale. *"Beauty Matters: The Resurgence of Beauty" is the topic for the next TAB 2019*. <http://2017.tab.ee/tab-2019/>, pubblicato: 12 dicembre 2017; consultato: 16 novembre 2018.

- [71] Archdaily. *TAB 2019 Vision Competition: "New Habitats, New Beauties"*. <https://www.archdaily.com>, consultato: 16 novembre 2018 pubblicato: 21 settembre 2018.
- [72] Tallinn Architecture Biennale. *"NEW HABITATS, NEW BEAUTIES" SPECULATIONS FOR TALLINN 2019*. <https://tab.ee/>, consultato: 16 novembre 2018.
- [73] Adam Olearius. *Baltischer kulturhistorischer Bilder-Atlas*. Schnakenburg, Tallinn, 1886.
- [74] Runivers Project. *Mappa di Revel nel 1876*. <https://www.runivers.ru>, consultato: 15 novembre 2018.
- [75] Ralph Tuchtenhagen Karsten Bruggemann. *Tallinn: Kleine Geschichte Der Stadt*. Böhlau, Colonia, 2010.
- [76] Pannelli esplicativi del museo di architettura di Tallinn. *House*. Eesti arhitektuurimuuseum, Tallinn, 2018.
- [77] Tallinn City Government. *History of Tallinn*. <https://www.tallinn.ee>, consultato: 18 novembre 2018 pubblicato: 11 gennaio 2017.
- [78] Robert Nerman. *Kalamaja ajalugu*. Nerman, Tallinn, 1996.
- [79] Tallinn City Government. *Statistical Yearbook of Tallinn 2018*. <https://www.tallinn.ee>, consultato: 18 novembre 2018 pubblicato: agosto 2018.
- [80] Agenzia europea dell'ambiente. *Visit Tallinn Website*. <https://www.visittallinn.ee>, consultato: 18 novembre 2018 pubblicato: 2018.
- [81] Kadri Vaher e Elo Liina Kaivo Anita Pinter, Laura Uibopuu. *Lender and Tallinn Houses in Kalamaja*. Estonian Academy of Arts, Tallinn, 2006.
- [82] Tallinn City Government. *Tallinn Development Plan 2014 - 2020*. <https://www.tallinn.ee>, consultato: 18 novembre 2018 pubblicato: 13 giugno 2013.
- [83] Frank Morgan. *The Hexagonal Honeycomb Conjecture*. Transactions of the American Mathematical Society, Providence, USA, 1999.
- [84] Giacomo Chiesa. *Biomimetica, tecnologia e innovazione per l'architettura*. Celid, Torino, 2010.
- [85] Saxifraga foundation. *Potamogeton compressus, Grassrack Pondweed*. <http://www.freenatureimages.eu>, consultato: 20 gennaio 2019.
- [86] CAB International. *Invasive Species Compendium*. www.cabi.org, Wallingford, UK, consultato: 11 dicembre 2018.

- [87] Martina Ocker. *Energiegewinnung: TWD, Transluzente Warmedämmung*. <http://solites.de>, consultato: 29 gennaio 2019.
- [88] Okalux. *Okalux website*. <https://www.okalux.com>, consultato: 29 gennaio 2019.
- [89] Solidearth. *Solid Earth Adobe Buildings*. <http://www.solidearth.co.nz>, consultato: 11 febbraio 2019, pubblicato: 17 agosto 2017.
- [90] Franz Volhard. *Leichtlehm. alter Baustoff, neue Technik*. Verlag C.F. Muller GmbH, Karlsruhe, Heidelberg, 1983.
- [91] Daily Mail Reporter. *Polar bear hair or loo roll? Shark skin or cheese grater? Welcome to the animal kingdom in extreme close-up*. <https://www.dailymail.co.uk>, consultato: 30 gennaio 2019, pubblicato: 2 novembre 2008.
- [92] Volker Heinz Robert Stieglitz. *Thermische Solarenergie*. Springer, Heidelberg, 2012.
- [93] University of Connecticut. *Biodiversity Education and Research Greenhouses*. <http://florawww.eeb.uconn.edu>, consultato: 21 gennaio 2019, pubblicato: 18 gennaio 2019.
- [94] S.Nowocki T.Eisner. *Spider Web Protection Through Visual Advertisement: Role of the Stabilimentum*. <https://asknature.org>, consultato: 30 gennaio 2019.
- [95] Arnold Glas. *ISOLAR ORNILUX*. <https://arnold-glas.de/>, consultato: 30 gennaio 2019.
- [96] Luca Quarato. *Il materiale del futuro: ecco l'ETFE*. <https://buildingcue.it>, consultato: 23 gennaio 2019, pubblicato: 9 Settembre 2016.
- [97] Amy Wilson. *ETFE Foil: A Guide to Design*. <http://www.architen.com>, consultato: 5 febbraio 2019, pubblicato: 11 febbraio 2013.
- [98] Queensi. *Cosa è l'osmosi inversa*. www.queensi.it, consultato: 23 gennaio 2019.
- [99] Kate Kershner. *How Reverse Osmosis Works*. <https://science.howstuffworks.com>, consultato: 23 gennaio 2019.
- [100] Aquaporin. *Aquaporin Inside Membrane*. <https://aquaporin.dk/>, consultato: 1 febbraio 2019.
- [101] Consorzio Italiano Compostatori. *Il processo di compostaggio*. <https://www.compost.it>, consultato: 31 gennaio 2019.
- [102] Compost System. *Container composting*. <http://www.compost-systems.com>, consultato: 31 gennaio 2019.

