



Politecnico  
di Torino

**Politecnico di Torino**

DAD - Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea in Design e Comunicazione

## **Il Biodesign della flora marina:**


la Posidonia oceanica e le sue potenzialità come biomateriale

Relatrice:  
Beatrice Lerma

Candidate:  
Mariantonietta Fileccia  
Giorgia Granata  
Martina Iezzi

A.a. 2024/2025

Sessione di Laurea Febbraio 2025



*«Il Design è un modo di discutere la vita. È un modo di discutere  
la società, la politica, l'erotismo, il cibo e persino il Design.»  
Ettore Sottsass, 1993*



# Politecnico di Torino

DAD - Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea in Design e Comunicazione

A.a. 2024/2025

Sessione di Laurea Febbraio 2025

## **Il Biodesign della flora marina:**

la Posidonia oceanica e le sue potenzialità come biomateriale

RELATRICE:  
Beatrice Lerma

CANDIDATE:  
Mariantonietta Fileccia  
Giorgia Granata  
Martina Iezzi



# INDICE

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>INTRODUZIONE</b> | 9 |
|---------------------|---|

## PRIMA PARTE

### **CAP. 1 BIODESIGN**

|  |    |
|--|----|
| 1.1 Definizione di Biodesign                           | 18 |
| 1.1.1 Cenni storici sul Biodesign                      | 30 |
| 1.1.2 Antropocentrismo ecologico e ecocentrismo        | 40 |
| 1.2 Design multispecie e biodiversity inclusive design | 44 |
| 1.3 Biomimesi  | 52 |
| 1.3.1 Biomimicry design methodology                    | 55 |
| 1.4 Casi studio di materiali prodotti e servizi        | 65 |

### **CAP. 2 LA FLORA MARINA**

|   |     |
|---|-----|
| 2.1 Piante marine: definizione e struttura    | 136 |
| 2.2 Alghe: definizione e struttura            | 152 |
| 2.3 Indici ambientali sul territorio italiano | 164 |

### **CAP. 3 PIANTE E ALGHE MARINE NEL BIODESIGN**

|   |     |
|---|-----|
| 3.1 Piante e alghe marine come biomateriali | 176 |
| 3.2 Impieghi                                | 181 |
| 3.3 Tecniche di lavorazione                 | 235 |

## SECONDA PARTE

### **CAP.4 POSIDONIA OCEANICA**

|  |     |
|--|-----|
| 4.1 Posidonia oceanica: biologia e ecologia                                    | 262 |
| 4.2 Un ecosistema in pericolo: impatto antropico sulle praterie di P. oceanica | 272 |
| 4.3 Le banquettes di Posidonia spiaggiata                                      | 280 |
| 4.3.1 Morfologia   | 280 |
| 4.3.2 Ruolo ecologico  | 281 |
| 4.3.3 Gestione degli accumuli di P. oceanica                                   | 286 |
| 4.3.4 Quadro normativo nazionale   | 291 |
| 4.4 La Posidonia oceanica come biomateriale                                    | 295 |
| 4.5 Casi studio di materiali e prodotti  | 308 |

### **CAP.5 METAPROGETTO**

|   |     |
|---|-----|
| 5.1 Identificazione del problema                      | 336 |
| 5.1.1 Perché intervenire?                             | 337 |
| 5.2. Proposta metaprogettuale: rigenerazione costiera | 339 |
| 5.3 Proposta metaprogettuale: pannelli ecologici      | 359 |
| 5.4 Proposta metaprogettuale: packaging               | 379 |
| 5.5 Lettura critica                                   | 400 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| <b>CONCLUSIONE</b>  | 403 |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b> | 405 |
| <b>SITOGRAFIA</b>   | 409 |

# INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, il **Design** ha dovuto affrontare una crescente esigenza di rivalutare il proprio ruolo di fronte alla crisi ambientale, abbracciando un **approccio più sostenibile e interdisciplinare**. In tale contesto, il **Biodesign** si è consolidato come una disciplina capace di **unire la progettazione alla biologia**, offrendo soluzioni innovative che si fondano sull'impiego di materiali naturali e processi ispirati agli ecosistemi. Questa tesi si colloca in questo contesto, mirando a investigare le potenzialità della **Posidonia oceanica**, una pianta marina tipica del Mar Mediterraneo, come **biomateriale per utilizzi progettuali sostenibili**.

La tesi si sviluppa in **cinque capitoli**, ognuno dei quali tratta un particolare aspetto della ricerca, contribuendo alla creazione di un quadro complessivo che ha condotto alla formulazione di **tre idee metaprogettuali**.

Nel primo capitolo viene presentato il **concetto di Biodesign**, esaminandone le radici storiche, i principi chiave e le sue sotto-discipline. Si analizzano concetti fondamentali quali la **Biomimesi**, il **Design Multispecie** e il **Biodiversity Inclusive Design**. In aggiunta, vengono **presentati esempi pratici di materiali e prodotti innovativi** che hanno utilizzato principi di Design sostenibile, offrendo un contesto teorico fondamentale per lo sviluppo delle fasi future della ricerca.

Nel secondo capitolo viene esaminata la **vegetazione marina** che caratterizza il **territorio italiano**, esplorando le **differenze tra piante marine e alghe**, enfatizzando in particolare la loro struttura e ruolo negli ecosistemi marini. Sono stati analizzati gli **indici ambientali e le condizioni ecologiche** che definiscono il Mediterraneo, identificando le principali specie vegetali rilevanti per il Biodesign.

Nel terzo capitolo, si esplora il contributo delle **piante e delle alghe marine come biomateriali**, analizzando le **metodologie di lavorazione** e le loro **applicazioni nei campi dell'edilizia, della moda, della medicina, dell'energia e del packaging**. Attraverso l'**analisi di molteplici casi studio**, emergono i benefici e le difficoltà connesse all'uso di questi materiali innovativi.

Il quarto capitolo offre un'**analisi approfondita della Posidonia oceanica**, esaminando la biologia, la distribuzione geografica e l'importanza ecologica. Si sottolinea il suo **rilievo per la biodiversità oceanica e la stabilizzazione delle coste**, oltre alle questioni connesse all'impatto umano e ai cambiamenti climatici che mettono a rischio la sussistenza delle

praterie di Posidonia. Successivamente, viene analizzato il **fenomeno della Posidonia spiaggiata** e dei suoi accumuli: le **banquettes**. Si esamina la sua **composizione, la funzione ecologica e geomorfologica, e il contesto normativo riguardo alla sua gestione**. Vengono mostrati vari casi studio che evidenziano le **possibilità di riutilizzo della Posidonia spiaggiata** trasportata a riva in diversi contesti progettuali.

Nel quinto capitolo vengono illustrate le **tre proposte metaprogettuali** elaborate basandosi sulle informazioni ottenute nei capitoli precedenti:

- **Rigenerazione Costiera:** un approccio di intervento fondato sulla **reintegrazione controllata** della Posidonia spiaggiata negli ecosistemi costieri, per **combattere l'erosione e promuovere la biodiversità**, attraverso la creazione di **barriere coralline artificiali**.
- **Pannelli Sostenibili:** una risposta per l'architettura e l'interior design eco-friendly, grazie alla creazione di **pannelli compositi** ottenuti da fibre di Posidonia oceanica e resine ecologiche.
- **Packaging Biodegradabili:** un'applicazione nel campo del packaging, che utilizza le caratteristiche antibatteriche della Posidonia oceanica per creare **contenitori ecologici e totalmente biodegradabili**.

Lo scopo principale della tesi è quello di ricerca sul tema del Biodesign della flora marina, con particolare attenzione alla **biomassa spiaggiata di Posidonia oceanica** come risorsa naturale erroneamente considerata un rifiuto, ma che se **valorizzata** può portare a importanti **benefici per l'ecosistema marino e terrestre**

# 1

# BIODESIGN

|  |       |
|--|-------|
| DEFINIZIONE DI BIODESIGN                           | 1.1   |
| CENNI STORICI SUL BIODESIGN                        | 1.1.1 |
| ANTROPOCENTRISMO ECOLOGICO E ECOCENTRISMO          | 1.1.2 |
| DESIGN MULTISPECIE E BIODIVERSITY INCLUSIVE DESIGN | 1.2   |
| BIOMIMESI  | 1.3   |
| BIOMIMICRY DESIGN METHODOLOGY                      | 1.3.1 |
| CASI STUDIO DI PRODOTTI MATERIALI E SERVIZI        | 1.4   |

## CAPITOLO 1 Biodesign

Il Design sta affrontando la pressante necessità di **modificare i propri metodi e ridefinire le proprie priorità progettuali** per far fronte all'accelerazione della **crisi ambientale** in atto.

Pressioni intellettuali, etiche e normative ricadono sui **progettisti** e richiedono una presa di coscienza sulla fragilità della natura e sulla responsabilità di preservarla per le generazioni attuali e future.

Il Design in quest'epoca di **accelerata evoluzione tecnologica** e delle **drammatiche questioni politiche, ambientali, sociali ed economiche** che ne conseguono, ha bisogno di **fondersi con altre discipline** per trascendere dai suoi confini tradizionali ed evolversi verso degli output progettuali sostenibili sul lungo periodo [1].

**La sostenibilità**, intesa in chiave moderna, è emersa a partire dagli anni '60 e '70 del XX secolo con l'ascesa dei **primi movimenti ambientalisti** che, cavalcando i moti rivoluzionari del 1968, iniziarono a diffondere il loro manifesto improntato sulla **giustizia ambientale**. In questo periodo storico, l'opinione pubblica inizia a prendere coscienza del problema ambientale, anche grazie alla pubblicazione nel 1962 del libro *Silent Spring* della biologa americana **Rachel Carson**. Carson grazie alla sua ricerca sui danni ambientali e sanitari apportati dall'uso massiccio di pesticidi, osserva come il **benessere della natura e quello dell'uomo siano profondamente interconnessi**: distruggere l'ambiente equivale a compromettere la salute e il futuro dell'umanità stessa [2].

Grazie alle loro rivendicazioni, si sono messe in discussione le attività umane negligenti nei confronti della capacità del pianeta di sopportare lo sfruttamento delle risorse naturali. Questa nuova consapevolezza ha portato, con l'avanzare del tempo, a una maggiore **sensibilità ambientale**

[1] Meyers W., (2012), BIODESIGN: nature, science, creativity, Thames & Hudson Ltd.

[2] Pagano, P. (2004). Antropocentrismo, biocentrismo, ecocentrismo: una panoramica di filosofia ambientale. ENEA





[Fig. 1.1] Gro Harlem Brundtland parla all'Assemblea generale delle Nazioni Unite come primo ministro della Norvegia, 1987.



[Fig. 1.2] Commissione Mondiale per l'Ambiente e lo Sviluppo delle Nazioni Unite del 20 marzo 1987.

e, di conseguenza, a una serie di azioni politico-economiche più equilibrate. A partire dagli anni '80 del XX secolo, si è diffuso il concetto di **sviluppo sostenibile**. Apparso dapprima nel **rapporto Our Common Future**, più notoriamente conosciuto come **Rapporto Brundtland**, è un'espressione coniata da **Gro Harlem Brundtland** [Fig. 1.1] mentre rivestiva le vesti di coordinatrice della **Commissione Mondiale per l'Ambiente e lo Sviluppo delle Nazioni Unite del 20 marzo 1987** [Fig. 1.2].

Come afferma Brundtland:

«Lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere i bisogni e la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri.» (Rapporto Brundtland, 1987)

Per raggiungere una condizione di sostenibilità ambientale, sociale e economica è necessario apportare **cambiamenti sistemici e strutturali** nell'organizzazione dei mercati, nella concezione e nell'utilizzo delle infrastrutture dei trasporti e nel modo in cui lavoriamo e viviamo. Come afferma lo scrittore britannico **John Thackara**, nel suo libro *In The Bubble*, **i principi della sostenibilità** sono [4]:

- eliminare il concetto di rifiuti;
- ridurre il trasporto e coinvolgere più persone;
- utilizzare meno materie prime;
- sfruttare i flussi di energia naturale (Thackara, 2004).

La **sfida della sostenibilità** consiste nel rendere questi principi effettivi e condivisibili tra le persone, cosa che rientra nei compiti della progettazione. **L'80% dell'impatto ambientale** esercitato dai prodotti, dai servizi e dalle infrastrutture attorno a noi **viene determinato allo stadio progettuale**. Le decisioni prese in questa fase sono cruciali perché danno forma ai processi che determinano la qualità dei prodotti che utilizziamo, i materiali e le energie necessari alla loro produzione, il loro uso e consumo. In quest'ottica il **ruolo del progettista** diventa quello di *problem solver*: se siamo stati in grado di progettare modi per rendere il costo della vita insostenibile, possiamo progettarne altri **per risolvere i nostri problemi** [4].

Il **progettista sostenibile** è in grado di modificare una situazione esistente

[3] 1987: Rapporto Brundtland. (2021, 20 gennaio). Bundesamt für Raumentwicklung ARE. <https://www.aren.admin.ch/aren/it/home/media-e-pubblicazioni/pubblicazioni/sviluppo-sostenibile/brundtland-report.html>

[4] Thackara J., (2004), *In The Bubble: design per un futuro sostenibile*, Umberto Allemandi & Co. Publishing.

rendendola favorevole **senza danneggiare la comunità o l'ambiente** in cui opera [4].

Al fine di apportare cambiamenti sistemici nell'organizzazione della nostra società, in anni recenti, più discipline stanno **collaborando** tra loro in un'ottica di **scambio di saperi**. Tra queste collaborazioni, una nuova forma di progettazione organica si sta rapidamente evolvendo grazie alle sperimentazioni scaturite dalle collaborazioni tra **biologi e designer**.

---

[4] Thackara J., (2004), In The Bubble: design per un futuro sostenibile, Umberto Allemandi & Co. Publishing.



## 1.1 Definizione di Biodesign

Il **Biodesign** è un approccio progettuale che **integra principi di design con la scienza**, in particolare **la biologia**, proponendo soluzioni che si ispirano e si adattano ai **principi della natura**, creando approcci circolari senza andare a danneggiare la comunità o l'ambiente in cui si opera.

Il biodesign utilizza come **materia prima organismi viventi** (batteri, funghi e micelio, alghe, licheni e piante), **risorse derivate da piante** (cellulosa, amido, fibre naturali, piante acquatiche), **sottoprodotti agricoli e industriali** (scarti agricoli e residue alimentari) e **materiali bioingegnerizzati** (proteine ricombinate e biopolimeri). Al centro del biodesign c'è l'idea di **collaborare con la natura**, anziché sfruttarla, per sviluppare prodotti, materiali, sistemi o processi che siano in armonia con l'ambiente.

In altre parole, il biodesign cerca di **armonizzare l'interazione tra l'ambiente costruito e il mondo naturale**, proponendo soluzioni che riducono l'impatto ambientale e promuovono la rigenerazione ecologica [1].

Tra gli output del Biodesign è possibile individuare servizi, sistemi, componenti e materiali. I **biomateriali**, secondo la definizione stabilita dall'*International Consensus Conference on Biomaterials*, tenutasi nel 1991 a Chester nel Regno Unito, sono:

*«Materiali concepiti per interfacciarsi con i sistemi biologici, siano essi tessuti viventi, microrganismi oppure organismi».* (Reis, 2020)

Il biomateriale può essere **rinnovabile, biodegradabile** o persino **vivente**, in questo modo si estende il ciclo vita di prodotti e materiali che **non diventano rifiuti**, ma grazie ad opportuni processi vengono reimmessi in nuovi cicli produttivi come materie prime seconde o ritornano nella natura, **rigenerando la biosfera**, in un'ottica di **economia circolare**.

---

[1] Meyers W., (2012), BIODESIGN: nature, science, creativity, Thames & Hudson Ltd.  
 [5] Reis, R. L. (2020). 2nd Consensus conference on definitions on biomaterials science. Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine, 14(4), 561–562. <https://doi.org/10.1002/term.3016>



[Fig. 1.3] Sperimentazione biotecnologica a partire dalla materia vegetale.



[Fig. 1.4] Biofabbricazione di un materiale a partire dal micelio.



[Fig. 1.5] Bioispirazione a partire dal pattern e dalla texture di una foglia.

I biomateriali differiscono dai materiali tradizionali come la plastica, il legno, la ceramica o il vetro, pertanto, le implicazioni di ogni progetto vanno ben oltre l'equazione forma/funzione e i preconcetti su comfort, modernità o progresso vanno riformulati [6].

Analizzando la disciplina del Biodesign sono stati individuati tre approcci progettuali caratterizzati dalla condivisione di saperi tra designer e biologi: **la biotecnologia** [Fig. 1.3], **la bio-fabbricazione** [Fig. 1.4] e la **bio-ispirazione** [Fig. 1.5].

Con **biotecnologia** si intende la capacità di sfruttare processi biologici, organismi, cellule o componenti cellulari per sviluppare nuove tecnologie. **Daniel Grushking** è il fondatore della *Biodesign Challenge*, un programma internazionale per studenti universitari e liceali nato con il fine di introdurre l'intersezione tra biotecnologia, arte e design e diffondere le loro idee e progetti.

Secondo Grushking, il biodesigner vede la potenzialità della biotecnologia e la sua abilità di modellare il mondo, ovvero percepisce i **processi biologici, organismi, cellule o componenti cellulari** come **partner progettuali** nel momento della progettazione. Esaminando il ciclo di vita di un prodotto, i biodesigner trasformano i flussi di rifiuti in materie prime per il ciclo successivo. In questo modo il biodesign **si distacca radicalmente dalla prospettiva consumistica** e a breve termine della nostra vita quotidiana. Come afferma Grushking, considerare la nostra specie superiore alle altre è come se il cuore disprezzasse il cervello per sentirsi più importante [7].

