



LA PROGETTAZIONE BIO-ISPIRATA:
L'INNOVAZIONE DELLE TECNOLOGIE NATURALI
IN RISPOSTA AL CAMBIAMENTO CLIMATICO”

POLITECNICO DI TORINO
Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale

“La progettazione bio-ispirata:
l’innovazione delle tecnologie naturali in risposta al
cambiamento climatico”

Relatore: Bernardino Chiaia
Co-relatore: Subhash Mukerjee

Candidata: Elva Dede

o. Abstract

pag. 7

1. il cambiamento climatico

pp. 9/11

- | | |
|-----------|---|
| pp. 12-13 | 1.1 Le cause |
| pp. 14/18 | 1.2 Gli effetti |
| pp.19/23 | 1.3 L'impatto del cambiamento climatico sulle città...e viceversa |
| pp.25/27 | 1.4 La responsabilità dell'architettura |
| pp.28-29 | 1.5 Politiche per il cambiamento, verso una città sostenibile |

2. la natura come modello

pp. 31/34

- | | |
|-----------|--------------------------------|
| pp. 35/42 | 2.1 Il ciclo di vita in natura |
| pp.43/45 | 2.2 Cos'è la "sostenibilità" |

3. la biomimetica per una progettazione sostenibile

pag. 47

- pp. 48-49 3.1 La biomimetica tra passato e futuro
- pp. 50/53 3.2 Cos'è la biomimetica
- pp.54/61 3.3.1 I campi di applicazione della biomimetica
- pp. 62/73 3.4 L'approccio biomimetico in risposta al cambiamento climatico

4. applicazione progettuale

- pp. 75/81 4.1 Challenge to design
- pp. 82/96 4.2 Sviluppo progettuale
- pp.97/105 4.3 Verifiche strutturali

5. conclusioni

pag. 106

6. allegati

pp. 108/111

7. bibliografia e sitografia

pp. 112-113

8. ringraziamenti

pag. 114

o. Abstract

*“La consapevolezza deriva dalla conoscenza, dall’informazione, dallo studio”.*¹ La condivisione, poi, aiuta a diffondere l’informazione e di conseguenza aumentare la presa di coscienza di un determinato avvenimento, problema.

Questa tesi si propone di studiare, analizzare e condividere principalmente due argomenti che attualmente occupano uno spazio di rilievo nel panorama dell’informazione pubblica: il cambiamento climatico e la biomimetica.

Sebbene possano apparentemente sembrare due campi lontani, studi, esperimenti, applicazioni dimostrano che esiste una forte connessione e coesione tra di loro, poiché la biomimetica si propone come soluzione - e mitigazione in alcuni casi - alle cause del cambiamento climatico.

Il campanello d’allarme del cambiamento climatico diventa, catastrofe dopo catastrofe, sempre più forte. Sono fenomeni di grave impatto ambientale che derivano anche da erronee scelte effettuate dall’uomo.² Molti paesi però, come ad esempio la Scozia con il programma ClimateXChange, sono proiettati verso un futuro sostenibile, adottando alcune politiche di cambiamento che hanno il fine di ridurre le emissioni di CO₂, prediligere la biodiversità, ottimizzare l’uso del suolo, ridurre i consumi di energia ottenuta da fonti non rinnovabili.

Come può la biomimetica intervenire e proporre soluzioni al cambiamento climatico? Imparando ed emulando gli insegnamenti della Natura. Sono 3.8 miliardi di anni di evoluzione che ci insegnano che le tecnologie naturali hanno superato gli ostacoli nel tempo e hanno dimostrato di perdurare. Diverse tecnologie naturali sono state applicate in numerosi

campi, come ad esempio la medicina, l’ingegneria, l’architettura, favorendo il progresso scientifico con la loro efficienza.

Questo progetto si sviluppa seguendo tre parole chiave fondamentali: trasformazione, convivenza, emulazione. La natura è in continua trasformazione e tutto ciò che non serve più, non cessa di esistere. La natura non conosce lo spreco, bensì il riciclo, il così detto up-cycling.

La convivenza tra natura e architettura è la chiave fondamentale per aprire la porta all’emulazione.

Sin dall’antichità l’architettura ha osservato la natura emulandone le forme e le tecnologie. La vera rivoluzione si può ottenere imparando i segreti più nascosti della natura e da questi trarre ispirazione per poi applicarli in maniera intelligente, piuttosto che impossessarsene senza capirne il vero valore.

1 Citazione tratta dal libro “Il lato oscuro della Luna” di Stefano Nasetti

2 Secondo la quinta relazione di valutazione dell’IPCC (Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico), la responsabilità delle attività umane per quanto riguarda il cambiamento climatico è pari al 95%



1. il cambiamento climatico

È innegabile che nel corso della storia il clima terrestre abbia subito notevoli variazioni. Si registra che negli ultimi 650.000 anni si sono verificati sette cicli di gelo e disgelo dei ghiacciai, scrivendo la parola “fine” all’ultima era glaciale, avvenuta 7000 anni fa. Si è osservato che i cambiamenti climatici sono una conseguenza di variazioni nell’orbita terrestre che modificano la quantità di energia solare che il Pianeta riceve.¹

Secondo il Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (da qui in avanti IPCC), dalle attività umane deriva il 95% dell’inquinamento globale a cui seguono le relative conseguenze climatiche.²

La combinazione di diverse misurazioni (come ad esempio stazioni meteorologiche e satellitari) testimoniano l’innalzamento della temperatura media della superficie globale di 0,9 gradi Celsius.³ Le prove di tale avvenimento si possono chiaramente riscontrare in fenomeni come il riscaldamento delle acque oceaniche, il ritiro dei ghiacciai (il volume di ghiaccio disciolto dell’Antartide è triplicato in soli dieci anni)⁴, l’innalzamento del livello del mare (si registra un innalzamento pari a poco più di 20 centimetri nell’ultimo secolo ed è in continuo

aumento, prevedendo di arrivare a circa 65 centimetri nel 2100)⁵, eventi catastrofici (come uragani ed intense piogge, concentrati maggiormente nelle regioni costiere).

Di seguito sono riportati alcune immagini significative che illustrano le reali conseguenze e alcune possibili scenari del cambiamento climatico sul Pianeta.

1 www.climate.nasa.gov

2 Quinta relazione di valutazione dell’IPCC, 2014
B.D. Santer et.al., “A search for human influences on the thermal structure of the atmosphere,” Nature vol 382, 4 Luglio 1996, 39-46

3 www.ncdc.noaa.gov

4 www.jpl.nasa.gov

5 R. S. Nerem, B. D. Beckley, J. T. Fasullo, B. D. Hamlington, D. Masters and G. T. Mitchum. Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era, <https://www.pnas.org/content/115/9/2022>

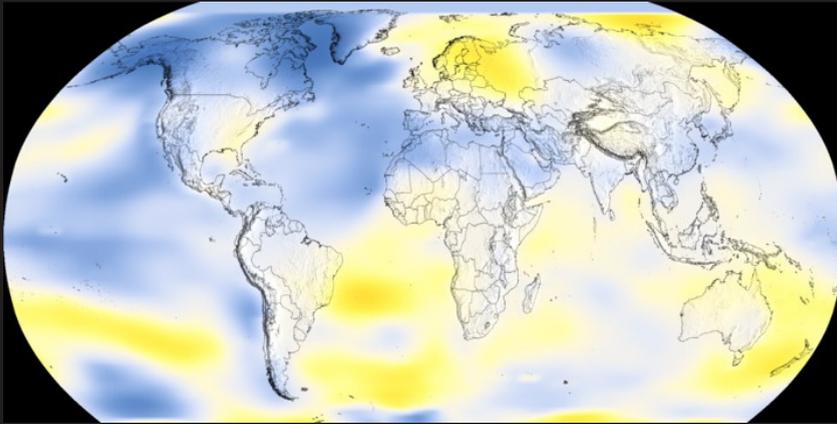


Figura 1

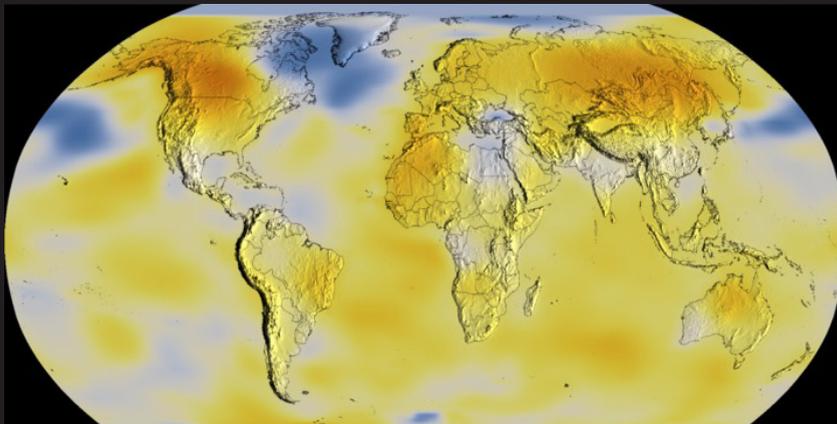


Figura 2

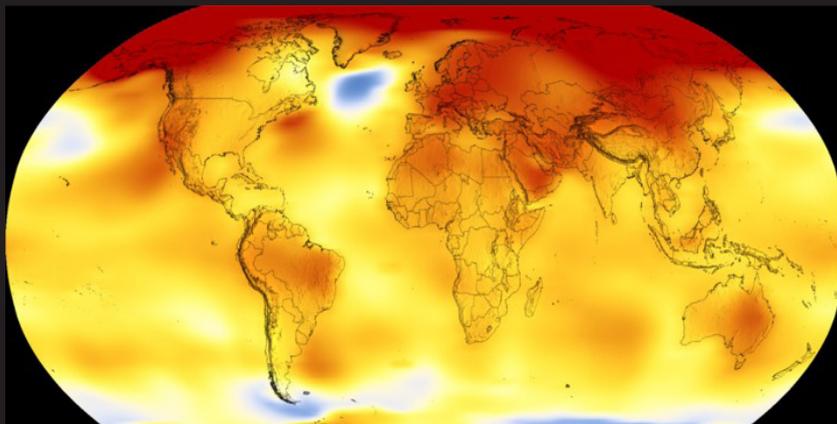
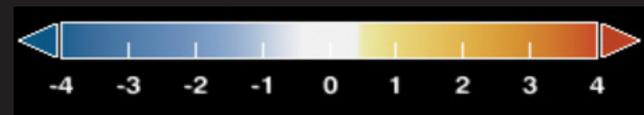
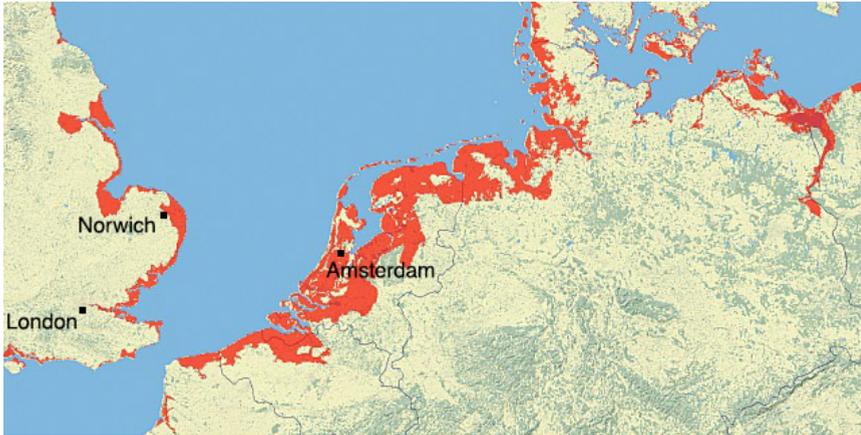


Figura 3

Le tre figure mostrano il cambiamento della temperatura superficiale globale nel corso degli anni. Nella figura 1 è riportato l'anno 1990, nella figura 2 l'anno 1990, nella figura 3 l'anno 2018. In blu sono indicate le temperature più fredde rispetto alla media, in rosso quelle più calde. Fonte: NASA/GISS





Le tre figure illustrano in colore rosso il livello del mare se, ipoteticamente, i ghiacciai della Groenlandia si sciogliessero. Si arriverebbe ad avere un aumento di oltre 6 metri del livello del mare. Sono riportate le conseguenze in Europa settentrionale, America sud-orientale e Delta amazzonica. Fonte: Center for Remote Sensing of Ice Sheets

1.1 le cause

Il clima della Terra dipende dal naturale “effetto serra”: banalmente, le radiazioni solari che sono trasmesse alla Terra vengono in parte assorbite da essa e in parte (90%) riflesse nell’atmosfera, catturate dai gas presenti in essa e di conseguenza nuovamente riflessi verso la Terra, riscaldandola con una media di 15 gradi Celsius.¹

Si tratta di un meccanismo naturale e necessario (senza il quale la temperatura media sarebbe intorno ai zero gradi), il problema però, secondo la quinta relazione di valutazione dell’IPCC, risiede nel fatto che le attività umane hanno aumentato la quantità dei gas presenti in atmosfera con il conseguente mutamento del clima terrestre. Si esclude che l’innalzamento delle temperature sia provocato da una maggiore intensità delle dirette radiazioni solari, poiché i dati riportati dai satelliti ne dimostrato un leggero calo.² Le cause del riscaldamento globale, certamente, sono sia antropiche che naturali (quali ad esempio il sole e le eruzioni vulcaniche che, però, ne sono responsabili in una percentuale irrilevante).

L’aumento di emissioni di CO₂ si registra con l’inizio dell’industrializzazione e anche l’incremento demografico. Le attività umane hanno prodotto, nel corso dei secoli, una maggiore emissione dei gas

responsabili dell’effetto serra: anidride carbonica, metano, ossido di diazoto e alocarburi.³ Di seguito sono riportati, attraverso grafici ad anello, le percentuali di gas ad effetto serra emessi nel mondo (figura 7) e anche in quali percentuali le attività umane causano le emissioni di CO₂ (figura 8).

1 www.climate.nasa.gov

2 United States Global Change Research Program, “Global Climate Change Impacts in the United States,” Cambridge University Press, 2009

3 Il Protocollo di Kyoto identifica sei principali gas ad effetto serra: anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), ossido di diazoto (N₂O), idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC) e esafluoruro di zolfo (SF₆)

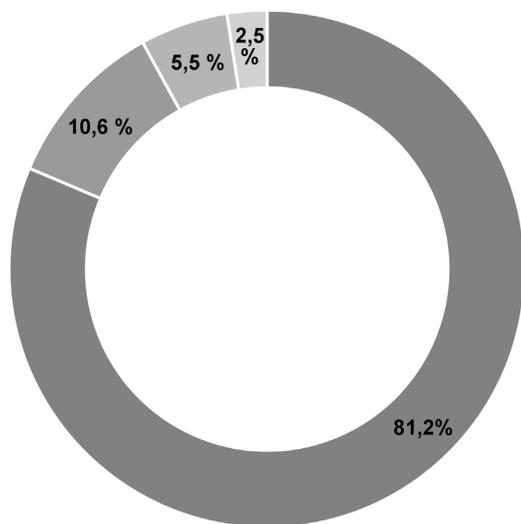


Figura 7



Grafico riadattato.
Fonte: interfaccia dati dell'UNFCCC, 2015

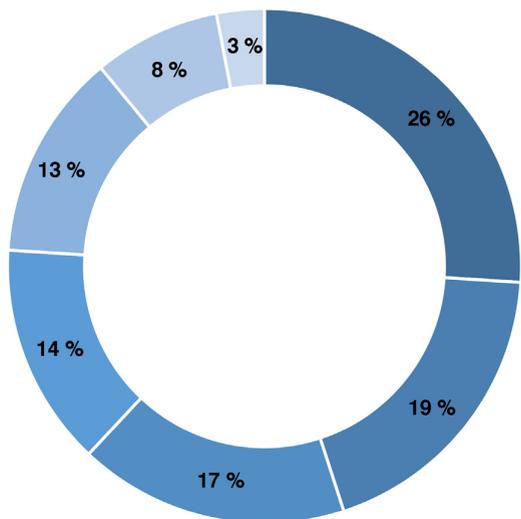


Figura 8

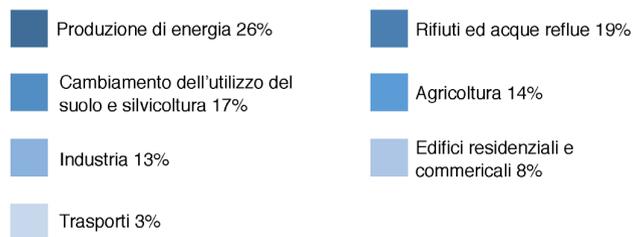


Grafico riadattato.
Fonte: Banca Mondiale

1.2 gli effetti

È necessario comprendere che il cambiamento climatico è una questione che interessa tutto il Pianeta, sebbene in forme e intensità diverse. In un'intervista per "Rete Clima", il professor Hans Joachim Schellnhuber¹ in maniera breve e concisa ha illustrato le conseguenze che il cambiamento climatico riversa sulla Terra. Egli ha spiegato che l'emissione di gas serra in ambiente derivante dai processi industriali e lo sfruttamento del suolo ha provocato un aumento della temperatura in un arco temporale molto breve.

Il primo effetto, dunque, è proprio l'aumento della temperatura superficiale. A quest'ultimo è legato il riscaldamento degli oceani. Oltre a provocare la migrazione delle specie in acque più adatte, l'acqua riscaldandosi si dilata e aumenta il proprio volume. L'innalzamento del livello del mare si combina ad un'altra conseguenza estremamente preoccupante: lo scioglimento delle calotte polari. Alluvioni e fenomeni di erosione colpiscono le zone costiere provocando danni ingenti che hanno ripercussioni anche sull'aspetto economico, in particolare modo se ad essere colpiti sono i paesi in via di sviluppo.

¹ Hans Joachim Schellnhuber è un fisico atmosferico tedesco, climatologo e direttore fondatore del Potsdam Institute for Climate Impact Research ed ex presidente del German Advisory Council on Global Change



Figura 9



Figura 10

Le due figure satellitari illustrano lo scioglimento dei ghiacciai dell'Artico in poco meno di quarant'anni. La figura 9, infatti, fa riferimento all'anno 1979, mentre la figura dieci all'anno 2018.
Fonte: NASA Scientific Visualization Studio

Effetti del cambiamento climatico in Europa



Regione mediterranea

Diffuso incremento delle calure estreme
Diminuzione delle precipitazioni e della portata fluviale
Rischio crescente di siccità
Rischio crescente di perdita di biodiversità
Rischio crescente di incendi boschivi
Maggiorazione concorrenza tra i vari soggetti utilizzatori di acqua
Aumento della domanda di acqua nel settore agricolo
Diminuzione delle rese agricole
Rischi crescenti per l'allevamento
Aumento della mortalità dovuta ad ondate di calore
Espansione degli habitat adatti alla diffusione di malattie nelle zone meridionali
Diminuzione del potenziale per la produzione di energia
Aumento della domanda di energia per attività di raffreddamento
Diminuzione del turismo estivo e potenziale aumento dello stesso in altre stagioni
Aumento dei rischi climatici multipli
Impatto sulla gran parte dei settori economici
Aumento delle ripercussioni derivanti da cambiamenti climatici legati ad attività non Europee

Regione boreale

Aumento degli episodi di intense precipitazioni
Assottigliamento dello strato nevoso e del ghiaccio su fiumi e laghi
Aumento delle precipitazioni e ingrossamento dei fiumi
Aumento del potenziale di crescita delle foreste e aumento del rischio di parassiti per le foreste
Aumento del rischio di danni causati dai temporali invernali
Aumento delle rese agricole
Diminuzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento
Aumento del potenziale idroelettrico
Aumento del turismo estivo

Regione continentale

Aumento delle calure estreme
Diminuzione delle precipitazioni estive
Rischio crescente di inondazioni fluviali
Rischio crescente di incendi boschivi
Diminuzione del valore economico delle foreste
Aumento del fabbisogno energetico per il raffreddamento

Regione atlantica

Aumento degli episodi di intense precipitazioni
Aumento della portata fluviale
Rischio crescente di inondazioni fluviali e costiere
Aumento del rischio di danni causati dai temporali invernali
Diminuzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento
Aumento di rischi climatici multipli

Zone costiere e mari regionali

Innalzamento del livello del mare
Aumento delle temperature marine superficiali
Aumento dell'acidità degli oceani
Migrazione verso nord delle specie marine
Rischi e alcune opportunità per la pesca
Cambiamenti nelle comunità di fitoplancton
Aumento del numero di zone marine morte
Aumento del rischio di malattie di origine idrica

Regione artica

Aumento della temperatura molto superiore alla media mondiale
Assottigliamento della banchisa artica
Assottigliamento della calotta glaciale della Groenlandia
Riduzione delle superfici di permafrost
Rischio crescente di impoverimento della biodiversità
Nuove opportunità per lo sfruttamento delle risorse naturali e il trasporto marittimo
Rischi per la sopravvivenza di popolazioni indigene

Regioni montane

Innalzamento della temperatura più marcata rispetto alla media europea
Diminuzione dell'estensione e volume dei ghiacciai
Spostamento in altitudine delle specie animali vegetali
Elevato rischio di estinzione di specie
Rischio crescente di parassiti per le foreste
Rischio crescente di cadute di massi e di frane
Modifiche del potenziale idroelettrico
Diminuzione del turismo sciistico

A seguire, il cambiamento climatico provoca eventi catastrofici come uragani, precipitazioni estreme e incendi forestali. Se pochi decenni addietro si potevano considerare eventi rari, attualmente si verificano con molta più frequenza ripercuotendosi, oltre che sull'uomo, sulla flora e fauna modificando in maniera irreversibile gli ecosistemi².

Per quanto concerne gli impatti che le variazioni di temperatura hanno sull'uomo, è stato dimostrato che sono sempre più le vittime per le ondate di caldo e gelo. Inoltre, si sono diffuse maggiormente malattie legate a un'origine idrica. Anche la specie animale è a rischio. Sebbene abbia resistito a secoli di evoluzione, spesso non è in grado di gestire il cambiamento. Sempre più numerosi sono gli animali che si trovano costretti a ricercare il loro habitat naturale in altre zone. Economicamente parlando, temperature eccessivamente elevate, precipitazioni violente e abbondanti costituiscono una minaccia significativa per l'agricoltura e la silvicoltura, senza escludere il turismo.

2 Traduzione e sintesi tratte da:

www.ec.europa.eu

www.wwf.it

www.reteclima.it

1.3

l'impatto del cambiamento climatico sulle città

La nascita della città, dalla più antica forma e insediamento, rappresenta una rivoluzione nella storia dell'umanità. Si intende la città come fulcro di cultura, commercio e innovazione.

Storicamente, a partire dai Sumeri insediatisi in Mesopotamia tra il 4000 a.C. e il 2000 a.C. e abitando la città nell'accezione più pura, si è dato il via a secoli di continua espansione ed evoluzione delle città. Migrazioni di massa dalle aree rurali si sono stabilite in quelle urbane. Con l'aumento del numero di persone in una città, aumenta inevitabilmente la necessità di spazi in cui abitare. Di conseguenza, sorgono nuovi edifici, nuove infrastrutture per soddisfare nuovi bisogni. Si è arrivati così alla nascita delle grandi città. Il massimo punto di espansione demografica si registra dal XIX secolo, con l'avvento dell'era industriale. L'economia crescente ha di conseguenza innalzato il tasso di natalità portando ad una richiesta di risorse sempre maggiore e la necessità di impiego di più energia per soddisfare i bisogni collettivi. Se da un lato la crescita demografica è stata considerata favorevole per l'aspetto economico, dall'altro ha introdotto un problema mai affrontato in precedenza: l'origine antropica del cambiamento climatico.

Attualmente la metà della popolazione mondiale vive nelle città e questo dato è in costante aumento. Si prevede che nel 2050 il 70% della popolazione arrivi a stabilirsi nelle aree urbane. Basti pensare al continente africano, in cui sono previsti 950 milioni di abitanti in più nelle città, nel 2050.

Il grado di influenza delle città sul cambiamento climatico dipende dal consumo, dal metodo di produzione e dalla gestione di energia. Non sorprende che ci sia un forte nesso tra il numero di abitanti, la percentuale di emissioni e il PIL di una città. Generalmente i primi posti in classifica sono occupati da Cina, India, Stati Uniti.

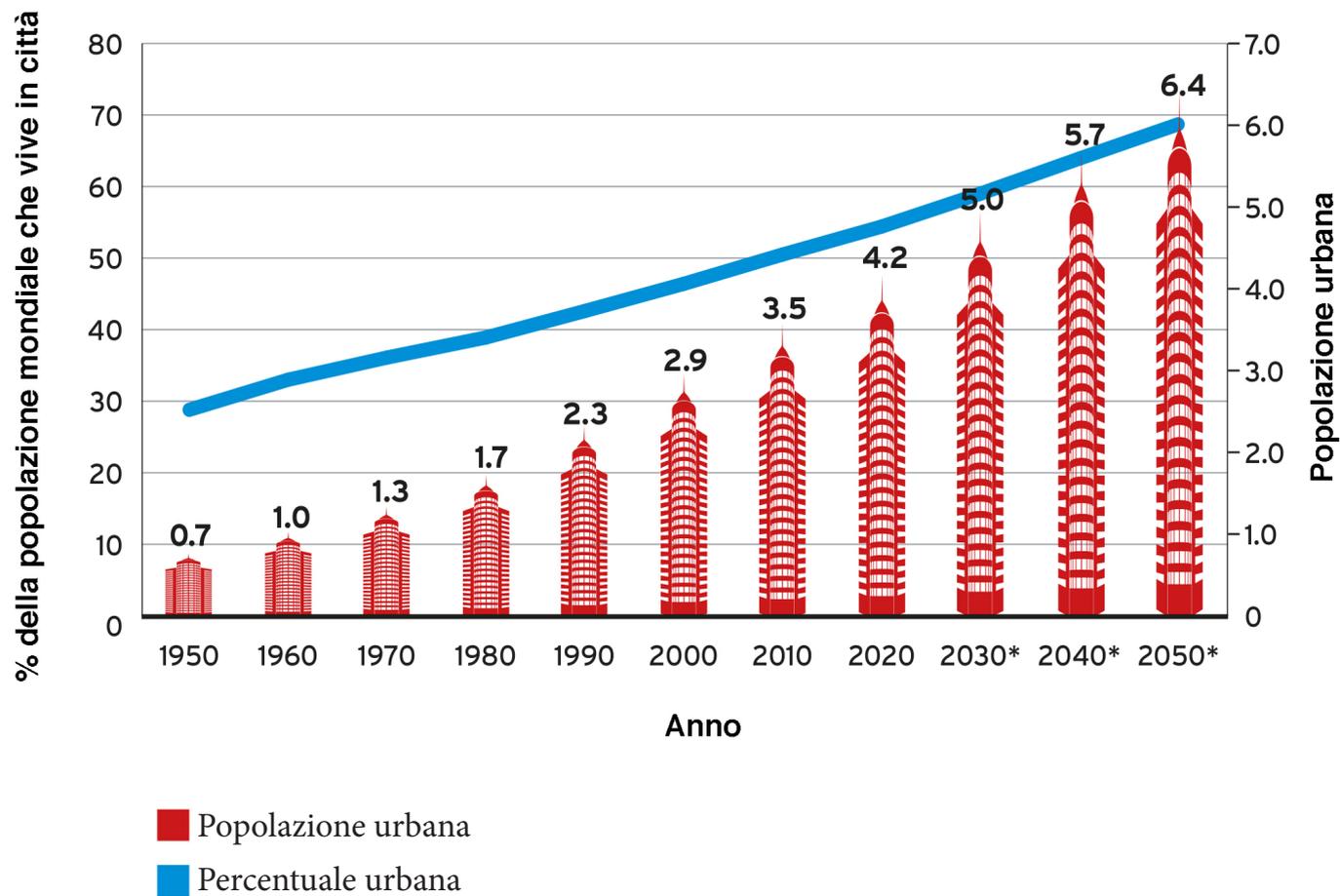


Figura 12

Il grafico illustra l'andamento crescente della percentuale di popolazione che, negli anni si è insediata nelle città.