Elenco delle figure

1.1	Elementi dell'architettura egizia ispirati da forme vegetali.[6] . . .	4
1.2	Alcuni disegni di Leonardo: a sinistra lo studio del volo di un uccello, a destra i disegni della macchina per volare.[7]	4
1.3	Il processo "Cradle to Cradle", tratto dal libro di McDonough, considera un approccio biomimetico alla progettazione di prodotti e sistemi, senza rifiuti rispetto ai prodotti progettati in modo tradizionale. [19]	13
1.4	Grafico che riporta i cinque step generali da compiere per trovare la soluzione migliore ad un problema tecnico.	15
1.5	La microstruttura del polline di geranio a sinistra e lo strato interno in madreperla di una conchiglia a destra.	16
1.6	A sinistra una goccia d'acqua sulla superficie di una foglia di loto, a destra uno schema di bagnatura delle quattro diverse superfici.[23]	19
2.1	A sinistra, il singolo elemento che compone la scala ispirata alla vertebra di balena di Andrew McConnel.[25]	25
2.2	A sinistra, l'Eastgate Centre ad Harare, Zimbabwe. A destra schema di un termitaio con canali di areazione messi a confronto con i camini preseti sul tetto dell' Eastgate Centre[27]	27
2.3	Schema di funzionamento del sistema di ventilazione tra giorno e notte .[27]	27
2.4	Confronto tra termitaio e un'unità presente all'interno dell'Eastgate Centre.[27]	27
2.5	Vista aerea di Biosphere 2.0 in Arizona.[12]	28
2.6	zona della savana.[12]	29
2.7	zona del deserto[12]	29
2.8	Esempi di spirale logaritmica presenti in natura	35
2.9	Schema dei due approcci metodologici <i>Biology to design</i> del 2007 e <i>Challenge to biology</i> del 2011.[12]	36
2.10	Versione aggiornata della Biomimicry design spiral.[28]	37
2.11	Schema di classificazione della tassonomia biomimetica	40
3.1	Le prime due foto a sinistra mettono a confronto le colonne della Sagrada Familia con il tronco di un albero, le due foto a destra invece il tetto sinusoidale della scuola nei pressi della chiesa con una foglia di Magnolia Macrophylla.[31]	44
3.2	La struttura delle foglie della Victoria Amazonica ripresa da Paxton nel Crystal Palace.[33]	45