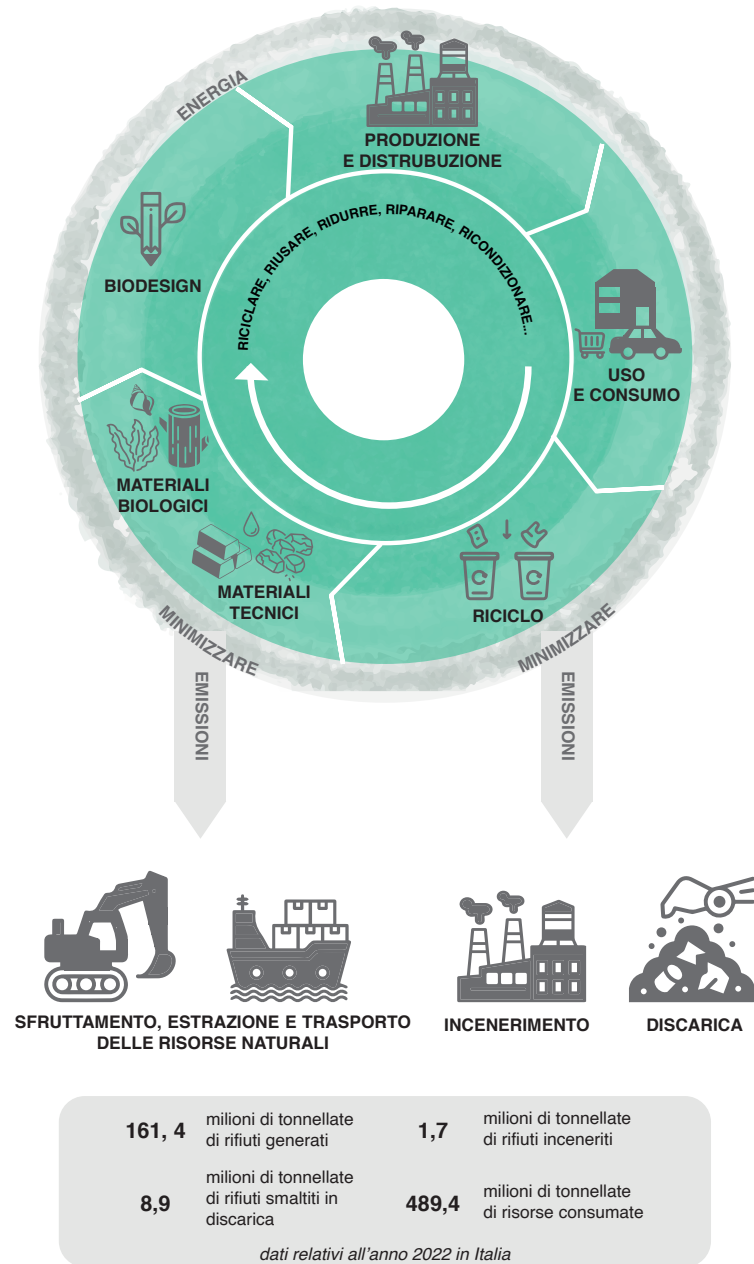
Il Biodesign, inoltre, può essere formulato come metodo per usufruire della tecnologia al fine di **rafforzare i legami sociali** e fornire **maggiore valore alla produzione di prodotti e materiali**. Bisogna praticare il **design per il mondo reale**, cioè un design iscritto nel suo contesto culturale e cosciente delle sue responsabilità morali che non ignori né il milieu tecnico contemporaneo digitale né la sua funzione sociale.

Questo approccio ci viene fornito da **Bernard Stiegler** (1952-2020), filosofo francese interessato al tema della tecnica e della tecnologia, in particolare

[6] Andréen, D., & Goidea, A. (2022). Principles of biological design as a model for biodesign and biofabrication in architecture. *Architecture, Structures and Construction*.

[7] Grushkin, D. (2021). What Is Biodesign? *Issues in Science and Technology*.

[8] Stiegler, B., & Collettivo Internation. (2020). L'assoluta necessità. in risposta ad antonio gutierrez e greta thunberg. *Meltemi Linee*.



[Fig. 1.6] Schematizzazione dell'economia circolare, un approccio che mira a massimizzare il riutilizzo dei materiali e a minimizzare i rifiuti e le emissioni lungo l'intero ciclo di vita dei prodotti.

Fonte dati: spr, 2024 Rapporto rifiuti speciali, <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-speciali-edizione-2024>

nel tentativo di ripensare il ruolo di queste nella costituzione dell'umano e nello sviluppo politico e economico della società occidentale [8].

Bernard Stiegler ha inoltre fondato il *Collettivo Internation*, ovvero un gruppo eterogeneo di scienziati, economisti, filosofi, designer e cittadini socialmente attivi, con cui ha collaborato per la stesura del libro: *L'assoluta necessità. In risposta ad Antonio Guterres e Greta Thunberg* pubblicato nel 2020. Nel libro, si discute sulla sfida odierna di **formalizzare e attivare a livello planetario nuovi modelli di produzione** che siano in grado di mitigare le drammatiche questioni ambientali, sociali e politiche attuali, arrivando a creare **un'attività economica nuova** [22] [23].

Per riformulare una **nuova economia** [Fig. 1.6] è necessario innanzitutto analizzare l'economia attuale. Ci troviamo ad affrontare i limiti di un modello economico che ha prostrato interi paesi e che alimenta **diseguaglianze sociali ed economiche** ormai inaccettabili. Miliardi di **tonnellate di CO<sub>2</sub>** vengono rilasciate nell'atmosfera ogni anno a seguito dei processi di estrazione e lavorazione di carbone, petrolio e gas, risorse alla base dei materiali che utilizziamo ogni giorno. In particolar modo, nel 2022 si è registrato che la combustione globale di combustibili fossili e i processi industriali che ne conseguono, sono responsabili di circa il 90% di queste emissioni dannose, mentre lo sfruttamento del suolo, deforestazione, allevamenti intensivi, monoculture ecc. ne sono responsabili per il 10% circa [10].

In quest'ottica **circolare**, la ricerca sul design ha subito un cambiamento radicale, spostando i processi di *design thinking* verso la **concezione di nuovi materiali** e trasformando i **designer in esperti della bio-fabbricazione**. Questo nuovo approccio alla progettazione contribuisce, anche se ancora parzialmente, alla **risoluzione dei problemi ambientali**, creando **nuove opportunità economiche** basate sul crescente interesse rivolto verso **l'ecologia, la biologia e lo sfruttamento consapevole** delle risorse ambientali.

Con **bio-fabbricazione** si intende l'atto di costruire nuovi materiali, risorse e sistemi con la biologia.

[9] Ciarrapica, J.C. (2022). B. Stiegler - L'assoluta necessità. rivista Antonianum, 97, 469-473.  
 [10] Silvestrini, G. (2015). 2C Innovazioni radicali per vincere la sfida del clima e trasformare l'economia. Edizioni Ambiente.

[11] TED Talk. (2019, luglio). Why "biofabrication" is the next industrial revolution [Video]. TED Talk. [https://www.ted.com/talks/suzanne\\_lee\\_why\\_biofabrication\\_is\\_the\\_next\\_industrial\\_revolution?lng=it&geo=it&subtitle=en](https://www.ted.com/talks/suzanne_lee_why_biofabrication_is_the_next_industrial_revolution?lng=it&geo=it&subtitle=en)

Invece di trasformare gli organismi viventi per fare materiali di consumo, è possibile **creocere materiali a partire da organismi viventi**, andando incontro a quella che in molti stanno già chiamando la **quarta Rivoluzione Industriale**.

Le fabbriche non saranno più di mattoni e cemento ma saranno cellule, batteri, alghe, funghi e lieviti. Si tratta di un settore che offre una **notevole efficienza delle risorse**: dalla **riduzione del consumo di acqua, energia e sostanze chimiche** necessarie per la produzione di un materiale fino alla **generazione di rifiuti zero**, grazie a **materiali compostabili e biodegradabili**. Diversi studi hanno dimostrato che è possibile crescere una grande varietà di strutture **a partire da organismi viventi** come schiume per sostituire le materie plastiche nelle calzature, a materiali similpelle senza lo sfruttamento animale.

È necessario tener conto di quattro principi quando si parla di progettazione biologica, affinché avvenga un cambiamento nel paradigma tecnologico attuale, verso un **paradigma nuovo basato sulla bio-fabbricazione**. Questi principi sono:

- complessità e specificità della forma;
- diversità delle caratteristiche del materiale;
- durevolezza e resilienza del materiale;
- feedback e adattamento [12].

La **complessità e specificità della forma** consentono un'elevata performatività degli ambienti quando si utilizzano materiali a basso impatto; La **diversità delle caratteristiche del materiale** è necessaria per mantenere la sostenibilità dei biomateriali quando vengono ampliati ai volumi dell'industria edile; La **durevolezza e la resilienza** dei biomateriali consentono ai progettisti di lavorare con materiali che altrimenti sarebbero considerati troppo deboli; Infine, **i feedback e l'adattamento** sono principi fondamentali della progettazione biologica, che consentono alle piante e agli animali di evolvere costantemente in risposta a condizioni mutevoli, su scale temporali multiple e di gestire la progettazione di sistemi complessi [12].

[11] TED Talk. (2019, luglio). Why "biofabrication" is the next industrial revolution [Video]. TED Talk. [https://www.ted.com/talks/suzanne\\_lee\\_why\\_biofabrication\\_is\\_the\\_next\\_industrial\\_revolution?lng=it&geo=it&subtitle=en](https://www.ted.com/talks/suzanne_lee_why_biofabrication_is_the_next_industrial_revolution?lng=it&geo=it&subtitle=en)

[12] Andréen, D., & Goidea, A. (2022b). Principles of biological design as a model for biodesign and biofabrication in architecture. Architecture, Structures and Construction. <https://doi.org/10.1007/s44150-022-00049-6>

Incorporare organismi viventi alla progettazione e fabbricazione digitale permette di scoprire la ricca diversità del mondo biologico. L'uso di biomateriali in **strutture tradizionali** potrebbe non risultare efficace, poiché queste ultime sono solitamente progettate per materiali tradizionali.

Tuttavia, se i biomateriali vengono integrati in un processo di costruzione basato su **principi biologici**, ovvero un approccio che si ispira alla natura e valorizza aspetti come flessibilità, rigenerazione e sostenibilità, essi possono avere un impatto trasformativo.

In questo caso, anziché cercare di adattare i biomateriali a metodi costruttivi convenzionali, sarebbe più efficace **ripensare l'intero sistema di costruzione** per sfruttare le potenzialità uniche di questi materiali. Come afferma **Suzanne Lee**, fashion designer e pioniera della bio-fabbricazione, un mondo bio-fabbricato:

*«It's one that moves away from the exploitation of nonrenewable resources to working with the original, renewable life. Instead of designing out life we're designing with it and for it» (Why "biofabrication" is the next industrial revolution, 2019)*

Un'altra lente attraverso cui si può leggere il biodesign è la bioispirazione. Con **bio-ispirazione** si intende **lo studio minuzioso del sistema naturale**, al fine di comprendere i **meccanismi di funzionamento** degli organismi viventi, ed **emularli e applicarli** a artefatti, infrastrutture e sistemi umani. Questa analisi, si concentra con interesse su **tutte le specie naturali**, dalle cellule, agli organismi o ai sistemi di organizzazione e di adattamento evolutivo. Questo approccio scientifico è adattabile per diversi impieghi, dal campo del design, all'architettura, ai modelli fisici, sistemi ingegneristici e progetti tecnologici. L'osservazione della complessità del mondo naturale è utile per imitare i comportamenti e per sviluppare sistemi più efficaci a livello di **efficienza energetica, di coerenza organizzativa, multifunzionalità e autoadattamento** [13].

Ricerche improntate alla bio-ispirazione comprendono importanti discipline come la **Biomimesi**, termine coniato a **Janine Beynus** per descrivere una progettazione che si impegna a risolvere problematiche umane attraverso

[11] TED Talk. (2019, luglio). Why "biofabrication" is the next industrial revolution [Video]. TED Talk. [https://www.ted.com/talks/suzanne\\_lee\\_why\\_biofabrication\\_is\\_the\\_next\\_industrial\\_revolution?lng=it&geo=it&subtitle=en](https://www.ted.com/talks/suzanne_lee_why_biofabrication_is_the_next_industrial_revolution?lng=it&geo=it&subtitle=en)

[13] Anaclerio, N. (2022, 2 gennaio). Bioispirazione: imparare dalla natura. BioPills. <https://www.biopills.net/bioispirazione/>



[Fig. 1.7] La collaborazione tra il dipartimento di biologia e il dipartimento di design dell' University College di Londra ha progettato Indus Tiles, piastrelle create a partire da alghe vive in grado di assorbire inquinanti da acqua piovana.

l'ispirazione formale e funzionale al mondo naturale

L'integrazione di sistemi viventi nel design non è però esente da **errori, abusi o controversie**. Ad esempio, il biodesign include l'uso della **biologia sintetica**, che consiste nella creazione di **sistemi biologici artificiali**, da cui ne deriva il pericolo di **sconvolgere gli ecosistemi naturali**. Bisogna tener conto dei **dubbi etici** che derivano da questa disciplina, la biologia sintetica, infatti, fornisce all'uomo la possibilità di progettare la vita e di cambiare il mondo naturale.

Ad esempio, se una specie bioingegnerizzata diventasse dominante in un settore agricolo, le risorse alimentari potrebbero essere più uniformemente vulnerabili a nuovi agenti patogeni.

Ma i **potenziali vantaggi** e la necessità di riformare le pratiche attuali verso un approccio più in sintonia con i sistemi biologici **superano** di gran lunga i **rischi** [14].

Come è già stato introdotto, nel campo emergente del Biodesign, c'è un crescente bisogno di **interdisciplinarietà e collaborazione tra designer, artisti e scienziati**. Per facilitare tale lavoro, i progettisti spesso si avventurano al di fuori dei limiti del proprio campo di progettazione e si impegnano con metodi, conoscenze e linguaggio di altre discipline. Le collaborazioni nel settore del biodesign spaziano dalla *basic research* alla *applied research*, incorporando le conoscenze e le idee esistenti in diverse discipline.

Per i **designer collaborare con gli scienziati** significa arricchire le proprie competenze e poter usufruire di **nuovi algoritmi computazionali**, ad esempio per **replicare i naturali modelli di crescita, sviluppare soluzioni tecnologiche innovative** ed entrare nei laboratori permettendo di partecipare agli stadi iniziali di sviluppo di **un nuovo materiale o prodotto**.

Per **gli scienziati**, invece, **collaborare con i designer** porta a nuovi strumenti per **visualizzare e comprendere i dati**, e all'accesso a tecnologie di rapida prototipazione per valutare l'efficacia di un esperimento.

La ricerca per la prototipazione di nuovi materiali a partire da organismi viventi nell'ambito del biodesign parte principalmente **dalle università e**

[14] Tonelli, E. (2020). Biodesign. Progettare secondo la natura per salvare il pianeta. Agorà Magazine, 6.

Un leader nel settore della bio-progettazione è la *Delft University of Technology*, nei Paesi Bassi. La ricerca in questo settore è portata avanti, in particolare nel dipartimento di Ingegneria Civile e nel dipartimento di Geoscienza, ed esplora l'**interazione tra gli ambienti naturali e quelli costruiti**, con un crescente interesse per **approcci sostenibili alla progettazione** e all'integrazione dei processi naturali in diversi ambiti della vita quotidiana e non. Presso la sede di Delft, i ricercatori **sfruttano la biologia** per creare **nuove materie prime** a partire da organismi viventi, ad esempio per sviluppare materiali auto curanti.

**Robert Kleerebezem**, membro del gruppo di ricerca ambientale e biotecnologico dell'università di Delft, adotta un approccio in contrasto con l'ingegneria genetica o la biologia sintetica. Egli pratica il **Microbial Community Engineering (MCE)**, lavorando con coltivazioni microbiche per la polimerizzazione di nuove materie plastiche a sostituzione dei polimeri fossili [1].

Un gruppo ristretto di architetti, accademici, biologi, urbanisti e artisti hanno creato un laboratorio non convenzionale a New York, che crea materiali a partire da materia biologica, compresi i batteri e i funghi

*The One Lab School for Urban Ecology*, nasce nel 2009 grazie all'architetta **Maria Aiolova**. Questo innovativo laboratorio si trova nel quartiere di Brooklyn a New York e offre **workshop sulla biofabbricazione**, sulla **biomimetica**, sull'**urbanistica**, sulla programmazione parametrica e sull'**impiego di organismi nelle infrastrutture**. Questo laboratorio ha l'obiettivo di unificare diversi approcci, sfruttando le competenze e i saperi di diverse organizzazioni focalizzate sull'educazione e l'ecologia, tra cui *Terreform ONE*, *Genspace*, *il laboratorio multimediale del MIT*, *la Columbia University* e *la Scuola Forestale di Yale* [1].

Tra i diversi workshop offerti dalla scuola è possibile trovare il **workshop di biofabbricazione**, dove gli studenti vengono introdotti alla tecnologia contemporanea che **sfrutta il codice del DNA per creare circuiti genetici** che possono essere inseriti all'interno di un organismo ospite (ad esempio batteri), per svolgere funzioni specifiche.

Oppure il **workshop Mycofrom to Mycotecture**, dove vengono esplorati i potenziali vantaggi di una **intersezione tra il design e la micologia**, il

---

[1] Meyers W., (2012), BIODESIGN: nature, science, creativity, Thames & Hudson Ltd.

ramo della biologia che esamina le proprietà e il comportamento dei funghi.