Fonte: Cities and climate change: an urgente agenda. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, dicembre 2010, vol.10

Le città più grandi consumano i due terzi dell'energia mondiale e sono responsabili di oltre il 70% delle emissioni di CO₂ in ambiente. Una considerevole percentuale di energia è prodotta da fonti rinnovabili ma attualmente non è sufficiente per attenuare le conseguenze dei cambiamenti climatici.

L'urbanizzazione, dunque, ha aumentato indubbiamente le emissioni inquinanti in ambiente, ma anche la gestione dell'energia nelle città ha un peso notevole. La sfida umana interessa l'abilità a gestire correttamente l'energia, seguendo accortezze riguardanti l'utilizzo di quest'ultima all'interno degli edifici.

Un altro aspetto che a primo impatto può apparire paradossale è la gestione della densità di una città. Solitamente ad una città densa si associano maggiori emissioni di CO₂ in ambiente, ma non è propriamente esatto. L'utilizzo ottimale del suolo aiuta a rendere una città più efficiente in campo energetico, poiché rispetto al costruito denso, una città che si espande in maniera tentacolare necessita di una maggiore fornitura di energia per le infrastrutture e per i servizi. Due città simili tra loro per la conformazione del contesto geografico in cui si collocano, Madrid e Atlanta risultano avere emissioni di CO₂ molto differenti. Madrid ha una superficie territoriale doppiamente più vasta e una densità cinque volte maggiore rispetto ad Atlanta eppure le emissioni di CO₂ registrate risultano essere quattro volte inferiori, dovuto appunto all'ottimizzazione degli spazi, delle risorse e delle energie. Tuttavia, nonostante sia dimostrato che una città più densa produca meno emissioni, non è un aspetto sufficiente a mitigare i cambiamenti climatici. Le città necessitano di essere più smart nella gestione del trasporto pubblico, delle acque e dei rifiuti.



Atlanta
Superficie: 343 km²
Densità: 1.452 ab./km²



Madrid
Superficie: 604,3 km²
Densità: 5.334 ab./km²

Fonte: Maps

...E VICEVERSA

Le città con la loro espansione e stabilità rappresentano sia un punto di forza per l'economia mondiale, sia una fragilità. Una forte espansione richiede un maggior numero di risorse e, quindi, una maggiore energia per poterle produrre. Le percentuali di emissioni inquinanti in ambiente interessano in particolar modo le città economicamente più potenti ma hanno ripercussioni soprattutto sulle città più povere e fragili, incapaci di gestire i cambiamenti climatici.

Un esempio lampante sono le città costiere più povere colpite dalle inondazioni, dove la ripresa richiede diversi decenni.

Gli impatti che il cambiamento climatico ha sulle aree edificate varia a seconda della qualità e densità del costruito. Possono essere catalogati in impatti diretti e impatti indiretti. Per impatto diretto si intende tutto ciò che è visibile e percepibile fisicamente. L'impatto indiretto, invece, riguarda il contesto economico e sociale.

Nella tabella seguente sono riportate alcune conseguenze che gli impatti diretti hanno sulle città.

Traduzione, sintesi e rielaborazione tratte da:

Cities and climate change: an urgente agenda. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, dicembre 2010, vol.10

www.c40.org

www.infodata.ilsole24ore.com

Tabella 1: Conseguenze degli impatti diretti dei cambiamenti climatici sulle città

| POTENZIALI IMPATTI DIRETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO | CONSEGUENZE SULLE AREE EDIFICATE |
|---|--|
| Cambiamenti di temperatura (in aumento in molte aree) | <p>Aumento del carico di surriscaldamento e utilizzo di aria condizionata</p> <p>Diminuzione del riscaldamento negli ambienti invernali</p> <p>Diminuzione dell'energia di riscaldamento dell'acqua</p> |
| Aumento di eventi meteorologici estremi | Danni agli edifici e infrastrutture |
| Cambiamenti nei tipi di precipitazioni | <p>Danni alle fondazioni</p> <p>Aumento delle inondazioni</p> <p>Danni alle facciate e alla struttura interna a causa della penetrazione della pioggia</p> <p>Maggiore subsidenza</p> <p>Aumento di erosioni, frane, caduta di rocce</p> <p>Cambiamenti nelle falde acquifere e nella fornitura e qualità delle acque urbane.</p> <p>Aumento delle acque piovane fuoriesce e la lisciviazione degli inquinanti nelle vie d'acqua o nelle falde acquifere</p> |
| Dilatazione termica degli oceani e scioglimento dei ghiacciai | <p>Aumento delle inondazioni costiere</p> <p>Aumento di erosioni</p> <p>Cambiamenti nei modelli di sedimentazione</p> <p>Cambiamenti nelle falde acquifere e possibile infiltrazione di falde acquifere.</p> <p>Trasferimento dalle aree costiere</p> <p>Perdita di zone intercotidale che agiscono come cuscinetto</p> |
| Cambiamenti nell'intensità del vento | Cambiamenti del carico del vento sugli edifici |
| Aumento dell'inquinamento atmosferico | Aumento della necessità di ventilazione e aria pulita |

Fonte: Direct Climate Change Impacts on the Built Environment. Fonte: Pedersen Zari, M. (2008). Bioinspired architectural design to adapt to climate change World Sustainable Building Conference SB08, Melbourne

1.4 la responsabilità dell'architettura

Come già illustrato precedentemente, con l'aumentare della popolazione nelle aree urbane, aumenterà la necessità di costruzione di nuovi edifici. Per una crescita che prevede il raggiungimento di 10 miliardi di persone sono necessari 230 miliardi di metri quadri di superficie da destinare ad edifici residenziali e commerciali. In termini di paragone, equivarrebbe a costruire la città di Pechino poco più di 36 volte.

Quasi i due terzi degli edifici esistenti oggi esisteranno anche nel 2050, costituendo uno stock edilizio.¹ Per poter raggiungere l'obiettivo previsto dall'accordo di Parigi del 2015² è necessario applicare nuove tecnologie a basso impatto ambientale su costruzioni ex-novo ma anche relazionarsi con gli edifici esistenti. Se si considera che il carbonio incorporato è causa dell'11% delle emissioni di gas serra in ambiente e per il 28% responsabile delle emissioni nel settore edile e che queste percentuali sono destinate ad essere via via più significative, allora si è ben lontani dal raggiungere gli obiettivi prefissati per il clima. Ipotizzando, per assurdo, che le emissioni dei gas responsabili dell'effetto serra venissero fermate improvvisamente, si continuerebbero ugualmente a subire gli effetti delle emissioni passate.

I professionisti come architetti e ingegneri che

operano nel campo edile hanno una responsabilità cruciale nella realizzazione, gestione e smaltimento dei manufatti edilizi.

L'approccio ai problemi generati dal cambiamento climatico può essere di due tipi. Da una parte si possono mitigare le cause delle emissioni di gas a effetto serra attraverso una serie di accorgimenti che riguardano la gestione della produzione di energia, in particolar modo l'utilizzo di fonti rinnovabili. Dall'altra, è necessario adattare il patrimonio esistente e le nuove costruzioni al cambiamento climatico, servendosi di tecnologie innovative per quanto concerne l'uso delle risorse.³ Si fa riferimento anche a tecniche edilizie sostenibili che prestano attenzione all'impatto ambientale e all'aspetto economico. Il campo della bio-edilizia ne è un esempio: calcecanapa, sughero, paglia sono alcuni dei materiali utilizzati che hanno vantaggi riguardanti il risparmio energetico ed economico in un edificio.

1 www.architecture2030.org

2 L'Accordo di Parigi è un accordo tra gli stati membri della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), riguardo la riduzione di emissione di gas serra, e la finanza, a partire dall'anno 2020. L'obiettivo di lungo periodo dell'Accordo di Parigi è quello di contenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto della soglia di 2 °C oltre i livelli pre-industriali, e di limitare tale incremento a 1.5 °C, poiché questo ridurrebbe sostanzialmente i rischi e gli effetti dei cambiamenti climatici (fonte: wikipedia)

3 M. Pedersen Zari (2008), "*Bioinspired architectural design to adapt to climate change*", World Sustainable Building Conference SB08, Melbourne

Emissioni globali di CO₂, divise per settore

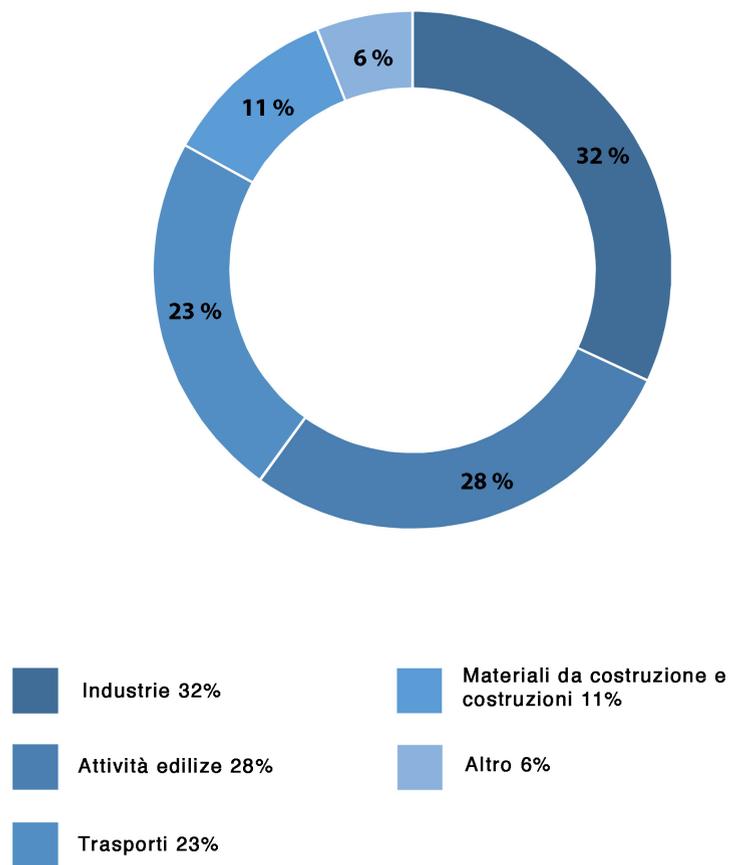


Figura 1

Il grafico ad anello illustra le percentuali di emissioni di CO₂ globali, divise per settore.
Fonte: Global Alliance for Buildings and Construction - 2018 GLOBAL STATUS REPORT

Del ciclo di vita di un edificio fa parte anche lo smaltimento dei rifiuti. Per definizione un rifiuto è tutto ciò di cui si decide di disfarsi, pertanto possono essere considerati tali gli oggetti che cessano di adempiere alla loro funzione originale, ma anche gli scarti prodotti in edilizia. Mediamente la vita di un edificio è di circa cinquanta anni e, una volta terminata, è destinato ad essere smaltito. In edilizia si produce circa il 40% della produzione totale di rifiuti a livello europeo. I rifiuti, in base ai materiali di cui sono composti si possono classificare in: rifiuti urbani, sostanze organiche in discarica; rifiuti speciali, macerie da costruzione e demolizione e, in base alla pericolosità, in rifiuti pericolosi e rifiuti non pericolosi.⁴ La percentuale di rifiuti pericolosi nel settore edile equivale a 10% e comprende tutto ciò che è stato contaminato da sostanze nocive.

I rifiuti possono essere raggruppati in tre macro gruppi. Esistono i rifiuti riutilizzabili, riciclabili o non recuperabili. Fanno parte di quest'ultima categoria i materiali che sono stati contaminati da pitture sintetiche, collanti tossici, schiume.

Regolarizzando lo smaltimento dei rifiuti, si arriverebbe a ridurre una grande fetta dell'inquinamento causato dall'edilizia. Punti di raccolta predisposti dall'ANPAR (Associazione Nazionale Aggregati Riciclati) non solo permettono di promuovere meccanismi di raccolta differenziata ma anche, ove possibile, riciclare i rifiuti favorendo così una continuità del ciclo di vita e soprattutto riducendo l'energia necessaria per il loro smaltimento.⁵

⁴ Decreto legislativo 205 del 3 dicembre 2010 art. 184

⁵ www.ANPAR.org

1.5 politiche per il cambiamento, verso una città sostenibile

La città è il posto in cui abbiamo scelto di abitare e lo sarà per il prossimo futuro. Potenzialmente le città possono ridurre del 40% le emissioni globali per arrivare a realizzare gli obiettivi stabiliti dall'accordo di Parigi. Sono un punto di partenza significativo per mitigare gli effetti del cambiamento climatico e per introdurre innovazioni tecnologiche che possano ridurre al minimo o eliminare le emissioni inquinanti in ambiente.

Sin dall'antichità le città sono rappresentate da una figura che svolge un ruolo decisionale importante per quanto riguarda aspetti politici, economici e sociali. L'importanza che le città hanno nella mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici è stata oggetto di discussione nel 2009 alla Conferenza di Copenhagen sui cambiamenti climatici, a cui hanno partecipato 500 rappresentanti. Al termine della conferenza si sono prefissati obiettivi mirati che hanno in comune di realizzare lo scopo dell'accordo di Parigi: non superare di due gradi centigradi la media della temperatura, rispetto ai livelli pre-industriali.

Per poter concretizzare ciò, sono stati individuati alcuni ambiti su cui intervenire che riguardano la decarbonizzazione del sistema elettrico, l'ottimizzazione dell'efficienza energetica negli edifici, l'innovazione della mobilità, il miglioramento nella gestione dei rifiuti.

Gli edifici costituiscono l'oggetto costruito in cui si passa maggior tempo quotidianamente. Statisticamente, in media, gli edifici sono responsabili del 40% delle emissioni in ambiente solo per quanto riguarda il consumo di energia per il riscaldamento e il raffrescamento. Pertanto, uno dei

principali obiettivi è di ridurre al minimo e, laddove possibile, eliminare del tutto l'impatto che le nuove costruzioni hanno in ambiente e adattare gli edifici esistenti affinché possano diminuire le emissioni di inquinanti.

Un importante riguardo è da dedicare anche alla gestione dei rifiuti in fase di costruzione e demolizione. I materiali impiegati possono essere riutilizzati o riciclati (come ad esempio vetro, argilla, pietra, calcestruzzo, legno massiccio) se non sono stati contaminati da sostanze tossiche.

La produzione di energia riveste un ruolo cruciale nell'immissione di inquinanti in ambiente. Passare dall'utilizzo di fonti non rinnovabili a quelle rinnovabili per produrre energia per servire attività come riscaldamento, raffreddamento, illuminazione, trasporti può portare a ridurre del 45% le emissioni in ambiente.

La promozione della mobilità sostenibile, inoltre può ridurre significativamente le percentuali di emissioni di gas a effetto serra.

Prediligere trasporti sostenibili come biciclette e autobus può significare una svolta per le grandi città. È un progetto già concordato con più di dodici sindaci del C40 che prevede l'ideazione di città più verdi e salutari attraverso l'uso di autobus a zero emissioni. Questo obiettivo è già stato raggiunto dalla città di Shenzhen (Cina) nel 2017, classificandola tra le città più grandi ad utilizzare mezzi di trasporto 100% elettrici.

Ad Hanoi (Vietnam) si prevede di abolire entro il 2030 l'uso di motociclette e di incrementare i trasporti pubblici per diminuire gli spostamenti in automobile.

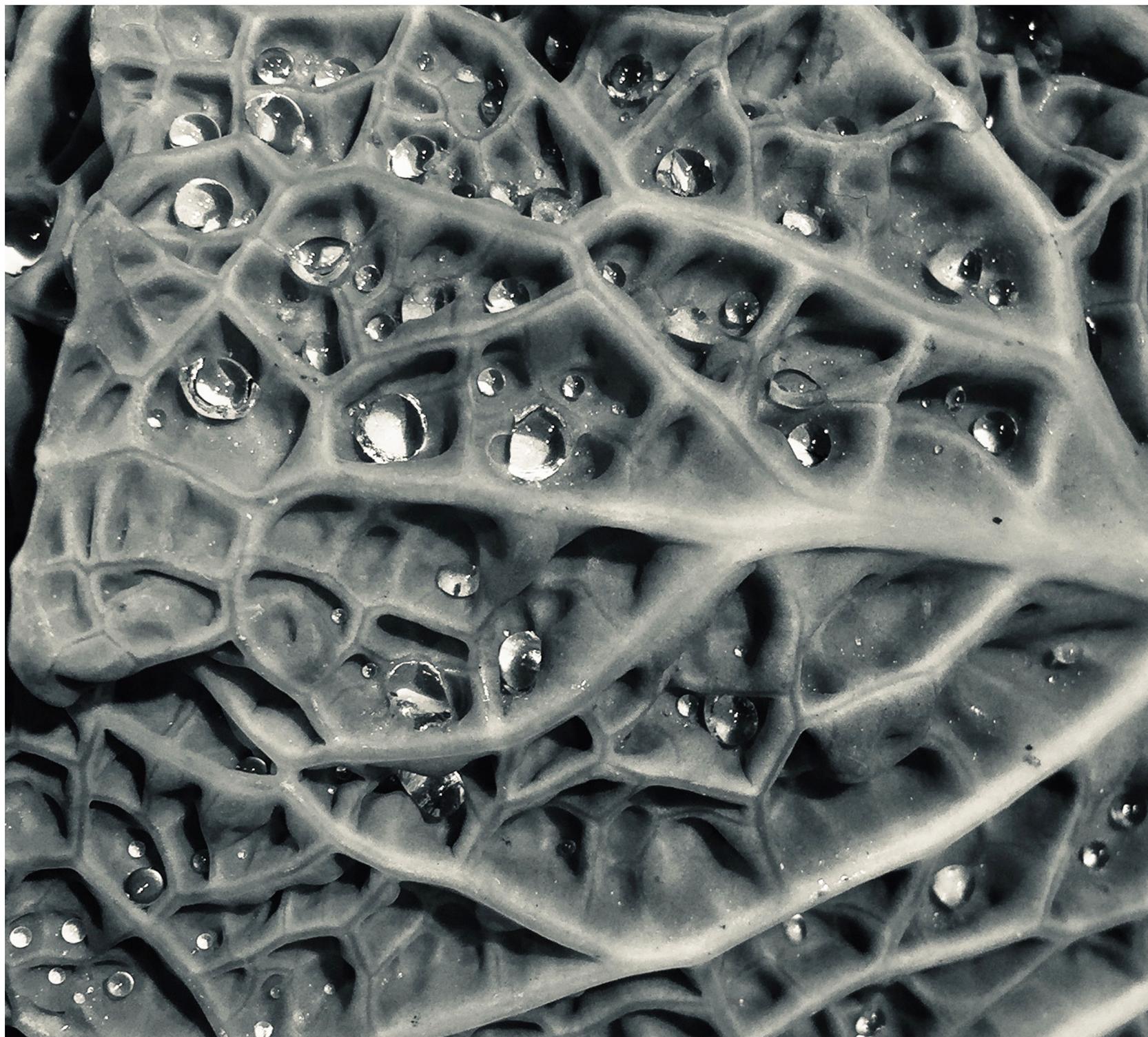
A Parigi, invece, sono stati ricavati nuovi spazi pedonali lungo la Senna per favorire la mobilità sostenibile.

Secondo la dichiarazione del programma delle Nazioni Unite, se si gestiscono correttamente i rifiuti alimentari, le emissioni in ambiente potrebbero ridursi del 15%. Di fatti, la produzione alimentare genera l'11% di emissioni di gas a effetto serra e, considerando che con l'aumento della popolazione aumenta sempre più la richiesta di generi alimentari, si prevede che questa percentuale cresca notevolmente di anno in anno.

La scelta di produrre il cibo in modo sostenibile combinata a diete sostenibili ma anche il corretto imballaggio e trasporto di questo sono accorgimenti che influiscono positivamente sul cambiamento climatico.¹

Le città sono via via sempre più propense ad attuare le politiche di cambiamento, tuttavia però i Paesi poveri ed in cui vige la disinformazione non hanno la potenza e i mezzi per avviare una trasformazione, occupando un posto significativo nelle classifiche delle emissioni inquinanti.

¹ Traduzione e rielaborazione tratte da:
C40 cities Annual Report 2017
www.C40.org



2. la natura come modello

Da principio esisteva solo la Terra, un posto puro e incontaminato. Gli esseri che la abitavano erano in perfetta armonia tra di loro ma la Terra è sempre stata anche scenario di disordine e violenza. Secoli di prove e fallimenti hanno portato all'evoluzione della specie. L'intelligenza umana ha dato luce ad invenzioni geniali, segnando traguardi positivamente significativi per l'umanità. Ma questi processi si trascinano dietro anche fallimenti che hanno mutato irreversibilmente il pianeta, dati dall'irrefrenabile desiderio di oltrepassare i limiti.

Nel primo capitolo del libro "Biomimicry, innovation inspired by nature" l'autrice e biologa Janine Benyus racconta un episodio da cui poi trae le sue riflessioni: Moi, un capo indiano del Huaorani, quando arrivò a Washington D.C. e vide per la prima volta le invenzioni dell'uomo, affermò che non c'era nulla da imparare nella città, bisognava tornare indietro nella foresta.¹

Tutto ciò che appare innovativo e ultra tecnologico ai nostri occhi, in realtà in natura esiste già da secoli. Sembrerebbe estremamente difficile, se non impossibile, realizzare un dispositivo di energia rinnovabile, resistente, biodegradabile, scalabile,

in grado di purificare l'aria, autorigenerante, calpestabile, edibile ed esteticamente apprezzabile. Eppure un semplice filo d'erba possiede tutte queste caratteristiche.²

La natura usa infinite strategie in risposta alle sfide funzionali che si trova ad affrontare. Si tratta di sfide di sopravvivenza in particolari condizioni. Tutti i meccanismi che utilizza la natura per poter superare con successo le sfide possono essere un modello di ispirazione per la progettazione. Basti pensare, ad esempio, al diavolo del deserto³ che riesce ad idratarsi nei deserti aridi dell'Australia grazie alla struttura della sua pelle idrofila, poiché è caratterizzata da piccole scanalature che permettono di immagazzinare l'acqua e convogliarla verso la bocca del rettile.⁴

1 Janine M. Benyus (1997), "Biomimicry: innovation inspired by nature"

2 www.biomimicry.org

3 Il nome scientifico del diavolo spinoso è *moloch horridus*. È un piccolo rettile della famiglia Agamidae presente in gran parte dei deserti del continente australiano. Fonte: Wikipedia

4 R. Pagani, G. Chiesa, J. M. Tulliani (2015), "Biomimetica e Architettura. Come la natura domina la tecnologia"

Per scoprire i segreti della natura e trarne insegnamento, bisogna provare a spogliarsi delle abitudini che quotidianamente si danno per scontate. Iniziare ad osservare con attenzione i piccoli particolari che si nascondono in natura è un piccolo passo verso un cambiamento della visione che si ha di quello che ci circonda. Se dovessimo pensare ai più grandi architetti della storia, certamente nomineremmo Ictino, Marco Vitruvio Pollone,

Michelangelo Buonarroti, Filippo Brunelleschi fino ai più contemporanei Le Corbusier, Frank Lloyd Wright e così via. Ma se ragionassimo a fondo, forse gli “architetti” più antichi esistevano da prima che ci fosse l’uomo sulla Terra. Si fa riferimento, per citarne tre, ai ragni⁵, alle api⁶ e alle termiti⁷.



I ragni

I ragni appartengono alla classe degli arachidi e costruiscono la loro tana secernendo la seta dalle ghiandole. La particolarità della loro seta è quella di avere un diametro estremamente sottile (0,15 micron) ma nonostante ciò presentare una resistenza ed un’elasticità molto elevata che consente alla ragnatela di rimanere integra in caso di eventi atmosferici e attacco da parte di predatori.

Inoltre, ha una capacità di allungamento pari al 40% prima di arrivare a rottura, mentre l’acciaio si allunga dell’8%. Rapportata al suo peso, la ragnatela è sei volte più resistente dell’acciaio ma molto più leggera.

Fonte: foto di Joel Sartore, National Geographic Creative

5 I ragni risalgono a 300 milioni di anni fa. recentemente è stato scoperto l’antenato del ragno, ritrovato in un fossile nel Myanmar. Fonte: www.ansa.it

6 La prima iconografia dei rapporti tra l’ape e l’uomo risale al Neolitico. Fonte: www.valledelgiovenco.it

7 Il più antico fossile è stato scoperto nel Labrador, ma è probabile che le termiti si siano differenziate già alla fine del Paleozoico o all’inizio del Mesozoico; le famiglie e le sottofamiglie oggi viventi erano probabilmente già differenziate alla fine del Mesozoico. Fonte: www.inftub.com

Le api

Le api appartengono alla famiglia Apidae.

Il loro genere, apis, comprende 27 specie diverse. Essendo un insetto sociale, ha una organizzazione gerarchica ben definita, composta dalla regina, le operaie e i fuchi. Nella costruzione del favo, ovvero un insieme di celle costituite di cera, le api disegnano una forma esagonale. L'esagono è la figura ottimale che permette di massimizzare lo spazio e minimizzare l'energia necessaria per poter essere realizzato poiché ogni lato di una cella è in comune con una cella vicina.⁸

Le pareti del favo sono inclinate di 13° verso l'interno, onde evitare la fuoriuscita del miele. Le api riescono a garantire all'interno del sistema una temperatura costante di 35° C. Se la temperatura risulta essere troppo elevata rispetto alla media, praticano una ventilazione con le loro ali. Se la temperatura è più bassa rispetto alla media, contraggono e allungano l'addome producendo energia meccanica che viene trasformata in energia termica.⁹



Fonte: "Beekeeping International", pagina facebook



Fonte: www.microbiologiaitalia.it

⁸ www.focus.it

⁹ R. Pagani, G. Chiesa, J. M. Tulliani (2015), "*Biomimetica e Architettura. Come la natura domina la tecnologia*" www.wikipedia.it

Le termiti

Come le api, anche le termiti sono insetti sociali. Caratterizzate da una conformazione molto piccola, sono dotate di grandi e complesse capacità organizzative. Non a caso, questi insetti vengono definiti “costruttori naturali”.

Un termitaio è alto in media 7 metri e può arrivare ad avere un diametro di 20-30 metri. In un termitaio abitano circa 5 milioni di termiti, tra cui la regina, il re, i soldati, gli operai e le termiti alate. Il nido raggiunge altezze considerevoli poiché alle estremità delle cime si collocano delle aperture che non devono essere raggiunte dall’acqua in caso di inondazioni.

Sulla base dell’economia circolare, le termiti coltivano funghi che, producendo alimenti, consentono loro di nutrirsi ma anche di mantenere umido il nido.

Costruiti con fango, feci e un collante che si trova nella mandibola degli insetti, i termitai sono “edifici naturali” molto resistenti. All’interno è come se fossero delle piccole città contenenti strade, gallerie, acquedotti, stanze. La parte centrale è vuota ma le gallerie sono costruite seguendo una logica che consente i ricambi d’aria necessari e una adeguata temperatura interna.¹⁰



Fonte: www.shutterstock.com



Fonte: foto di Hbieser su www.pixabay.com

2.1 il ciclo di vita in natura

La natura ha da sempre adottato l'economia circolare nei suoi cicli di vita. Nella loro lotta alla sopravvivenza, gli organismi viventi si sono adattati ai cambiamenti in cui si sono imbattuti, creando una collaborazione tra di loro. In natura il concetto di rifiuto non è concepito come lo è per l'uomo. Tutto ciò che cessa di avere una funzione per un organismo, assume una funzione secondaria per un altro, modificandosi o scomponendosi. Si tratta del processo di up-cycling, ovvero un riciclo dal quale si ottiene sempre un valore aggiunto rispetto a ciò che è destinato a cessare di esistere. Se da una parte per l'uomo il riciclo è un processo diretto (il vetro, rompendolo, può essere destinato per utilizzi diversi da quello iniziale, per esempio), in natura il riciclo avviene in maniera indiretta. Il legno degli alberi non è direttamente riciclato, ma si scompone chimicamente e diventa alimento per altri organismi, come ad esempio per una determinata tipologia di fungo.