3.3	Johnson Wax Corporation Building.[35]	47
3.4	Villa Mairea di Alvar Aalto a Noormarkku, la foresta che fa da sfondo è anche oggetto di ispirazione per gli ambienti dell'abitazione[36]	48
3.5	Centro Civico di Säynätsalo, Alvar Aalto 1952.	49
3.6	Sopra il ponte sul Basento di Sergio Musmeci (1967), sotto uno studio di Otto Frei in film di acqua saponata.	51
3.7	La collezione di conchiglie di Isler a sinistra, mentre a destra il suo progetto nella stazione di servizio di Deitingen (1968).	53
3.8	Nagakin Capsule Tower di Kisho Kurokawa, realizzata nel 1972 a Tokyo.[41]	55
3.9	La Desert House in California, progettata dall'architetto Kendrick Bangs Kellogg nel 1988 e arricchita dal designer d'interni John Vugrin con un arredamento ispirato a forme scheletriche.[41]	56
3.10	I disegni tratti dal sito web di Pei Ark rappresentano i bioricoveri di Solsearch Architects e The New Alchemy Institute del 1976. A sinistra il primo progetto per l'agricoltura, a destra l'adattamento abitativo.	58
3.11	Pianta dell'interno dell'area agricola del Biosphere 2.[46]	59
3.12	L'interno della biosfera con clima temperato dell'Eden Project.	60
3.13	Da sinistra il Quadracci Pavilion e il Turning Torso dell'architetto Santiago Calatrava[47][12]	62
3.14	Facciata degli Honeycomb Apartments[48]	63
3.15	A sinistra il Beijing National Stadium.[49] A destra il Beijing National Aquatics Center.[50]	64
3.16	La fabbrica Method a Chigago, lo stabilimento sottostante produce sapone mentre sul tetto vengono coltivati diversi tipi di ortaggi come rucola, lattuga e cavoli.[51]	65
4.1	Facciata meridionale del Council House2[58]	75
4.2	30 St Mary Axe conosciuto anche come "The Gherkin"[59]	76
4.3	In alto i prospetti frontale e laterale dell'AlDar Headquarters.[60]	77
4.4	<i>Bionic Tower</i> del team LAVA[61]	78
4.5	A sinistra la Bionic Tower ideata dagli architetti spagnoli Celaya, Pioz e Cervera.[62] A destra il Treescaper tower of tomorrow di William McDonough.[63]	79
5.1	Modello combinato di quattro aspetti ambientali, funzioni rilevanti, processi corrispondenti e procedure per identificare i mezzi morfologici per l'adattamento.[67]	88
5.2	Applicazione del sistema di regolazione termica del pinguino imperatore nella sede dell'IBN a Wageningen.[64][68]	91
5.3	In alto il caso studio reali per le analisi, sotto il progetto teorico per verificare l'efficienza di una fabbrica con layout ispirato alla spirale del nautilus (le frecce più spesse indicano una maggiore intensità di trasporto).[69]	92
6.1	Vista aerea dell'area di progetto	96

6.2	Tallinn nel 1650, a destra si vede l'altura di Toompea e la città anseatica all'interno della cinta muraria.[73]	97
6.3	Tallinn nel 1876, prima della realizzazione delle linee ferroviarie.[74]	98
6.4	Tallinn nel 1930, la città si espande e le industrie navali si spostano nella penisola di Kopli.[74]	99
6.5	Kalamaja alla fine del XVII secolo.[78]	102
6.6	Il quartiere di Kalamaja nel 1938.	103
6.7	Tipiche case in legno in via Graniidi realizzate tra gli anni '20 e '30. I colori delle tavole di legno e gli infissi bianchi caratterizzano tutte le case di Kalamaja.	104
6.8	Mappa dell'area meridionale di Kalamaja, in arancione scuro le aree commerciali, in chiaro le aree produttive e in verde gli edifici e il verde pubblico.	105
6.9	Mappa dei trasporti, in verde le linee tranviarie 1 e 2, in arancione la linea 3 del bus.	106
6.10	Pianta e facciata tipo di una casa Lender.[81]	107
6.11	Pianta e facciata tipo di una casa Tallinn.[81]	108
6.12	Distribuzione delle case Lender in blu e Tallinn in arancione.[81]	109
6.13	Immagine fotografiche dello stato di fatto dell'area di progetto, le immagini estive sono state fornite dal bando di concorso[71], quelle invernali sono state effettuate durante un sopralluogo il 3 dicembre 2018.	112
7.1	Asse visivo tra l'area di progetto e il campanile di Toomkirk	119
7.2	Concept progettuali	121
7.3	Fra due punti il confine dei tasselli di Voronoj corrisponde con la retta bisettrice della congiungente	122
7.4	Da sinistra: alveare, struttura cellulare e bolle	122
7.5	Costruzione della tassellazione di Voronoj	123
7.6	Area di progetto suddivisa con il metodo di Voronoj	123
7.7	Masterplan.	125
7.8	Vista a volo d'uccello del progetto (base del fotoinserimento fornita da <i>TAB Visualcompetition</i> [72]).	126
7.9	Vista della parte residenziale dalla piazza.	127
7.10	Schema applicativo delle strategie sviluppate dalle foglie del <i>potamogeton crispus</i> . [85]	129
7.11	Comparazione dei materiali tradizionali usati a Kalamaja con quelli utilizzati nel progetto.	130
7.12	Prospetto sud-est Casa Suur	132
7.13	Prospetto sud-ovest Casa Suur	132
7.14	Prospetto nord-ovest Casa Suur	133
7.15	Prospetto nord-est Casa Suur	133
7.16	Pianta Casa Suur piano terra	134
7.17	Pianta Casa Suur primo piano	134
7.18	Pianta Casa Suur secondo piano	135
7.19	Sezione AA'	135
7.20	Sezione BB'	136