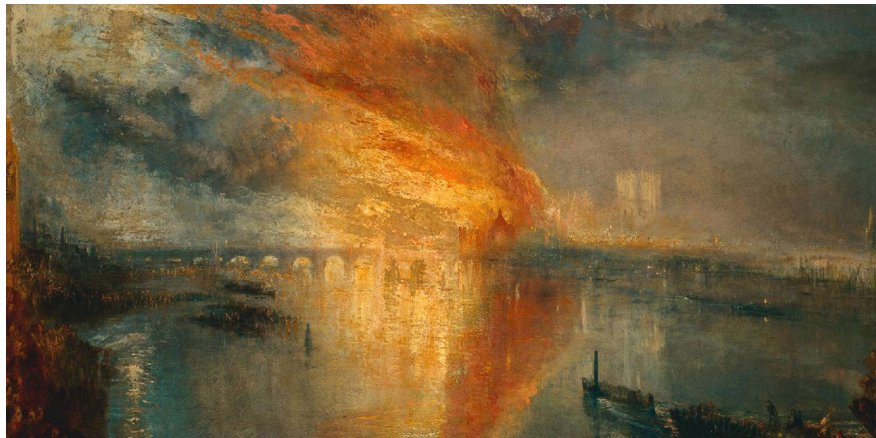
Altri istituti importanti nel settore del biodesign e della bio-fabbricazione sono il *Biology and the Built Environment (BioBe) Center* in Oregon, negli Stati Uniti, fondato nel 2010 e impegnato nello studio di come **complessi ecosistemi microbiologici influenzino e siano influenzati dall'uomo**; Il dipartimento di *Design Interactions at Royal College of Art*, nel regno Unito, che facilita l'interazione tra discipline con l'obiettivo di **esplorare il potenziale impatto sociale, culturale e etico delle nuove tecnologie**; e il *SymbioticA, Centre of Excellence in Biological Arts dell'University of Western Australia*, con l'obiettivo di imparare e criticare la scienza, si impegna a stabilire collaborazioni tra diverse discipline, tra cui il design, l'anatomia e la biologia, per progettare con curiosità **svincolandosi dalle convenzioni della scienza formale** [1].

---

[1] Meyers W., (2012), BIODESIGN: nature, science, creativity, Thames & Hudson Ltd.



[Fig. 1.8] John Constable, *Stratford Mill*, olio su tela, 1820.



[Fig. 1.9] William Turner, *L'incendio delle Camere dei Lord e dei Comuni*, olio su tela, 1835.



[Fig. 1.10] Caspar David Friedrich, *Il monaco in riva al mare*, olio su tela, 1808-1810.

## 1.1.1 Cenni storici sul biodesign

L'imitazione della natura nella progettazione di prodotti, materiali o servizi è un fenomeno antico, che affonda le sue radici in diverse forme artistiche e movimenti culturali del passato. Il desiderio di interpretare la natura, andando a indagare le sue forme, riflette **la volontà dell'uomo di comprendere le forze che governano la vita**, e di ricercare **un'armonia e una bellezza ideale** attraverso l'arte e la progettazione.

Questa ambiziosa ricerca è ricorrente nelle scritture, e nelle opere che hanno contrassegnato diversi periodi storici.

Di seguito ci concentreremo, in particolar modo, su **Romanticismo, Arts & Craft e Art Nouveau**, sottolineando i valori, le estetiche e le ispirazioni che questi movimenti hanno tratto dal mondo naturale.

Il **Romanticismo** è un movimento artistico e culturale dapprima diffuso in Germania nel **XVIII secolo** e successivamente in Europa nel XIX.

Per la prima volta, in questo periodo storico, **i soggetti e i paesaggi naturalistici** si affermano definitivamente come **iconografie**.

È infatti questo il periodo in cui si assiste all'esplosione delle categorie estetiche **del sublime e del pittoresco**. Due concetti che trovano espressione proprio nella natura, sia nelle sue **manifestazioni positive** [Fig. 1.8] che nelle sue spettacolari e **spaventose configurazioni** [Fig. 1.9] [Fig. 1.10]. Le due scuole romantiche più importanti sono la scuola anglo-americana con pittori come **William Turner** (1775-1851) e **John Constable** (1776-1837), nella loro rappresentazione fedele del soggetto naturale; e la scuola tedesca con **Caspar David Friedrich** (1774-1840) e la sua rappresentazione simbolica ed emblematica del rapporto tra uomo e natura [15].

Lo studio delle armonie e della mimetica formale dell'elemento naturale,

[15] Nifosi, G. (2021, 24 aprile). Il Romanticismo, il sublime e le nuove teorie estetiche. ArteSvelata. <https://www.artesvelata.it/romanticismo/>





[Fig. 1.11] Ernest Haeckel, Plate: 68 Talamóforos, 1904, Art Forms in Nature.



[Fig. 1.12] Ernest Haeckel, Plate 72: Muscinae, 1904, Art Forms in Nature.



[Fig. 1.13] William Morris, Acanto, 1875, Victoria and Albert Museum, London.



[Fig. 1.14] William Morris, Pimpernel, 1876.

ha raggiunto il picco alla fine del XIX secolo, grazie al movimento artistico e culturale dell'Arts & Craft e nel primo decennio del XX secolo con l'affermarsi dell'Art Nouveau in Francia e nelle sue diverse sfaccettature nel resto d'Europa.

Il movimento Arts and Crafts si sviluppa in Inghilterra, in opposizione alla rapida industrializzazione, colpevole di un progressivo abbandono delle pratiche artigianali. Proprio per questo motivo, i membri del movimento si fanno promotori di un ritorno alla qualità del lavoro manuale e alla natura come principale fonte d'ispirazione.

In questo contesto emerge il lavoro di naturalisti e pionieri della biologia come Ernst Haeckel. Ernst Haeckel (1834-1919) è stato un biologo, zoologo, filosofo e artista tedesco. Uno dei suoi scritti di maggiore importanza è *Kunstformen der Natur* (dal tedesco **Le forme d'Arte della Natura**) un libro di litografie e stampe autotipiche pubblicato per la prima volta nel 1904. In questo lavoro Haeckel ha meticolosamente descritto, nominato e illustrato migliaia di nuove specie: queste tavole naturalistiche rappresentano la natura e le sue leggi, e riflettono l'operare della natura nel tempo, attraverso le rappresentazioni di diverse famiglie di specie naturali o vegetali nella loro evoluzione [16] [Fig. 1.11] Fig. 1.12].

Il letterato, architetto e socialista inglese William Morris (1834-1896) fu uno degli esponenti più importanti dell'Arts & Craft. Morris ha rifiutato i valori ignobili della produzione e gli aspetti disumanizzanti del capitalismo vittoriano, scegliendo di concentrarsi invece sui valori comuni dell'area medievale. Gli ideali di artigianato di Morris e il suo uso di stilizzate forme floreali e organiche [Fig.1.13] [Fig. 1.14] hanno trovato il favore di molti artisti dell'Art Nouveau.

Le origini dell'Art Nouveau possono essere ricondotte al movimento delle arti e dei mestieri, sempre in risposta alla crescente industrializzazione in Europa e all'aumento della produzione di massa nelle fabbriche, percepite come eventi dannosi per i mestieri tradizionali e l'artigianato. Il movimento Art Nouveau, prende piede dapprima in Francia per poi, diffondersi in diverse sfaccettature in Italia, con il nome di stile Liberty, in Svizzera con il nome Jugendstil, e a Vienna, Monaco e Berlino con il nome di Secessionisti.

[16] Canadelli, E. (s.d.). Un caso di estetica della natura Le Kunstformen der Natur Di Ernst Haeckel. Unimi. [http://www.lettere.unimi.it/Spazio\\_Filosofico/imago/haeckel/elenacnadelli](http://www.lettere.unimi.it/Spazio_Filosofico/imago/haeckel/elenacnadelli)



[Fig. 1.15] Victor horta, scala interna dell'Hotel Tassel, 1882-1883, Bruxelles.

L'Art Nouveau è **uno stile universale** che unisce le belle arti e le arti applicate per creare una *Gesamtkunstwerk*, ovvero dal tedesco, **un'opera d'arte totale**, come definì nel 1849, il compositore e poeta **Richard Wagner** (1813-1883).

Tutto, dai mobili alle illustrazioni di libri, è stato influenzato dalle sue eleganti **forme organiche di derivazione naturale**.

Lo stile Art Nouveau era presente ovunque, nelle stazioni ferroviarie, nei negozi di tè e nei grandi magazzini, sia pubblici che privati.

Oggi riconosciamo l'Art Nouveau per le sue **caratteristiche linee fluide, ornamenti floreali, forme geometriche e l'uso di figure simboliche**.

Il mondo naturale è stato una fonte importante di ispirazione per l'Art Nouveau. Probabilmente ispirati dalla migrazione urbana di massa, gli artisti dell'Art Nouveau hanno **stilizzato forme floreali e organiche per riportare la natura nella vita moderna**. Crostacei e libellule, orchidee e iris, papaveri e tulipani: sui vetri, ceramiche, mobili e illustrazioni di libri cominciarono a comparire molti esempi di flora e fauna [17].

La rapida industrializzazione del XIX secolo ha generato un boom nel settore edile in molte città europee. L'**architettura Art Nouveau** è stata una vera dichiarazione di **modernità nazionale e gusto estetico**, reso possibile da materiali come **l'acciaio, ferro e vetro**, lavorati tramite nuove tecniche di industrializzazione. La fluidità dei motivi in ferro battuto e le soluzioni architettoniche in pietra hanno dato un tocco lussuoso e distintivo a ponti e facciate.

A Bruxelles, gli architetti influenzati dallo stile Art Nouveau sono stati **Paul Hankar, Henry van de Velde e Paul Saintenoy**, ma il più famoso di tutti è stato **Victor Horta** (1861-1947). Il suo lavoro è caratterizzato da spazi aperti e luminosi, soffitti in vetro e un uso innovativo del ferro.

Horta ha utilizzato il ferro curvato, ispirato alle forme naturali, per gli interni e gli esterni dei suoi edifici. Il lavoro svolto presso l'**Hotel Solvay** (1895-1900) e l'**Hotel Tassel** (1882-1883) [Fig.1.15] dimostra la sua completa impostazione architettonica: Horta ha progettato ogni elemento, dalle maniglie alle finiture e alle finestre colorate [17].

[17] Dellapiana, E., & Montanari, G. (2021). Una storia dell'architettura contemporanea (2a ed.). UTET Università.



[Fig. 1.16] Esterno della Villa Kaufmann (Casa Fallingwater), F. L. Wright, 1936-39.



[Fig. 1.17] Interno della della Villa Kaufmann (Casa Fallingwater), F. L. Wright, 1936-1939.



[Fig. 1.18] A. Aalto, Stool 60, 1933, Artek.



[Fig. 1.19] A. Aalto, Vaso Savoy, 1936, Karhula-Iittala.



[Fig. 1.20] Esterno della casa Farnsworth, M. Van der Rohe, 1945-1951.

Gli architetti dell'Art Nouveau hanno cercato di creare opere con un vocabolario visivo costante. Per loro, ogni elemento dell'ambiente, interno ed esterno, doveva essere progettato tenendo conto della visione globale. Le forme organiche degli esterni degli edifici dovevano corrispondere a interni altrettanto interessanti [17].

L'interesse per la natura come modello da cui prendere ispirazione per la progettazione, lo troviamo come elemento ricorrente anche nell'architettura di inizio XX secolo. Gli edifici progettati da Frank Lloyd Wright, Alvar Aalto e Mies Van der Rohe, maestri del Movimento Moderno, movimento collocato tra le due guerre mondiali, improntato sulla funzionalità pratica ed estetica, sono influenzati dal mondo naturale.

Frank Lloyd Wright (1867-1959) è stato uno degli architetti statunitensi più influenti del XX secolo e fondatore dell'Architettura Organica. Villa Kaufmann, anche nota come Fallingwater [Fig 1.16], costruita tra il 1936 e il 1939 sul ruscello Bear Run nello stato della Pennsylvania negli Stati Uniti, è un chiaro esempio di Architettura Organica: **le strutture artificiali** costruite dall'uomo, **si inseriscono con armonia nell'ambiente naturale**, dalla struttura agli arredi, tutto si compenetra e si mimetizza con il sito destinato ad accogliere l'abitazione, grazie alle forme organiche e ai materiali scelti [Fig 1.17] [18].

Alvar Aalto (1898-1976) è stato un importante architetto finlandese. Le sue opere principali rappresentano una fusione tra l'architettura organica e la razionalità funzionale. Secondo Aalto, l'ambiente costruito dall'uomo deve integrarsi in sintonia con l'ambiente naturale, per tale motivo gli edifici progettati devono seguire dei criteri specifici, come la scelta delle forme e dei materiali, e la disposizione degli spazi interni all'edificio. Egli prediligeva materiali naturali come il legno, la pietra e il mattone per creare un senso di calore e connessione con l'ambiente circostante. Il legno, in particolare quello di betulla, era un materiale ricorrente nelle sue opere, poiché abbondante nei boschi della zona, e poiché capace di trasmettere una sensazione di familiarità e comfort a chi usufruisce degli spazi [Fig. 1.18]. Celebri sono i suoi Vasi Savoy, dalla caratteristica forma che riprende le linee organiche dei fiordi norvegesi [Fig. 1.19][19].

[17] Dellapiana, E., & Montanari, G. (2021). Una storia dell'architettura contemporanea (2a ed.). UTET Università.

[18] Nifosi, G. (2021b, 12 ottobre). La Casa sulla cascata di Wright e l'architettura organica. ArteSvelata. <https://www.artesvelata.it/casa-cascata-wright/>

[19] Redazione INGENIO. (2023, 20 luglio). Alvar Aalto, maestro del Modernismo e pioniere dell'architettura organica europea. Ingenio. <https://www.ingenio-web.it/articoli/alvar-aalto-maestro-del-modernismo-e-pioniere-dell-architettura-organica-europea/>

Infine, **Mies Van der Rohe** (1886-1969), architetto tedesco, nella sua **casa Farnsworth** [Fig. 1.20] nello stato dell'Illinois negli Stati Uniti, costruita tra il 1945 e il 1951, esalta le **idee minimaliste e l'uso strategico dei materiali** per connettere insieme la casa e la natura circostante. La casa Farnsworth comprende 8 colonne in acciaio, che sorreggono grandi vetrate che costituiscono le 4 mura dell'abitazione. In questo modo, **l'ambiente artificiale e l'ambiente naturale interagiscono tra di loro**, come se fossero un tutt'uno [20].

In tempi più recenti, e **nell'attuale contesto scientifico-culturale** si inseriscono nuove ricerche che comprendono quelle della **Biomimesi** e della **Bioarchitettura**.

La ricerca scientifica ha identificato la **Biomimesi** come un importante contributo al dibattito sulla **sostenibilità ambientale e al design sostenibile**. La Biomimesi, di cui parleremo più nello specifico al punto 1.2 di questo capitolo, è un approccio alla progettazione, diffuso da **Janine Beynus**, scrittrice e divulgatrice scientifica americana. La Biomimesi **imita i sistemi biologici naturali** per trovare soluzioni sostenibili ai problemi dell'uomo. Si tratta di un **settore scientifico interdisciplinare** piuttosto giovane, con poco più di trent'anni di esistenza, che ha acquisito importanza negli ultimi tempi.

Oggi, grazie a questa disciplina, professionisti come architetti, ingegneri e designer, possono utilizzare gli adattamenti sviluppati dalla natura nel corso di milioni di anni, seguendo il concetto di **massima efficienza con il minimo sforzo**, con cui gli organismi naturali **evitano lo spreco, non generano rifiuti e impiegano la minima quantità di energia** per garantire la sopravvivenza della specie. I progettisti possono trarre numerosi suggerimenti per creare artefatti sostenibili analizzando il vasto numero di espedienti biologici disponibili, il che consente loro di mantenere un equilibrio positivo tra costi e benefici [21].

La **Bioarchitettura**, si diffonde **a partire dagli anni '90 del XX secolo** e elabora le idee che attualmente costituiscono una parte fondamentale del Biodesign.

[20] Chiaramonte, V. (2021). Mies van der Rohe: dalla sua storia alle opere più significative. Architetti Freelance. <https://architettifreelance.it/mies-van-der-rohe/ù>

[21] The Biomimicry Institute. <https://biomimicry.org/>

La Bioarchitettura ha le radici nel movimento dell'**Architettura Organica**, e ha la missione di **fondere gli edifici con l'ambiente naturale**, utilizzando **materiali e tecniche che riducono l'impatto ambientale**. Questa metodologia ha condotto alla realizzazione di strutture che valorizzano e potenziano le peculiarità naturali dei luoghi in cui sorgono.

Tra i principi progettuali alla base della bioarchitettura si trovano:

- ottimizzare il rapporto tra l'edificio ed il contesto;
- salvaguardare l'ecosistema;
- impiegare le risorse naturali (acqua, vegetazione, clima);
- concepire edifici flessibili e riadattabili nel tempo con interventi di ampliamento o cambiamento di destinazione d'uso;
- utilizzare materiali e tecniche ecocompatibili, preferibilmente appartenenti alla cultura materiale locale [22].

In contemporanea al diffondersi della Bioarchitettura, un'altra analisi sull'interazione tra l'ambiente costruito, la produzione industriale e l'ambiente naturale è maturata sulla scia del movimento ambientalista e della crisi energetica degli anni '60 e '70 del XX secolo, ed ha trovato espressione attraverso il lavoro di **Buckminster Fuller, Rachel Carson e Victor Papanek**.

Le loro idee possono essere rappresentate attraverso il concetto di **Ecologia Industriale**, introdotto per la prima volta nel 1989 da Robert Frosch e Nicholas Gallopous, due scienziati per la *General Electric*, multinazionale statunitense, fondata nel 1892 e che ha operato nel campo della tecnologia e dei servizi. La loro tesi sostiene che **i processi industriali possano essere progettati per imitare la biosfera**, in cui ogni scarto di produzione diventa una risorsa per un altro processo, concetto base anche dell'economia circolare [1].

Attualmente, il progresso delle nuove scoperte scientifiche e delle nuove tecnologie, ha permesso di analizzare, descrivere e anche replicare aspetti, fenomeni e processi della natura finora sconosciuti e inesplorati. Possiamo trarre spunto dalla natura per **modelli strategici, organizzativi e di processo altamente efficienti e sostenibili, non solo per gli aspetti**

[22] Bertolucci, G., Collodi, R., & Contarini, M. G. (A cura di). (2020). Bioarchitettura. Appunti per una città sostenibile. Nardini editore.

[1] Meyers W., (2012), BIODESIGN: nature, science, creativity, Thames & Hudson Ltd.