Di seguito sono riportate nove strategie utilizzate in natura che possono essere utilizzate come modello alla base di un progetto sostenibile

1. La natura utilizza solo energia strettamente necessaria

L'energia è una risorsa preziosa e limitata, l'uso eccessivo e spropositato può portare alla morte o all'incapacità di riprodursi.

Due esempi di energia fisica richiesta per la sopravvivenza degli organismi sono la raccolta di cibo e la raccolta di materiali per la costruzione di



Fonte: www.wallpapersin4k.net

Il condor è un volatile di grandi dimensioni, tra i più grandi conosciuti capaci di volare. Mediamente la sua apertura alare è di 3 metri e può pesare 15 chili. Necessita dunque di un'elevata energia per volare e svolgere le sue attività, tuttavia utilizzano le correnti di aria calda per potersi innalzare, riducendo al minimo il dispendio di energia impiegata.

nidi e tane. Pertanto, gli organismi viventi cercano di minimizzare l'utilizzo di energia e, ove possibile, di prediligere quella disponibile gratuitamente in natura. Si fa riferimento ai raggi solari per la fotosintesi, le correnti d'aria, i materiali in decomposizione. Inoltre, riducono il dispendio di energia attraverso l'auto-assemblaggio, l'impiego di strutture modulari e multifunzionali.



Fonte: www.southcoastcrystals.com.au

Il guscio dell'abalone è di gran lunga più resistente delle ceramiche impiegate in architettura. Contro le alte temperature dei forni e le estrazioni dal terreno per produrre la ceramica, l'abalone utilizza unicamente la temperatura e pressione dell'acqua di mare, da cui estrae anche i minerali per costruire il guscio.

2. La natura ricicla ogni cosa

In natura i rifiuti che produce un organismo o la carcassa di un animale può diventare una risorsa di cibo per altri organismi, dando inizio al processo del così detto “up-cycling”. Il rifiuto naturale viene scomposto e trasformato per dare vita a un nuovo materiale.



Fonte: www.pixabay.com

Quando il tronco di un albero cade, i suoi composti chimici vengono scomposti trasformandosi in altri composti utili per altri organismi, come ad esempio i funghi.

3. La natura ottimizza le risorse

Ricordando sempre la concezione delle risorse come un bene prezioso e limitato, la natura crea un perfetto equilibrio tra le risorse utilizzate e quelle spese. Un concetto che ritroviamo nel principio di “equilibrio” tra uomo e ecosistema dell’economista ambientale Herman Daly (nel 1991), il quale afferma che “il tasso di utilizzazione delle risorse rinnovabili non deve essere superiore al loro tasso di rigenerazione”.

Ma ancor prima lo aveva fatto Rudolph Clausius, nel 1885 affermando: “Nell’economia di una nazione c’è una legge di validità generale: non bisogna consumare in ciascun periodo più di quanto è stato prodotto nello stesso periodo. Perciò dovremmo consumare tanto combustibile quanto è possibile riprodurre attraverso la crescita degli alberi”.

Una teoria ampiamente trascurata, considerando che l’Italia ha raggiunto l’Overshoot Day mesi prima della data prevista.¹

¹ Earth Overshoot Day (EOD) indica a livello illustrativo il giorno nel quale l’umanità consuma interamente le risorse prodotte dal pianeta nell’intero anno. Fonte: Wikipedia

4. La natura è resiliente

Per resilienza in natura si intende la capacità di resistere e persistere in occasione di fenomeni critici come ad esempio cambiamenti di temperatura, incendi, inondazioni, bufere. Il mondo naturale è resiliente grazie alla diversità della specie e alla sovrabbondanza, alla capacità di autorigenerarsi e auto- ripararsi.



Fonte: wallpapersin4k.net

Il *Pinus contorta* è una specie di pino che si trova nell'America nordoccidentale e ha la particolarità di avere coni regolari che si aprono in condizioni normali e coni serotinosi, sigillati dalla resina. In caso di incendi, il calore del fuoco fonde la resina e libera i semi dai coni, consentendo appunto la sopravvivenza della specie in condizioni estreme.

5. La natura comunica attraverso una rete di comunicazione

Il sistema di comunicazione nel mondo naturale funziona come una rete di invio di informazioni e ricezione di risposte. Questo meccanismo consente agli organismi di essere sempre aggiornati su ciò che accade ed eventualmente adeguarsi ai pericoli.



Fonte: www.giardinaggio.it

Gli alberi di acacia hanno creato una rete di comunicazione tra di loro per potersi reciprocamente avvisare quando sono minacciati dagli erbivori. Le foglie emettono gas etilene nell'aria per lanciare il segnale. Una volta percepito, le foglie degli alberi vicini emettono a loro volta gas, allontanando gli erbivori.

6. In natura vige la collaborazione

È innegabile che in natura non prevalga la legge del più forte, la dura lotta alla sopravvivenza. Sebbene la predazione sia un processo biologico necessario, non esclude la cooperazione. Di fatti tra gli organismi esistono due processi cooperativi, ovvero il mutualismo e il commensalismo. Il mutualismo è per definizione “un’associazione tra individui di specie differenti, detta anche simbiosi mutualistica, che comporta un vantaggio reciproco per gli individui associati, senza che tale rapporto sia obbligato, potendo le due specie vivere anche indipendentemente l’una dall’altra”.² Il commensalismo deriva da commensale (dal latino *cum*, con e *mensa*, tavola, condividere la tavola) ed indica una “relazione tra due specie (animali o vegetali) da cui una delle due trae un vantaggio, sfruttando le risorse trofiche dell’altra, senza che quest’ultima ne riceva vantaggio o danno”.³



Fonte: www.vitantica.net

Un esempio del processo cooperativo è riscontrabile nei funghi micorrizici. Si tratta di funghi che vivono in simbiosi con le piante, attaccandosi alle loro radici. I funghi sono un supporto fondamentale per le piante poiché ne favoriscono la nutrizione minerale e le difendono da stress biotici e abiotici, ricevendo in cambio zuccheri.⁴

^{2,3,4} Definizioni tratte da www.treccani.it

7. La natura è localmente sintonizzata e reattiva

Gli organismi sopravvivono grazie alle loro capacità di riconoscere le condizioni ambientali in cui vivono ed adattarsi localmente. Nella linea temporale dell'evoluzione, i continui cambiamenti hanno portato alla conformazione attuale degli organismi.



Fonte: www.cntraveler.com

Alcune specie di piante del deserto vivono in un ambiente molto arido, con scarse precipitazioni. Tuttavia, sono in grado di catturare più acqua e umidità possibile nell'arco temporale in cui si verificano le piogge. I loro semi germogliano rapidamente, le foglie crescono velocemente per poter catturare le radiazioni solari, ma hanno dimensioni ridotte, per limitarle. Queste piante non consumano energia per far germogliare i semi nelle stagioni secche, ma la conservano per i brevi periodi umidi.

8. La natura usa la forma per determinare la funzione

Gli organismi viventi in natura usano la forma come scopo della funzione per minimizzare il dispendio di energia ma comunque soddisfare il proprio bisogno.



Fonte: immagine tratta da un video <https://www.youtube.com/watch?v=kxBxHKmKv0A>

La *Dionaea muscipula*, nota come pianta carnivora, manifesta la sua funzione attraverso la conformazione. Richiama l'aspetto di una trappola ed è proprio questo il modo in cui si procura il cibo. È una pianta che non consuma eccessiva energia e si chiude unicamente quando percepisce la presenza di una preda.

9. La natura usa la chimica non tossica per gli organismi viventi

Nella tavola periodica sono presenti 118 elementi chimici. La natura ne utilizza solo 28, funzionando perfettamente. Nella piramide chimica sono distribuiti, in ordine decrescente, dai più abbondanti ai meno abbondanti. Alla base della piramide si trovano quelli più diffusi: carbonio, idrogeno, azoto e ossigeno.

A una prima vista, la euplectella aspergillum, meglio nota come spugna cesto di fiori di Venere può sembrare

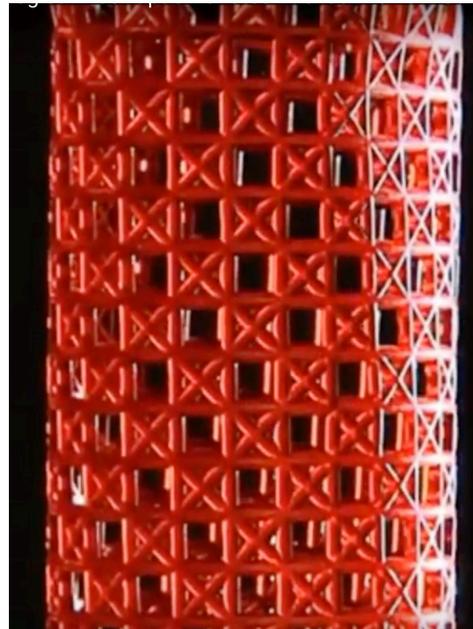
un grattacielo hightec per l'articolazione della sua struttura. Trattasi però di una spugna di vetro composta di

silice, usando l'acqua come solvente. Le sue fibre trasmettono la luce alla pari delle fibre ottiche più tecnologiche. La struttura è rigida, costituita da una serie di croci collocate perpendicolarmente tra di loro,

come se avesse dei controventi. Questi elementi di rigidità consentono alla spugna di avere una forma allungata e resistere alle forti correnti marine, senza rompersi.



Scheletro di *Euplectella aspergillum*
Fonte: www.flickr.com



Ricostruzione tridimensionale dello scheletro di una *Euplectella aspergillum*.
Fonte: immagine tratta da un video <https://www.youtube.com/watch?v=GEemoQzsvPQ0>



Dettaglio torre cilindrica dell'albergo T-hotel, Cagliari.
Studio Planarch, Studio Marco Piva, Dr. Ing. Demetrio Artizzu.
Fonte: www.promozioneacciaio.it

La panoramica di esempi presentata illustra come in natura sia possibile ottimizzare l'utilizzo di energia, risparmiarla e quindi adottare soluzioni sostenibili. Sono principi che per quanto possano sembrare teorie astratte, in realtà possono tradursi in applicazioni pratiche in campo architettonico e non solo.

2.2 cos'è la sostenibilità

Dai nove esempi sull'organizzazione della natura e il suo ciclo di vita, si evince che il mondo naturale e tutti gli organismi viventi al suo interno seguono un sistema circolare, ciclico, che si può definire sostenibile.

La parola “sostenibile” ha origini dal latino “*sustinere*” e significa sostenere, reggere. Volendo attribuire un senso più figurato, significa resistere, mantenere nel tempo, sopravvivere.

Una vera e propria definizione di sostenibilità arriva negli anni Ottanta con la politica norvegese Gro Harlem Brundtland, presidente della Commissione mondiale su Ambiente e Sviluppo, la quale presenta il rapporto¹ che prende, appunto, il suo nome. Si tratta di una serie di linee guida da seguire per lo sviluppo sostenibile.

Nel rapporto, “il concetto di sostenibilità, in questa accezione, viene collegato alla compatibilità tra sviluppo delle attività economiche e salvaguardia dell'ambiente. La possibilità di assicurare la soddisfazione dei bisogni essenziali comporta, dunque, la realizzazione di uno sviluppo economico che abbia

come finalità principale il rispetto dell'ambiente, ma che allo stesso tempo veda anche i paesi più ricchi adottare processi produttivi e stili di vita compatibili con la capacità della biosfera di assorbire gli effetti delle attività umane e i paesi in via di sviluppo crescere in termini demografici ed economici a ritmi compatibili con l'ecosistema”.² È un concetto molto coerente con le politiche di cambiamento della Scozia, con il programma ClimateXChange.³ È un Paese, infatti, che pone al centro un piano di sviluppo dell'energia rinnovabile che porta a numerosi benefici economici, coinvolgendo tutta la società.

Facendo riferimento all'United States Environmental Protection Agency, “tutto ciò di cui abbiamo bisogno per la nostra sopravvivenza e il nostro benessere dipende, direttamente o indirettamente, dal nostro ambiente naturale. La sostenibilità crea e mantiene le condizioni in cui gli esseri umani e la natura possono esistere in armonia produttiva, che permette soddisfare i requisiti sociali, economici e di altro tipo delle generazioni presenti e future”.⁴

1 Il rapporto Brundtland è un documento pubblicato nel 1987 dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo in cui, per la prima volta, venne introdotto il concetto di sviluppo sostenibile

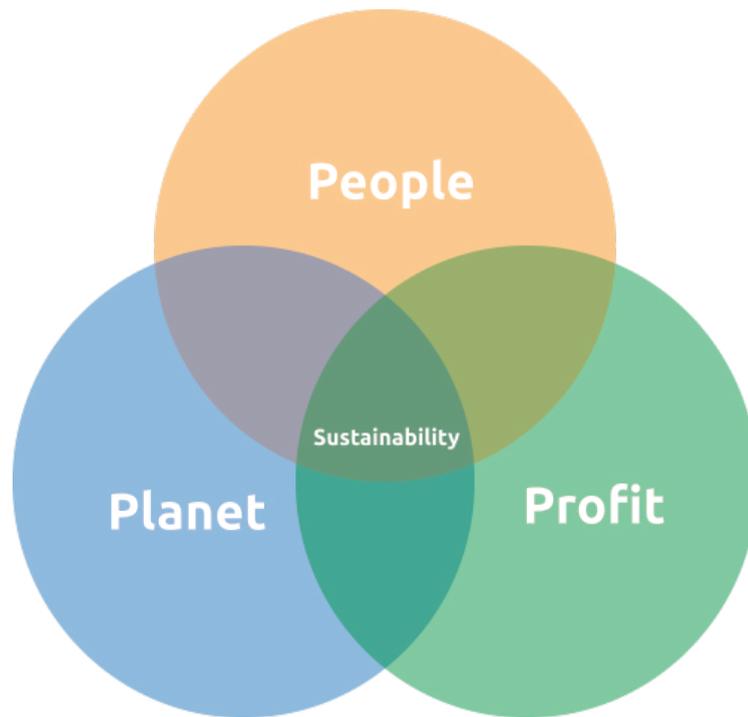
2 Definizione tratta dal rapporto Brundtland

3 ClimateXChange è un'associazione fondata nel 2013 con lo scopo di fornire ricerca, istruzione e sostegno per spingere la società verso un'economia a basse emissioni di carbonio

4 Definizione tratta da United States Environmental Protection Agency

Il futuro è un elemento fondamentale quando si parla di sostenibilità, è da considerarsi come lo scopo principale. Quando si considera un qualsiasi tipo di progetto è importante non trascurare le ripercussioni che avrà in un lasso temporale lungo. Bisogna, dunque, non assumere comportamenti errati nel presente poiché avranno gravi conseguenze nel futuro. Questo concetto di coesistenza è alla base della teoria del “triple bottom line” in cui pianeta, persone e profitti sono strettamente connessi tra di loro ed equilibrati e sono considerati in tutti gli aspetti di un progetto, dalla produzione, alla gestione fino alla dismissione. La sostenibilità è dunque un fine a cui aspirare ogni qual volta si voglia realizzare un progetto, che passa attraverso i tre campi sopracitati. Quando si pensa ad un progetto, è importante che risponda alla sostenibilità a livello ambientale, sociale ed economico immaginando la sua proiezione nel futuro perchè, per citare la Grande legge della pace, “in ogni decisione, dobbiamo considerare l’impatto che avrà sulla settima generazione...anche se richiede di avere una pelle spessa quanto la corteccia di un pino”.

Teoria “Triple Line Bottom”



Pianeta, persone e profitti sono strettamente connessi tra di loro ed equilibrati con un obiettivo comune: la sostenibilità.

Grafico tratto da: www.rmagreen.com



3. la biomimetica per una progettazione sostenibile

Se finora si è descritto il comportamento del mondo naturale e le tecnologie sostenibili che la natura adotta in risposta alle sfide, si apre ora un capitolo che introduce una scienza che, in collaborazione con altri campi quali medicina, ingegneria, architettura, può tradurre gli insegnamenti teorici naturali in applicazioni pratiche: la biomimetica.

In particolare, la biomimetica intesa come uno strumento per una progettazione sostenibile al fine di ridurre i consumi eccessivi di energia, le emissioni inquinanti in ambiente e cercare di mitigare gli effetti del cambiamento climatico.

3.1 la biomimetica tra passato e futuro

Nella definizione temporale, si tende a collocare la biomimetica nel XXI secolo, data la sua natura sperimentale e le poche effettive applicazioni. La scienza che si conosce oggi, arrivata ad essere definita tale, si porta dietro una serie di processi evolutivi, ma in verità ha origini molto antiche.

La biomimetica nasce con i greci e i romani intesa come bio-morfismo (dal greco bios, “vita” e morphé, “forma”), facilmente riscontrabile nell’apparato decorativo dei templi, in particolare nei motivi floreali delle

colonne. Il fascino del bello, dell’armonia presenti nel mondo naturale hanno attratto l’uomo a tal punto da proiettare le morfologie della natura in architettura. È un’imitazione che si ferma in superficie, esclusivamente all’estetica delle forme.

Genio indiscusso, attento osservatore della natura, Leonardo Da Vinci può essere considerato il precursore del biomimetismo, con l’accezione che più si avvicina a quella attuale. Nel suo desiderio costante di svelare le regole matematiche che dominano la natura, ne ha ricostruito i segreti plasmandola a misura d’uomo. Se un colonnato greco richiama una foresta con cui l’uomo entra in contatto ma con cui non comunica, per la prima volta, con l’ingegno vinciano l’uomo si rapporta con la natura non più unicamente attraverso la forma, ma anche attraverso la funzione. La stretta connessione tra uomo-natura/scienza è

esplicitata nel capolavoro dell’uomo Vitruviano in cui le proporzioni umane sono in armonia con il cerchio e il quadrato, figure geometriche perfette. Sebbene Leonardo Da Vinci avesse un approccio più ingegneristico che architettonico verso la natura, è stato comunque il primo ad analizzarla più a fondo, traendo insegnamento dalle sue leggi.

La natura è anche al centro delle opere dell’architetto catalano Antoni Gaudì a tal punto da prevalere sull’architettura. Foglie, fiori, intrecci, animali che si uniscono in una danza di colori sgargianti rendono unico il suo stile architettonico. Gaudì immagina un edificio come una foresta: alberi che sorreggono i solai, rami che fanno da parapetto, fiori che decorano le facciate, tutti gli elementi naturali nei colori vivi. Questa potente celebrazione della natura, tuttavia, si allontana dall’analisi funzionale che aveva intrapreso il suo predecessore rinascimentale.

La natura ritorna protagonista nell’architettura organica alla fine dell’Ottocento con il suo rappresentante per eccellenza: Frank Lloyd Wright. Per l’architetto statunitense il costruito deve avere assoluto rispetto della natura, creare un equilibrio stabile in cui nessuna delle due parti prevale sull’altra. Gli elementi naturali dialogano armoniosamente con gli elementi artificiali, dove termina lo spazio dell’uno, inizia lo spazio dell’altro quasi a disegnare una linea continua.

L'architettura organica individua sette principi fondamentali:

“Ridurre al minimo le partizioni, l'aria e la luce devono permeare l'insieme realizzando un'unità architettonica;

Creare un'armonia dell'edificio con l'ambiente esterno accentuando l'aggetto delle superfici orizzontali della casa;

Rendere l'abitazione più libera, umana ed abitabile eliminando la concezione delle stanze come luogo chiuso; dare proporzioni logiche ed umane alle aperture interne ed esterne rendendole naturalmente ricorrenti in tutta la struttura dell'edificio;

Evitare le combinazioni di diversi materiali, usando per quanto possibile un unico materiale la cui natura deve legarsi all'edificio divenendo espressione della sua funzione;

Incorporare gli impianti idraulici, di aerazione, di illuminazione e di riscaldamento nell'edificio;

Far divenire l'arredamento parte integrante dell'edificio come architettura organica col tutto.”¹

Principi che prendono forma con il capolavoro dell'architettura organica, ovvero Fallingwater, la casa sulla Cascata progettata da Wright. Con l'architettura organica, inoltre, si costruiscono le basi, chiaramente limitate dal contesto temporale, per quelle discipline estremamente attuali nel panorama odierno accomunate dallo stesso fine ultimo: la sostenibilità ambientale.

Questo breve linea del tempo illustra in che maniera sia stato affrontato storicamente il tema della natura e quindi del biomimetismo, ma si può arrivare a parlare di vera e propria biomimetica solo verso la metà degli anni Novanta del '900. La prima definizione della biomimetica è dell'inventore, ingegnere e

biofisico Otto Herbert Schmitt (nel 1963), il quale tenta di raggruppare in una parola tutte le tecnologie del momento che cercavano soluzioni bio-ispirate. Undici anni dopo, la biomimetica inizia ad essere divulgata grazie alla biologa e scrittrice americana Janine Benyus attraverso la sua pubblicazione “Biomimicry, innovation inspired by nature”. Non solo divulgatrice scientifica, Janine Benyus è anche fondatrice del centro di ricerca Biomimicry 3.8, con sede in Missoula (Minnesota). L'associazione offre consulenza a tutti i professionisti che ricercano nella natura soluzioni innovative per poi tradurle in tecnologie utili all'uomo. Inoltre si occupa anche di formare professionisti nel campo della biomimetica, oltre che condividere tutte le soluzioni ai problemi che la natura ha affrontato nel corso della storia, al fine di ispirare coloro che decidono di adottare il biomimetismo come strumento per i progetti futuri.²

¹ www.wikipedia.it

² Traduzione e rielaborazione tratte da www.biomimicry.org

3.2 cos'è la biomimetica

La prima volta che Janine Benyus si trovò a spiegare la definizione di biomimetica davanti a qualcuno, fu tra gli scaffali di una libreria. Non trovando il suo libro, appena pubblicato, chiese al commesso dove si trovasse e lui le domandò di cosa trattasse. L'autrice e biologa rispose che il libro in questione spiegava come cercare nella natura fonti di ispirazione per nuove invenzioni, come vivere serenamente emulando i modelli naturali.

Per la biologa Benyus, la biomimetica è “the conscious emulation of life's genius”, ovvero l'emulazione consapevole del genio della natura.¹

Analizzando nello specifico ogni termine utilizzato per definire la biomimetica: *conscious* (consapevole) è consapevolezza, progettare con uno scopo ben preciso; *emulation* (emulazione) non fa riferimento al semplice copiare gli esempi naturali, ma emularne le tecnologie cercando di trarne beneficio in modo intelligente al fine di sviluppare tecniche sostenibili; *life's genius* (genio della natura) con i suoi 3.8 miliardi

di anni di evoluzione, la natura può essere considerata un modello perfettamente funzionante da cui trarre ispirazione per risolvere le sfide dell'umanità.

La biomimetica si può applicare alla progettazione in tre differenti modi: seguendo le forme, i processi e/o i sistemi in natura, con l'obiettivo finale della progettazione sostenibile.²

Nei secoli precedenti l'uomo ha estrapolato le risorse che la natura ha messo a disposizione, ignorando il rispetto nei confronti di quest'ultima e causando danni irreversibili all'ambiente.

Attualmente però, con i campanelli di allarme accesi, si sta cercando di recuperare gli errori del passato e introdurre nuovi metodi sostenibili al fine di ridurre o eliminare gli impatti in ambiente. La biomimetica può fare da strumento per raggiungere questo obiettivo, per un *modus operandi* più consapevole che non si limita solo ed esclusivamente all'architettura, ma coinvolge anche medicina, ingegneria, infrastrutture, industria tessile, packaging.

1, 2 Sintesi e rielaborazione tratte da Janine M. Benyus (1997), “*Biomimicry: innovation inspired by nature*”

CONCIOUS

*progettare consapevolmente con
uno scopo ben preciso*

EMULATION

emulare le tecnologie naturali

LIFE'S GENIUS

natura come modello ispiratore

Volendo attribuire una definizione più precisa a questa scienza, “la biomimetica è una branca biotecnologica che effettua uno studio consapevole dei processi biologici e biomeccanici della natura come ispirazione per il miglioramento delle tecnologie delle attività umane, in un contesto che vede la natura come “modello”, “misura” e come “guida” per la progettazione di oggetti e dei manufatti tecnici”.³ La biomimetica è intesa come studio dei modelli della natura ed emulazione di questi. La natura è una misura alla quale è possibile rapportarsi per capire se le innovazioni tecnologiche possono funzionare o meno, considerando la sua evoluzione nel corso di quasi quattro miliardi di anni. La natura è una guida per la biomimetica, dalla quale bisogna trarre ispirazione e insegnamento, piuttosto che rubarne inconsapevolmente i segreti. A quest’ultimo punto è doveroso dedicare un’attenzione in più, poiché nei secoli precedenti l’uomo ha estrapolato le risorse che la natura ha messo a disposizione, ignorando il rispetto nei confronti di quest’ultima e causando danni irreversibili all’ambiente. Attualmente però, con i campanelli di allarme accesi, si sta cercando di recuperare gli errori del passato e di introdurre nuovi metodi sostenibili al fine di ridurre o eliminare gli impatti in ambiente. La biomimetica può fare da strumento per raggiungere questo obiettivo, per un *modus operandi* più consapevole che non si limita solo ed esclusivamente all’architettura, ma coinvolge anche medicina, ingegneria, infrastrutture, industria tessile, packaging. La biomimetica è una scienza non di facile comprensione, sia perché attualmente ancora poco conosciuta e discussa, sia perché si contano poche applicazioni pratiche funzionanti, fedeli all’accezione

a cui si è fatto riferimento.

L’approccio biomimetico si divide in due categorie. Esiste il così detto “problem based approach”, un processo che va dall’alto verso il basso: una volta individuato un problema, si osserva come la natura lo ha già risolto e si cerca di trasformare l’ispirazione dal mondo naturale in applicazione artificiale. In questo caso è il progetto che si ispira alla biologia. Il progettista ha il compito di individuare una esigenza o problema collaborando con il biologo, il quale individua la soluzione al problema nella biologia. Si tratta, però, di un metodo che guarda al singolo piuttosto che alla relazione con un contesto.

Mentre il “solution based approach” è un processo che funziona al contrario. Consiste nell’individuare una caratteristica, un comportamento o una funzione in un organismo o ecosistema per poi trasformarlo in un progetto. In questo caso è la biologia ad influenzare il progetto. Gli attori principali sono biologi ed ecologisti le loro competenze scientifiche vanno oltre alla semplice individuazione del comportamento di un organismo di fronte ad un problema.

Entrano in gioco la chimica, la fisica di un ecosistema e il modo in cui questo si relaziona con altri ecosistemi. All’interno di questi due macro-approcci alla biomimetica, si può progettare ispirandosi alla natura seguendo gli aspetti fisici, quindi forma, materiale e struttura di un organismo, gli aspetti comportamentali e/o gli aspetti a livello di ecosistema, con l’obiettivo finale della progettazione sostenibile.

Attualmente è più facile reperire applicazioni biomimetiche a livello fisico e comportamentale ma è molto raro trovare un progetto che funzioni come un ecosistema.