7.21 Orsi polari e sezione di un pelo al microscopio.[91]	137
7.22 Il principio di assorbimento luminoso applicato al pannello Okalux.[87][88]	137
7.23 A destra un dettaglio assonometrico di facciata: 1) tavolato intonacato interno, 2) trave in legno 10x10 cm, 3) riempimento in limo e legno 10 cm, 4) superficie ricevente, 5) materiale Okalux 8 cm, 6) vetro trasparente esterno, 7) sostegni in alluminio, 8) sostegno per tavolato esterno, 9) tavolato esterno. A sinistra schema della variazione termica stratigrafica.[92]	137
7.24 Schema applicativo delle strategie sviluppate dal lichene al progetto.[93]	139
7.25 Schema applicativo delle strategie sviluppate dalla fenestration al progetto.[93]	140
7.26 Schema concettuale della copertura ispirata dalla spirale aurea.[93]	141
7.27 Vetro "ORNILUX" ispirato alla tela del ragno	142
7.28 Prospetto sud-est Casa Väike	143
7.29 Prospetto sud-ovest Casa Väike	143
7.30 Prospetto nord-ovest Casa Väike	144
7.31 Prospetto nord-est Casa Väike	144
7.32 Pianta Casa Väike piano terra	145
7.33 Pianta Casa Väike primo piano	145
7.34 Pianta Casa Väike secondo piano	146
7.35 Pianta Casa Väike terzo piano	146
7.36 Sezione longitudinale Casa Väike	147
7.37 Sezione trasversale Casa Väike	148
7.38 Vista dal soggiorno dell'appartamento superiore.	149
7.39 Vista dall'ingresso dell'appartamento superiore. Gli arredi presenti nelle viste interne sono stati tratti dalle opere realizzate da Alessandra Sanna, tappeti (2018); Igor Fabris <i>Per trenta denari</i> (1973); Filippo Enna, <i>Impressionismo a Venezia</i> (2018); Graeme Manson e John Fawcett <i>orphan Black, Cosima's spiral tattoo</i> (2013); Alexey Bogolybov <i>Port of Tallinn</i> (1853); armadi e sedute sono state rielaborate da 3dbar.net.	149
7.40 Prospetto sud-ovest dell'edificio di testa.	151
7.41 Prospetto sud-est dell'edificio di testa.	151
7.42 Sezioni trasversale e longitudinale della serra.	152
7.43 Differenza tra osmosi naturale e osmosi inversa[98]	153
7.44 Ecosistema a ciclo chiuso	154
7.45 Struttura delle acquaporine all'interno di una membrana cellulare[100]	155
7.46 Elemento membrana <i>Aquaporin Inside</i> [100]	155
7.47 Schema impianto osmosi inversa: l'acqua raccolta tramite i sistemi di raccolta presenti nelle residenze viene convogliata nel sistema di depurazione che utilizza la membrana per l'osmosi inversa <i>Aquaporin Inside</i>	155
7.48 Scheda tecnica del film in EFTE utilizzato per i cuscini trasparenti della serra (azienda Tefzel EFTE [97]).	156
7.49 Scheda tecnica del prodotto Okalux (azienda Okalux [88]).	157
7.50 Scheda tecnica del prodotto Ornilux (azienda Arnold Glas [95]).	158

7.51	Scheda tecnica del container per il compostaggio degli scarti organici (azienda Compost Systems [102]).	159
7.52	Scheda tecnica del prodotto Aquaporin per la depurazione delle acque reflue (azienda Aquaporin [100]).	160
7.53	Proprietà tecniche dei riempimenti in paglia tratti dal libro di Franz Volhard.[90]	161

Ringraziamenti

Al termine di questo lavoro di tesi, vorremmo ringraziare i docenti che per quanto possibile ci hanno seguito durante questi mesi di duro lavoro. In particolare il nostro relatore Jean March Tulliani e il correlatore Armando Baietto. Per quanto sia stato un lavoro dall'argomento relativamente nuovo e soprattutto poco diffuso e conosciuto, entrambi hanno supportato le nostre idee, e ci hanno dato preziosi consigli per raggiungere al meglio questo traguardo.