**morfologico-strutturali come in passato.** Questo è anche possibile grazie alla fase attuale in cui si trova il dibattito sulla sostenibilità ambientale, contraddistinta da nuove consapevolezze, tra cui la necessità di un **cambiamento radicale nel modello di sviluppo** e di una significativa **riduzione del consumo di risorse ambientali** delle società industriali avanzate.

Il Biodesign nasce come **evoluzione delle ricerche e delle sensibilità storiche** che, dall'epoca romantica fino ai movimenti più recenti come la Biomimesi e l'Ecologia Industriale, hanno riconosciuto nella natura una fonte inesauribile di ispirazione e un modello da imitare. Se in passato la natura è stata celebrata per la sua **bellezza e armonia**, oggi il Biodesign la interpreta come **partner e guida nella progettazione**, integrando principi ecologici e biologici per affrontare le sfide ambientali contemporanee [1].

Questo approccio combina **estetica, funzionalità e sostenibilità**, cercando soluzioni innovative che rispecchino i processi naturali, trasformando il Design in uno strumento di **dialogo tra uomo e ambiente**. Il Biodesign ha un **impatto positivo significativo sull'ambiente**, i progetti che utilizzano biomateriali e tecniche di progettazione ecologica hanno dimostrato di poter **ridurre i rifiuti e migliorare l'efficienza energetica**.

Tuttavia, il campo del Biodesign è ancora **in fase di sviluppo** e affronta diverse sfide. Tra queste ci sono la scalabilità delle soluzioni e l'integrazione dei principi di questa disciplina nei processi produttivi esistenti. La continua ricerca e innovazione sono essenziali per superare questi ostacoli e per garantire che il Biodesign possa contribuire in modo significativo alla sostenibilità ambientale.

Il futuro di questa disciplina è promettente, grazie agli avanzamenti nella **biotecnologia** e nella **scienza dei materiali** che potrebbero ampliare ulteriormente le possibilità di progettazione sostenibile. L'adozione di pratiche di **design circolare e l'uso di tecnologie emergenti** continueranno a plasmare il biodesign, offrendo soluzioni innovative per affrontare le sfide ambientali globali e promuovere un futuro sostenibile [1].

[1] Meyers W., (2012), BIODESIGN: nature, science, creativity, Thames & Hudson Ltd.



## 1.1.2 Antropocentrismo ecologico e ecocentrismo

Al fine di comprendere il tema del Biodesign è necessario introdurre i temi dell'antropocentrismo ecologico e dell'ecocentrismo. La comprensione di questi concetti, infatti, permette di contestualizzare il ruolo che ricopre l'uomo nella natura, superando il tradizionale sentimento di superiorità attribuito agli esseri umani a scapito di tutto ciò che non è umano.

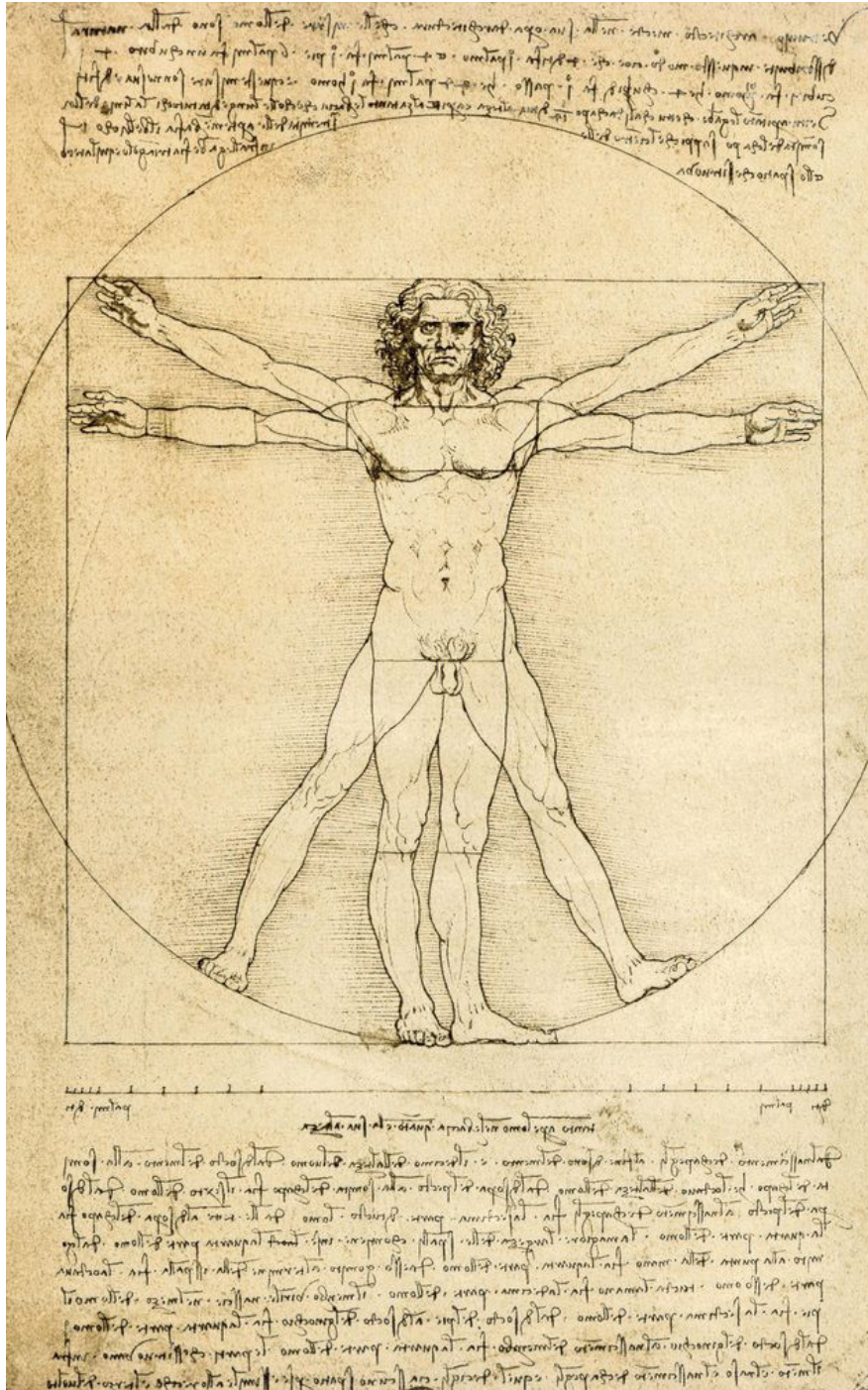
Alla domanda *perché dovremmo salvaguardare il pianeta Terra?* il nostro senso comune ha trovato una risposta facilmente condivisibile. Dovremmo salvaguardare l'ambiente in cui viviamo perché rappresenta **la base della nostra esistenza**. La salute del pianeta è strettamente legata al benessere dell'uomo: garantisce risorse essenziali come aria pulita, acqua potabile e suolo fertile. Proteggere la Terra è una questione di responsabilità verso le generazioni presenti e future.

**La definizione di sostenibilità** è considerata **antropocentrica**, in quanto **pone l'essere umano al centro** del sistema complesso e interconnesso di elementi naturali, ambientali, sociali ed economici che costituiscono il nostro pianeta e le sue dinamiche [Fig. 1.21]. Quando si parla di biodiversità, ovvero la coesistenza di varie specie, animali e vegetali, in un determinato ecosistema, nella maggior parte dei casi **si parla della sopravvivenza dell'essere umano nell'ecosistema stesso**, senza tener conto del fatto che l'uomo all'interno di questo sistema **non sia un creatore bensì un fruitore e attore** [2].

Da metà anni '80 del XX secolo, il design è stato dominato da un **paradigma human-centered e user-centered**.

Se questo, da un lato, ha contribuito a generare approcci progettuali in grado di **mitigare l'impatto dell'uomo sul pianeta**, poco è stato fatto per esplorare

[2] Pagano, P. (2004). Antropocentrismo, biocentrismo, ecocentrismo: una panoramica di filosofia ambientale. ENEA



[Fig. 1.21] Leonardo da Vinci, Uomo vitruviano, 1490, Venezia.

la sostenibilità come concetto che va **al di là dell'antropocentrismo**. Quando si parla di antropocentrismo nella sostenibilità è utile definire due concetti: **l'antropocentrismo ecologico e l'ecocentrismo**.

Con **antropocentrismo ecologico** si intende un ambientalismo che cerca di **conciliare la conservazione dell'ambiente con lo stile di vita consumistico dell'uomo**. Questa prospettiva pone il benessere umano al di sopra della salvaguardia delle altre specie viventi. L'antropocentrismo ecologico pone le sue radici nella teoria dello sviluppo sostenibile e **riconosce il primato di una economia di mercato tale per cui l'uomo possa disporre delle risorse naturali** quando e come vuole senza tener conto del loro esaurimento. Il focus di questo approccio è di contenere gli incrementi dell'impatto umano sull'ambiente, andando così a rallentare l'aggravamento dell'insostenibilità ambientale, ma **non a fermarlo** [23].

L'alternativa all'antropocentrismo è **l'ecocentrismo**. Con ecocentrismo si intende, invece, un ambientalismo che vede **la conservazione dell'ambiente indipendente dall'uomo**. La salvaguardia dell'ambiente e delle sue risorse è sicuramente una esigenza primaria, tuttavia un cambiamento del nostro rapporto con la natura non può essere solo un fatto di mera necessità umana. **L'uomo è un tassello** nel sistema più complesso di elementi che cooperano alla conservazione ambientale: **è necessario proteggere l'ambiente non sulle sole basi della soddisfazione umana**, pertanto utilizzare l'ambiente solo come un bene strumentale è limitante e spregevole [23].

Gli **effetti devastanti** che le pratiche di progettazione non sostenibili hanno sul mondo naturale e sulle altre specie, con cui condividiamo questo pianeta, sono stati ampiamente riconosciuti e sono **la forza trainante dietro i tentativi di sviluppare approcci di progettazione più sostenibili**. Gli effetti dell'attività umana sul mondo naturale si estendono a tutti gli angoli del pianeta. Gli **ecosistemi nuovi**, ovvero ecosistemi che differiscono nella **composizione e/o funzione** da sistemi presenti o passati come conseguenza del **cambiamento climatico**, sono ora più comuni degli ecosistemi naturali. Tuttavia, i sistemi naturali esistono anche in prossimità e in sovrapposizione di quelli umani, e il **valore ecologico e sociale di**

[23] Samways, D. (2022). Anthropocentrism, Ecocentrism and Hunter-Gatherer Societies: A Strong Structurationist Approach to Values and Environmental Change. Environmental Values. <https://doi.org/10.3197/096327122x16491521047062>

**questi sistemi** sta ricevendo una maggiore attenzione da **un'ampia gamma di discipline**.

Qualsiasi atto di design, inteso in un senso largo, ha un impatto che va oltre la nostra specie. Nel **procurare le risorse materiali** per i nostri progetti, estraiamo dalla terra e il mare **influenzando così gli habitat** di altre specie; **raccogliamo materiali naturali** derivati da specie vegetali o animali; **inquiniamo** l'aria, il suolo e l'acqua nei nostri processi di fabbricazione; utilizziamo più risorse e creiamo più inquinamento nell'uso e nella **manutenzione** dei nostri manufatti progettati; e creiamo ulteriori rifiuti e inquinamento quando **li scartiamo**.

La nozione di una pratica di **progettazione ecologicamente sostenibile** è un concetto elusivo e spesso contestato, che tende a concentrarsi sulla **minimizzazione degli effetti negativi** che il design ha sui sistemi naturali **riducendo, riutilizzando e riciclando** le risorse nel processo di progettazione.

Tuttavia, questa discussione sulle nuove applicazioni del design sta contribuendo a generare approcci sistemici di progettazione e metodi per mitigare l'erosione della biodiversità. Esaminare le questioni ambientali prendendo in considerazione punti di vista diversi da quelli umani può introdurre **scenari alternativi** [24].

---

[24] D. J. Metcalfe. (2015) Multispecies Design, University of the Arts London, Falmouth University. Tesi di Dottorato. [https://www.researchgate.net/publication/368350770\\_MULTISPECIES\\_DESIGN](https://www.researchgate.net/publication/368350770_MULTISPECIES_DESIGN).



## 1.2 Design Multispecie e Biodiversity Inclusive Design

Di seguito introdurremo due discipline ovvero il Design Multispecie e il Biodiversity Inclusive Design. L'introduzione di queste discipline è utile per promuovere visioni progettuali che non solo valorizzano materiale e processi naturali, ma che integrano attivamente i principi del Biodesign di responsabilità ecologica, sociale e di coesistenza tra le specie.

Il **Design Multispecie** propone di esaminare questioni ambientali prendendo in considerazione **punti di vista altro-che-umani**, nel tentativo di progettare scenari **meno tecnocentrici e più inclusivi nei confronti dell'ambiente e di chi lo popola**. Così, piante animali, batteri, funghi, o addirittura virus possono diventare **veri e propri partner progettuali** di un progetto. Il design multispecie è quindi proposto e sviluppato come quadro teorico per sostenere la transizione verso **habitat umani più biodiversi** [24].

Questo approccio al design consiste nella pratica di progettare sistemi e manufatti che rispondono non solo alle esigenze degli esseri umani ma a quelle di **tutte le specie viventi**. Il design multispecie è il punto d'incontro del design sostenibile con due importanti cambiamenti di paradigma contemporanei, uno relativo alle scienze umane e uno alle scienze naturali. È necessario trasformare i sistemi antropogenici per sostenere una maggiore diversità delle specie e come afferma **l'ecologia di riconciliazione per promuovere la biodiversità negli ecosistemi dominati dall'uomo**.

Il presupposto culturale da mettere a fuoco, dunque, consiste nel rovesciare il primato accordato all'uomo come **destinatario privilegiato** di ogni progetto: tutte le forme viventi meritano **un'attenzione inclusiva** e possono essere coinvolte come agenti produttivi a favore di un processo finalmente rispettoso delle diverse forme di vita dell'ecosistema.

---

[24] D. J. Metcalfe. (2015) Multispecies Design, University of the Arts London, Falmouth University. Tesi di Dottorato. [https://www.researchgate.net/publication/368350770\\_MULTISPECIES\\_DESIGN](https://www.researchgate.net/publication/368350770_MULTISPECIES_DESIGN).

Il termine multispecie è emerso per la prima volta più di un decennio fa, nell'ambito delle **scienze biologiche ed ecologiche**, per riferirsi ai modelli di **co-costruzione ambientale per la gestione della fauna selvatica**. Più di recente, il termine multispecie ha fatto ingresso nel campo dell'**antropologia**, dal quale sono emerse ulteriori letture, ad esempio viene spiegato come, tutto ciò che non è umano, **influenza ed è influenzato dal capitalismo e dal consumismo** antropico.

Nel'ambito del design, attraverso la **collaborazione tra diverse discipline** come gli studi scientifici e tecnologici, studi animali e studi ambientali, il campo dell'etnografia multispecie è recentemente emerso per indagare come l'uomo è stato influenzato e trasformato attraverso **incontri con molteplici specie di piante, animali, funghi e microbi** [25].

**Gionata Gatto**, designer e ricercatore italiano nei campi del design multispecie e del participatory design, definisce nel seguente modo l'obiettivo del Design Multispecie:

*«Il tentativo, su un livello più alto, è quello di arrivare a comprendere la sostenibilità non soltanto come risultato di un processo progettuale, ma prima di tutto come atteggiamento comportamentale orientato a coltivare la reciprocità, e il design come naturale implementazione di tale atteggiamento [...]»* (Zappa, 2020)

L'approccio multispecie si è recentemente diffuso anche **all'urbanistica e all'architettura**.

Negli ultimi decenni, la popolazione umana globale ha subito una rapida espansione, passando da sei miliardi di individui nel 1999 a otto miliardi nel 2024. Per affrontare le implicazioni ecologiche e sociali legate ad una rapida urbanizzazione, sono state sviluppate **soluzioni di progettazione ambientale** con l'obiettivo di **ripristinare gli ecosistemi naturali, mitigare i cambiamenti climatici e promuovere il benessere urbano**.

Le città e gli edifici da cui sono costituite, sono un polo di biodiversità per animali e piante. Per questo motivo è necessario il passaggio a un'**Architettura Multispecie**, che metta in atto **pratiche per la conservazione**. Il Design Multispecie in questo contesto si riferisce a un

[25] Gatto, G., & McCardle, J. R. (2019). Multispecies Design and Ethnographic Practice: Following Other-Than-Humans as a Mode of Exploring Environmental Issues. *Sustainability*, 11(18), 5032. <https://doi.org/10.3390/su11185032>

[26] Zappa, G. (2020, 1 giugno). Chi sono i biodesigner e cosa fanno? Houzz. <https://www.houzz.it/magazine/chi-sono-i-biodesigner-e-cosa-fanno-stsetivw-vs~127122150>

processo di progettazione architettonica che considera **le esigenze umane e non umane di animali, piante e microrganismi**.

Questa trasformazione, a **livello urbanistico** può notevolmente ampliare la presenza di spazi verdi urbani improntati alla conservazione delle specie, e a **livello sociologico**, può rafforzare la connessione dell'uomo con il mondo naturale.

Le conseguenze di questo approccio sono:

- la promozione del benessere individuale;
- il contrasto all'alienazione crescente degli esseri umani nei confronti della natura;
- la costruzione di città indirizzate a tutte le specie che le vivono [27].

Questa nuova direzione nell'architettura richiede l'incorporazione di conoscenze e metodi provenienti da altri campi di ricerca, quali l'ecologia, la biologia e l'etnografia multispecie.

Gli approcci tradizionali all'architettura sostenibile puntano a ridurre al minimo l'effetto dell'uomo sulla natura, concentrandosi sull'uso di materiali e tecniche di lavorazione eco compatibili al fine di preservare la natura. L'approccio multispecie va oltre questo metodo, **impiegando la natura e le sue specie come partner progettuali, per risolvere le conseguenze antropogeniche negative negli ambienti naturali**.