3 Definizione tratta da www.figliodellafantasia.wordpress.com

Per esempio, è stata imitata la conformazione a livello microscopico della foglia di loto, utilizzata poi in vernici autopulenti applicate su facciate di edifici. Così come si può trarre ispirazione dai comportamenti degli animali o delle piante in risposta ai cambiamenti climatici, dato che è stato provato che riescono ad adattarsi e a trasformare il loro habitat con risultati eccellenti, a seconda delle loro esigenze. Ad esempio negli ambienti molto caldi, alcuni organismi espellono la temperatura corporea con l'evaporazione, sentendosi freschi. Così come le piante che vivono in ambienti aridi hanno una conformazione tale per cui riduce al minimo l'esposizione alla luce solare. In ambienti freddi invece, si ottimizza al massimo il calore proveniente dalle radiazioni solari, conservandolo. La particolare struttura dei peli degli orsi polari, consente loro di trasformare la luce solare in calore, isolandoli perfettamente dal freddo. Tutti esempi fisici e comportamentali che possono essere riprodotti artificialmente. Ma, se si tratta di considerare un ecosistema, bisogna farlo in tutti i suoi aspetti. Se ad esempio si volesse costruire un edificio che garantisca la corretta ventilazione e il mantenimento delle temperature medie interne ottimali ispirandosi ai termitai, lo si può fare, di fatti esistono già i così detti "buffer space", ma non si può imitare anche la gerarchia delle termiti perché è un'organizzazione ormai ben lontana dalla nostra. Per ritornare al concetto di sostenibilità, è inevitabile chiedersi se la scienza della biomimetica sia uno strumento efficace o meno per un progetto sostenibile. Può esserlo, ma non bisogna trascurare la totalità di un progetto. La biomimetica può influire positivamente sulla sostenibilità di un progetto nel caso in cui in ogni sua fase sia ben presente lo scopo

finale. Un progetto pensato ed ideato ispirandosi ad un organismo naturale in tutto il suo ciclo di vita difficilmente può essere considerato più sostenibile rapportato ad un altro edificio non biomimetico, se è realizzato in modo convenzionale.

4 M. Pedersen Zari, Vijai Matai, "*Biomimicry design inspiration from nature*"
M. Pedersen Zari, "*Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability*"

3.3 i campi di applicazione della biomimetica

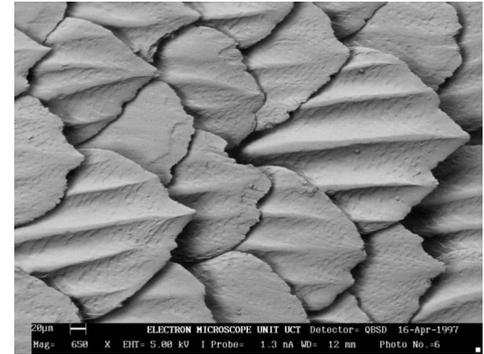
Nella breve linea del tempo sull'origine e diffusione della biomimetica, è evidente che la sua affermazione in maniera più concreta e coerente con la definizione fornita da Schmitt sia avvenuta nel XXI secolo e sia in continua scoperta. Rispetto all'origine, gli strumenti e le tecnologie attuali consentono di studiare e sperimentare questa "nuova" scienza, favorendo lo sviluppo innovativo. È un'innovazione che abbraccia numerosi campi che spaziano dalla medicina, all'ingegneria, al packaging.

Di seguito sono riportate alcune riproduzioni artificiali di tecnologie esistenti nel mondo naturale, suddivise per campi tematici.

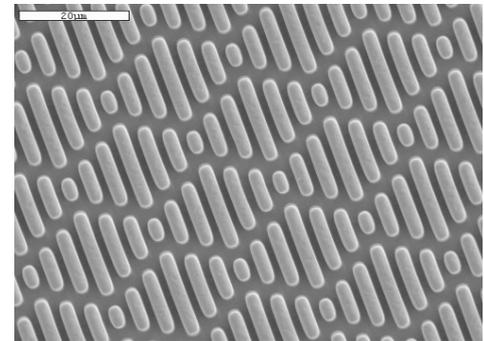
Medicina

Si è osservato che il mondo marino nasconde affascinanti segreti. In particolare, gli squali sono di ispirazione nella loro totalità. Nonostante la sua attività subacquea non sia particolarmente veloce, è un essere la cui pelle non accumula alghe ed altri depositi superficiali, grazie alla particolare struttura costituita da una serie di piccoli denticoli. I ricercatori hanno riprodotto artificialmente la struttura della pelle dello squalo in scala microscopica creando un film adesivo, “Sharklet”, da poter essere utilizzato in ambienti ospedalieri, in cui è necessaria un’igiene assoluta.

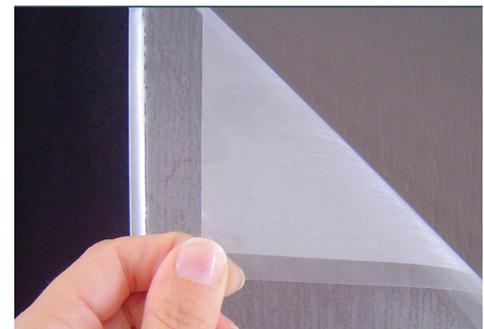
Ancora in fase di sperimentazione, dalla lampada di mare, un esemplare dal corpo cilindrico e allungato, si è arrivati ad ideare un piccolo robot capace di “nuotare” all’interno del corpo umano per scopi medici. Di fatti, se dovesse funzionare come previsto, il robot sarebbe capace di individuare tumori, coaguli di sangue ed altri principi di malattie.



Pelle dello squalo osservata al microscopio.
fonte: www.science101.com



Riproduzione artificiale della struttura della pelle dello squalo
fonte: www.cnn.com



Film adesivo “Sharklet”
fonte: www.cnn.com

Ingegneria

Il Giappone è la patria dei treni high-tech ad alta velocità. Tuttavia lo spostamento dell'aria produce un un potente rumore e, rapportato alla velocità, è sempre più forte. Le vibrazioni del suono possono portare alla rottura la struttura del treno, specialmente se leggera. Questo problema ha portato gli ingegneri giapponesi a confrontarsi con il mondo naturale per trovare una soluzione. Arriva dall'uccello pescatore. La conformazione del becco gli consente di tuffarsi in acqua producendo un suono limitato. La forma è stata similmente riprodotta nella testa dei treni e ciò ha permesso di ridurre notevolmente le vibrazioni, oltre che il consumo di energia.



Treno ad alta velocità
fonte: www.osakastation.com

Uccello pescatore
fonte: www.istockphoto.com

Gli elicotteri morfologicamente si ispirano alle libellule. La loro leggerezza li facilita nel volo. Ma l'atterraggio è una fase ancora da risolvere funzionalmente dato che necessitano di ampie superfici piane.

Continuando ad osservare il comportamento delle libellule, si è arrivati a realizzare un prototipo la cui base è costituita da quattro "zampe" metalliche in grado di facilitare la fase di atterraggio in superfici con dislivelli e irregolari.

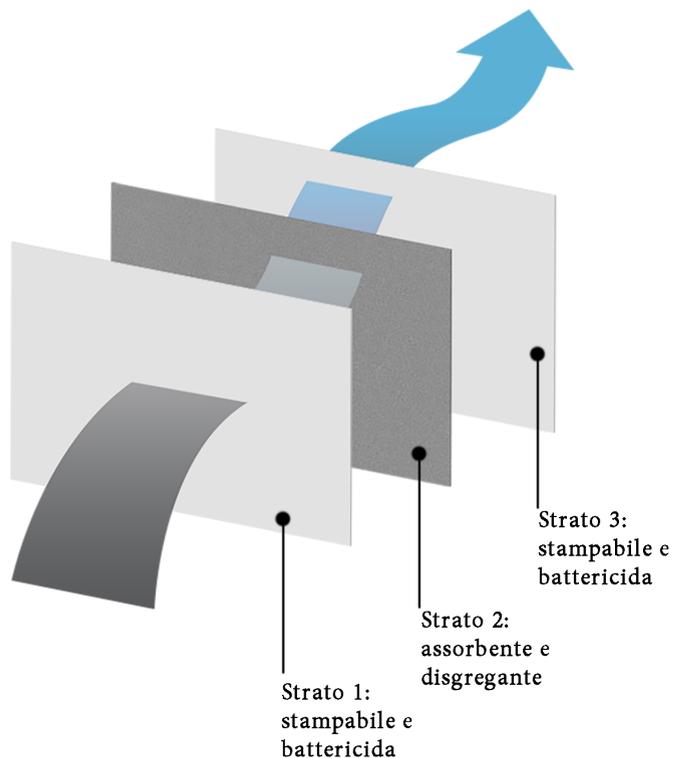


Libellula
fonte: www.fotocontest.it

Prototipo elicottero
fonte: www.aerospace.aiaa.com

Edilizia

Ispirandosi al processo della fotosintesi, un'azienda con sede a Milano ha creato un tessuto in grado di immagazzinare inquinanti presenti in ambiente (composti organici volatili, idrocarburi policiclici aromatici, ossido di azoto, ossido di zolfo) e disgregarli. Il tessuto "theBreath" ha tre strati: uno strato frontale stampabile, battericida e traspirante, uno strato centrale caratterizzato da una cartuccia carbonica che assorbe, trattiene e disgrega le molecole inquinanti e i cattivi odori; un terzo strato con le stesse caratteristiche del primo.¹



Con la limitata efficacia di sei mesi in ambienti esterni, i teli cattura-smog non sono adatti per utilizzi permanenti, ma si prestano perfettamente al rivestimenti di cantieri o allestimenti di cartelloni pubblicitari, come già sperimentato a Londra, Bruxelles, Milano e Roma.

In termini numerici, un telo da cantiere esposto per un anno, catturerebbe approssimativamente le emissioni inquinanti prodotte da circa oltre 409 mila vetture.

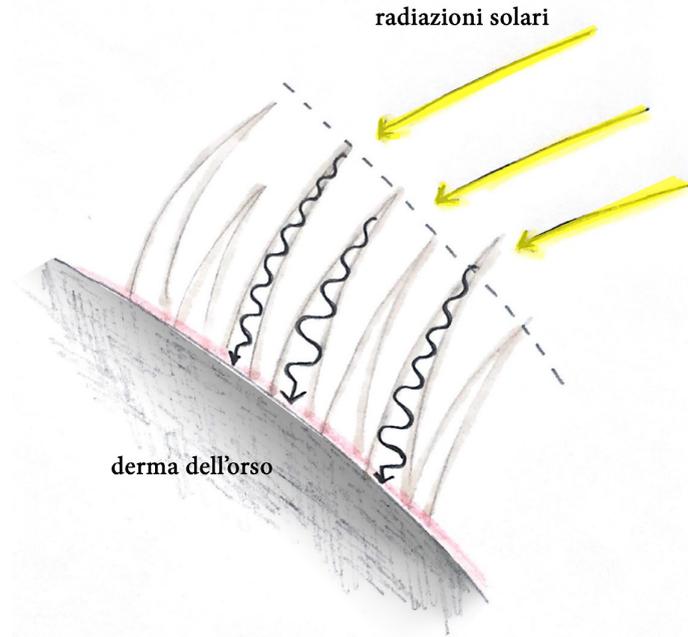
Il "lotus effect" è la funzione di autopulirsi grazie all'idrofobicità. Prende il nome dalla foglia di loto

che, con la sua conformazione respinge la sporcizia e la presenza di una patina cerosa, consente all'acqua di scivolare, pulendo la superficie. È un meccanismo che è stato riprodotto ed impiegato per diversi scopi. Esistono pitture ed intonaci applicati sulle facciate degli edifici così da renderle capaci di autopulirsi e rimanere asciutte. Così come sono state create soluzioni idrofobe che vengono applicate sul vetro, ma anche su tessuti e coperture.

¹ Sintesi testo e rielaborazione figura tratte da www.thebreath.it

Contrariamente dall'immaginario comune, la pelliccia degli orsi polari non è bianca. Non ha colore, è trasparente e quello che l'occhio umano percepisce è unicamente una riflessione e rifrazione della luce solare. Se osservato al microscopio, il pelo ha una struttura tubolare che facilita la trasmissione di calore alla pelle dell'orso e, al contempo, ne impedisce la dispersione.

L'architetto tedesco Thomas Herzog ha trovato un sistema per imitare la capacità isolante dell'orso polare e applicarla nell'edilizia. Negli anni Novanta ha brevettato un sistema tecnologico che ha nominato TWD Transluzente Waerme Daemmung. Si tratta di un isolante formato da sottili cavi in polycarbonato che consente di immagazzinare la luce solare e gradualmente immetterla in un ambiente interno. Come se fosse un cappotto esterno ma con una duplice funzione. L'architetto ha applicato questa tecnologia in uno collegio di Windberg ed è stato dimostrato che durante le ore notturne la temperatura interna è costante a 20°C.²

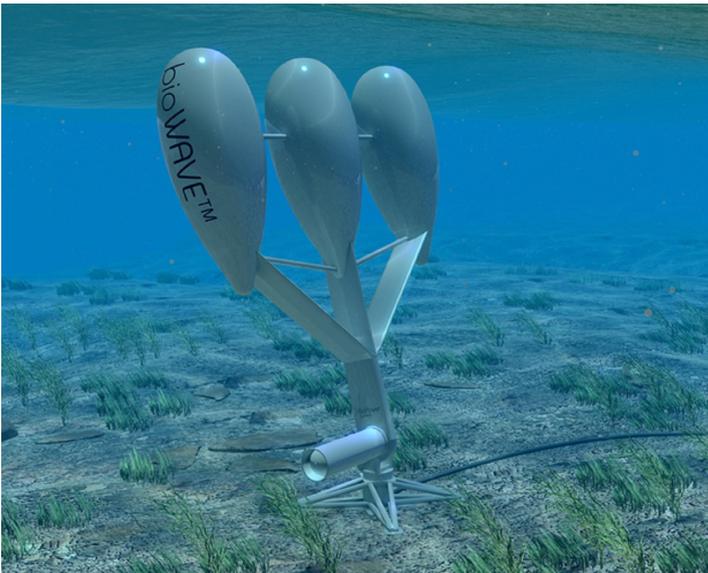


Pannello isolante
fonte: www.stylepark.com

² T. Herzog (1988), "Vom inn des details", Arcus, 3, Rudolf Muller Verlag
www.wikipedia.it

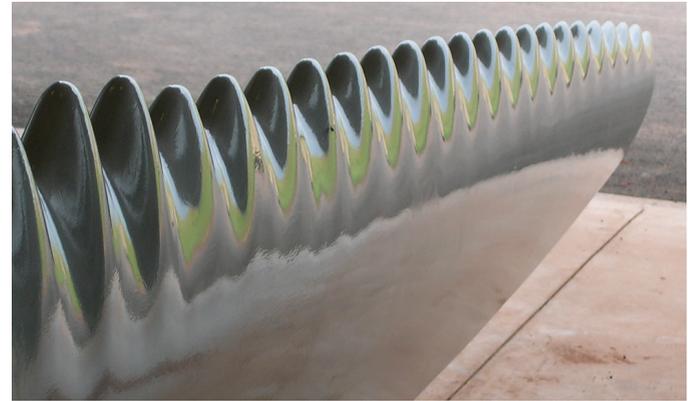
Energia da fonti rinnovabili

Ribadendo che il mondo marino nasconde segreti inimmaginabili, questa volta l'attenzione si sposta sulle alghe. Il moto oscillatorio consente loro di muoversi senza spezzarsi, nonostante le forti correnti del mare. Considerando che ogni corpo in movimento produce energia, ricercatori australiani hanno progettato un sistema che, sfruttando le correnti marine, genera energia cinetica, proprio come le alghe. La struttura è molto semplice: una base triangolare sorregge un corpo centrale da cui si diramano tre pale cilindriche che emergono appena dalla superficie dell'acqua. Le pale sono incernierate al corpo centrale ma hanno libertà di movimento e ruotano in base alla potenza e direzione delle correnti, producendo energia. L'energia cinetica viene poi, tramite un modulo di conversione, trasformata in energia elettrica e trasportata sulla terra ferma. La tecnologia prende il nome di "bioWAVE" e permette di utilizzare una fonte rinnovabile per produrre energia elettrica.



BioWawe
fonte: www.steemhunt.com

Le balene, nonostante le dimensioni, sono agili e capaci di compiere grandi salti. Il loro segreto è nelle pinne ondulate. Le note leggi della fisica dichiarano che tutto ciò che non fa attrito, e quindi le superfici lisce, è aerodinamico. Sembra, però, che le pinne delle balene non seguano tale principio, eppure funzionano perfettamente. Il loro funzionamento ha incuriosito lo scienziato Frank Fish, il quale ha approfondito la questione. “Le pinne sono dotate di una striscia di bozzoli chiamati tubercoli tra i quali l’acqua crea una serie di mulinelli e turbolenze che favoriscono la portanza e diminuiscono la resistenza dell’acqua. Così le balene sono in grado di eseguire scattanti cambi di direzione, rapide svolte a 180 gradi e altri vistosi movimenti che sorprendono chi li osserva”, così è spiegato nella rivista Focus. Lo scienziato ha tradotto questa peculiare conformazione in pale eoliche, fondando l’azienda “Whale Power”. Queste pale hanno un vantaggio rispetto alle già esistenti in commercio: sono efficaci anche in presenza di venti deboli.



Pinna di balena e pala eolica
fonte: www.whalepowercorporation.it

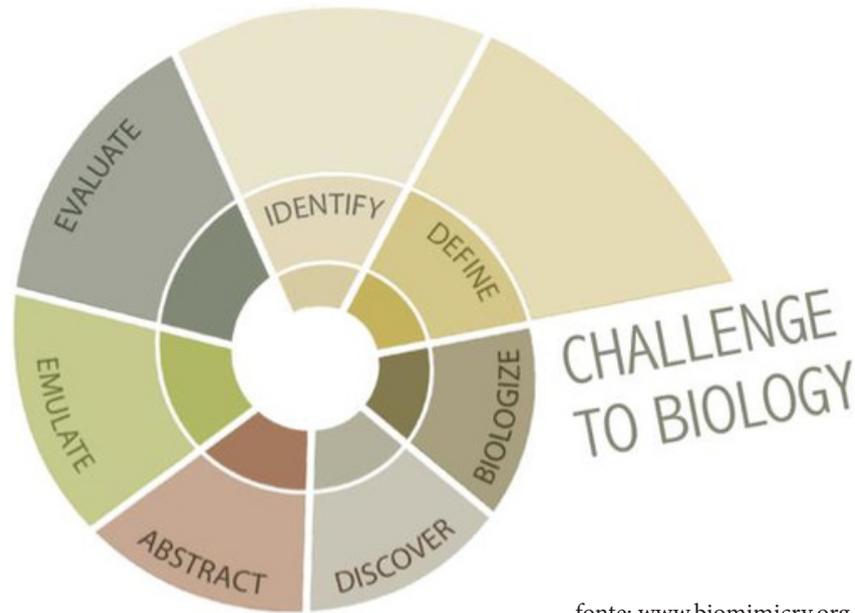
Tutti gli esempi sono stati tradotti e rielaborati da:
www.marinesignht.com
www.alsolitoposto.wordpress.com
www.ediltecnico.it
www.greenme.it
www.science101.it

3.4 l'approccio biomimetico in architettura in risposta al cambiamento climatico

Nei precedenti esempi è stato illustrato come la biomimetica possa tradurre gli insegnamenti della natura in applicazioni artificiali al fine di promuovere la sostenibilità. Ma la biomimetica gioca anche un ruolo molto rilevante nel quadro attuale. La sfida che questa scienza si propone di superare è la creazione di prodotti, servizi o sistemi in contrasto con il cambiamento climatico attraverso due modi: aiutare la società ad adattarsi o mitigare gli impatti che esso ha; rallentarlo catturando e disgregando i gas a effetto serra presenti in ambiente.

La biologa Janine Benyus, nel suo programma Biomimicry 3.8, individua alcune linee guida per una progettazione che segue la biomimesi. Si tratta di un processo a spirale poiché i vari passaggi possono essere ripresi più volte al fine di rispondere correttamente ai principi della biomimetica. La biologa ribadisce il concetto di armonia e coesistenza tra il progetto biomimetico e la Terra, poiché le risorse disponibili sono limitate.

La spirale è scandita da sette differenti fasi, tutte strettamente connesse tra di loro.



fonte: www.biomimicry.org

Identify: identificare il problema che si vuole risolvere, la funzione che si vuole progettare

Define: Definire il contesto in cui si interviene. Il contesto può comprendere condizioni ambientali, sociali, economiche, risorse, condizioni temporali

Biologize: riformulare la funzione e il contesto nel linguaggio biologico. Domandarsi come la natura affronta una determinata sfida

Discover: imparare ad osservare e trovare le strategie utili che gli organismi e i sistemi in natura utilizzano per superare le sfide

Abstract: una volta individuata la soluzione naturale, tradurla in soluzione artificiale

Emulate: emulare i vari aspetti (forma, funzione, sistema) di uno o più organismi, considerando sempre il contesto

Evaluate: la progettazione biomimetica ha come scopo quello di creare tecnologie sostenibili che beneficino l'ambiente. Quest'ultima fase permette al progettista di capire se il prodotto finale è coerente con i principi della biomimetica

Seguendo le linee guida del Biomimicry Institute, vengono riportati alcuni tra gli esempi biomimetici più significativi nel campo architettonico, ponendo il riflettore su differenti temi con i quali le architetture si relazionano.

Acqua

Trovandosi in un contesto climatico arido come quello sud africano, con precipitazioni quasi assenti, l'architetto Matthew Parkes si è interrogato in che modo poter recuperare l'acqua da utilizzare nel polo universitario di Namibia. La risposta naturale arriva da una piccola creatura che vive nel deserto. Il coleottero delle nebbie abita principalmente sotto lo strato superficiale della sabbia ed emerge solo nei momenti umidi.

Le correnti fredde ed umide del Bengala incontrano nel deserto l'aria calda, creando costantemente umidità. Questa particolare condizione atmosferica ha portato il coleottero a sviluppare una conformazione e un comportamento unici nel suo genere. L'acqua di condensa che si crea sulle elitre è intrappolata in un labirinto di sporgenze idrofile e lisce superfici idrofobe. Inoltre, il coleottero, grazie alle zampe posteriori, inclina il corpo per poter dirigere le gocce

d'acqua direttamente verso la bocca, idratandosi.

L'architetto americano ha progettato un'alta struttura leggermente convessa su cui ha collocato una serie di reti in nylon che raccolgono l'acqua condensata. Quando la rete è satura d'acqua, la gravità, aiutata dalla forma curva della struttura, fa scivolare le gocce alla base, in cui sono presenti dei canali di raccolta. Il percorso si conclude in apposite cisterne in cui l'acqua è depositata per poi essere utilizzata all'interno dell'edificio.

Lo stesso identico principio è applicato a Lima, in Perù, dove nelle famiglie povere scarseggia la disponibilità di acqua. Grandi teli di nylon sorretti da una struttura metallica sono posizionati sulle colline peruviane. L'acqua raccolta nelle cisterne è sufficiente a soddisfare i bisogni della popolazione.¹

¹ Sintesi e rielaborazione tratte da:

www.wikipedia.it

www.biomimicry.org

www.slideshare.net

www.asknature.org/strategy



In ordine:

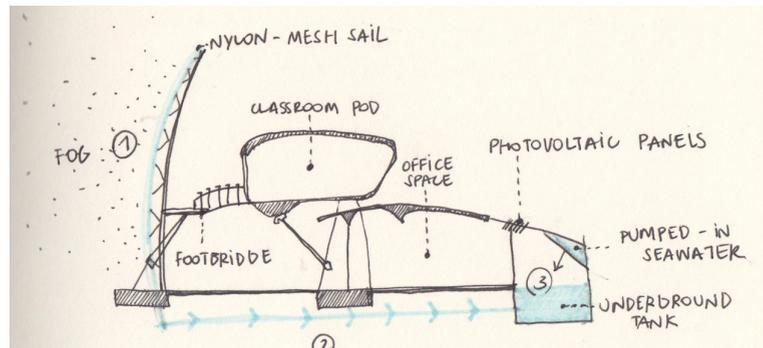
Illustrazione del funzionamento raccolta acqua del coleottero delle nebbie

Foto del coleottero delle nebbie nel deserto

fonte: www.asknature.org

Illustrazione concettuale del progetto di Matthew Parkes, Hydrological Center of the University of Namibia

fonte: www.nocloudinthesky.com



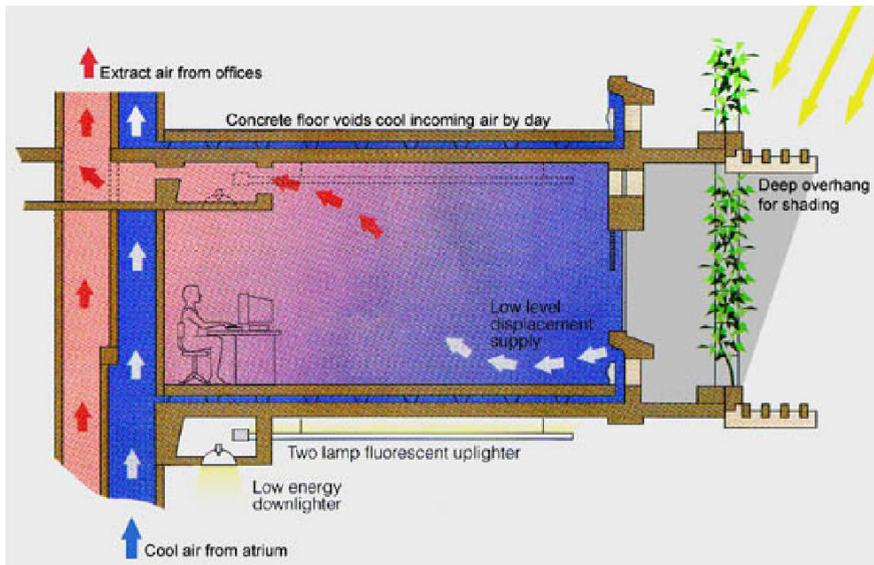
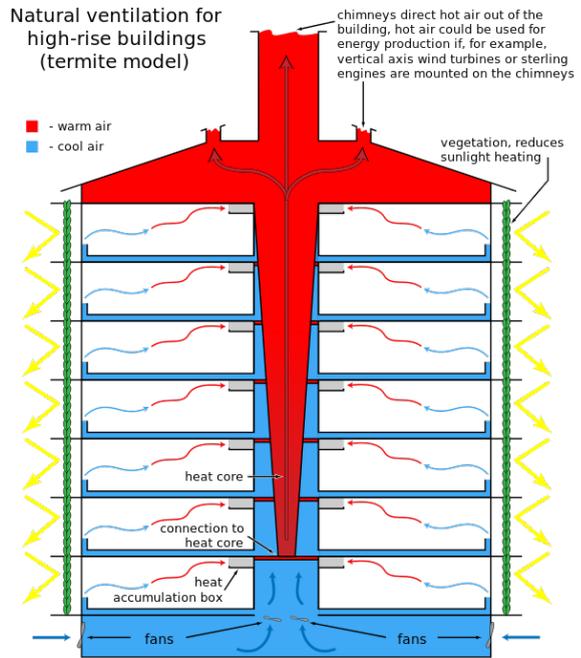
Nell'edilizia, il 40% di energia viene impiegato per il riscaldamento e il raffreddamento di un edificio.

L'architetto sudafricano Mick Pearce, in collaborazione con Arup Group, ha ingegnato un meccanismo per ventilare naturalmente un edificio. L'ispirazione arriva da uno dei più grandi architetti esistenti: la termite. Le termiti sono lunghe meno di un centimetro ma sono dotate di un'intelligenza straordinaria, tale da essere stata oggetto di ricerca per l'università di Harvard e il Massachusetts Institute of Technology. Insetto sociale con una gerarchia ben definita, costruisce il termitaio con fango, scarti e collante autoprodotta. Il termitaio ha una struttura altamente complessa, in cui ogni elemento è ben dimensionato e ha uno scopo preciso. Le spesse pareti perimetrali avvolgono e isolano un nucleo centrale dal quale si diramano tunnel che sfociano in strutture a contrafforte situate lungo il perimetro. Di giorno l'aria calda esterna penetra da apposite fessure create alla base del termitaio e risale attraverso il condotto centrale fuoriuscendo dalle canne fumarie, mentre quella fresca scende, generando un sistema di ventilazione passivo. Di notte l'aria calda carica di anidride carbonica viene espulsa garantendo comfort termico all'interno.