Attraverso la creazione di sinergie tra gli esseri umani, le specie animali e le specie vegetali, **le città vengono progettate per includere il non umano, che vivrà e prospererà parallelamente agli esseri umani** [27].

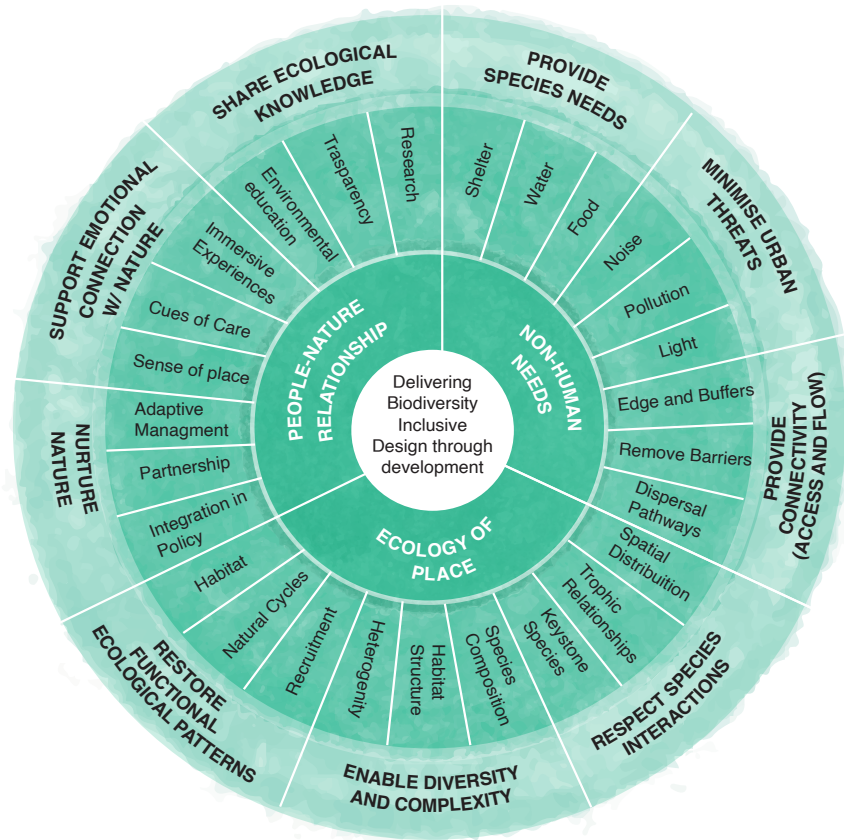
Parlando sempre di design, architettura e urbanistica, un altro approccio che si sviluppa e che segue le stesse linee guida del design multispecie è il **Biodiversity Inclusive Design (BID)**. Il Biodiversity Inclusive Design, si è diffuso grazie alle ricerche da parte di **Cristina Hernandez-Santin e Marco Amati**, due ricercatori della RMIT University di Melbourne in Australia.

BID mira a **promuovere la sussistenza dei sistemi ecologici**, consentendone la persistenza nell'ambiente costruito al fine di creare connessioni funzionali tra le persone e la natura [28].

[27] Grobman, Y. J., Weisser, W., Shwartz, A., Ludwig, F., Kozlovsky, R., Ferdman, A., Perini, K., Hauck, T. E., Selvan, S. U., Saroglou, S. (., Barath, S., Schloter, M., & Windorfer, L. (2023). Architectural multispecies building design: concepts, challenges, and design process. *Sustainability*, 15(21), 15480. <https://doi.org/10.3390/su152115480>

[28] Hernandez-Santin, C., Amati, M., Bekessy, S., & Desha, C. (2022). A review of existing ecological design frameworks enabling biodiversity inclusive design. *Urban Science*, 6(4), 95. <https://doi.org/10.3390/urbansci6040095>

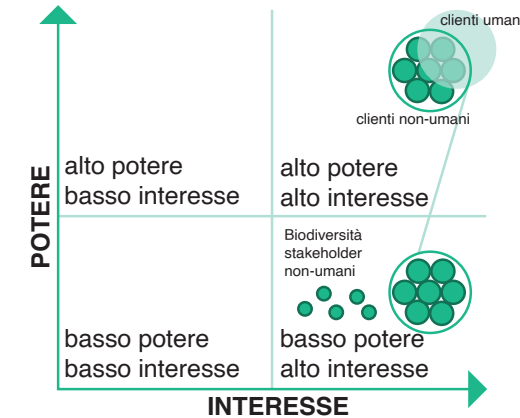




[Fig. 1.23] Schematizzazione del Biodiversity Inclusive Design come approccio progettuale. Al centro dello schema troviamo l'obiettivo, il cerchio interno mostra le tre dimensioni fondamentali della progettazione, il cerchio esterno mostra i nove principi di progettazione e tra entrambi i cerchi si trovano i fattori da prendere in considerazione nella progettazione BID [28].

[28] Hernandez-Santin, C., Amati, M., Bekessy, S., & Desha, C. (2022). A review of existing ecological design frameworks enabling biodiversity inclusive design. *Urban Science*, 6(4), 95. <https://doi.org/10.3390/urbansci6040095>

Questo approccio considera **tutte le specie**, indipendentemente dalla loro origine, come parte della composizione **dell'ecosistema urbano**. Inoltre, pone **le specie animali o vegetali** come potenziali **stakeholder del progetto**, [Fig. 1.22] ovvero parti interessate con cui i progettisti sono chiamati a co-progettare. Hernandez-Santin e Amati hanno sviluppato **uno schema** che riassume quelli che sono i principi e linee guida che i progettisti possono seguire per **integrare la biodiversità nei processi di design thinking** [28].



[Fig. 1.22] Matrice degli Stakeholder o Stakeholder Power-Interest Matrix, la matrice organizza gli stakeholder a seconda del livello di interesse e potere decisionale che hanno sul progetto. I clienti che hanno il maggior potere e interesse sono nell'angolo in alto a destra. Nella BID troviamo i clienti non-umani direttamente accanto a quelli umani [28].

La sezione più interna dello schema [Fig. 1.23] mostra **le tre dimensioni fondamentali** della progettazione BID:

- *People-nature relationship* (**relazione uomo-natura**);
- *Non-human needs* (**esigenze non umane**);
- *Ecology of place* (**ecologia del luogo**) [28].

**People-nature relationship:** attraverso il design partecipativo, il Biodiversity Inclusive Design **celebra le relazioni esistenti tra le persone**

[28] Hernandez-Santin, C., Amati, M., Bekessy, S., & Desha, C. (2022). A review of existing ecological design frameworks enabling biodiversity inclusive design. *Urban Science*, 6(4), 95. <https://doi.org/10.3390/urbansci6040095>

**e la natura**, rafforzando e esaltando gli impatti positivi che la connessione tra le due comporta.

**Ecology of place:** progettare un luogo è un imperativo per i pianificatori, architetti del paesaggio, progettisti urbani e altri professionisti pertinenti. Tuttavia, le concezioni di luogo sono fortemente influenzate da un antropocentrismo che non tiene conto **dei modi in cui lo spazio potrebbe essere creato dai non umani**. Attraverso l'approccio BID, si tiene conto di tutte le specie che abitano e usufruiscono dei luoghi costruiti, con l'obiettivo di favorire la biodiversità invece di sfruttare la natura al servizio delle persone.

**Non-human needs:** le specie non umane diventano utenti e clienti del progetto. Uno degli obiettivi progettuali sarà quindi quello di **soddisfare le esigenze delle specie vegetali e animali** con la stessa importanza fornita ai clienti umani. Quando si selezionano i clienti non umani per un determinato progetto, è importante **progettare i requisiti ecologici** per ciascuna specie. Ciò include le risorse (cibo, acqua, riparo) di cui la specie avrà bisogno e il modo in cui le specie interagiscono con il paesaggio e tra di loro per individuare potenziali sovrapposizioni, sinergie o priorità contrastanti.

L'analisi ha infine desunto **nove principi**, divisi in tre macrocategorie, che aiutano a guidare il processo di progettazione e di decisione dei progettisti.

La prima categoria include i principi utili al fine di **attenuare le minacce alla biodiversità**:

- provide species needs;
- minimise urban threats;
- provide connectivity (access and flow) [28].

La seconda categoria include i principi **guida per una progettazione che vede le specie non-umane come clienti**:

- respect species interactions;

---

[28] Hernandez-Santin, C., Amati, M., Bekessy, S., & Desha, C. (2022). A review of existing ecological design frameworks enabling biodiversity inclusive design. *Urban Science*, 6(4), 95. <https://doi.org/10.3390/urbansci6040095>

- enable diversity and complexity;
- restore functional ecological patterns [28].

La terza categoria include i principi utili al fine di **proteggere o ripristinare gli habitat esistenti**:

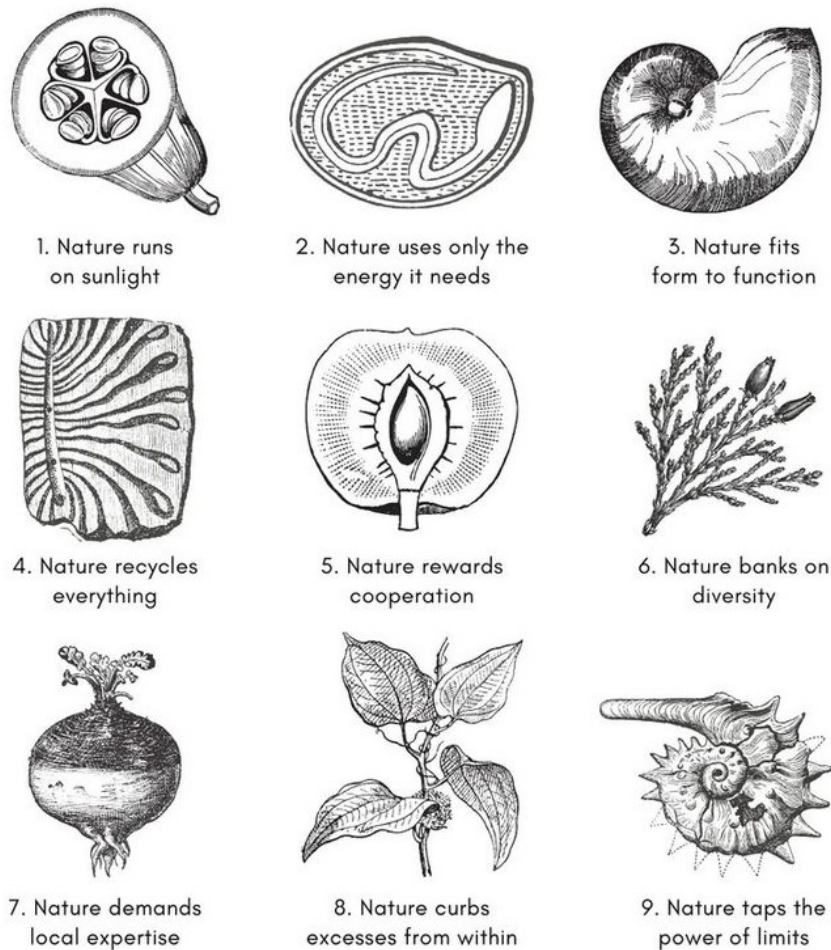
- nurture nature;
- support emotional connection with nature;
- share ecological knowledge [28].

I principi di progettazione sono rappresentati dal cerchio esterno, mentre nello spazio tra i due anelli si trovano i **fattori rilevanti**, di cui tenere conto quando si progetta per ciascun principio.

---

[28] Hernandez-Santin, C., Amati, M., Bekessy, S., & Desha, C. (2022). A review of existing ecological design frameworks enabling biodiversity inclusive design. *Urban Science*, 6(4), 95. <https://doi.org/10.3390/urbansci6040095>

## THE ORIGINAL 9 *Biomimicry Life's Principles*



[Fig. 1.24] Illustrazione dei 9 Biomimicry's Life Principles. I Biomimicry's Life Principles sono un insieme di linee guida ispirate alla natura che riflettono strategie comuni utilizzate dagli organismi viventi per sopravvivere e prosperare sulla Terra. Questi principi si basano sull'osservazione delle strategie di adattamento della vita nel corso di miliardi di anni di evoluzione. Sono stati sviluppati dall'organizzazione Biomimicry 3.8 e rappresentano un framework utile per progettare sistemi, prodotti e processi sostenibili.

## 1.3 Biomimesi

La **Biomimesi**, dall'inglese *biomimicry*, è un approccio progettuale, formalmente introdotto e diffuso in seguito alla pubblicazione di *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, libro pubblicato nel 1997 da **Janine Beynus**, biologa, scrittrice e divulgatrice scientifica americana. Janine Beynus ha personalmente introdotto milioni di persone alla biomimesi attraverso presentazioni, TED Talks e documentari, e in seguito alle attività di **Biomimicry 3.8**, impresa sociale che fornisce servizi di consulenza in materia di biomimesi, da lei co-fondata nel 1989 con la dottoressa Dayna Baumeister.

Inoltre, nel 2006, Janine ha co-fondato il **Biomimicry Institute**, un istituto senza scopo di lucro per incorporare questa disciplina nell'istruzione formale e negli spazi informali come musei e centri naturalistici [29].

Il termine biomimesi deriva dal termine greco "*bios*" ovvero **vita** e dal termine "*mimesis*" ovvero **imitazione**, e può essere definito come **la pratica di imitare la natura. La biomimesi studia e imita le strategie e i comportamenti utilizzati dagli organismi viventi non-umani per risolvere problemi e sfide antropiche.** [Fig. 1.24]

In quanto esseri umani, abbiamo creato enormi sfide per la sostenibilità per le generazioni presenti e future. La Biomimesi è un modo per affrontare questi problemi creando politiche, prodotti e processi che sono adattati alla vita sulla terra. Infatti, alla base di questa disciplina risiede la consapevolezza che in 3.8 miliardi di anni di evoluzione la natura sia stata in grado di sviluppare tutta una serie di soluzioni applicabili ai problemi umani attuali.

Come afferma Beynus, la Biomimesi è

«[...] *innovation inspired by nature*» (*Biomimicry in action*, 2009)

Come abbiamo già anticipato nei punti precedenti, la biomimesi si inserisce nel metodo progettuale più ampio della **bio-ispirazione**, all'interno del

[29] Biomimicry 3.8 - innovation inspired by nature. (s.d.). Biomimicry 3.8. <https://biomimicry.net/>

[30] TED Talk. (2009, luglio). Biomimicry in action [Video]. TED Talk. [https://www.ted.com/talks/janine\\_beynus\\_biomimicry\\_in\\_action?lng=it&geo=it](https://www.ted.com/talks/janine_beynus_biomimicry_in_action?lng=it&geo=it)

quale troviamo anche altri approcci come la **Biomimetica**.

I termini biomimesi e biomimetica vengono spesso utilizzati come sinonimi, ma il loro significato non è propriamente analogo.

La **Biomimetica** osserva la natura con l'obiettivo di **tradurla scientificamente**, attraverso tecnologie innovative, migliori di quelle precedenti e commerciabili. Il tema della sostenibilità **non è un obiettivo esplicito**.

La **Biomimesi**, invece, si concentra **sull'ispirazione, sull'imitazione e sulla comprensione** dei principi e delle strutture presenti nella natura, con l'obiettivo esplicito di creare **prodotti, infrastrutture o servizi sostenibili**. È importante sottolineare però, che la biomimesi non deve essere descritta come mera ispirazione formale e estetica dell'elemento naturale. Alla base di questa disciplina, infatti risiede l'imitazione **dell'elemento funzionale, di quella caratteristica, forma, texture o pattern** che conferisce alla specie naturale la capacità di rispondere ad una **determinata esigenza** [31].

Nel libro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, Benyus fornisce un'ulteriore spiegazione del ruolo della natura nel concetto di biomimesi. La natura indossa le vesti di **modello, misura e mentore**:

«**Nature as model**. Biomimicry is a new science that studies nature's models and then imitates or takes inspiration from these designs and processes to solve human problems, e.g., a solar cell inspired by a leaf;

**Nature as measure**. Biomimicry uses an ecological standard to judge the "rightness" of our innovations. After 3.8 billion years of evolution, nature has learned: What works. What is appropriate. What lasts:

**Nature as mentor**. Biomimicry is a new way of viewing and valuing nature. It introduces an era based not on what we can extract from the natural world, but on what we can learn from it.» (*Glossary of Terms - Biomimicry Toolbox*) [31].

Inoltre, alla base della biomimesi risiedono **3 elementi chiave**:

---

[31] Glossary of terms - biomimicry toolbox. (s.d.). Biomimicry Toolbox. <https://toolbox.biomimicry.org/references/glossary/>

[32] Benyus, J. (2002). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. Mariner Books.

- **l'emulazione** dell'elemento naturale;
- **l'eticità** della pratica;
- **la (ri)connessione** tra natura e umani [32].

Con **emulazione dell'elemento naturale** si intende una pratica che impara dalle **forme e dai processi** del sistema naturale per guidare **l'innovazione umana** e creare soluzioni di design più rigenerative e sostenibili.

Con **eticità** della pratica si intende sottolineare il fatto che le soluzioni progettuali che scaturiscono devono essere **rispettose degli ecosistemi e favorevoli alla vita**, in un'ottica di protezione e conservazione delle specie animali, vegetali o batteriche coinvolte.

Infine, è necessario riconoscere che **le attività umane non sono separate dalla natura**, ma al contrario, sono strettamente interconnesse e influenzabili. **La riconnessione con la natura** incoraggia l'essere umano a comprenderla al fine di **estrapolarne i processi biologici** poi applicabili nei progetti umani [32].

---

[32] Benyus, J. (2002). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. Mariner Books.

## 1.3.1 Biomimicry Design Methodology

Il quadro metodologico della Biomimesi (dall'inglese *Biomimicry Design Methodology*) differisce dai coinvenzionali processi di *design thinking*: la prima **si ispira alla natura**, utilizzando **principi e soluzioni osservate negli ecosistemi** per progettare in modo sostenibile; il secondo, invece, è **centrato sull'essere umano** e sul risolvere problemi complessi a lui connessi. La differenza principale risiede nel focus: la biomimesi guarda alla natura come modello, mentre i processi di design tradizionali si concentrano sui bisogni umani.

La **Biomimicry Design Methodology** è descritta dalle **Design Spirals**. Le Design Spirals forniscono la descrizione degli elementi essenziali che costituiscono un processo di progettazione che ha come ispirazione e punto di partenza la natura. Descrivono i **6 step fondamentali** da compiere, per trovare soluzioni rispettose dei principi della biomimesi, a una sfida progettuale. Le fasi si dispongono nella spirale seguendo un ordine preciso, che può però essere messo in discussione dal team progettuale, che può decidere di spostarsi avanti e indietro nei diversi step a seconda delle proprie esigenze.

Le fasi della Design Spiral sono definite dal **Biomimicry Institute** nel seguente modo:

### DEFINE

Clearly articulate the impact you want your design to have in the world (i.e. the challenge you want to solve) and the criteria and constraints that will determine success.

### BIOLOGIZE

Analyze the essential functions and context your design solution must

address. Reframe them in biological terms, so that you can “ask nature” for advice.

### DISCOVER

Look for natural models (organisms and ecosystems) that need to address the same functions and context as your design solution. Identify the strategies used that support their survival and success.

### ABSTRACT

Carefully study the essential features or mechanisms that make the biological strategies successful. Restate them in non-biological terms, as “design strategies.”

### EMULATE

Look for patterns and relationships among the strategies you found and hone in on the key lessons that should inform your solution. Develop design concepts based on these elements.

### EVALUATE

Assess the design concept(s) for how well they meet the criteria and constraints of the design challenge and fit into Earth's systems. Consider technical and business model feasibility. Refine and revisit previous steps as needed to produce a viable solution (*The Biomimicry Process - Biomimicry Toolbox*) [33].

Esistono **due approcci formali** alla biomimesi, ed entrambi i metodi vengono descritti dalle Design Spirals: **Biology to Design e Challenge to Biology**.

La **biology to design** [Fig. 1.25] avviene quando si prende ispirazione da un **fenomeno naturale** e la sua imitazione **si applica nel campo del design** per risolvere un **problema o bisogno dell'uomo** [34].

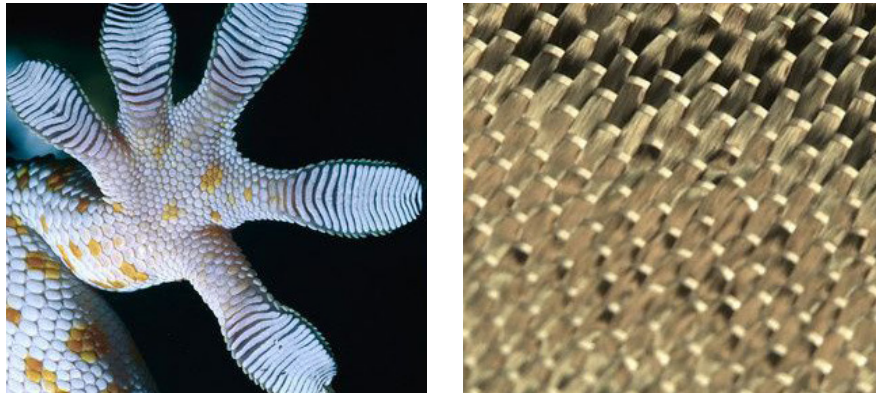
Un esempio dell'approccio biology to design sono i prodotti derivati dallo studio dei gechi e della loro capacità di aderire su superfici di diverso orientamento [Fig. 1.26].

[33] The biomimicry process - biomimicry toolbox. (s.d.). Biomimicry Toolbox. <https://toolbox.biomimicry.org/methods/process/>

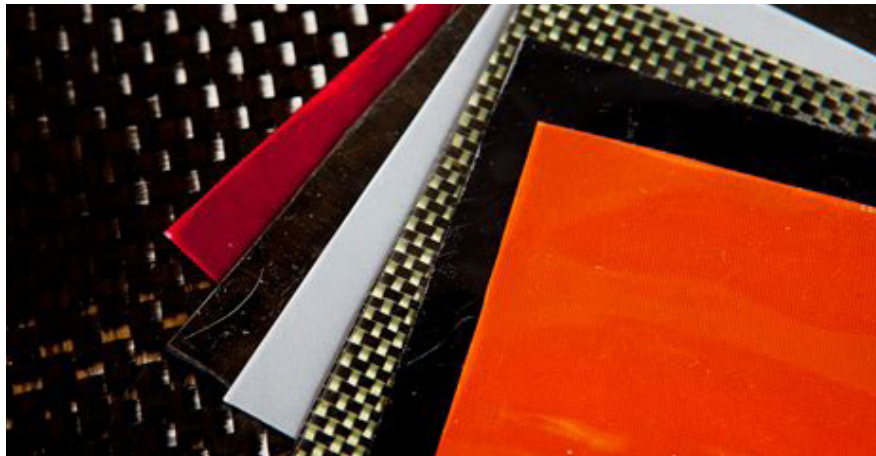
[34] Biomimicry design frameworks for nature-inspired innovation. (s.d.). Learn Biomimicry. <https://www.learnbiomimicry.com/blog/biomimicry-design-frameworks>



[Fig. 1.26] Il gecko è stato studiato per la sua capacità di aderenza.

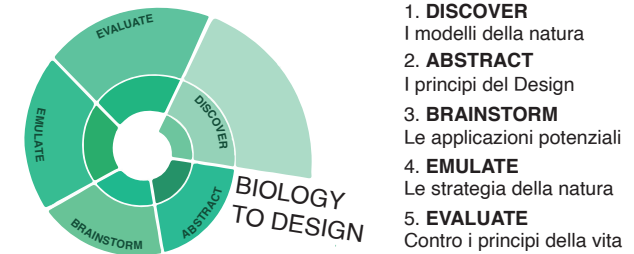


[Fig. 1.27] La teoria dell'aderenza del drappaggio dal mondo naturale a quello tessile.



[Fig. 1.28] Geschking, A. Crosby e D. Irschick, 2014.

Seguendo gli step della Biomimicry Design Methodology possiamo schematizzare il processo nel seguente modo:



[Fig. 1.25] Design Spiral dell'approccio Biology to Design [34].

**DISCOVER:** il punto di partenza è l'analisi del modello naturale.

I ricercatori, studiando il gecko, hanno esaminato dapprima i peli delle zampe che inizialmente si pensava fossero la chiave dell'adesione, e successivamente anche l'intero sistema anatomico sottostante. Hanno così scoperto l'**aderenza del drappaggio**, un meccanismo che consente alla pelle del gecko di adattarsi e aderire efficacemente alle superfici. Funziona grazie a una combinazione di materiali con proprietà diverse: i tendini rigidi sotto la pelle aiutano a mantenere lo strato esterno morbido in tensione, superando le forze elastiche naturali della pelle. Questo equilibrio permette al gecko di rimanere aderente alle superfici o, al contrario, di staccarsi rapidamente quando necessario [Fig. 27].

**ABSTRACT:** analisi delle funzioni del modello naturale applicato al design, definire gli *abstracted design principle* ovvero il principio di derivazione naturale che dovrà seguire il progetto.

Dall'osservazione delle interazioni strutturali e materiali nel gecko, consegue la definizione di funzioni applicabili nel design come l'**adesione reversibile e l'adattabilità a superfici diverse**.

*Abstracted design principle:* replicare le proprietà materiali della zampa del gecko, con un materiale esterno morbido e gommoso, che aumenta la forza di adesione della zona di contatto superficiale, supportato da uno strato di

[34] Biomimicry design frameworks for nature-inspired innovation. (s.d.). Learn Biomimicry. <https://www.learnbiomimicry.com/blog/biomimicry-design-frameworks>



[Fig. 1.29] Il muso del treno Shinkansen riprende per la forma il becco dell'uccello martin pescatore conferendogli maggiore aerodinamicità e risolvendo il problema del rumore.



[Fig. 1.30] La caratteristica forma del becco del martin pescatore consente una transizione fluida dall'aria all'acqua.

materiale rigido per creare l'aderenza al drappeggio.

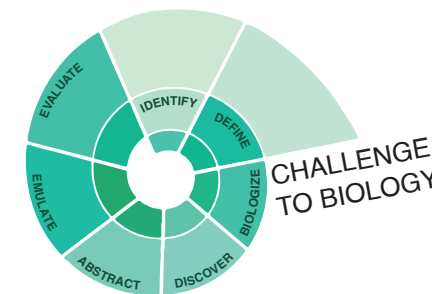
**EMULATE:** sviluppo di un concept che segua gli abstracted design principle definiti.

Il risultato finale a cui sono arrivati i ricercatori è **Geckskin**, un dispositivo adesivo potente, facilmente rimovibile, che non lascia residui e non viene prodotto con l'ausilio di costose nanotecnologie.

**EVALUATE:** valutare il progetto nel tempo per assicurarsi che segua i principi della biomimesi.

Il team di Geckskin ha sviluppato un materiale adesivo forte utilizzando materiali comuni [Fig. 28]. Per ottenere questo risultato, hanno studiato le proprietà che permettono al geco di aderire alle superfici e le hanno replicate su scala più grande. Hanno creato un tessuto adesivo costituito da un morbido pad integrato in un tessuto rigido. Questo design permette al pad di adattarsi e coprire una superficie, massimizzando il contatto senza utilizzare nanotecnologia. **Come accade nelle zampe del geco, questo sistema combina un'elevata capacità adesiva con rigidità e libertà di movimento.**

Il secondo approccio è **challenge to biology** [Fig. 1.29 ].



1. **IDENTIFY**  
La funzione
2. **DEFINE**  
Il contesto
3. **BIOLOGIZE**  
La sfida
4. **DISCOVER**  
I modelli naturale
5. **ABSTRACT**  
I principi del Design
6. **EMULATE**  
Le strategia della natura
7. **EVALUATE**  
Contro i principi della vita

[Fig. 1.29] Design Spiral dell'approccio Challenge to Biology [34].

[34] Biomimicry design frameworks for nature-inspired innovation. (s.d.). Learn Biomimicry. <https://www.learnbiomimicry.com/blog/biomimicry-design-frameworks>

La challenge to biology avviene quando si analizza **un problema o un bisogno umano** e per la sua risoluzione si cerca **ispirazione nella natura** [34]. Un esempio dell'approccio challenge to biology sono gli **Shinkansen**, treni ad alta velocità giapponesi ispirati dal **becco dell'uccello martin pescatore** [Fig. 1.29].

Seguendo gli step della Biomimicry Design Methodology possiamo schematizzare il processo nel seguente modo:

**DEFINE:** definire la missione, gli obiettivi e l'impatto voluto dal progetto.

Il problema umano di partenza riguarda il rumore molto forte che generano i treni ad alta velocità, nel momento di uscita da un tunnel. L'obiettivo progettuale da esplorare, è come **ridurre questo rumore**, attraverso il **miglioramento dell'aerodinamica e l'ottimizzazione delle prestazioni** del treno.

**BIOLOGIZE:** riformulare gli obiettivi progettuali in *termini biologici*.

I progettisti si sono posti la domanda: come risponderebbe la natura a questo problema?

**DISCOVER e ABSTRACT:** analisi delle funzioni del modello naturale applicato al design, definire gli *abstracted design principle* ovvero il principio di derivazione naturale che dovrà seguire il progetto.

La risposta al problema si è trovata nel martin pescatore, preso come modello naturale da cui prendere ispirazione. La **forma affusolata del becco** del martin pescatore, rende **la transizione tra aria e acqua**, durante l'immersione, fluida **riducendo la resistenza al movimento** [Fig. 30].

**EMULATE:** sviluppo di un concept che segua gli abstracted design principle definiti.

Il profilo affusolato del becco del martin pescatore è stato analizzato e imitato **nella geometria del muso del treno** giapponese Shinkansen. In questo modo si è risolto il problema del rumore, riducendo significativamente la

[34] Biomimicry design frameworks for nature-inspired innovation. (s.d.). Learn Biomimicry. <https://www.learnbiomimicry.com/blog/biomimicry-design-frameworks>

resistenza dell'aria e mitigando l'effetto dell'onda d'urto all'uscita dei tunnel. Inoltre, questa forma ha comportato anche una significativa efficienza energetica grazie a una minore resistenza aerodinamica.

**EVALUATE:** valutare il progetto nel tempo per assicurarsi che segua i principi della biomimesi.

In seguito all'implementazione della forma, il design del treno Shinkansen è stato monitorato nel tempo per valutarne le prestazioni. I benefici includono un **miglioramento delle prestazioni** complessive, una **riduzione dell'impatto ambientale e dell'inquinamento acustico**.

Al fine di **valutare** l'applicazione della biomimesi nella progettazione, Janine Benyus divide il biomimetismo in **tre livelli**:

- **imitazione della forma naturale** (*mimicking of natural form*);
- **imitazione del processo naturale** (*mimicking of a natural process*);
- **imitazione dell'ecosistema naturale** (*mimicking of natural ecosystems*) [35].

A seconda del livello in cui si trova la progettazione, il progetto verterà verso una **shallow/reductive biomimicry** o verso una **deep/holistic biomimicry** [Fig. 1.31].

La visione **shallow or reductive** vede la biomimesi come il **trasferimento di tecnologie biologiche** nei domain del design e dell'ingegneria. Questo approccio si focalizza nell'imitazione di caratteristiche o funzioni di particolari organismi o processi biologici.

La reductive or shallow biomimicry costituisce il primo livello, e involve l'imitazione della forma naturale. Attraverso **l'imitazione della natura** si risolve **un problema specifico**, ma senza la garanzia che questo avvenga attraverso una **soluzione sostenibile** dal punto di vista ambientale.

Poiché la Biomimesi è un approccio rivolto verso l'imitazione della natura, si tende a pensare che gli outcome progettuali che ne derivano siano meno dannosi dal punto di vista ecologico rispetto ad altri. Tuttavia, i prodotti biomimetici del primo livello non possono essere considerati più sostenibili

[35] Volstad, N. L. (2008). Biomimicry – a useful tool for the industrial designer? [Tesi di laurea pubblicata]. Norwegian University of Science and Technology.\

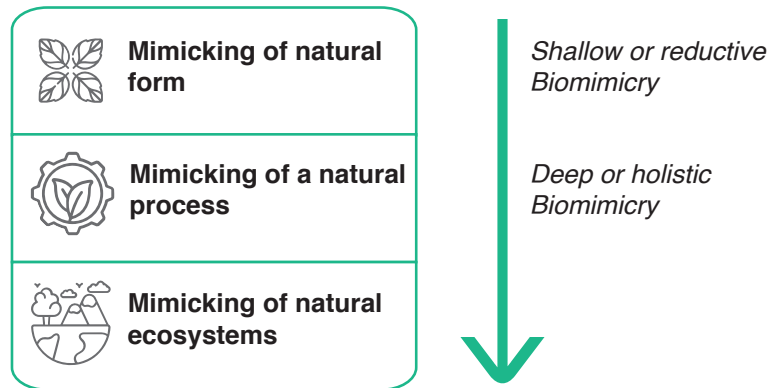


rispetto ai prodotti non biomimetici.

Il secondo livello comporta l'**imitazione di un processo naturale**. Si tratta di un approccio rivolto verso una biomimesi più profonda o olistica (**deep or holistic biomimicry**), poiché i processi produttivi presenti in natura non la danneggiano.

La visione deep/holistic aggiunge alla shallow/reductive biomimicry la dimensione della sostenibilità: la biomimesi è un metodo per ottenere prodotti sostenibili e ecologici, che non danneggiano l'ambiente nel loro ciclo vita.

Infine il terzo livello, l'**imitazione dell'ecosistema naturale**, è classificato come **deep or holistic biomimicry**. Questo approccio considera l'intero sistema naturale, analizzandolo nella sua totalità, osservando come diversi ecosistemi naturali si evolvono in sintonia [35].



[Fig. 31] I tre livelli di imitazione della natura e a che metodologia di progettazione corrispondono: shallow or reductive o deep or holistic biomimicry [35].

[35] Volstad, N. L. (2008). Biomimicry – a useful tool for the industrial designer? [Tesi di laurea pubblicata]. Norwegian University of Science and Technology.

## 1.4 Casi studio di materiali prodotti e servizi

Di seguito verranno analizzati **30 diversi casi studio** relativi a materiali, prodotti e servizi concepiti nei campi del **Biodesign**, della **Biomimesi** e della **bio-fabbricazione**. La scelta di analizzare questi campi ricade sulla volontà di offrire uno **sguardo ampio e interdisciplinare** sulla progettazione con il *non-umano*. Infatti, le tre categorie offrono la possibilità di interfacciarsi con approcci, tecniche di lavorazioni e visioni differenti, pur avendo lo stesso fine ovvero, valorizzare il dato naturale.

La raccolta dei casi studio si basa su un'ampia ricerca di materiali provenienti da fonti biologiche diversificate, tra cui **risorse vegetali e animali** come alghe, piante marine, funghi, micelio e microrganismi. I casi studio sono stati selezionati per poter rappresentare le **diverse possibilità di impiego di biomateriali, le possibilità di produzione e le loro differenti proprietà fisiche**, al fine di esplorare il potenziale di queste risorse nella **progettazione**.

### 1.3.1 SCHEDATURA E CRITERI DI LETTURA

Ogni caso studio è presentato attraverso una **scheda tecnica** dettagliata che fornisce un quadro chiaro e contestualizzato del prodotto o progetto, includendo il **nome del prodotto**, il **settore di applicazione**, il **nome del designer** o **dell'azienda**, l'**anno di realizzazione**, il **luogo di produzione** e lo **stato del progetto** (concept, prototipo o prodotto sul mercato).

Inoltre, ogni scheda descrive in maniera approfondita: la **visione e gli obiettivi del progetto**, per analizzare l'approccio progettuale e gli scopi principali che hanno guidato lo sviluppo del prodotto; i **materiali e il processo di produzione**, per fornire una descrizione dei materiali utilizzati, delle tecniche adottate e delle tecnologie impiegate per la loro realizzazione; e le **proprietà fisiche e dei materiali**, per evidenziare le caratteristiche tecniche, estetiche e funzionali dei biomateriali in confronto ai materiali convenzionali.