Le termiti riescono a mantenere una temperatura costante grazie anche alla regolazione delle aperture collocate in cima.

Dopo aver capito il meccanismo che utilizzano le termiti per la ventilazione passiva, l'architetto Pearce ha trasformato in artificiale la tecnologia naturale, progettando l'Eastgate Building ad Harare. Due edifici in calcestruzzo posti l'uno frontalmente all'altro e collegati tramite una tettoia in vetro consentono di risparmiare il 35% di energia rispetto a sei edifici con ventilazione meccanica tradizionale, ad Harare. Lo spazio centrale tra i due edifici favorisce la circolazione dell'aria, che viene immessa nell'ambiente interno tramite trentadue ventilatori alla base. L'aria arriva nei sette piani passando per condotti che si trovano sia in corrispondenza delle pareti interne delle stanze, sia di quelle esterne. Ciò consente all'aria calda di risalire verso l'alto e all'aria fresca di raffreddare l'ambiente, conservando una temperatura costante. L'aria calda continua il suo percorso fino a sboccare dai quarantotto camini presenti in cima all'edificio.

In termini economici è stato dimostrato che l'edificio ad uso commerciale ha risparmiato, dalla sua costruzione, 3,5 milioni di dollari. Più importante però, la sostenibilità di quest'ultimo: con una ventilazione passiva ha eliminato le emissioni in ambiente causate dagli impianti



Schemi della ventilazione passiva all'interno dell'Eastgate Building di Harare
 fonte: www.mickpearce.com
www.wikiwond.it

Sole

“The Esplanade” si trova a Singapore ed è un complesso che ospita una sala concerti e un teatro con una capienza, rispettivamente, di 1800 e 2000 persone, oltre ad altri due teatri minori, negozi ed uffici. Inaugurato nel 2002 e progettato da DP Architects, in collaborazione con Michael Wilford & Partners di Londra viene spesso nominato “the durian” per la sua evidente forma simile al frutto asiatico.

Le due cupole dell'edificio presentano una pelle costituita da una ripetizione di triangoli in acciaio color champagne che ricoprono il sistema vetrato sottostante. Forma e inclinazione dei triangoli sono studiati per proteggere l'edificio dalle radiazioni dirette, riducendo anche la superficie esposta al sole. Questa tecnologia è utilizzata da numerose specie vegetali che vivono in ambienti caldi, proprio come il frutto durian. L'edificio non solo gode di un'ottimo sistema di ombreggiamento, ma è anche perfettamente illuminato in modo naturale, di fatti è stato calcolato una riduzione del 55% dell'illuminazione artificiale durante le ore diurne.

Di sera, un gioco di luci e riflessi contraddistingue l'edificio, rendendolo un *landmark* per la città di Singapore.³



³ Traduzione e sintesi tratte da:
www.dpa.com.sg
www.foxlin.com



In ordine:

Foto ambiente interno dell'edificio "The Esplanade"
fonte: www.exposures.wordpress.com

Foto notturna
fonte: www.dpa.com

Terra

Nelle vicinanze di Mac Gilvra Park di Seattle, circondato dagli alberi, lo studio di architettura Miller Hull Partnership, commissionato da Bullit Foundation, ha realizzato un vero e proprio albero artificiale. “The Bullit Centre”, infatti è progettato emulando il funzionamento di un albero. Alla sua base sono presenti ventisei sonde geotermiche che arrivano fino a 120 metri sotto terra, come radici di un albero, raccolgono calore dal sottosuolo. Il calore accumulato riscalda l’acqua che circola negli impianti, riducendo il consumo elettrico delle pompe di calore. Inoltre, l’acqua utilizzata nell’edificio di sei piani è completamente acqua pluviale raccolta dalla copertura, stoccata in una cisterna con capienza di 210.000 litri, filtrata e distribuita per essere utilizzata negli scarichi o per irrigare, ma è anche potabile. Grazie a questo sistema di recupero, l’edificio ha ottenuto il premio di “Net-Zero Water”, poiché non utilizza altra acqua se non quella di raccolta. Il tutto è coronato da una folta chioma di pannelli fotovoltaici in copertura. Più di cinquecento pannelli producono 242 kW annui, rendendo autosufficiente il “Bullit Center”.

L’edificio ha ottenuto la certificazione di “Living Building Challenge” sia per essere passivo, sia per l’utilizzo di materiali naturali, riciclabili e locali.

La sostenibilità dell’edificio è anche intesa in termini economici. Il costo totale è stato doppio rispetto

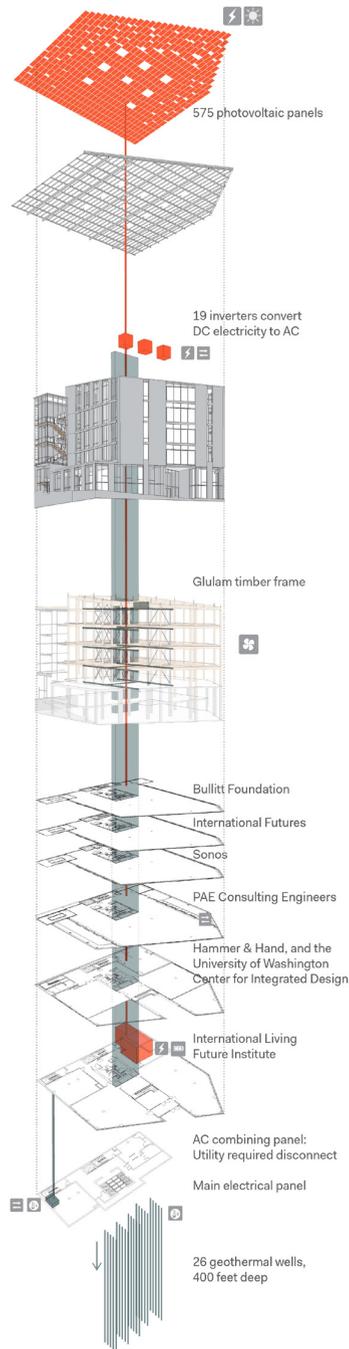
ad un edificio convenzionale, ma la sua vita utile è quattro volte maggiore, ciò consentirà di guadagnare un ritorno economico nel tempo, dovuto al risparmio energetico totale.⁴

⁴ Traduzione, sintesi e rielaborazione tratte da:

www.green.it

www.millerhull.com

www.bullitcenter.architecturemagazine.com



“The Bullitt Center” funzionalmente coerente con il contesto
 fonte: www.modulo.net



I materiali e i tessuti utilizzati all'interno richiamano gli elementi naturali
 fonte: www.djc.com

Diagramma concettuale del funzionamento dell'impianto di estrazione calore
 fonte: www.bullittcenter.architecturemagazine.com

Simbiosi

La parola simbiosi deriva dal greco “*συμβίωσις*”, in cui “*σύν*” vuol dire “con” e “*βίωω*” significa “vivere”.⁵ In biologia il termine è utilizzato per indicare una convivenza tra diverse specie di organismi, siano essi vegetali o animali. In senso figurato, vivere in simbiosi significa essere in stretta connessione, accomunati da scopi e interessi reciproci.

È un concetto ampiamente analizzato e approfondito in Danimarca, dove a partire dagli anni Sessanta si è iniziato a mettere in pratica il sistema di simbiosi industriale.

Il sistema simbiotico è complesso nel suo genere e richiede tempo per essere attuato. Sono stati individuati principalmente tre livelli su cui si basa: livello pratico; livello politico; livello personale. Differentemente dai primi due, il livello personale è quello più influente.

La mentalità e il modo di agire di un insieme di figure è fondamentale per attuare un cambiamento. La transizione principale deve avvenire da una visione egocentrica, con gli interessi personali al primo posto, a una visione eco-centrica, a favore degli interessi della comunità.

A Kalundborg, città portuale danese, l'esigenza comune di individuare nuove soluzioni di approvvigionamento idrico ha mosso diverse aziende verso una nuova visione. Sei imprese geograficamente

vicine (un impianto di produzione di energia elettrica, una raffineria di petrolio, una società biotecnologica, una società di prodotti da costruzione, una società di gestione dei rifiuti e il Comune) hanno dato via a una collaborazione per quanto riguarda la gestione dell'energia, creando nel 1996 il “Kalundborg Symbiosis Center”.

Con gli anni la simbiosi industriale ha interessato sempre più soggetti, fino a coinvolgere dodici aziende che pongono al centro della loro vision un'economia circolare, proprio come accade in natura. La connessione interessa scambi di energia, riciclaggio dell'acqua e recupero di materiali.

Dati scientifici dimostrano che a Kalundborg si è arrivati a ridurre le emissioni annuali di CO₂ di circa 275 mila tonnellate e a risparmiare 80 milioni di euro.⁶

⁵ Definizione tratta da www.treccani.it

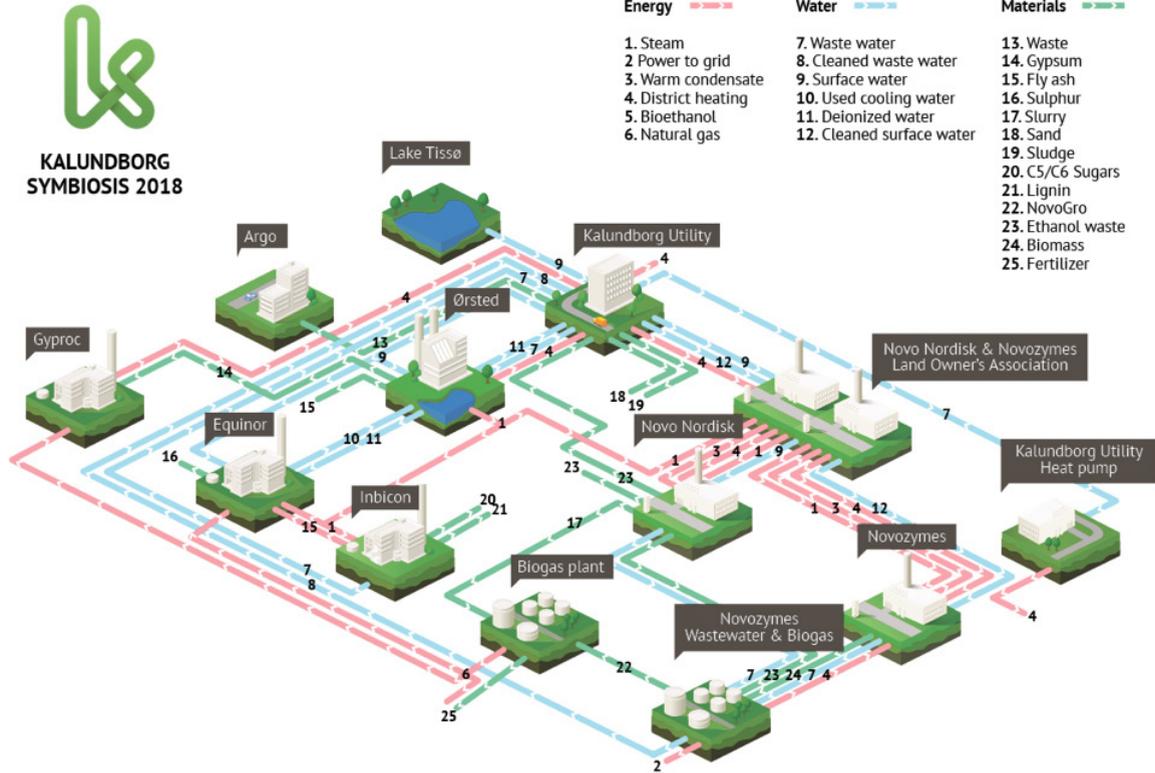
⁶ Traduzione e sintesi tratte da:

www.it.euronews.com

www.symbiosis.dk

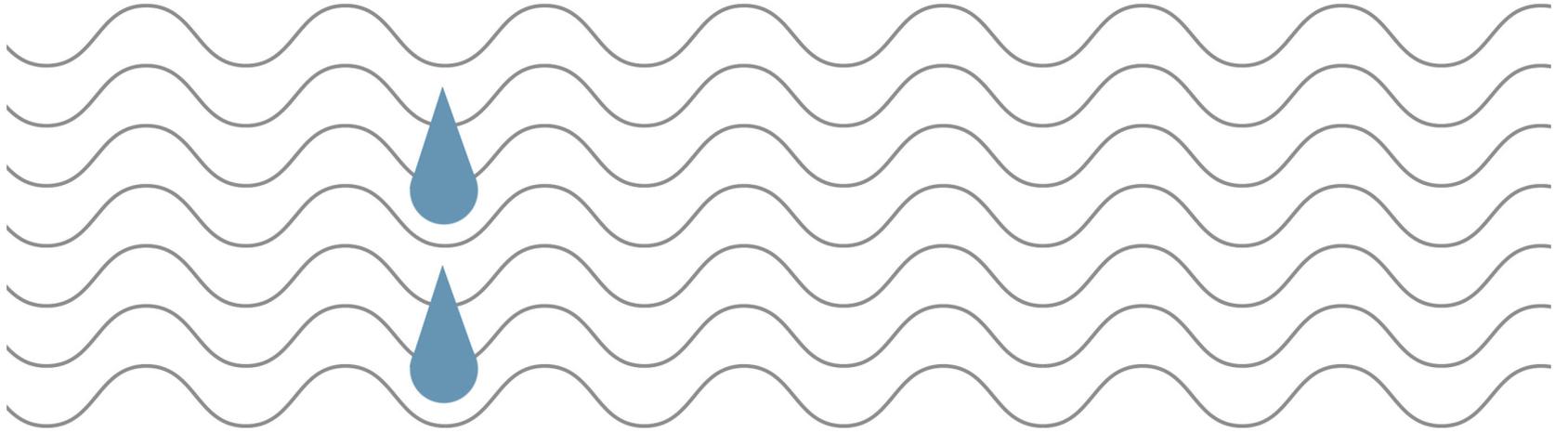
www.symbiosecenter.dk

www.lospiegone.com



Schema dei percorsi di riciclo energia, acqua e materiali tra le diverse imprese
 fonte: www.symbiosis.dk

Sebbene non rientri in un progetto architettonico ma riguardi più un progetto di business, la simbiosi industriale crea numerosi vantaggi economici e soprattutto riduce l'emissione di inquinanti in ambiente. Può simboleggiare un punto di riferimento per essere anche applicato in una scala più piccola, quella architettonica.



4. applicazione progettuale

Il punto di incontro tra i due macro argomenti (cambiamento climatico e biomimetica) è proprio nel progetto architettonico, nel momento in cui la biomimetica è al servizio dell'architettura per mitigare gli effetti del cambiamento climatico, in alcuni casi e ridurre lo spreco di energia e risorse in altri.

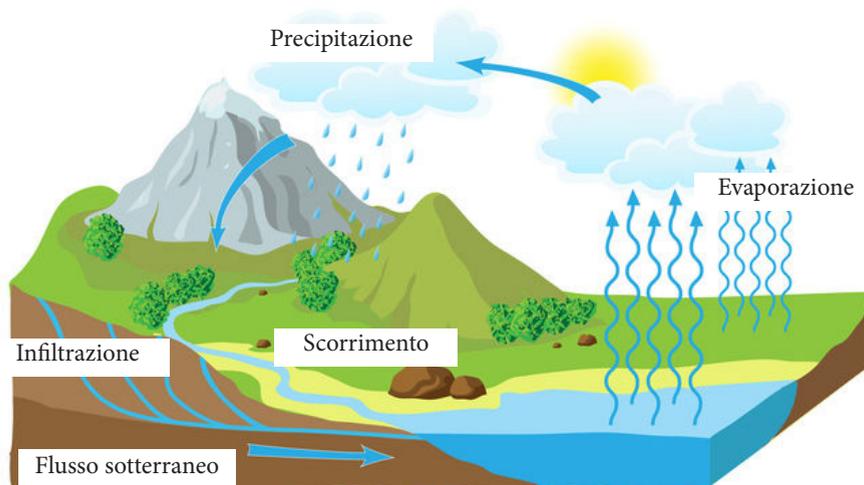
Per l'applicazione progettuale si è preso in considerazione la spirale della biologa Benyus, "challenge to design", partendo da un obiettivo, un problema, un'esigenza per poi arrivare al disegno di un prodotto che possa rispondere a quella che viene definita "challenge".

4.1 Challenge to design

IDENTIFY & DEFINE

La questione che ho deciso di approfondire nel disegno del progetto architettonico è l'emergenza acqua. Apparentemente può sembrare una risorsa illimitata, ma con il susseguirsi degli effetti del cambiamento climatico combinato alla scorretta gestione, l'acqua presente nel Pianeta risulta essere sempre meno.

Il ciclo della distribuzione dell'"oro blu del terzo millennio"¹ è complesso, ma si può sintetizzare seguente lo schema:



¹ Definizione che utilizza Giulio Conte per definire l'acqua nel suo libro "Nuvole e sciacquoni" pubblicato nel 2008

Si parte da una fonte di acqua (che sia mare, lago, fiume) che viene riscaldata dal Sole. Evaporando ed essendo trasportata dalle correnti, l'acqua evaporata incontra temperature più fredde e crea condensa. Si generano così le precipitazioni atmosferiche. L'acqua viene in parte immagazzinata nei ghiacciai, in parte si accumula nei laghi, in parte si verificano infiltrazioni nel sottosuolo, alimentando gli acquiferi e in parte ritorna alla fonte, creando un ciclo continuo.

Trattandosi di un ciclo continuo, si può erroneamente associare l'acqua ad una risorsa perenne. Approssimativamente, però, si è quantificata la quantità di acqua presente ed è meno di 1,5 milioni di chilometri cubi. Di questa cifra, solo il 2,5% corrisponde alle acque dolci. Ad ogni individuo è associata una quantità di acqua annuale fornita dalle piogge ed è di circa 7000 metri cubi. Un dato abbondante, viene da pensare, ma non essendo omogeneamente distribuito, per il 35% della popolazione c'è un'insufficienza della risorsa e quasi l'8% è in condizioni di grave scarsità.

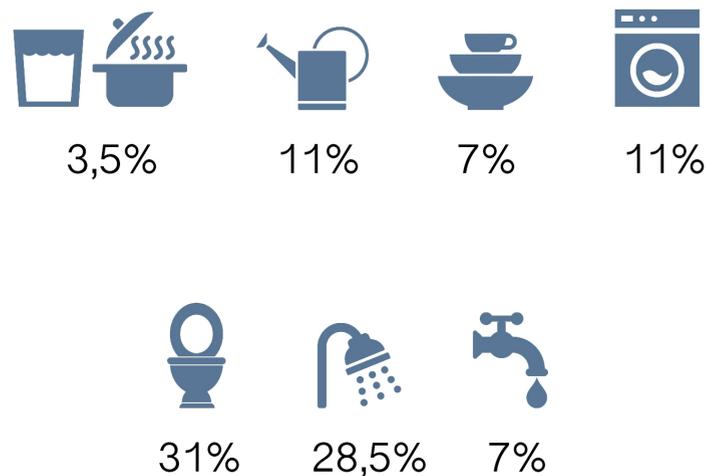
Localizzando la questione in Italia, sono 52 miliardi di metri cubi le risorse idriche disponibili, più di 750 metri cubi annui per abitante. Statisticamente rapportato ad altri paesi europei, è un consumo considerevole, specialmente per quanto riguarda il settore agricolo, che ne impiega 50%. Secondo posto, a pari merito, per l'uso civile e industriale: 19%.

Questo susseguirsi di dati per comunicare che nonostante la quantità disponibile di acqua sembri abbondante, in realtà il consumo della risorsa è superiore alla disponibilità. Di fatti, secondo la Relazione annuale al Parlamento sullo stato dei servizi idrici (2006) si sono consumati ben due milioni di metri cubi in più rispetto alla disponibilità annua.

Con quasi il 20% di consumo, l'acqua destinata ad uso

civile copre non solo le abitazioni private, ma anche gli spazi commerciali, gli uffici, le scuole, gli alberghi. La città di Torino occupa i primi posti della classifica dell'utilizzo di acqua, con 200 litri giornalieri a persona. In una abitazione, circa il 60% di acqua viene impiegato per gli scarichi del wc e per l'igiene personale. Un dato che potrebbe essere notevolmente ridotto se apportate alcune piccole accortezze.

Di seguito sono riportati i diversi impieghi medi di acqua in un'abitazione, in percentuale.²



² Le percentuali fanno riferimento ai dati forniti dall'Istat

Il conteso

Nelle classifiche riportate dall'ISTAT (2002-2016) Torino è considerata una delle città con più precipitazioni annue. Si contano infatti 938,1 mm all'anno, seconda solo a Genova per intensità media giornaliera di pioggia. Le piogge torrenziali hanno provocato, negli anni, due alluvioni che hanno segnato la città negli ultimi venticinque anni.³

La combinazione di consumo eccessivo di acqua rispetto alla disponibilità, il cambiamento climatico, le abbondanti precipitazioni sono pezzi che creano un puzzle che definisce il problema e l'esigenza al centro dell'applicazione progettuale: il recupero e utilizzo dell'acqua piovana all'interno di un edificio.

BIOLOGIZE & DISCOVER

Il primo passo che avvicina verso la definizione formale del progetto è l'osservazione e la scoperta di modelli naturali che rispondono all'obiettivo centrale del lavoro, ovvero la gestione dell'acqua.

Nel ricco atlante naturale di AskNature è sufficiente cercare una parola chiave per poter accedere al modo in cui in natura si affrontano determinati problemi. Alcune piante della famiglia delle Bromeliacee sono in grado di raccogliere l'acqua piovana e i nutrienti grazie alla struttura delle loro foglie. È un meccanismo attuato solo da alcuni tipi di piante che non vivono a contatto diretto con i nutrienti necessari e quindi sfruttano l'acqua piovana che consente loro di idratarsi e nutrirsi. Si può considerare quindi un adattamento che nasce da un "problema". Le foglie di queste piante hanno una forma convessa che permette

all'acqua di scivolare verso il centro dove si trova un serbatoio naturale. In una scala più piccola, le foglie presentano anche delle gobbe che consentono di catturare le gocce di acqua più facilmente. Nelle gobbe, inoltre, sono presenti dei peli rivestiti di cera che rendono la superficie idrorepellente. Al centro, il nucleo di raccolta ricco di sostanze nutritive disciolte nell'acqua alimentano la pianta.

Completamente al contrario invece, lavorano le foglie di bambù *Phyllostachys aurea*. Per poter svolgere la fotosintesi le piante hanno bisogno di catturare anidride carbonica attraverso i pori nelle foglie. I pori però, possono essere ostruiti dall'accumulo di acqua piovana, specialmente se la pianta è localizzata in luoghi umidi e ombrosi, come il caso del bambù. Anche in questo caso, similmente alle Bromeliacee, le foglie presentano dei micro peli rivestiti di cera che riducono al minimo l'area di contatto tra l'acqua e la foglia. La forma concava dirige le gocce verso il centro dove è presente un canale completamente idrofobo che consente all'acqua di scivolare.

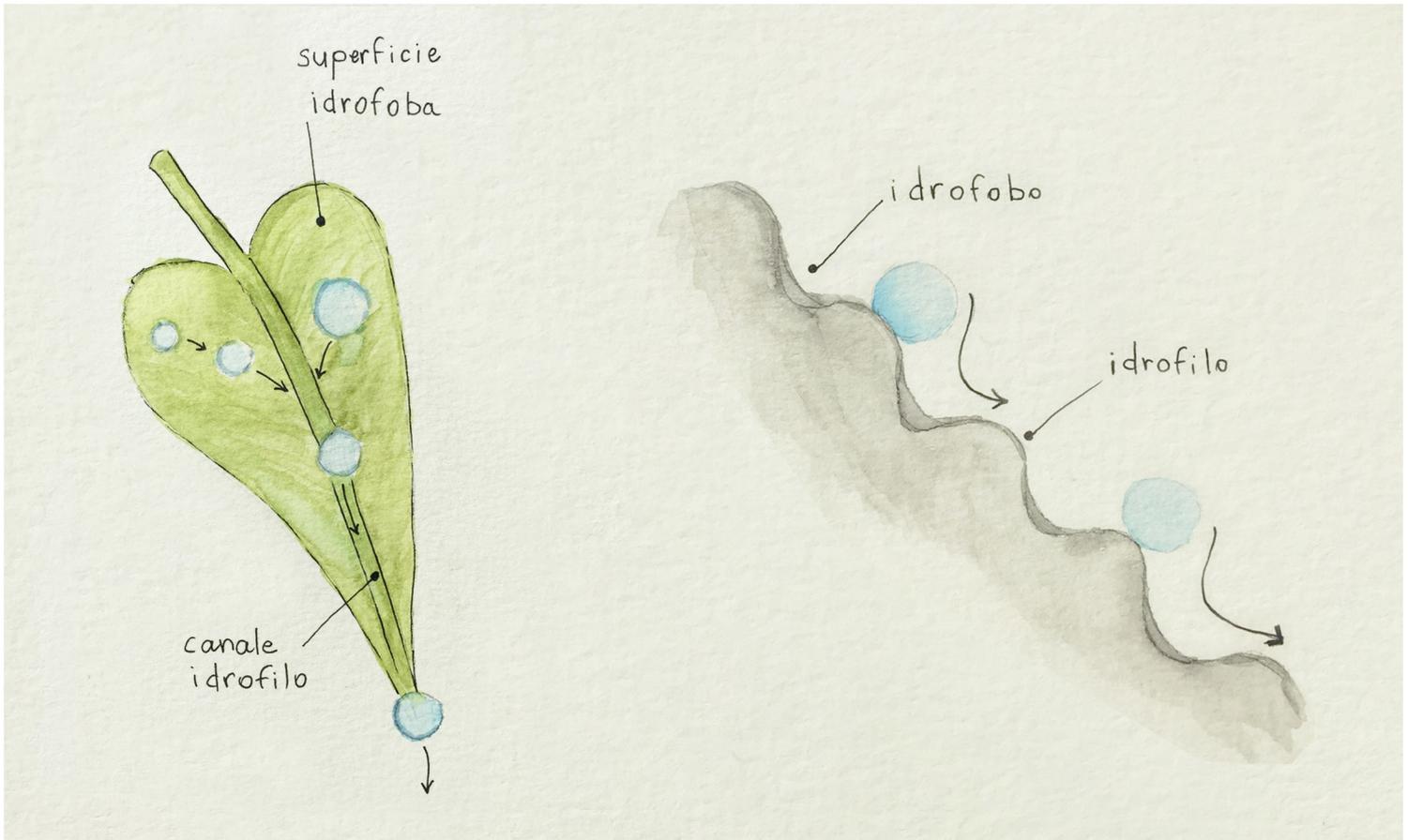
Come già analizzato nel paragrafo 3.4, il coleottero delle nebbie si idrata grazie all'alternanza di sporgenze idrofile e lisce superfici idrofobe presente sulle elitre unendo alla perfezione il comportamento delle due specie di piante sopra citate.

Da qui, la guida ispiratrice dell'applicazione progettuale.

³ Si fa riferimento alle alluvioni che hanno colpito la città di Torino nel 1994 e nel 2000

Tutti i dati fanno riferimento alle seguenti fonti:

www.usgs.gov; www.istat.it; www.arpaItalia.it



ABSTRACT & EMULATE

Sono numerosissimi gli esempi in architettura utilizzati per raccogliere l'acqua meteorica in copertura. Dai semplici tetti spioventi o piani e i tetti verdi che consentono di utilizzare l'acqua all'interno dell'edificio fino ai tetti ad acqua, che creano un sistema solare passivo.