Le categorie descritte di seguito sono tratte dall'**ADI Design INDEX (Associazione per il Disegno Industriale)**. L'adozione di queste categorie permette di inquadrare in modo chiaro e strutturato i casi studio di materiali e prodotti, evidenziandone il valore progettuale e il loro contributo ai diversi ambiti a cui fanno riferimento:



#### DESIGN PER LA PERSONA

Abbigliamento, attrezzature per lo sport, il benessere e l'igiene personale, telefonia, palmari, lettori MP3, elettronica per la persona, articoli per l'infanzia, protesi e attrezzature mediche, gioielli. [36]



#### DESIGN PER L'ABITARE

Arredi e complementi per la casa, sanitari e accessori per il bagno, arredi e accessori per la cucina, elettrodomestici, arredi per esterni, attrezzature per il verde, arredo urbano. [36]



#### DESIGN DEI MATERIALI E DEI SISTEMI TECNOLOGICI

Materiali per la produzione e componenti semilavorati, sistemi di condizionamento e trattamento aria-acqua, sistemi per la produzione di energie alternative, rivestimenti. [36]



#### FOOD DESIGN

Comunicazione, packaging, servizi, luoghi legati alla vendita e al consumo di prodotti edibili, oggetti e strumenti per la preparazione e l'uso alimentare. [36]

Inoltre, in ogni caso studio viene segnalato se si tratta di un:



PRODOTTO



MATERIALE



SERVIZIO

[36] ADI - associazione per il disegno industriale. (s.d.). ADI - Associazione per il Disegno Industriale. <https://www.adi-design.org/ambiti-tematici.html>



## CASI STUDIO: BIODESIGN

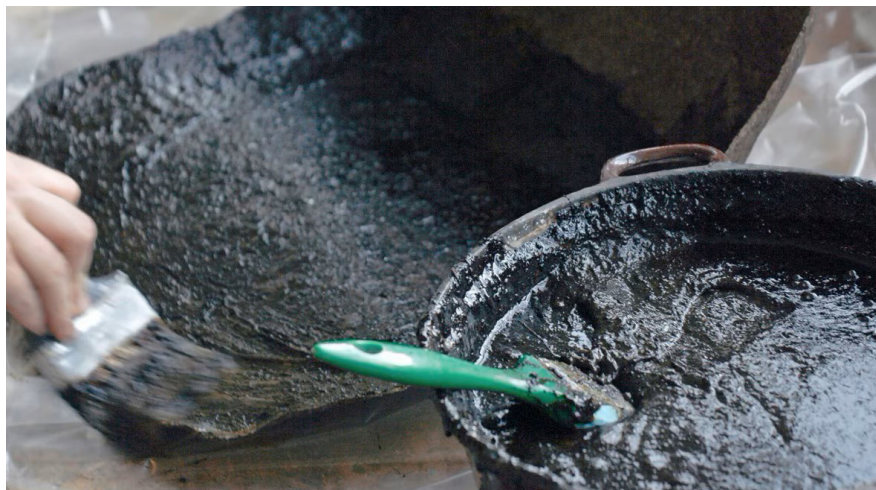
Il **Biodesign** integra la natura nei processi di progettazione, attraverso l'uso di risorse naturali e tecnologie, con la missione di promuovere una simbiosi tra l'uomo e il mondo artificiale e la natura. In questa selezione di casi studio, vengono presentati materiali per l'arredamento e per l'uso personale, derivati da diverse risorse naturali come alghe, micelio e altre biomasse vegetali terrestri, come il mais.

I casi studio che vedono l'impiego delle **alghe marine** per la creazione di arredi e superfici, sfruttano questa risorsa per la sua abbondanza in natura, per la sua biodegradabilità e per le sue tecniche di lavorazione. Infatti, questi progetti sfruttano metodi artigianali al fine di esaltare la matericità della risorsa naturale, evidenziandone le qualità superficiali visive e tattili.

I casi studio che vedono l'impiego del **micelio** come materiale da costruzione sfruttano questa risorsa per le sue proprietà di leggerezza, isolamento acustico e termico. In alcuni casi, si sfruttano le proprietà specifiche della singola risorsa, mentre in altri si realizzano materiali compositi che combinano le caratteristiche fisiche e meccaniche di due o più elementi, ad esempio nel caso di materiali compositi.

Il principale **punto di forza** dei seguenti casi studio sono la sostenibilità, con un'importante riduzione delle emissioni nocive e degli scarti durante l'intero ciclo vita. Tuttavia, le principali **sfide** sono legate alla durabilità, scalabilità e economicità della produzione,

---



## TERROIR [37]



**Designer:** Jonas Edvard e Nikolaj Steenfatt

**Luogo di produzione:** Danimarca

**Anno:** 2014

**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** 50% Alghe e 50% carta

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto *Terroir* si concentra sull'utilizzo di risorse naturali locali per sviluppare nuovi materiali sostenibili. I designer hanno **combinato alghe e carta per creare un materiale composito**, frutto di una ricerca approfondita su materie prime regionali. Il risultato è una soluzione che unisce la resistenza e la durabilità, offrendo un'alternativa ecologica per la produzione di oggetti di design, come mobili e accessori.

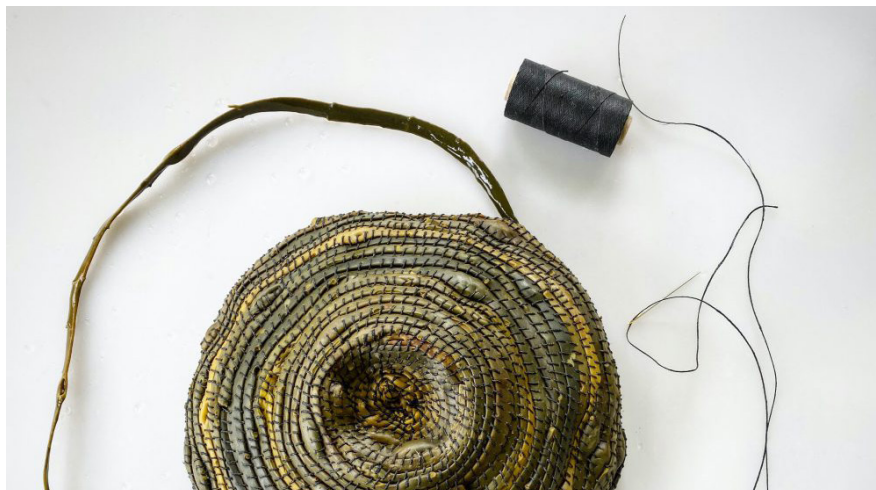
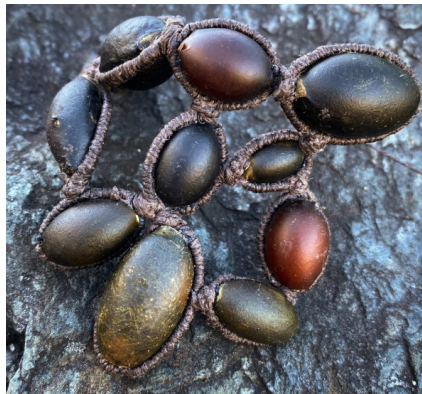
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Il materiale è realizzato mescolando alghe raccolte lungo le coste danesi e carta. Le alghe vengono prima **essiccate**, poi **macinate in polvere**. Successivamente, la polvere di alghe viene riscaldata per sfruttare le **proprietà adesive dell'alginate**, un polimero naturale presente nelle alghe brune, che funge da collante. Questa combinazione con la carta dà vita a un materiale versatile che può essere utilizzato per diversi prodotti.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Il nuovo materiale ottenuto ha una **superficie calda** e tattile, con una consistenza che ricorda la **morbidezza** del sughero, ma con la **leggerezza** tipica della carta. È resistente e durevole, rendendolo adatto per vari utilizzi nel design di interni. Il colore del materiale varia in base alla specie di alga utilizzata, spaziando dal marrone scuro al verde chiaro, conferendo un aspetto naturale e unico a ogni prodotto realizzato.

[37] Mobili di alghe e carta. (2014, 22 dicembre). DOMUS: Scopri la Storica Rivista di Architettura, Design e Arte. [https://www.domusweb.it/it/notizie/2014/12/22/terroir\\_mobili\\_dialgheecarta.html](https://www.domusweb.it/it/notizie/2014/12/22/terroir_mobili_dialgheecarta.html)



## ROCKWEED [38]



**Designer:** Jeannet Leendertse  
**Luogo di produzione:** Stati Uniti  
**Anno:** 2022  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Alghe, lino cerato e legno

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

La designer utilizza la **quercia marina**, un'alga che cresce lungo la costa settentrionale dell'Atlantico, per creare contenitori sostenibili. Grazie agli insegnamenti della *Rockweed Coalition*, ha imparato a raccogliere questa risorsa in modo responsabile, rispettando l'ambiente e preservando l'ecosistema marino.

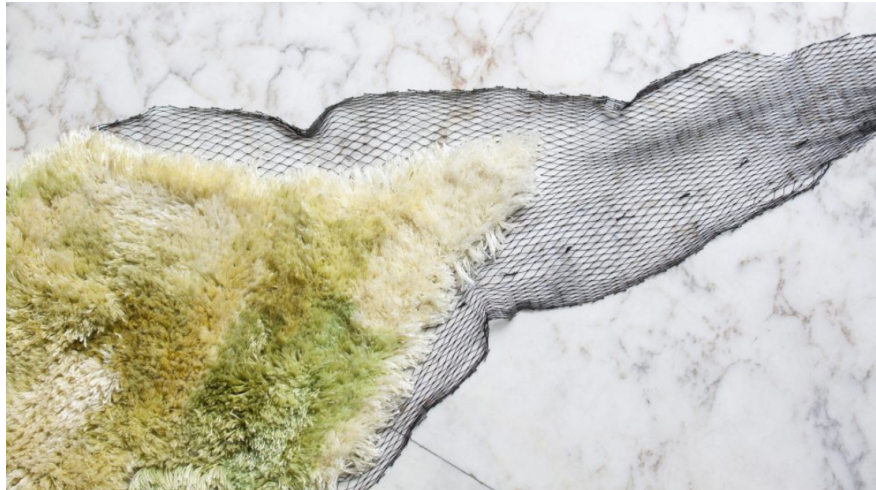
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

La quercia marina cresce su superfici dure come le rocce. Questo materiale viene **raccolto seguendo pratiche sostenibili**, assicurando che l'alga continui a rigenerarsi rapidamente. **Una volta raccolta**, viene **conservata in acqua marina fredda** per mantenerla fresca fino al momento dell'uso. Jeannet utilizza il **lino cerato per costruire la struttura dei suoi contenitori**, incorporando materiali naturali trovati sulla spiaggia, come legni di mare. Le alghe secche raccolte dalla riva possono essere impiegate anche **per creare elementi decorativi, come perline realizzate dalle vesciche aeree dell'alga**.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

La quercia marina una volta trattata, mantiene una **consistenza flessibile ma robusta**, rendendola ideale per la creazione di contenitori **biodegradabili**. I contenitori realizzati con la quercia marina e lino cerato sono non solo sostenibili, ma anche funzionali e duraturi, adattandosi perfettamente a un design rispettoso dell'ambiente.

[38] Rockweed by jeannet leendertse – future materials bank. (s.d.). Future Materials Bank. <https://www.futurematerialsbank.com/material/rockweed/>



## SEA ME [39]

**Designer:** Nienke Hoogvliet  
**Luogo di produzione:** Paesi Bassi  
**Anno:** 2022  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Alghe



### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto *Sea Me* è incentrato sull'utilizzo delle alghe come materia prima sostenibile. Hoogvliet ha sviluppato un **filato naturale a base di alghe**, che ha poi utilizzato per realizzare un **tappeto interamente fatto a mano**. Il progetto punta a sensibilizzare l'opinione pubblica sui **vantaggi ambientali offerti dalle alghe**, come la loro crescita rapida e la ridotta necessità di terreno e sostanze chimiche, rendendole una scelta sostenibile per la produzione tessile.

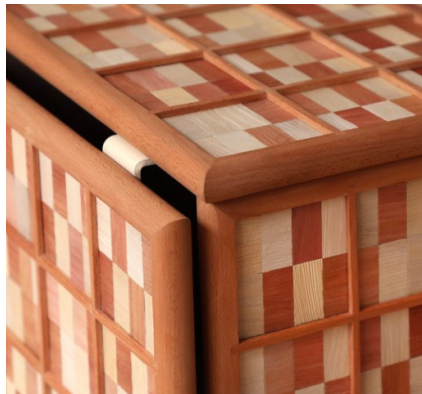
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Il tessuto per la seduta della sedia è stato **lavorato a mano** e colorato utilizzando pigmenti naturali estratti dalle stesse alghe. Inoltre, **gli scarti del processo produttivo** sono stati **riutilizzati** in modo creativo **per creare vernice** per il tavolo e ciotole di bioplastica, dimostrando un approccio olistico e sostenibile.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Il filato di alghe utilizzato presenta una **texture morbida** e naturale, perfetta per realizzare cuscini e tessuti. Il materiale non solo offre comfort, ma è anche **resistente e biodegradabile**. Le alghe utilizzate per il filato possono essere **tinte con pigmenti naturali**, conferendo al tessuto una varietà di colori ecocompatibili. Inoltre, la produzione sostenibile di questo materiale offre un'alternativa valida e innovativa per l'arredamento e il design degli interni.

[39] SEA ME - COLLECTION - Studio Nienke Hoogvliet. (s.d.). Studio Nienke Hoogvliet. <https://www.nienkehoogvliet.nl/portfolio/sea-me-collection/>



## TOTOMOXTLE [40]



**Designer:** Fernando Laposse  
**Luogo di produzione:** Messico  
**Anno:** 2017  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Bucce di pannocchie di mais

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il cuore del progetto è rappresentato dalla comunità mixteca di Tonahuixtla, nello stato di Puebla, che viene coinvolta nella produzione di un biomateriale innovativo ottenuto dagli scarti del mais autoctono. L'iniziativa mira a **rilanciare le pratiche agricole tradizionali**, ormai in declino, e a generare valore economico e sociale per le comunità rurali, contribuendo al contempo alla tutela della biodiversità locale.

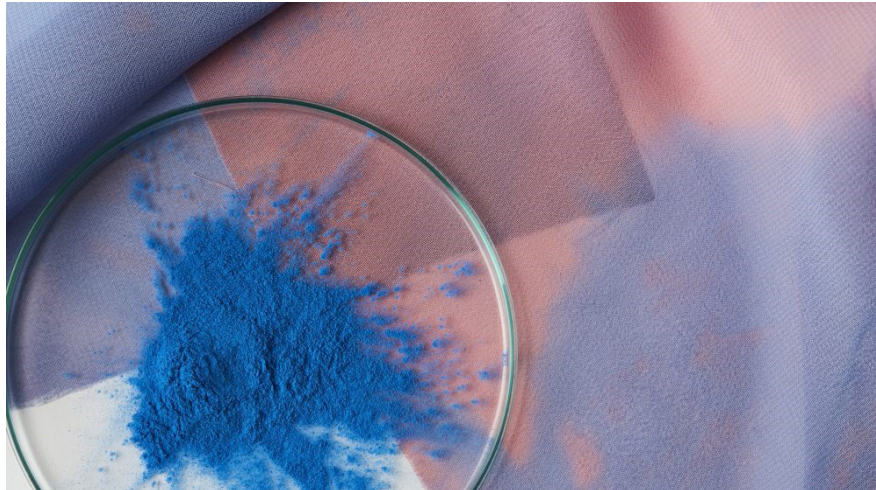
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

La materia prima utilizzata per creare *Totomoxtle* proviene dalle **bucce delle pannocchie di mais**, normalmente considerate scarti di lavorazione. Queste bucce vengono lavorate artigianalmente per ottenere un materiale rigido e resistente, ideale per rivestire oggetti come pareti, lampade e vasi. Il **processo produttivo è interamente manuale** e si basa su tecniche tradizionali, garantendo che ogni pezzo sia unico e di alta qualità.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Queste bucce vengono lavorate artigianalmente per ottenere un **materiale rigido e resistente**, ideale per rivestire oggetti come pareti, lampade e vasi. Il processo produttivo è interamente manuale e si basa su tecniche tradizionali, garantendo che ogni pezzo sia unico e di alta qualità.