L'idea che ha guidato il progetto è quella di sfruttare non solo una superficie piana di copertura, ma consentire la raccolta dell'acqua anche in facciata, aumentando la superficie utile di raccolta. Per poter concretizzare questo intento, è stato necessario creare un connubio tra i modelli ispiratori naturali nella forma e funzione di una struttura a sé stante, che si collega alla pre esistenza apportando benefici ad essa. In questo caso, la struttura diventa uno strumento per la biomimetica.

Approfondite ricerche hanno portato alla definizione di un materiale che potesse rispondere allo scopo prefissato. La ricerca verteva su un materiale che esistesse già in commercio e che fosse sostenibile, perchè, come già dichiarato più volte, la biomimetica non può considerarsi tale se l'aspetto pratico non risponde all'idea progettuale. Il policarbonato ondulato è il materiale ritenuto più idoneo all'obiettivo. La seconda "pelle" dell'edificio deve essere una struttura metallica distaccata da esso a cui si agganciano dei pannelli modulari in policarbonato ondulato. L'alternanza di superfici concave e convesse del policarbonato, combinata all'inclinazione resa possibile dalla struttura metallica, facilita lo scorrimento dell'acqua verso canali di raccolta che, passando per i pluviali, arriva in cisterne per poi essere distribuita, tramite una pompa, all'interno dell'edificio per diversi utilizzi.

La scelta del materiale

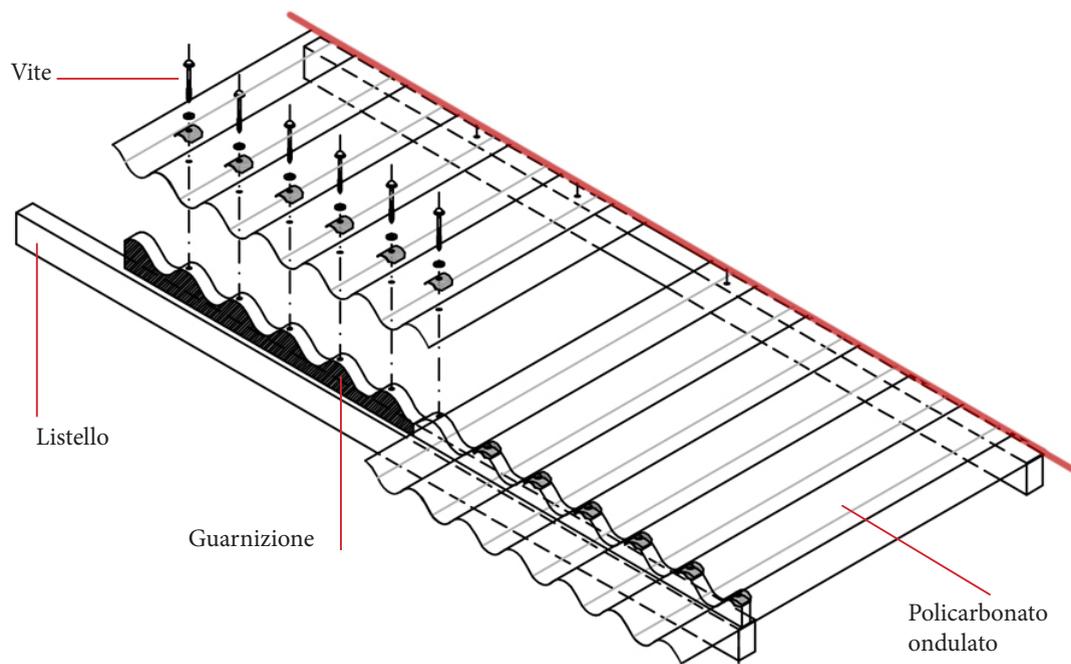
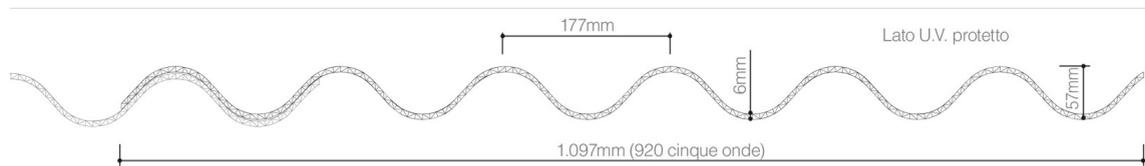
Il policarbonato alveolare ondulato è un tecnopolimero innovativo che viene spesso usato in copertura ma anche in facciata, con tutt'altro scopo, ma si presta molto bene alla funzione di raccolta dell'acqua. La forma ondulata consente, appunto, all'acqua di essere raccolta nei punti convessi e di scivolare quando incontra i punti concavi. Oltre alla gravità dall'inclinazione della struttura, la superficie del policarbonato non è liscia ma leggermente sagomata e questo può facilitare lo scorrimento dell'acqua.

È un materiale estremamente leggero e di facile posa, oltre ad essere resistente agli urti e a sostanze chimiche. Inoltre, la superficie esterna è resistente ai raggi U.V. e, con diversi spessori e colori si riduce notevolmente l'illuminazione diretta permettendo il comfort all'interno dell'edificio e anche il risparmio di energia elettrica nelle ore diurne. Le fasi della trasformazione del policarbonato sono a bassissimo impatto energetico ed ambientale. A fine ciclo di vita, è totalmente riciclabile.

Il policarbonato ondulato selezionato ha uno spessore di 6 millimetri ed una larghezza utile di 1050 millimetri. Nel punto di congiunzione tra due moduli, c'è la sovrapposizione di un'onda. I moduli sono collegati ad una struttura tramite viti. Il punto di collegamento è irrobustito con una guarnizione.⁴

³ Si fa riferimento alle alluvioni che hanno colpito la città di Torino nel 1994 e nel 2000

⁴ Gli allegati tecnici sono visionabili nel capitolo 5, oltre che sul sito www.gallina.it



4.2 Sviluppo progettuale

Contesto urbano

L'edificio che si è preso in considerazione è sito a Torino, nel quartiere Aurora. Il contesto urbano in cui si inserisce è attualmente teatro di radicali trasformazioni e di recupero dei siti industriali manifatturieri che sono stati gradualmente abbandonati dalle grandi compagnie.

Edificato nei primi anni del Novecento come manifattura CEAT, attualmente non presenta una forte identità storica, dovuto sia alla trasformazione della destinazione d'uso originaria sia al degrado causato da anni di stato di abbandono.

Complessivamente la superficie conta circa 2500 metri quadri, distribuiti su cinque livelli, di cui uno interrato. Internamente è presente un cortile.

N.B. Il progetto architettonico è stato disegnato in collaborazione con lo studio di architettura G*AA.





Fotografia dell'edificio, stato di fatto.
Via Pisa angolo Via Perugia

Il progetto

Il progetto architettonico consiste nel ripristinare i prospetti storici, garantendo aperture decisamente più ampie all'edificio, rispetto a quelle attualmente presenti. Da un'analisi contestuale si è arrivati alla definizione della destinazione d'uso, ovvero piccoli moduli residenziali affittabili per brevi periodi.

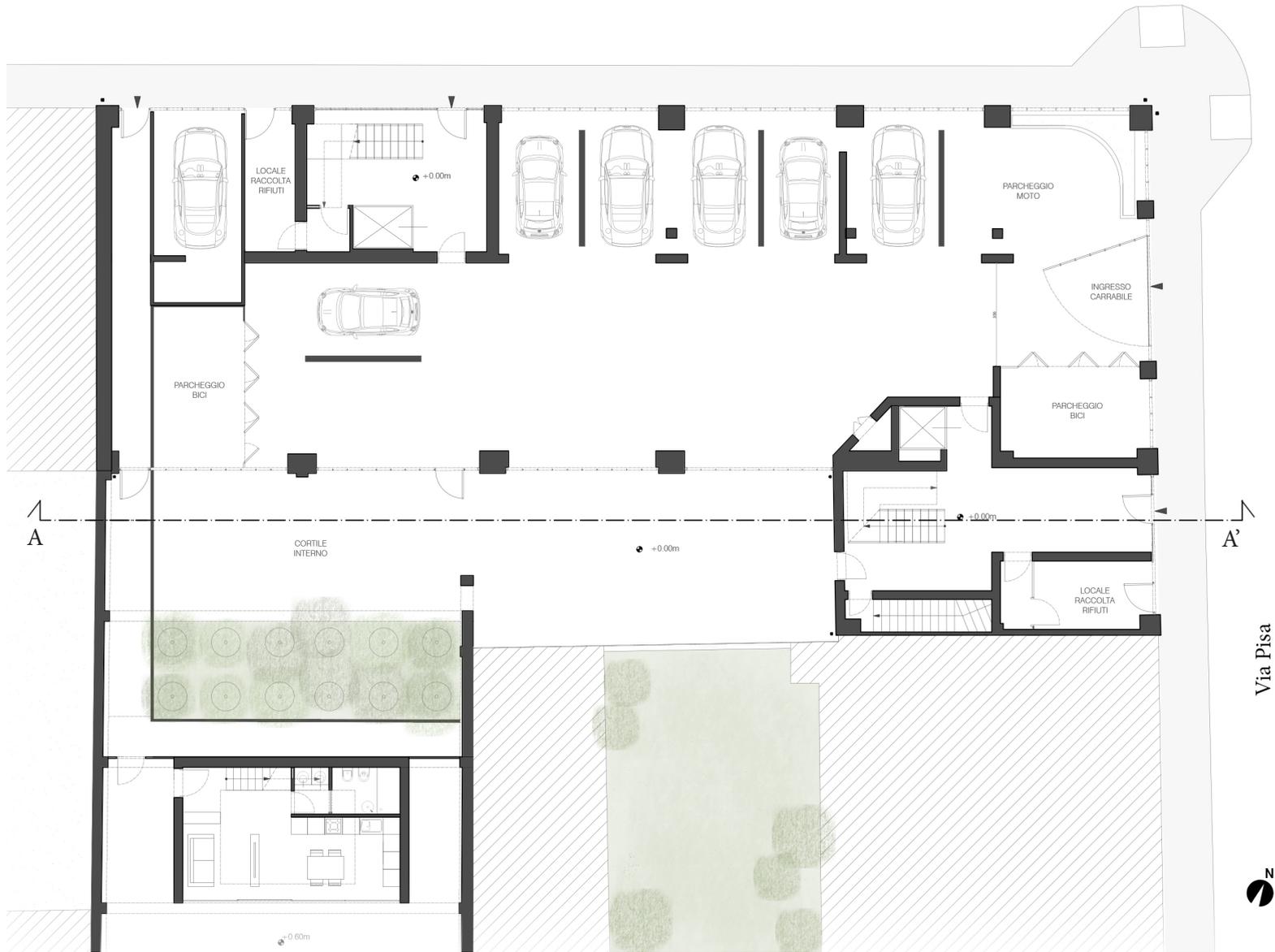
Il piano terra ospita posti auto e bici, oltre ad un giardino interno. Due vani scala consentono l'accesso agli undici alloggi presenti su ogni piano, per la maggior parte monocali, con una superficie media di 35 metri quadri.

Il progetto architettonico si è concentrato maggiormente sulla struttura in facciata, formata da una serie di travi a lunghezze differenti in ogni piano, di modo da creare l'inclinazione necessaria per consentire ai pannelli in policarbonato di raccogliere l'acqua piovana. Alle travi si ancorano delle travi in acciaio "secondarie" a cui si agganciano i listelli metallici che supportano i pannelli ondulati.

Tutta la struttura non scarica a terra ma si collega ai pilastri in calcestruzzo dell'edificio pre-esistente. Considerando che si verifica un aumento del carico complessivo, sono stati previsti degli elementi di rinforzo agli angoli dei pilastri, in corrispondenza dell'aggancio alla struttura progettata. Anche in copertura è previsto un sistema di raccolta dell'acqua meteorica, costituito da una serie di pilastri, travi primarie e travi secondarie che sorreggono pannelli in policarbonato alveolare semplice. I due prospetti principale, su via Pisa e via Perugia sono chiusi dai pannelli in policarbonato, mentre il prospetto interno è lasciato aperto, anche all'ultimo piano, di modo da consentire una visuale sulla città. Nelle facciate principali la scelta di evidenziare i canali di gronda e il percorso che segue l'acqua.

Pianta piano terra in scala 1:200

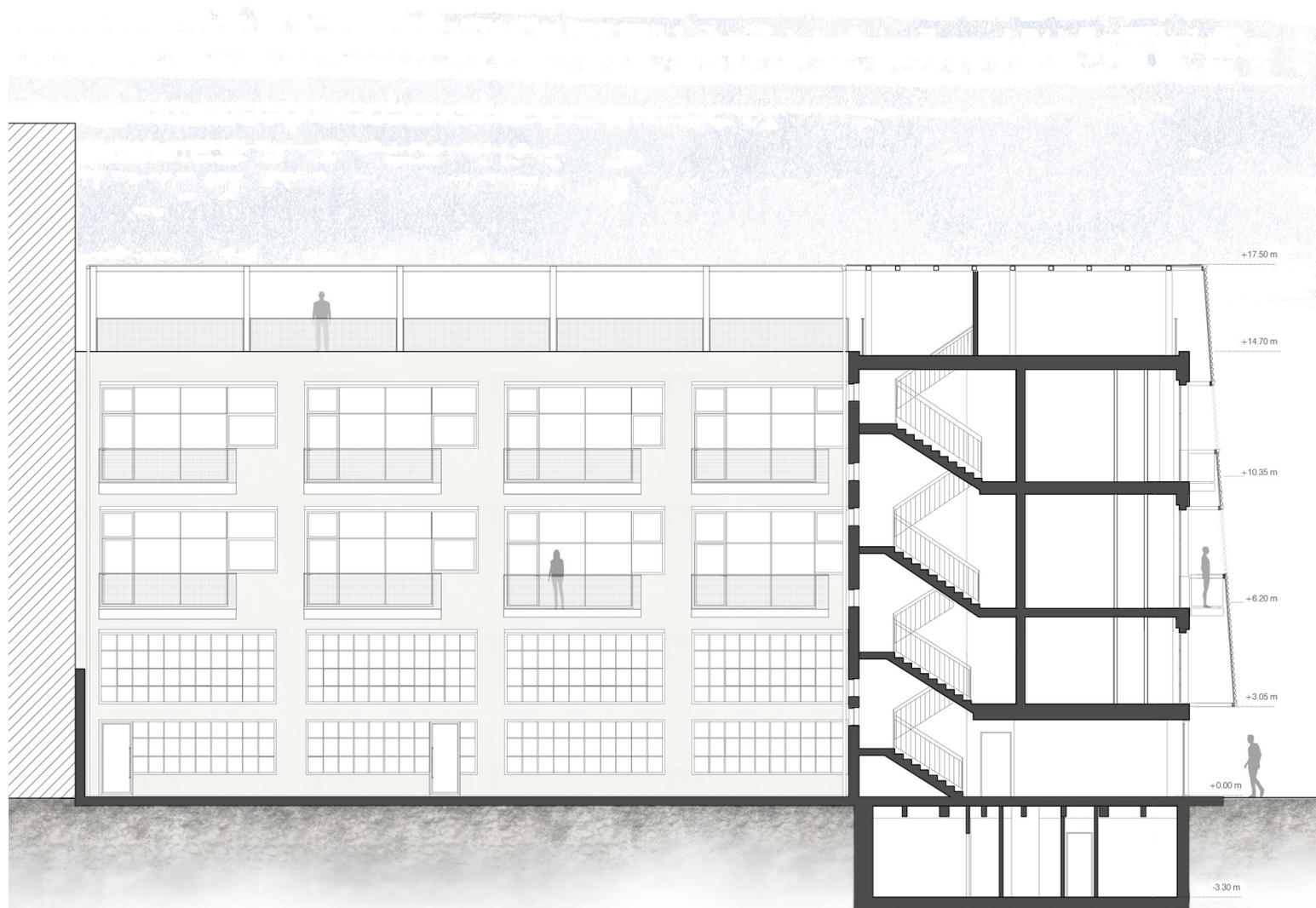
Via Perugia



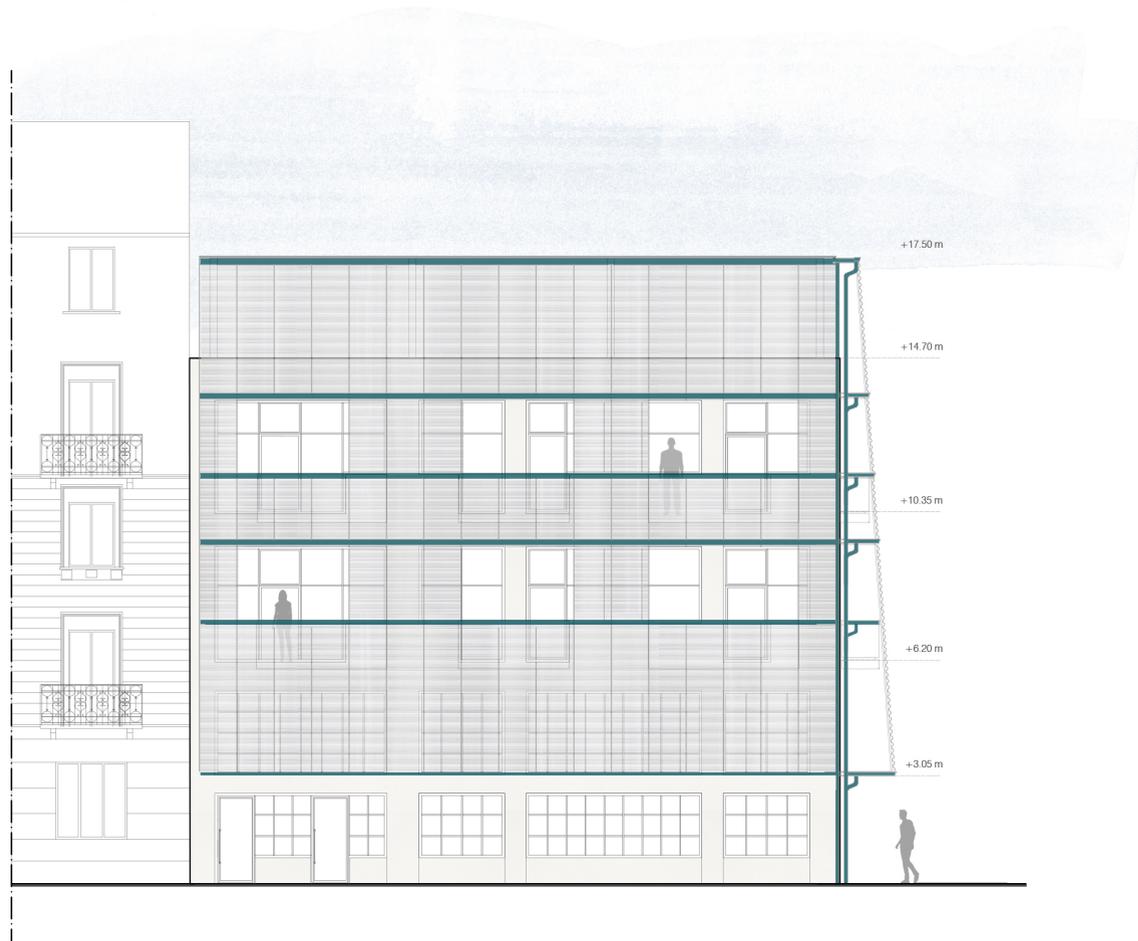
Pianta piano tipo in scala 1:200



Sezione A-A' in scala 1:200

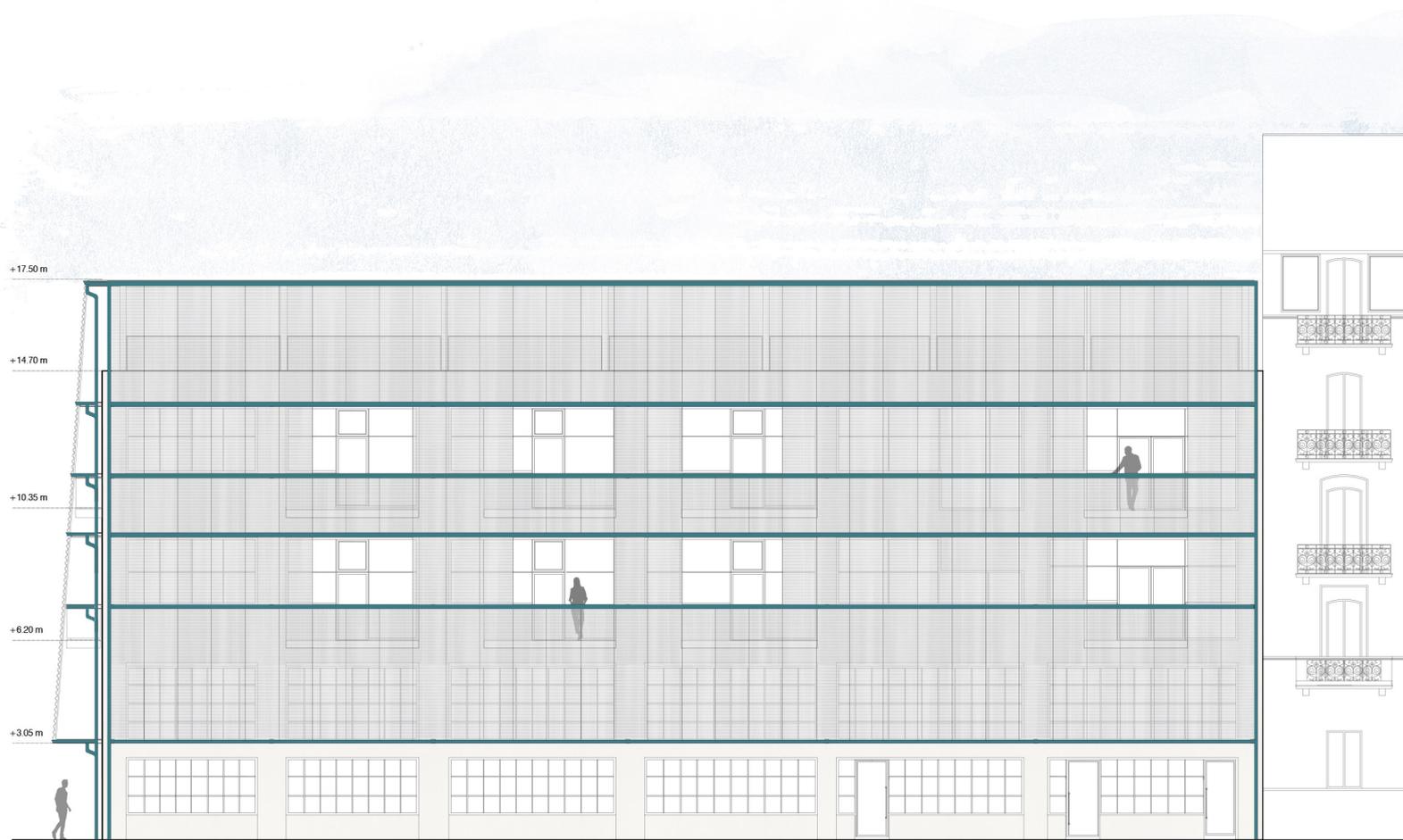


Prospetto Nord-Est in scala 1:200



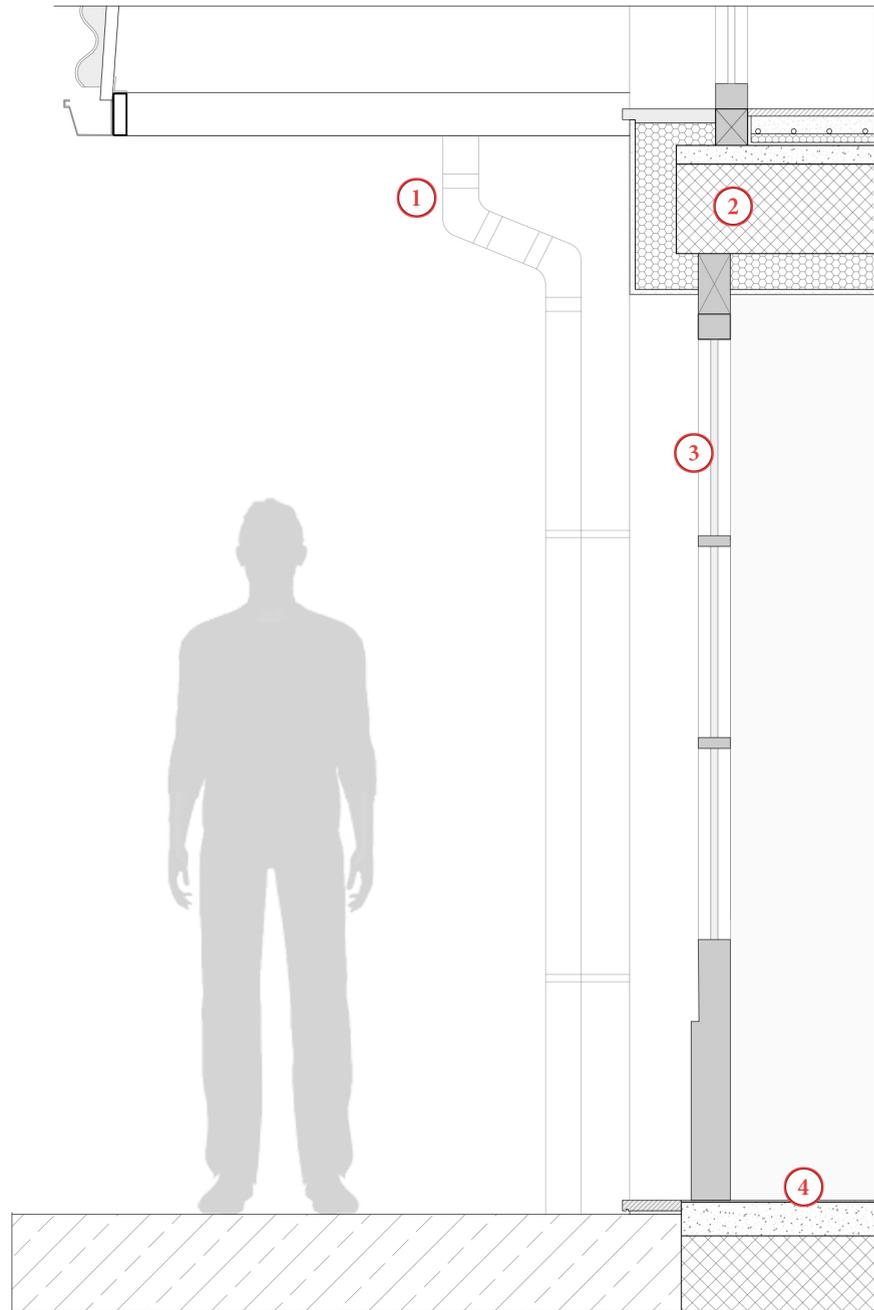
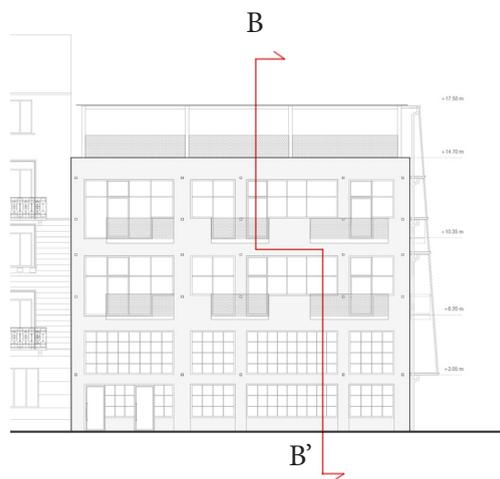


Prospetto Nord-Ovest in scala 1:200



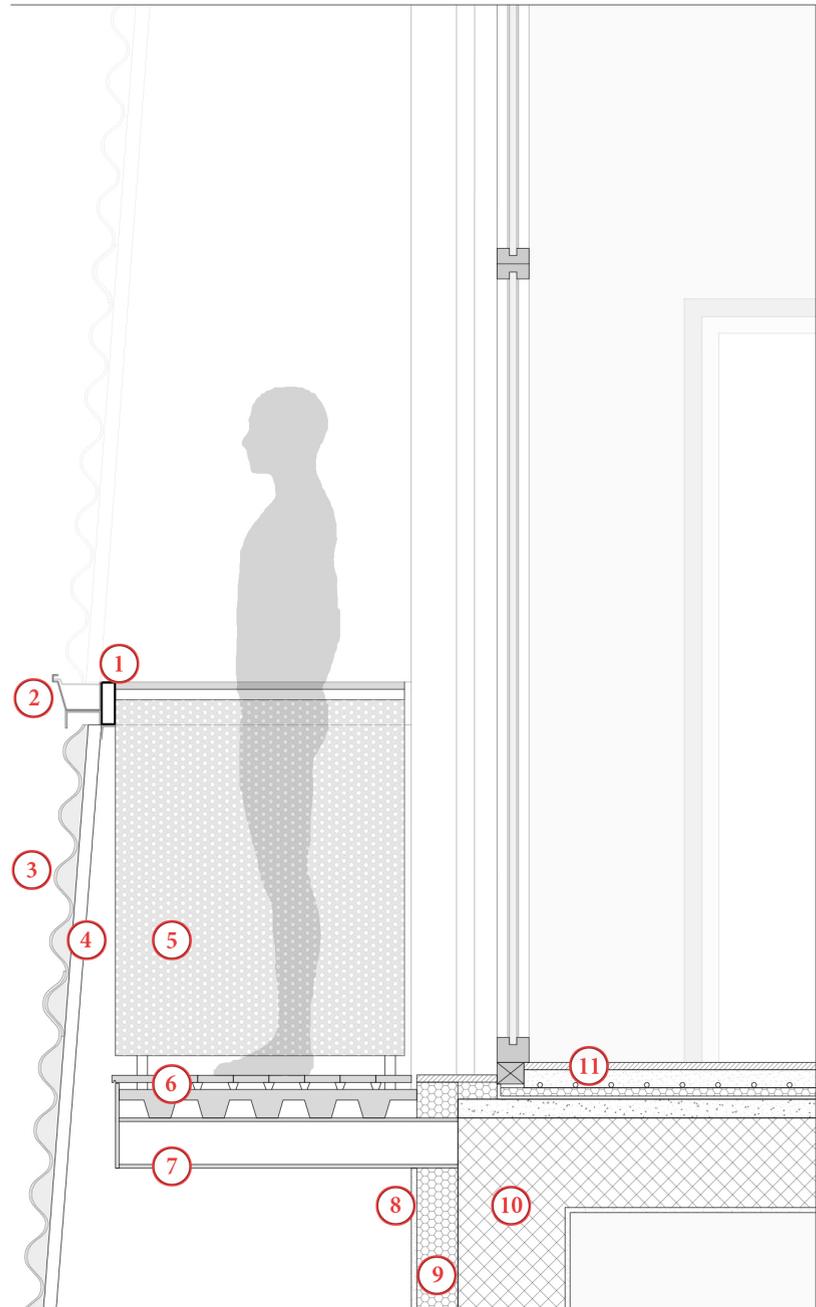
Sezione B-B' in scala 1:20

1. Pluviale diametro 10 cm
2. Solaio esistente
3. Serramento in ferro e vetro
4. Pavimentazione interna: resine su getto di cls



Sezione B-B' in scala 1:20

1. Profilato metallico in acciaio a sezione rettangolare
12x4 cm
spessore 4 mm
2. Canale di gronda
3. Policarbonato ondulato
spessore 6 mm
4. Listelli metallici in acciaio a sezione quadrata 4x4 cm
spessore 3 mm
5. Parapetto balcone in lamiera microforata
6. Balcone: pavimento galleggiante, getto in cls
7. Trave a sbalzo in acciaio
8. Intonaco di finitura
9. Pannello coibente
10. Solaio esistente
11. Pavimentazione (dall'alto verso il basso):
pavimentazione interna;
massetto in cls;
pannello coibente per pannello radiante;
materassino anticalpestio;
massetto sabbia-cemento;

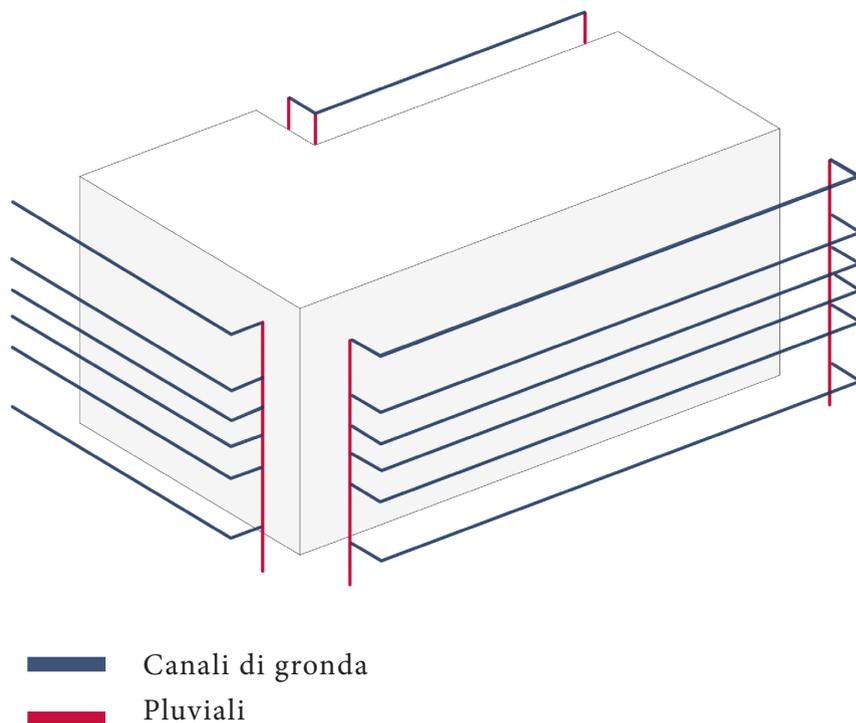


Il percorso dell'acqua

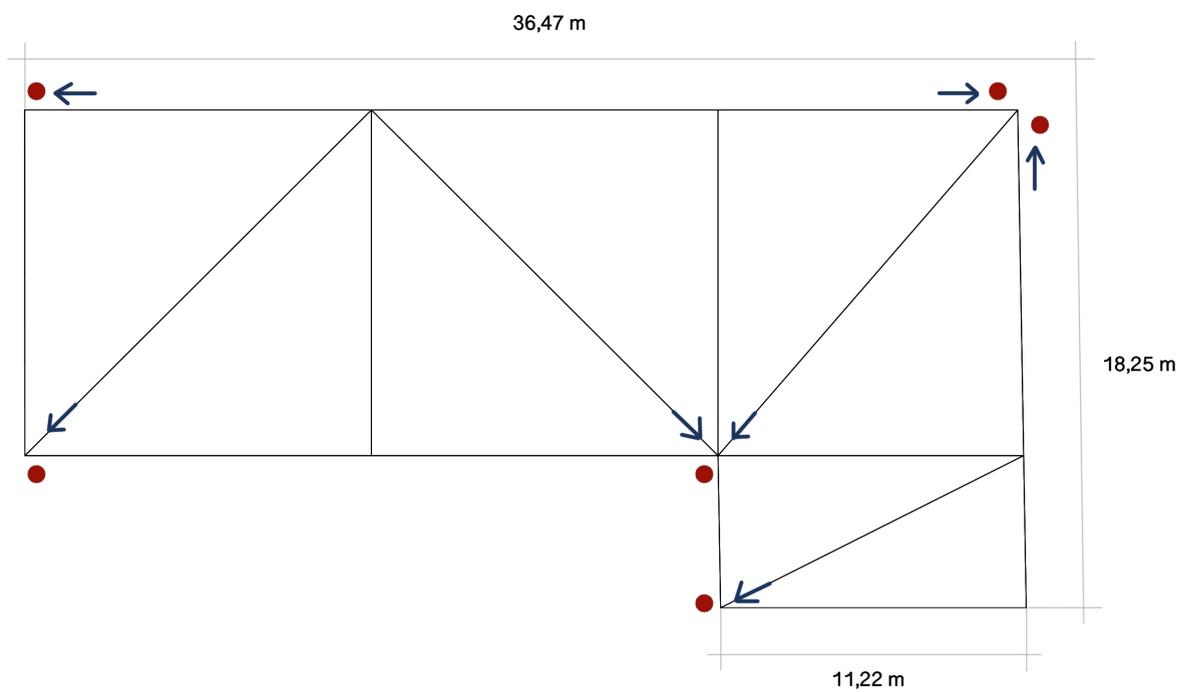
Il dimensionamento dei canali di gronda e dei pluviali non è oggetto di questo lavoro, tuttavia, sono stati previsti alcuni accorgimenti affinché la raccolta dell'acqua piovana possa funzionare correttamente. Ad esempio, quando si decide di utilizzare l'acqua per usi domestici, è necessario espellere la così detta acqua di prima pioggia, carica di inquinanti e batteri, con appositi deviatori. Successivamente il filtraggio è

un passaggio fondamentale. Esistono dei dispositivi che filtrano l'acqua prima del suo ingresso nei serbatoi di raccolta. I filtri possono essere collocati al piano interrato, dove sono previsti i serbatoi.

Mediamente, un pluviale con un diametro di 10/16 cm riesce a smaltire l'acqua di una superficie di circa 70 metri quadri. La superficie dell'edificio è di circa 500 metri quadri, pertanto sono stati previsti sei pluviali con un diametro di dieci centimetri.



Il disegno concettuale illustra il percorso dell'acqua meteorica raccolta in facciata attraverso i pannelli in polycarbonato ondulato.



Schematizzazione delle ipotetiche pendenze della copertura, prevista in pannelli in policarbonato alveolare semplice

Una volta raccolta e filtrata, l'acqua viene depositata in appositi serbatoi. Per quanto riguarda la città di Torino, le precipitazioni annue sono di 938,1 mm (il dato fa riferimento al periodo 2002/2016). Considerando che un millimetro equivale ad un litro su unità di superficie, si arriverebbe a raccogliere circa 470 mila litri solo dalla copertura. Inoltre, le proiezioni sul piano orizzontale dei pannelli in facciata, occupano una superficie di 82 metri quadri, il che consentirebbe di raccogliere ulteriori 77 mila litri. L'acqua recuperata può essere utilizzata per lo scarico, gli elettrodomestici, ma anche per l'igiene personale ed in cucina, essendo precedentemente filtrata.

Il sistema di raccolta, unito ad alcuni accorgimenti comportamentali può rappresentare un buon metodo di riciclo e un passo verso le politiche per il cambiamento al fine di salvaguardare il futuro del Pianeta.

VERIFICHE STRUTTURALI

La “corazza” dell’edificio è pensata come una struttura a sé stante, una sorta di retrofit che si aggancia ai due prospetti lato strada, differendo da un rivestimento poiché non è a contatto con questi, se non nei punti di aggancio tramite elementi strutturali.

Si articola in cinque livelli:

Livello 1: pannelli in polycarbonato ondulato

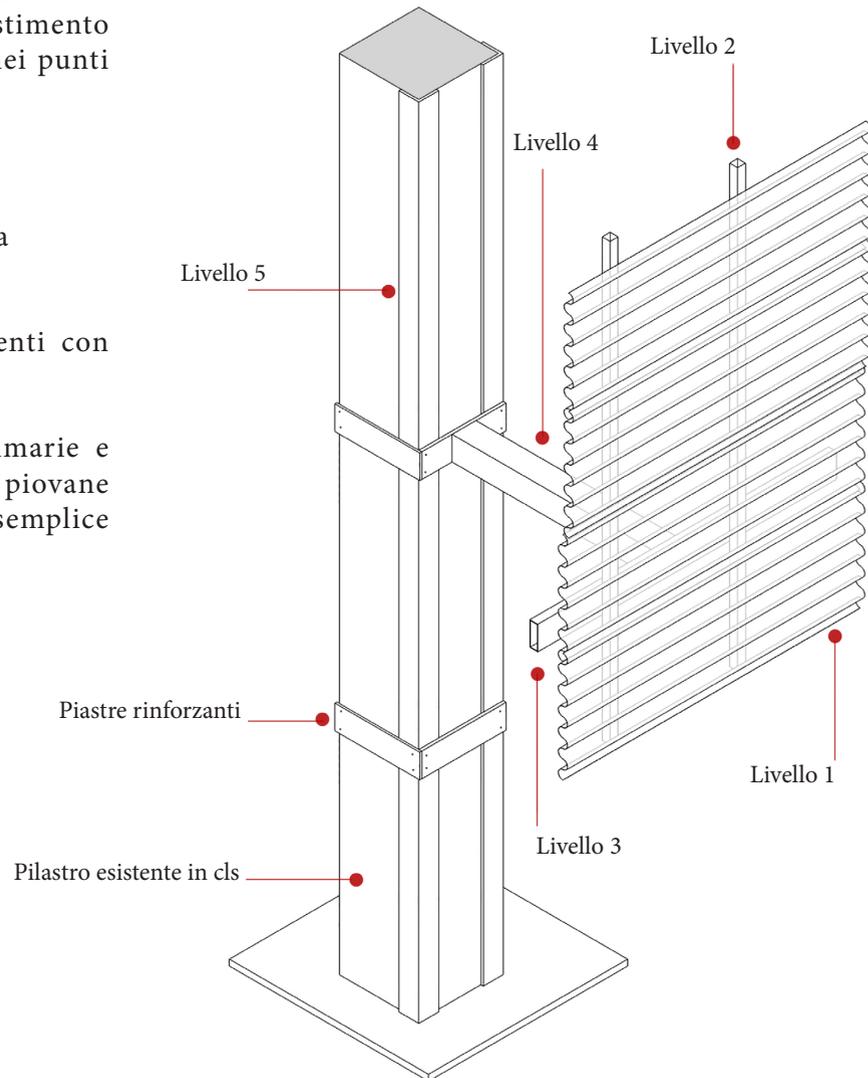
Livello 2: listelli in acciaio a sezione quadrata

Livello 3: travi in acciaio a sezione quadrata

Livello 4: travi in acciaio a sezione quadrata

Livello 5: rinforzi angolari ai pilastri esistenti con sezione a L

Il copertura una serie di pilastri, travi primarie e secondarie consentono la raccolta delle acque piovane tramite pannelli in polycarbonato alveolare semplice con spessore 4 cm.



Definizione dei carichi variabili

Carico della neve

Il carico della neve si ottiene dalla formula $q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_T$ secondo la normativa NTC2008-3.4.

La copertura è piana, perciò essendo la pendenza è compresa tra 0° e 30° , il coefficiente di forma della copertura (μ_i) risulta essere 0,8.

Il carico della neve al suolo è stato ottenuto tramite la seguente formula:

$q_{sk} = 1,39 [1 + (239/728)^2]$ kN/m² risultando essere 1,54 kN/m².

Il coefficiente di esposizione C_E fa riferimento alla classe topografica “riparata” essendo l’edificio collocato in un contesto di edifici alti. Da normativa, il $C_E = 1,1$.

Il coefficiente termico si assume pari a 1.

Azione del vento

L’azione del vento sulla costruzione fa riferimento alla norma e si può definire tramite la seguente formula:

$$P = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

q_b è la pressione cinetica di riferimento

c_e è il coefficiente di esposizione

c_p è il coefficiente di forma, funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento.

c_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

TORINO
Zona Alpina
239 m.s.l.m.

$q_s = 1,35$ kN/m².

La pressione cinetica di riferimento q_b è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$$

Essendo $a_s < a_0$, la velocità di riferimento è pari alla velocità del vento, 25 m/s nel caso della regione Piemonte. La densità dell'aria (ρ) assunta convenzionalmente costante è pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$.

Il coefficiente di esposizione di calcola in base alla formula:

$$C_e = K_R^2 \cdot C_t \cdot \log(z/z_0) \cdot [7 + C_t \cdot \log(z/z_0)]$$

poiché l'altezza dell'edificio è pari a 14,45 metri, ovvero superiore a z_{min} .

Il coefficiente dinamico si assume pari a 1. Il coefficiente di forma, a vantaggio di sicurezza, si considera 1,5.

Dimensionamento degli elementi strutturali

Livello 1 - pannelli in policarbonato ondulato di spessore 6 mm. Il peso è pari a $1,3 \text{ kg/m}^2$. I pannelli si ripetono in facciata seguendo due moduli di lunghezza 1,05 m e 0,875 m.

Livello 2 - listelli

Ai listelli in acciaio sono inchiodati i pannelli in policarbonato ondulato e a loro volta sono collegati alle travi. Si è ritenuto opportuno, dato i carichi ridotti, di utilizzare profilati in acciaio a sezione quadrata.

Una volta calcolato il momento che è pari a $1,02 \text{ kN}\cdot\text{m}$, si procede al calcolo del modulo dimensionamento resistenza per poter scegliere un profilo da tabella. Il modulo di resistenza è pari a $3,8 \text{ cm}^3$, pertanto si è scelto un profilo metallico spatolato in acciaio a sezione quadrata di lato 4 cm.

Zona I

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

$$a_s = 239 \text{ m.s.l.m.}$$

$$q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

CATEGORIA DI ESPOSIZIONE: V

$$K_R = 0,23$$

$$z_0 = 0,70$$

$$z_{MIN} = 12 \text{ m}$$

$$C_E = 0,53$$

$$P \cdot \gamma_{G_2} = 0,47 \text{ kN/m}^2$$

Carichi agenti sui listelli:

$$Q_V = 0,47 \text{ kN/m}^2$$

Si considera, in questo caso, trascurabile il carico dei pannelli in policarbonato

$$i = 4,04 \text{ m}$$

Profilo quadrato

$$a = 40 \text{ mm}$$

$$s = 3 \text{ mm}$$

$$\text{peso} = 3,48 \text{ kg/m}^2$$

$$W_x = W_y = 5,10 \text{ cm}^3$$

Il momento resistente calcolato con $W_{x,y}=5,10 \text{ cm}^3$ è di $1,33 \text{ kN}\cdot\text{m}$, l'elemento strutturale è verificato poiché $M < MR_d$.

Livello 3 - travi

Si passa ora a dimensionare la trave a cui si agganciano i listelli.

Sulla trave agiscono sia carichi verticali che carichi orizzontali, si è calcolata la flessione nel piano verticale e nel piano orizzontale.

Flessione nel piano verticale

I carichi agenti nel piano verticale sono il peso proprio della trave, il carico dell'acqua nel canale di gronda, il carico dei listelli calcolato precedentemente e il carico dei pannelli in policarbonato.

Si ipotizza un profilo in acciaio a sezione rettangolare $120 \times 4 \text{ mm}$. Il peso della trave viene moltiplicato per il coefficiente di sicurezza (1,3), risultando $0,094 \text{ kN/m}$. Si procede al calcolo del carico dell'acqua nel canale di gronda. Il canale ha una sezione trapezoidale, la cui area è $0,012 \text{ m}^2$. Moltiplicando peso dell'acqua per l'area del canale e il coefficiente di sicurezza 1,5 il carico è **$0,18 \text{ kN/m}$** .

I listelli che agiscono sulla trave hanno lunghezze diverse. Il listello superiore è lungo $2,10 \text{ m}$ e quello inferiore $4,04 \text{ m}$.

Moltiplicando il peso dei listelli a sezione quadrata ($4 \times 4 \text{ cm}$) per la lunghezza dei listelli diviso due, si ottiene il carico che equivale a **$0,117 \text{ kN/m}$** , moltiplicandolo anche per il coefficiente di sicurezza 1,3.

Lo stesso procedimento vale per calcolare il carico dei pannelli in policarbonato ondulato, il cui peso è $1,3 \text{ kg/m}$. Moltiplicando per il coefficiente di sicurezza 1,3, il carico ottenuto è pari a **$0,052 \text{ kN/m}$** .

L trave= $5,40 \text{ m}$

n. listelli su trave= 5

Peso trave ipotizzato= $7,25 \text{ kg/m}$

Carico acqua= $0,18 \text{ kN/m}$

Carico listelli= $0,117 \text{ kN/m}$

Carico pannelli policarbonato= $0,052 \text{ kN/m}$

Area trapezio= $[(b+B)*h]/2$

$b=10 \text{ cm}$

$B=14 \text{ cm}$

$h=10 \text{ cm}$

Peso $\text{H}_2\text{O}=1000 \text{ kg/m}^3$

Si procede con la sommatoria dei carichi verticali:

$$Q_{tot} = Q_{trave} + Q_{H_2O} * Q_{listelli} + Q_{pannelli}$$

Il momento sarà pari a 1,60 kN*m, da cui si calcola il modulo di resistenza con la formula inversa.

Il modulo di resistenza è 6,12 cm³. Per la trave selezionata (e ipotizzata) precedentemente, W_x=26,04 cm³. La trave risulta verificata.

Flessione nel piano orizzontale

Nel piano orizzontale il carico agente è quello del vento. Si moltiplica quindi il carico per la lunghezza dei listelli e il coefficiente di sicurezza 1,5.

Si ottiene un carico pari a 2,16 kN/m.

Si calcola la tensione massima data dalla formula $\sigma = M/W_x$.

Confrontandolo con il valore di calcolo della tensione di snervamento dell'acciaio, la trave è verificata.

Livello 4 - Travi

Sulle travi "primarie" agiscono due travi "secondarie" le cui lunghezze sono 3 m e 5,40 m.

Il momento è dato da Q*L_{trave}. Il carico Q è dato dalla sommatoria dei carichi verticali agenti sulla trave "secondaria" moltiplicato per la lunghezza delle due travi, diviso due.

Si definisce un modulo di resistenza che equivale a 10,59 cm³. Si procede dunque ad identificare un profilo idoneo nella tabella Oppo. Il profilo scelto è a sezione quadrata con lato 12 cm.

Il momento resistente è uguale a 13,99 kN*m, ovvero minore del momento massimo, quindi la trave è verificata.

$$Q_{tot} = 0,44 \text{ kN/m}$$

$$Q_v = 0,47 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = 82,9 \text{ N/mm}^2$$

$$L_{trave} = 1,5 \text{ m}$$

$$L_{t1} = 3 \text{ m}$$

$$L_{t2} = 5,41 \text{ m}$$

$$Q = 1,85 \text{ kN}$$

$$Q * L = 2,77 \text{ kN*m}$$

$$a = 120 \text{ mm}$$

$$s = 3 \text{ mm}$$

$$\text{Peso} = 11,02 \text{ kg/m}$$

$$W_x = W_y = 53,42 \text{ cm}^3$$

Livello 5 - Rinforzi angolari ai pilastri esistenti

Tutta la struttura della facciata non scarica a terra ma si aggancia ai pilastri in calcestruzzo esistenti. Si è ritenuto opportuno rinforzare i pilastri con dei profili angolari con sezione a "L".

Ipotizzando i profili come fossero dei pilastri, si procede con la verifica di resistenza a compressione della sezione.

Sui due profili agiscono i carichi di quattro travi "primarie" ($Q=1,85$ kN) che vanno distribuite, dividendo per due. Lo sforzo normale agente risulta essere $0,92$ kN e si moltiplica per il numero delle travi primarie.

Per calcolare la resistenza a compressione, si fa riferimento alla formula $N_{CR,d}=A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$. Imponendo lo sforzo normale agente uguale alla resistenza a compressione, si calcola l'area della sezione con la formula inversa. L'area risulta $12,2$ cm². Da tabella, il profilo selezionato è una trave angolare a lati uguali con spigoli tondi, il lato misura 10 cm.

$N_{CR,d}=7,6$ kN.

Il profilo è verificato poiché $N_{Ed} < N_{CR,d}$.

I profili sono stabilizzati con delle piastre poste ad una distanza di 1 metro tra di loro, pertanto si è ritenuta non necessaria la verifica di instabilità.

$$N_{Ed}=3,22 \text{ kN}$$

Profilo angolare a L

$$L=100 \text{ mm}$$

$$s=12 \text{ mm}$$

$$A=22,7 \text{ cm}^2$$

$$W_x=W_y=29,10 \text{ cm}^3$$

$$N_{CR,d}=7,6 \text{ kN}$$

Copertura

Per quanto riguarda la copertura, si è deciso di progettare una struttura che consente di raccogliere l'acqua piovana tramite i pannelli in polycarbonato e che al contempo rendesse praticabile l'ultimo piano. L'altezza è di 3 m.

I calcoli di pre-dimensionamento interessano le travi secondarie, le travi primarie e i pilastri.

Travi secondarie

Per la verifica allo stato limite di esercizio, si sono considerati come carichi il peso proprio della trave ipotizzata, il peso dei pannelli in polycarbonato e il carico della neve. Il carico ottenuto, moltiplicato per l'interasse delle travi, è pari a 2,38 kN/m. La freccia massima ($l/250$) è 22,2 mm.

Il momento di inerzia, pari a 639,8 cm⁴, consente di scegliere un profilo da tabella. Il profilo selezionato è un profilo metallico scatolare in acciaio a sezione quadrata con lato 150 mm.

Calcolando nuovamente lo stato ultimo di esercizio con il peso reale del profilo, si confrontano le due frecce. Il profilo è verificato perchè la freccia massima in questo caso è pari a 13,86 mm.

Si procede ora al calcolo dello stato limite ultimo, moltiplicando i carichi per i coefficienti di sicurezza e l'interasse. **S.L.U.= 2,85 kN/m.**

Lo schema statico è una trave in semplice appoggio. Il taglio è pari a 7,93 kN, il momento è pari a 11 kN*m. Si calcola $\sigma=M/W_x$ e si ottiene 99,36 N/mm². La trave è verificata poiché $\sigma < 261,9$ N/mm.

Verifica a taglio

$V_{Ed} < V_{pl,Rd}$

L'area della sezione è pari a 1136 mm². Utilizzando la formula $V_{pl,Rd} = A_v / \sqrt{3} * f_{yd}$, si ottiene 171,7 kN. Il taglio è verificato perchè superiore a 7,93 kN.

L trave=5,5 m
i=1,26 m
Q=2,38kN/m

$\sigma=99,36$ mm²
 $V_A=V_B=7,93$ kN
 $M=11$ kN*m

$V_{pl,Rd} = 171,7$ kN

Travi primarie

Per la verifica allo stato limite di esercizio, si sono considerati come carichi il peso proprio della trave ipotizzata, il peso dei pannelli in polycarbonato e il carico della neve. Il carico ottenuto, moltiplicato per l'interasse delle travi, è pari a 8 kN/m. La freccia massima (1/250) è 20 mm.

Il momento di inerzia, pari a 1550 cm⁴, consente di scegliere un profilo da tabella. Il profilo selezionato è un profilo metallico scatolare in acciaio a sezione quadrata con lato 180 mm.

Calcolando nuovamente lo stato ultimo di esercizio con il peso reale del profilo, si confrontano le due frecce. Il profilo è verificato perchè la freccia massima in questo caso è pari a 17,05 mm.

Si procede ora al calcolo dello stato limite ultimo, moltiplicando i carichi per i coefficienti di sicurezza e l'interasse. **S.L.U. = 11,63 kN/m.**

Lo schema statico è una trave in semplice appoggio. Il taglio è pari a 29 kN, il momento è pari a 36,3 kN*m. Si calcola $\sigma = M/W_x$ e si ottiene 182,7 N/mm². La trave è verificata poiché $\sigma < 261,9$ N/mm.

Verifica a taglio

$$V_{Ed} < V_{pl,Rd}$$

L'area della sezione è pari a 1700 mm². Utilizzando la formula $V_{pl,Rd} = A_v / \sqrt{3} * f_{yd}$, si ottiene 257 kN. Il taglio è verificato perchè superiore a 29 kN.

$$a = 180 \text{ mm}$$

$$s = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Peso} = 27,48 \text{ kg/m}$$

$$W_x = W_y = 198,6 \text{ cm}^3$$

$$J_x = J_y = 1787,92 \text{ cm}^4$$

$$\sigma = 182,7 \text{ mm}^2$$

$$V_A = V_B = 29 \text{ kN}$$

$$M = 36,3 \text{ kN*m}$$

$$V_{pl,Rd} = 257 \text{ kN}$$

Pilastro

Sui pilastri agiscono le reazioni di due travi primarie e due travi secondarie. Considerandolo lo schema statico in semplice appoggio, si calcola solo lo sforzo normale. $N_{Ed} = Q \text{ Trave primaria} (*2) + Q \text{ Trave secondaria} (*2) = 73,89 \text{ kN}$.

SI ottiene area sezione da formula inversa, pari a 2,82 cm². Da tabella si seleziona un profilo con una sezione più grande. Il profilo scelto è un profilo metallico scatolare in acciaio a sezione quadrata con lato 180 mm.

$N_{CR,d} = 916,6 \text{ kN}$. Il profilo è verificato poiché $N_{Ed} < N_{CR,d}$.

$$N_{Ed} = 73,89 \text{ kN}$$

$$a = 180 \text{ mm}$$

$$s = 3 \text{ mm}$$

$$Area = 21,24 \text{ cm}^2$$

$$N_{CR,d} = 916,6 \text{ kN}$$

5. conclusioni

La prima volta che ho letto la parola “biomimetica” è avvenuta per caso, nel vortice delle ricerche in Internet. La curiosità, poi, ha preso il dominio e mi ha portato ad approfondire questo argomento.

Ho iniziato a fare un sondaggio tra i miei conoscenti e ho scoperto che nessuno conosceva questa scienza. Da quel momento ho sentito la necessità di dover condividere la “mia” scoperta. Ed è proprio questo l'intento che mi ha guidato nel lavoro di tesi, la condivisione. D'altra parte, le allarmanti notizie ambientali, specialmente dell'ultimo anno, hanno acceso nel mio senso di responsabilità la voglia di ricercare nuovi possibili percorsi per il modo di fare architettura rispettando e proteggendo il luogo che ci ospita.

La biomimetica è una scienza “nuova”, non ancora diffusa, non ancora del tutto affermata nel panorama mondiale, ma funziona. La sua efficacia è data dall'intelligente connubio di due attori: la natura e l'uomo. La natura, con la sua storia evolutiva, è un modello ispiratore, un'insegnante da cui imparare le leggi comportamentali che hanno superato quasi quattro miliardi di anni di evoluzione. L'uomo, invece, è uno strumento per mettere in atto gli insegnamenti della natura attraverso la conoscenza delle tecnologie attuali.

Prima di arrivare alla messa in pratica della biomimetica però, chiunque si approcci ad essa è fondamentale che conosca il processo tramite cui si arriva. Bisogna spogliarsi delle proprie abitudini quotidiane, del sapere tradizionale ed immergersi, passo dopo passo, in una realtà a cui apparteniamo da sempre, ma che non ci appartiene completamente. Per capire appieno il meccanismo biomimetico bisogna grattare i vari

strati che negli anni l'uomo ha formato con il suo sapere, fino ad arrivare all'origine, a domandarsi perché e come esiste tutto ciò che ci circonda. Questo tipo di approccio serve per inquadrare un problema, definire il contesto e ricercare nell'immenso database della natura una possibile soluzione. Se una delle più grandi e pluripremiate menti di tutti i tempi ha affermato che non c'è niente che l'uomo possa inventare poiché è già stato preceduto dalla natura, allora possiamo solo osservare, capire, apprendere, emulare in modo consapevole i suoi segreti.

Dalla forma, alla funzione, all'ecosistema, sono tanti i modi per operare seguendo i principi della biomimetica, con lo scopo ultimo di promuovere la sostenibilità. Sostenibilità a cui fanno riferimento le C40 con le loro politiche per il cambiamento, o anche in Danimarca con la simbiosi industriale, a Seattle nel Bullitt Center o ai teli che catturano inquinanti dell'azienda TheBreath. A dimostrazione del fatto che la biomimetica è una scienza che può essere messa in atto in una scala molto ampia, che spazia da una megalopoli ad un singolo oggetto.

Tuttavia attualmente, in particolar modo nel contesto italiano, non è attribuito sufficiente spazio a questa scienza. Le applicazioni che si conoscono sono limitate e spesso si tende ad attribuire erroneamente questo termine a ciò che invece è biomorfismo.

Ricollegandomi al filo della condivisione, questa per me è stata un'opportunità in più per dare voce, nel mio piccolo, ad una scoperta che meriterebbe di essere conosciuta da tutti.

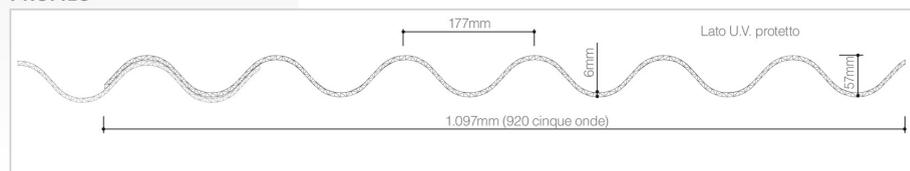
6. allegati

2.3 SISTEMA MODULARE SOVRAPPONIBILE

arceplus®
Onda



PROFILO



Sistema modulare ondulato di policarbonato alveolare U.V. protetto, per tamponamenti e coperture traslucide

STANDARD DI PRODUZIONE

| | |
|------------------------|----------------------------|
| Spessore | 6mm |
| Altezza onda | 51mm |
| Passo onda | 177mm |
| Struttura | 3 pareti ad "N" |
| Larghezza utile modulo | 1.050mm (875 su richiesta) |
| Lunghezza | 5.000mm (max consigliata) |
| Colori disponibili | vedi pagina 11 |

CARATTERISTICHE

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| Isolamento termico | 3,2 W/m ² K |
| Isolamento acustico | 16 dB |
| Dilatazione lineare | 0,065mm/m°C |
| Temperatura d'impiego | -40°C +120 °C |
| Protezione ai raggi U.V. | Costruzione |
| Reazione al fuoco EN 13501 | EuroClass B-s1,d0 |
| Resistenza urto accidentale | 1.200 Joule |



SOVRAPPOSIZIONE
Particolare sovrapposizione elementi di tamponamento

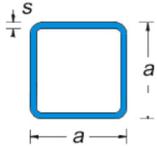
PUNTI DI FORZA

- ❖ Elevata resistenza al carico
- ❖ Sovrapposizione longitudinale
- ❖ Trasmissione della luce
- ❖ Resistenza ai raggi U.V. ed alla grandine
- ❖ Isolamento termico
- ❖ Semplicità di posa

APPLICAZIONI

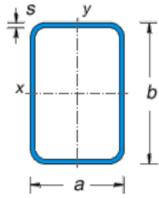
-  Finestrature verticali
-  Coperte Piane





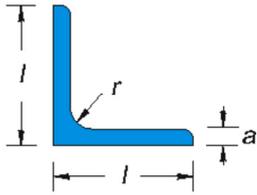
Profilati metallici Tubi (scatolati) in Acciaio a sezione quadrata

| a mm | s mm | Peso kg/m | Sezione metallica cm ² | Momenti di inerzia | Moduli di resistenza | Raggi di inerzia |
|---------|---------|--------------|---|----------------------------|----------------------------|------------------|
| | | | | Jx = Jy cm ⁴ | Wx = Wy cm ³ | ix = iy cm |
| 20 | 1,5 | 0,87 | 1,11 | 0,64 | 0,64 | 0,76 |
| | 2,0 | 1,13 | 1,44 | 0,79 | 0,79 | 0,74 |
| 25 | 1,5 | 1,11 | 1,41 | 1,30 | 1,04 | 0,96 |
| | 2,0 | 1,44 | 1,84 | 1,63 | 1,31 | 0,94 |
| 30 | 2,0 | 1,76 | 2,24 | 2,94 | 1,96 | 1,15 |
| | 3,0 | 2,54 | 3,24 | 3,99 | 2,66 | 1,11 |
| 35 | 2,0 | 2,07 | 2,64 | 4,81 | 2,75 | 1,35 |
| | 3,0 | 3,01 | 3,84 | 6,61 | 3,78 | 1,31 |
| 40 | 2,0 | 2,39 | 3,04 | 7,34 | 3,67 | 1,55 |
| | 3,0 | 3,49 | 4,44 | 10,20 | 5,10 | 1,52 |
| | 4,0 | 4,52 | 5,76 | 12,60 | 6,30 | 1,48 |
| 50 | 2,0 | 3,01 | 3,84 | 14,77 | 5,91 | 1,96 |
| | 3,0 | 4,43 | 5,64 | 20,85 | 8,34 | 1,92 |
| | 4,0 | 5,78 | 7,36 | 26,15 | 10,46 | 1,89 |
| 60 | 2,0 | 3,64 | 4,64 | 26,05 | 8,68 | 2,37 |
| | 3,0 | 5,37 | 6,84 | 37,14 | 12,38 | 2,33 |
| | 4,0 | 7,03 | 8,96 | 47,07 | 15,69 | 2,29 |
| 70 | 2,0 | 4,27 | 5,44 | 41,96 | 11,99 | 2,78 |
| | 3,0 | 6,31 | 8,04 | 60,27 | 17,22 | 2,74 |
| | 4,0 | 8,29 | 10,56 | 76,95 | 21,98 | 2,70 |
| 80 | 2,0 | 4,90 | 6,24 | 63,32 | 15,83 | 3,19 |
| | 3,0 | 7,25 | 9,24 | 91,45 | 22,86 | 3,15 |
| | 4,0 | 9,55 | 12,16 | 117,38 | 29,35 | 3,11 |
| | 5,0 | 11,78 | 15,00 | 141,25 | 35,31 | 3,07 |
| 100 | 2,0 | 6,15 | 7,84 | 125,54 | 25,11 | 4,00 |
| | 3,0 | 9,14 | 11,64 | 182,71 | 36,54 | 3,96 |
| | 4,0 | 12,06 | 15,36 | 236,34 | 47,27 | 3,92 |
| | 5,0 | 14,92 | 19,00 | 286,58 | 57,32 | 3,88 |
| 120 | 2,0 | 7,41 | 9,44 | 219,13 | 36,52 | 4,82 |
| | 3,0 | 11,02 | 14,04 | 320,53 | 53,42 | 4,78 |
| | 4,0 | 14,57 | 18,56 | 416,73 | 69,46 | 4,74 |
| | 5,0 | 18,06 | 23,00 | 507,92 | 84,65 | 4,70 |
| 150 | 3,0 | 13,85 | 17,64 | 635,57 | 84,74 | 6,00 |
| | 4,0 | 18,34 | 23,36 | 830,53 | 110,74 | 5,96 |
| | 5,0 | 22,77 | 29,00 | 1.017,42 | 135,66 | 5,92 |
| 180 | 3,0 | 16,67 | 21,24 | 1.109,37 | 123,26 | 7,23 |
| | 4,0 | 22,11 | 28,16 | 1.454,56 | 161,62 | 7,19 |
| | 5,0 | 27,48 | 35,00 | 1.787,92 | 198,66 | 7,15 |
| | 3,0 | 18,56 | 23,64 | 1.529,43 | 152,94 | 8,04 |



Profilati metallici Tubi (scatolati) in Acciaio a sezione rettangolare

| b x a mm | s mm | Peso kg/m | Sezione metallica cm ² | Momenti di inerzia | | Moduli di resistenza | | Raggi di inerzia | |
|-------------|---------|--------------|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------|
| | | | | Jx cm ⁴ | Jy cm ⁴ | Wx cm ³ | Wy cm ³ | ix cm | iy cm |
| 20 x 10 | 1,5 | 0,64 | 0,81 | 0,38 | 0,12 | 0,38 | 0,24 | 0,69 | 0,38 |
| | 2,0 | 0,82 | 1,04 | 0,46 | 0,14 | 0,46 | 0,28 | 0,67 | 0,36 |
| 30 x 15 | 1,5 | 0,99 | 1,26 | 1,41 | 0,45 | 0,94 | 0,61 | 1,06 | 0,60 |
| | 2,0 | 1,29 | 1,64 | 1,76 | 0,56 | 1,18 | 0,74 | 1,04 | 0,58 |
| 30 x 20 | 1,5 | 1,11 | 1,41 | 1,71 | 0,89 | 1,14 | 0,89 | 1,10 | 0,80 |
| | 2,0 | 1,44 | 1,84 | 2,16 | 1,11 | 1,44 | 1,11 | 1,08 | 0,78 |
| 40 x 20 | 2,0 | 1,76 | 2,24 | 4,45 | 1,44 | 2,22 | 1,44 | 1,41 | 0,80 |
| | 3,0 | 2,54 | 3,24 | 6,08 | 1,89 | 3,04 | 1,89 | 1,37 | 0,76 |
| 40 x 30 | 2,0 | 2,07 | 2,64 | 5,89 | 3,73 | 2,95 | 2,48 | 1,49 | 1,19 |
| | 3,0 | 3,01 | 3,84 | 8,14 | 5,08 | 4,07 | 3,39 | 1,46 | 1,15 |
| 50 x 25 | 2,0 | 2,23 | 2,84 | 9,01 | 2,96 | 3,60 | 2,37 | 1,78 | 1,02 |
| | 3,0 | 3,25 | 4,14 | 12,55 | 4,00 | 5,02 | 3,20 | 1,74 | 0,98 |
| 50 x 30 | 2,0 | 2,39 | 3,04 | 10,16 | 4,51 | 4,06 | 3,01 | 1,83 | 1,22 |
| | 3,0 | 3,49 | 4,44 | 14,21 | 6,18 | 5,69 | 4,12 | 1,79 | 1,18 |
| | 4,0 | 4,52 | 5,76 | 17,67 | 7,52 | 7,07 | 5,02 | 1,75 | 1,14 |
| 60 x 20 | 2,0 | 2,39 | 3,04 | 12,58 | 2,09 | 4,19 | 2,09 | 2,03 | 0,83 |
| | 3,0 | 3,49 | 4,44 | 17,63 | 2,77 | 5,88 | 2,77 | 1,99 | 0,79 |
| 60 x 30 | 2,0 | 2,70 | 3,44 | 15,95 | 5,30 | 5,32 | 3,53 | 2,15 | 1,24 |
| | 3,0 | 3,96 | 5,04 | 22,51 | 7,28 | 7,50 | 4,85 | 2,11 | 1,20 |
| 60 x 40 | 2,0 | 3,01 | 3,84 | 19,32 | 10,23 | 6,44 | 5,11 | 2,24 | 1,63 |
| | 3,0 | 4,43 | 5,64 | 27,39 | 14,31 | 9,13 | 7,16 | 2,20 | 1,59 |
| 80 x 30 | 2,0 | 3,33 | 4,24 | 32,89 | 6,87 | 8,22 | 4,58 | 2,79 | 1,27 |
| | 3,0 | 4,90 | 6,24 | 46,96 | 9,48 | 11,74 | 6,32 | 2,74 | 1,23 |
| 80 x 40 | 2,0 | 3,64 | 4,64 | 38,97 | 13,12 | 9,74 | 6,56 | 2,90 | 1,68 |
| | 3,0 | 5,37 | 6,84 | 55,85 | 18,43 | 13,96 | 9,21 | 2,86 | 1,64 |
| | 4,0 | 7,03 | 8,96 | 71,13 | 23,01 | 17,78 | 11,50 | 2,82 | 1,60 |
| 80 x 60 | 2,0 | 4,27 | 5,44 | 51,14 | 32,78 | 12,79 | 10,93 | 3,07 | 2,45 |
| | 3,0 | 6,31 | 8,04 | 73,65 | 46,90 | 18,41 | 15,63 | 3,03 | 2,42 |
| | 4,0 | 8,29 | 10,56 | 94,26 | 59,64 | 23,56 | 19,88 | 2,99 | 2,38 |
| 100 x 20 | 2,0 | 3,64 | 4,64 | 48,70 | 3,39 | 9,74 | 3,39 | 3,24 | 0,85 |
| | 3,0 | 5,37 | 6,84 | 69,77 | 4,52 | 13,95 | 4,52 | 3,19 | 0,81 |
| 100 x 40 | 2,0 | 4,27 | 5,44 | 67,91 | 16,01 | 13,58 | 8,00 | 3,53 | 1,72 |
| | 3,0 | 6,31 | 8,04 | 98,00 | 22,55 | 19,60 | 11,27 | 3,49 | 1,67 |
| | 4,0 | 8,29 | 10,56 | 125,68 | 28,21 | 25,14 | 14,11 | 3,45 | 1,63 |
| 100 x 50 | 2,0 | 4,58 | 5,84 | 77,52 | 26,30 | 15,50 | 10,52 | 3,64 | 2,12 |
| | 3,0 | 6,78 | 8,64 | 112,12 | 37,44 | 22,42 | 14,98 | 3,60 | 2,08 |
| | 4,0 | 8,92 | 11,36 | 144,13 | 47,37 | 28,83 | 18,95 | 3,56 | 2,04 |



Profilati metallici Travi Angolari a lati uguali spigoli tondi

| Profilo mm | l mm | a mm | r mm | Peso kg/m | Sezione cm ² | Momenti di inerzia | | Moduli di resistenza | | Raggi di inerzia | |
|---------------|---------|---------|---------|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|--|------------------|--|
| | | | | | | Jx = Jy cm ⁴ | Wx = Wy cm ³ | ix = iy cm | | | |
| 15x3 | 15 | 3 | 3,5 | 0,640 | 0,819 | 0,150 | 0,150 | 0,430 | | | |
| 20x3 | 20 | 3 | 3,5 | 0,880 | 1,12 | 0,390 | 0,280 | 0,590 | | | |
| 20x4 | 20 | 4 | 3,5 | 1,14 | 1,45 | 0,490 | 0,360 | 0,580 | | | |
| 25x3 | 25 | 3 | 3,5 | 1,12 | 1,42 | 0,800 | 0,450 | 0,750 | | | |
| 25x5 | 25 | 5 | 3,5 | 1,77 | 2,26 | 1,200 | 0,710 | 0,730 | | | |
| 30x3 | 30 | 3 | 5 | 1,36 | 1,74 | 1,400 | 0,650 | 0,900 | | | |
| 30x4 | 30 | 4 | 5 | 1,78 | 2,27 | 1,800 | 0,850 | 0,890 | | | |
| 30x5 | 30 | 5 | 5 | 2,18 | 2,78 | 2,160 | 1,040 | 0,880 | | | |
| 30x6 | 30 | 6 | 5 | 2,56 | 3,27 | 2,490 | 1,220 | 0,870 | | | |
| 35x3 | 35 | 3 | 5 | 1,60 | 2,04 | 2,390 | 0,900 | 1,060 | | | |
| 35x4 | 35 | 4 | 5 | 2,10 | 2,67 | 2,950 | 1,180 | 1,050 | | | |
| 35x5 | 35 | 5 | 5 | 2,57 | 3,28 | 3,560 | 1,450 | 1,040 | | | |
| 35x6 | 35 | 6 | 5 | 3,04 | 3,87 | 4,130 | 1,710 | 1,030 | | | |
| 40x4 | 40 | 4 | 6 | 2,42 | 3,08 | 4,470 | 1,550 | 1,210 | | | |
| 40x5 | 40 | 5 | 6 | 2,97 | 3,79 | 5,530 | 1,910 | 1,200 | | | |
| 40x6 | 40 | 6 | 6 | 3,52 | 4,48 | 6,310 | 2,260 | 1,190 | | | |
| 45x4 | 45 | 4 | 7 | 2,74 | 3,50 | 6,430 | 1,970 | 1,360 | | | |
| 45x5 | 45 | 5 | 7 | 3,38 | 4,30 | 7,840 | 2,430 | 1,350 | | | |
| 45x6 | 45 | 6 | 7 | 4,00 | 5,09 | 9,160 | 2,880 | 1,340 | | | |
| 45x7 | 45 | 7 | 7 | 4,60 | 5,86 | 10,40 | 3,310 | 1,330 | | | |
| 50x4 | 50 | 4 | 7 | 3,06 | 3,89 | 8,970 | 2,460 | 1,520 | | | |
| 50x5 | 50 | 5 | 7 | 3,77 | 4,80 | 11,00 | 3,050 | 1,510 | | | |
| 50x6 | 50 | 6 | 7 | 4,47 | 5,69 | 12,80 | 3,610 | 1,500 | | | |
| 50x7 | 50 | 7 | 7 | 5,15 | 6,56 | 14,60 | 4,160 | 1,490 | | | |
| 55x6 | 55 | 6 | 8 | 4,95 | 6,31 | 17,30 | 4,390 | 1,660 | | | |
| 55x8 | 55 | 8 | 8 | 6,46 | 8,23 | 22,00 | 5,720 | 1,640 | | | |
| 60x5 | 60 | 5 | 8 | 4,57 | 5,82 | 19,50 | 4,480 | 1,830 | | | |
| 60x6 | 60 | 6 | 8 | 5,42 | 6,91 | 22,80 | 5,290 | 1,820 | | | |
| 60x8 | 60 | 8 | 8 | 7,09 | 9,03 | 29,20 | 6,890 | 1,800 | | | |
| 60x10 | 60 | 10 | 8 | 8,69 | 11,1 | 34,90 | 8,410 | 1,780 | | | |
| 65x7 | 65 | 7 | 9 | 6,83 | 8,70 | 33,40 | 7,180 | 1,960 | | | |
| 65x9 | 65 | 9 | 9 | 8,62 | 11,0 | 41,40 | 9,050 | 1,940 | | | |
| 70x6 | 70 | 6 | 9 | 6,38 | 8,13 | 37,10 | 7,320 | 2,140 | | | |
| 70x7 | 70 | 7 | 9 | 7,38 | 9,40 | 42,30 | 8,420 | 2,120 | | | |
| 70x9 | 70 | 9 | 9 | 9,34 | 11,9 | 52,50 | 10,60 | 2,100 | | | |
| 70x11 | 70 | 11 | 9 | 11,2 | 14,3 | 61,80 | 12,70 | 2,080 | | | |

7. bibliografia e sitografia

Bibliografia:

- IPCC, Climate Change (2007), Fourth Assessment Report
- Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers
- Pedersen Zari, M. (2008), "*Bioinspired architectural design to adapt to climate change*", Melbourne
- The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank (2010), "Cities and climate change: an urgente agenda", Washington DC
- J.M. Benyus (1997) "*Biomimicry: innovation inspired by nature*", New York
- G. Chiesa (2010), "*Biomimetoca. Tecnologia e innovazione per l'architettura*", Torino
- G. Chiesa, R. Pagani, J.M. Tulliani (2015), "*Biomimetica e Architettura. Come la natura domina la tecnologia*", Torino
- T. Herzog (1988), "*Vom inn des details*", Arcus, 3, Rudolf Muller Verlag
- D.W. Thomson (1917), "*On growth and form*", Cambridge
- J.E Gordon (2005), "*Strutture sotto sforzo*", Bologna
- P. Portoghesi (1999), "*Natura e architettura*", Milano
- A. A. Faggal, "*Biomimetic energy conservation techniques & its applications in Buildings*", Cairo
- W. J. R. Curtis (2006), "*L'architettura moderna dal 1900*", Roma
- Conte G. (2008), "*Nuvole e sciacquoni*", Milano

Tesi consultate:

- M. Santos (2018), "*Methods for Sustainable Home design and Costruction*"
- E. Casalino (2019), "*Biomimetica: insegnamenti dalla natura per strutture ottimizzate del futuro*"
- C. D'Andrea, R. Fabris (2019), "*La natura nell'architettura. Applicazione della biomimetica nel processo progettuale*"
- I. Saltarella (2017), "*Biomimetica intelligenza naturale: quando la progettualità è bio-ispirata*"
- E. Rustae (2011), "*Biomimicry Architecture*"
- G. Torlai (2012), "*Recupero e riuso delle acque meteoriche all'interno dell'edificio*",

Sitografia:

- www.biomimicry.org
- www.asknature.org
- www.biomimicryinstitute.it
- www.climate.nasa.gov
- www.ncdc.noaa.gov
- www.jpl.nasa.gov/news
- www.pnas.org
- www.globalchange.gov
- www.europarl.europa.eu
- www.ec.europa.eu
- www.reteclima.it
- www.usgs.gov
- www.istat.it
- www.arpaitalia.it
- www.greenme.it
- www.wwf.it
- www.architetturaecosostenibile.it
- www.marinesight.com
- www.ediltecnico.it
- www.thebreath.it
- www.ilpost.it
- www.bionikasproni.org
- www.c40.org
- www.futurearchitectureplatform.org
- www.peopleforplanet.it
- www.mickpearce.com
- www.slideshare.net
- www.millerhull.com
- www.bullitcenter.architecturemagazine.com

Foto comertina fonte: www.flickr.com

Foto pag. 8 fonte: www.larepubblica.it

Foto pag. 46 scattata da Francesca Adami

8. ringraziamenti

Un ringraziamento sentito va al mio relatore che con disponibilità e professionalità ha seguito il mio lavoro.

Tutte le pagine di questa tesi non basterebbero per ringraziare la mia famiglia. Innanzitutto per avermi dato la possibilità di realizzare questo piccolo sogno. Crescendo ho capito che studiare è un privilegio che non tutti possono avere, perciò grazie. Ringrazio te papà, che con poche parole ma molti gesti mi hai sempre dimostrato il tuo affetto immenso, la tua protezione. Per me, lo sai, sei un esempio, la persona a cui io aspiro a diventare.

Mamma, è una parola che racchiude infinite cose che tu rappresenti per me. Sei la prima persona con cui voglio condividere quello che succede nel mio mondo e per me questo significa tutto. In questo percorso hai sempre creduto in me e le tue parole di incoraggiamento sono state fondamentali, il tutto incorniciato da un amore smisurato che mi ha sempre dato una forza incredibile.

A te, Andi, sarò sempre riconoscente per i sacrifici che hai fatto per me, non facendomi mai mancare nulla. Nonostante non manifestiamo il nostro affetto, quello tra di noi fratelli è un legame profondo, che non potrà mai spezzarsi, qualsiasi cosa accada. Voi per me siete un porto sicuro da sempre, la mia luce in fondo al tunnel e se sono così oggi è tutto merito vostro, dell'amore e dei valori che mi avete trasmesso.

Ringrazio tutti i miei amici veri che conosco da sempre e quelli con cui ho condiviso questi anni, per il loro supporto e incoraggiamento, per la loro comprensione donatami nei miei periodi di assenza. Grazie ad Alessio per i suoi consigli preziosi e le telefonate di supporto in questo periodo.

Grazie Eni per il check finale da esterna, l'ho apprezzato davvero tanto.

Ringrazio infinitamente Attilio e tutto il team G*AA per questa opportunità concessami a cui dedicherò tutto il mio impegno per esserne all'altezza.

Infine ringrazio te, nonna, perchè anche se non ci sei qui, sei sempre stata presente quando mi sentivo più sola. Mi hai accarezzato l'anima, incontrandoti nei miei sogni.

Questo lavoro conclusivo lo dedico a me stessa. A volte non mi capacito della determinazione che ho tirato fuori dall'inizio sino ad oggi. Ho sempre contato sulle mie capacità non facendo affidamento ad altre persone, questo mi ha reso libera ed indipendente. Ho avuto chiari i miei obiettivi e non mi sono mai fatta intimorire, ho lottato e ci ho creduto fino in fondo per renderli reali.