[40] TOTOMOXTLE CORN VENEER. (s.d.). Fernando Laposse. <https://www.fernandolaposse.com/cornveneer>



## ALGAE PALETTE [41]



**Designer:** Tahiya Hossain  
**Luogo di produzione:** Regno Unito  
**Anno:** 2021  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Alghe

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

*Algae Palette* è una collezione di stampe tessili realizzate con colori naturali estratti da specie di macroalghe. Il progetto è nato dalla ricerca di tonalità vibranti nelle macroalghe presenti lungo le coste del Regno Unito. L'obiettivo è quello di **trovare alternative sostenibili ai coloranti chimici** tradizionali. Questi **biopigmenti** naturali offrono un'alternativa ecologica e rappresentano anche una soluzione ai problemi di inquinamento causati dall'uso di coloranti tossici nell'industria della moda.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

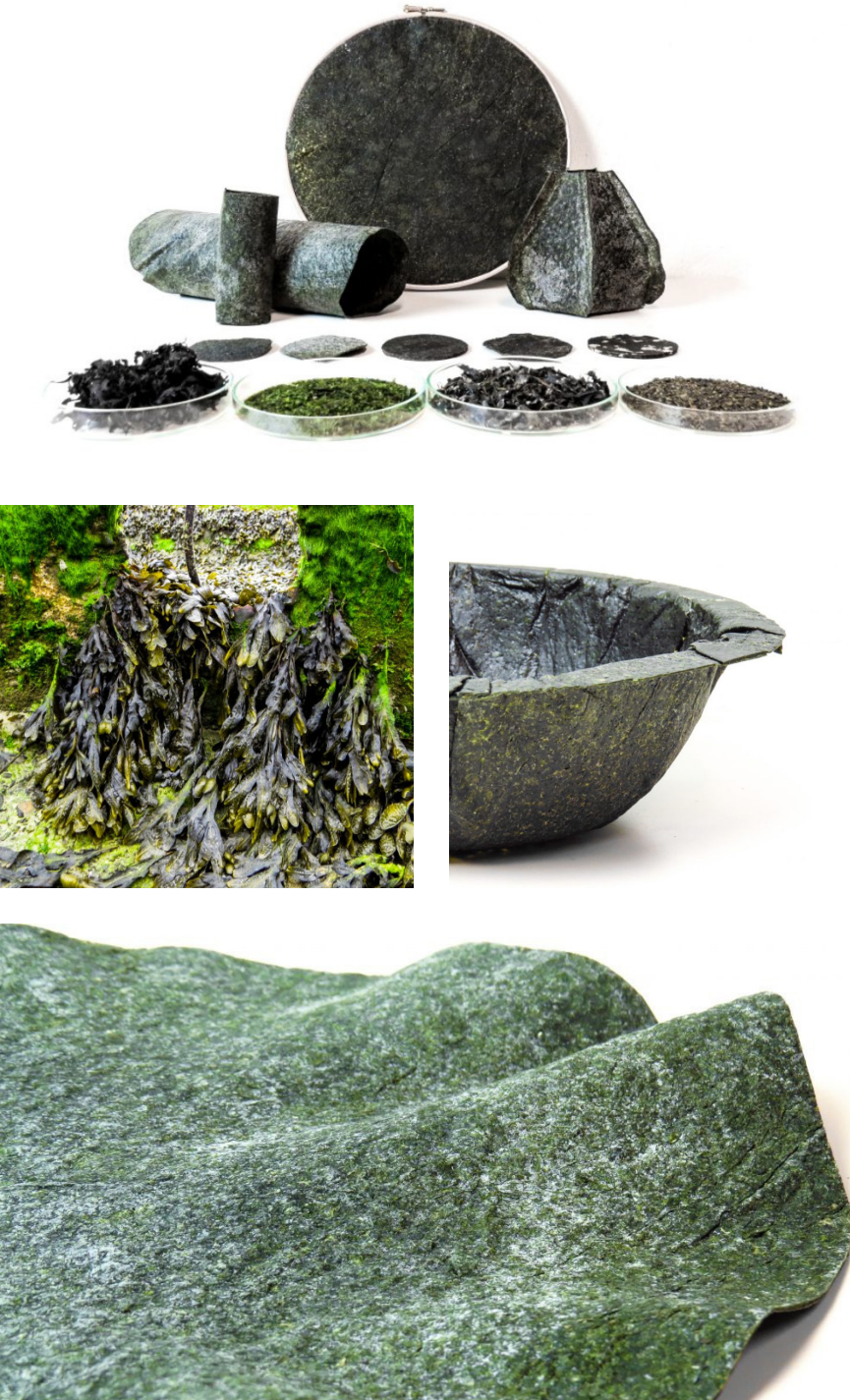
Le specie selezionate sono state sottoposte a diversi esperimenti per ottenere colori stabili e vivaci, con una particolare attenzione alla tintura su tessuti naturali. **L'estrazione** richiede numerosi tentativi per individuare le proporzioni ideali di alghe e solventi, ma una volta perfezionato, il processo offre risultati notevoli. **Il ciclo diventa completamente sostenibile: dalla raccolta alla tintura, fino al reinserimento dei residui organici nel sistema ecologico.**

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Questi colori naturali, se applicati su tessuti come la seta, mantengono una **brillantezza duratura** senza compromettere la qualità del materiale. Le macroalghe sono una risorsa rinnovabile che si rigenera rapidamente, offrendo un'opportunità di utilizzo su larga scala per un futuro più sostenibile nell'industria tessile.

[41] Algae by tahiya hossain – future materials bank. (s.d.). Future Materials Bank. <https://www.futurematerialsbank.com/material/algae-3/>





## DE ALGARUM NATURA [42]



**Azienda produttrice:** Officina Corpuscoli

**Luogo di produzione:** Paesi Bassi

**Anno:** 2015

**Stato:** Concept di esplorazione

**Materiale:** Alghe

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto parte dalla consapevolezza dell'enorme quantità di **biomassa spaggiata algale** che si accumula nelle coste di tutto il mondo, il progetto si pone l'obiettivo di **sfruttare questa biomassa** in modo efficace e creativo. Attraverso un processo di ricerca e sperimentazione, i designer hanno studiato metodi per estrarre e combinare i principali componenti delle alghe, con lo scopo di generare materiali completamente biodegradabili e di qualità diverse. I materiali realizzati sono utilizzati per la creazione di oggettistica.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Durante la produzione, vengono estratti e utilizzati i principali costituenti delle alghe, come **polisaccaridi e fibre**, e **successivamente combinati con agenti plastificanti naturali come il glicerolo**, o acidi naturali come l'aceto, per migliorare la flessibilità e la resistenza del materiale. L'intero processo **evita l'impiego di sostanze chimiche artificiali**, puntando a mantenere la natura ecocompatibile del prodotto finale.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

I materiali **possono essere rigidi, flessibili, traslucidi e resistenti**, a seconda della combinazione degli ingredienti naturali e del processo di produzione impiegato. Un aspetto distintivo è la totale biodegradabilità: i materiali sono interamente compostabili, riducendo significativamente l'impatto ambientale rispetto a materiali sintetici tradizionali.

[42] Officina corpuscoli » de algarum natura. (s.d.). Officina Corpuscoli. <https://www.corpuscoli.com/projects/de-algarum-natura/>



## PANNELLI PLUMA [43]



**Azienda produttrice:** MOGU

**Luogo di produzione:** Italia

**Anno:** 2016

**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** Micelio

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

I pannelli *Pluma* di Mogu sono stati progettati per **migliorare e rinnovare gli spazi interni**, con particolare attenzione. L'obiettivo è creare ambienti confortevoli e visivamente piacevoli, con la possibilità di personalizzare ogni pannello in base alle esigenze specifiche, rendendo ogni spazio unico e armonioso.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

I pannelli *Pluma* sono realizzati con **materiali sostenibili**, combinando **micelio**, una struttura fungina simile alla schiuma, e **residui tessili riciclati**. Questo processo di produzione utilizza una tecnologia all'avanguardia che permette di plasmare texture personalizzate sul micelio, offrendo infinite possibilità di design. La **palette di colori** è stata sviluppata ispirandosi a **tonalità naturali** come acqua, foreste, terra e sabbia, offrendo opzioni che variano dai toni neutri a quelli più intensi, sempre con delicate sfumature e varianti.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Dal punto di vista delle proprietà fisiche, i pannelli *Pluma* sono **sottili, leggeri, modulari e completamente circolari**, quindi **riciclabili al 100%**. Le loro caratteristiche fonoassorbenti li rendono ideali per migliorare il comfort acustico negli ambienti interni. Nonostante lo spessore ridotto, mantengono elevate prestazioni in termini di isolamento, offrendo soluzioni estetiche moderne e innovative, perfette per qualsiasi tipo di ambiente.

[43] Mogu pluma panels // wall covering collection. (s.d.). mogu. <https://mogu.bio/pluma-panels-wall-covering-collection/>



## LOOP LIVING COCOON [44]



**Designer:** Bob Hendriks e Lonneke Westhoff

**Luogo di produzione:** Paesi Bassi

**Anno:** 2020

**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** Micelio e canapa

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto ha come obiettivo principale quello di offrire una **soluzione ecologica per la sepoltura**, biodegradandosi completamente in soli **45 giorni** e restituendo i nutrienti alla terra nel modo più naturale possibile. Questa bara vivente riduce l'impatto ambientale e **arricchisce l'ecosistema**, rappresentando un'alternativa sostenibile alle pratiche funerarie tradizionali.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Il processo di produzione del avviene in soli 7 giorni utilizzando specie di **funghi locali e fibre di canapa riciclate**. Questi materiali naturali e certificati GreenLeave rendono il **prodotto completamente biodegradabile e privo di sostanze chimiche nocive**. L'interno della bara è arricchito da un morbido letto di muschio naturale, con la possibilità di sostituirlo con un letto di lana o canapa, offrendo opzioni diverse ma sempre sostenibili.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Le proprietà fisiche del *Loop Living Cocoon* grazie alle sue caratteristiche idrofobiche, è adatto per l'uso in diverse condizioni atmosferiche e ambienti, come veglie funebri o funerali all'aperto. Il Cocoon **pesa 30 kg**, ha una **capacità di carico fino a 200 kg** e può essere facilmente trasportato grazie alle sei maniglie in juta integrate.

[44] Loop Living Cocoon™ - World's first living coffin. (s.d.). Loop Biotech. <https://loop-biotech.com/living-cocoon/>



## FIORIERA GALLEGGIANTE [45]



**Azienda produttrice:** Grown Bio  
**Luogo di produzione:** Paesi Bassi  
**Anno:** 2016  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Micelio

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

La *fioriera galleggiante* è progettata per migliorare l'estetica dei giardini acquatici, aggiungendo un elemento decorativo unico e valorizzando gli spazi esterni. Ideale per chi ama il giardinaggio, permette di coltivare piante direttamente in aree acquatiche, contribuendo a creare un'atmosfera più naturale e rilassante.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Il prodotto è realizzato in **micelio**, un materiale naturale che **si decompone in modo ecocompatibile**, garantendo un **impatto ambientale minimo**. Questo lo rende una soluzione sostenibile per qualsiasi giardino, poiché non solo **favorisce la crescita delle piante**, ma aiuta anche a proteggere l'ambiente. Il processo di utilizzo è semplice: basta posizionare la fioriera sull'acqua, aggiungere le piante desiderate e lasciarle crescere con il supporto naturale di luce solare e aria fresca.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Dal punto di vista delle proprietà fisiche, la fioriera galleggiante è caratterizzata da uno stile sobrio che si adatta a qualsiasi tipo di giardino, da quelli più tradizionali a quelli moderni. **Leggera e facile da maneggiare**, è progettata per **garantire stabilità sull'acqua**, offrendo alle piante un ambiente ottimale per lo sviluppo. Grazie alla sua resistenza e al suo design funzionale, rappresenta una scelta pratica ed esteticamente gradevole per chi desidera un giardino più verde e rilassante.

[45] Floating mycelium plant pot for swimming pond plants. (s.d.). GROWN bio. <https://www.grown.bio/product/floating-plant-pot/>



## CASI STUDIO: BIO-FABBRICAZIONE

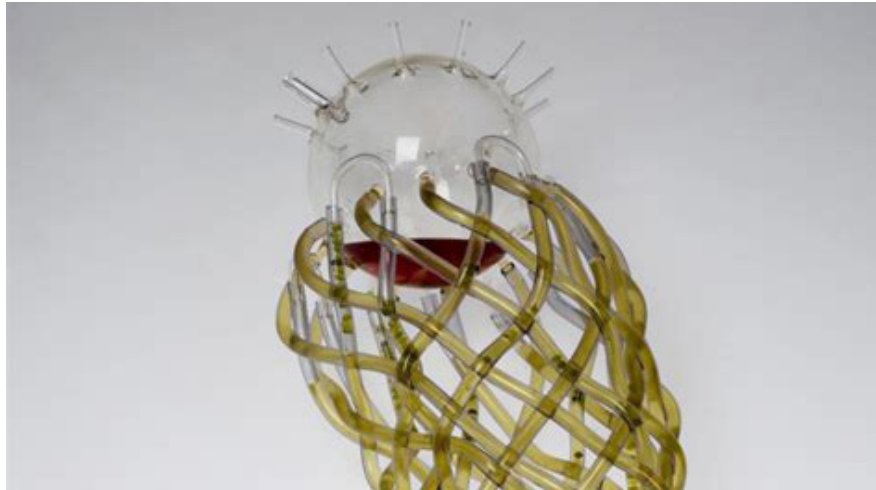
La **biofabbricazione** sfrutta i processi della biotecnologia per la creazione di materiali e prodotti che sfruttano processi biologici. I seguenti casi studio esplorano diverse applicazioni della biofabbricazione, utilizzando organismi viventi, biomasse o processi biologici per produrre materiali.

I casi studio che vedono l'impiego del **micelio** hanno dimostrato proprietà come la capacità di essere modellati in forme tridimensionali, la possibilità di unirsi ad altri materiali per formare compositi e la biodegradabilità. Tuttavia, un aspetto critico riguarda la durabilità nel lungo periodo, soprattutto in ambienti umidi, che potrebbe compromettere la loro applicabilità per edifici permanenti.

I casi studio che vedono l'impiego delle **alghe** sono molteplici grazie all'abbondanza, la capacità di fotosintesi e la velocità di riproduzione. Tuttavia, la produzione su larga scala potrebbe richiedere vasti impianti di coltivazione di alghe, con implicazioni sul consumo di terra e acqua e sulla biodiversità marina.

I casi studio che vedono l'impiego dei **batteri**, vedono l'implemento di tecnologie avanzate per lo sfruttamento di questi microorganismi. I batteri vengono scelti per la loro capacità di resistere a condizioni ambientali difficili e per le loro caratteristiche superficiali. Tuttavia, il controllo della produzione e la diffusione su scala industriale rappresentano un aspetto critico.

---



## ALGAERIUM BIOPRINTER [46]



**Designer:** Marin Sawa  
**Luogo di produzione:** Regno Unito  
**Anno:** 2013  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Alghe

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Con *Algaerium Bioprinter*, Sawa esplora le **tecnologie di stampa applicate alla produzione alimentare**. Questo dispositivo trasforma i processi di produzione industriale in una tecnologia adatta all'ambiente domestico, dimostrando come sia possibile la **coltivazione di microalghe nel comfort della propria casa**. Il sistema consente di stampare digitalmente alimenti sani su richiesta.

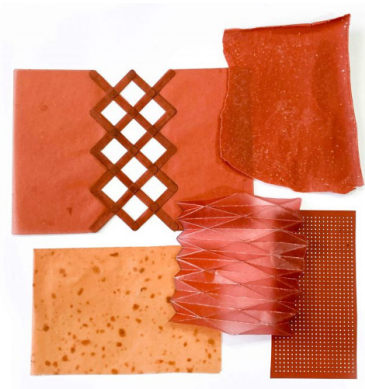
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Sviluppato in un laboratorio domestico di biologia, il progetto *Algaerium* combina competenze di **biologia** e **gastronomia molecolare** (una branca della scienza alimentare) per coltivare ceppi di alghe utilizzati per la produzione di alimenti. Le alghe vengono coltivate e racchiuse in una sfera di **pelle biologica**, che permette loro di **fotosintetizzare** naturalmente, assorbendo anidride carbonica e rilasciando ossigeno.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Le diverse specie di alghe sono coltivate in monoculture e racchiuse in un'unica sfera biologica. In questo ambiente, vengono immobilizzate e mantenute in **condizioni controllate di luce, acqua e anidride carbonica**, in un ambiente di vetro sterilizzato per prevenire contaminazioni esterne.

[46] Algaerium bioprinter by marin sawa digitally yields health food. (s.d.). designboom | architecture & design magazine. <https://www.designboom.com/technology/algaerium-bioprinter-by-marin-sawa-digitally-yields-health-food/>



## LUGAE [47]



**Designer:** Carolina Pacheco

**Luogo di produzione:** Cile

**Anno:** 2020

**Stato:** Prototipo

**Materiale:** Carragenina, glicerina vegetale e acqua

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

*Lugae* è un biomateriale creato a partire da risorse locali e sostenibili. Il materiale, sviluppato sotto forma di **sottile pellicola**, è composto da tre ingredienti principali: **carragenina, glicerina vegetale e acqua**. La ricerca si è concentrata sulla sperimentazione di diverse proporzioni e combinazioni, portando alla realizzazione di una collezione che presenta tre varianti della stessa ricetta.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Il processo di creazione si basa sulla miscela dei tre ingredienti principali. Durante la fase di ricerca, è stata condotta un'attenta esplorazione delle combinazioni per perfezionare il processo produttivo e ottenere un materiale con proprietà ottimali per diverse applicazioni. Questo metodo consente di produrre in modo sostenibile, **riducendo l'impatto ambientale** e offrendo nuove opportunità per i designer alla ricerca di alternative ai materiali sintetici.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

**Sotto trazione**, il biomateriale **si comporta come** una sottile **pelle**, ma presenta anche una **fragilità simile alla carta**, essendo facilmente rompibile. Una delle sue qualità più distintive è l'**elevata opacità**, che lo differenzia da altri bioplastici più traslucidi. Inoltre, offre una **doppia texture**: una superficie liscia e talvolta lucida da un lato, mentre l'altro lato è ruvido e opaco.

[47] Lugae — caro pacheco. (s.d.). caro pacheco. <https://www.caropacheco.work/lugae>



## OSTRA [48]



**Designer:** Markos Georgiou  
**Luogo di produzione:** Regno Unito  
**Anno:** 2021  
**Stato:** Concept di esplorazione  
**Materiale:** Gusci di ostrica e alghe

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

*Ostra* è un biomateriale creato per offrire un nuovo punto di vista su come gestire alcune categorie di **rifiuti del settore ristorativo**. In particolar modo, il designer utilizza i rifiuti di gusci di ostriche provenienti dai ristoranti per creare prodotti significativi e utilizzabili nel settore dell'arredamento.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

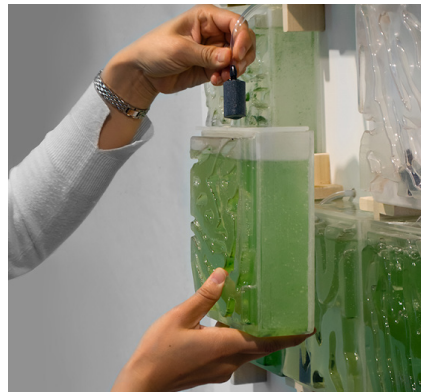
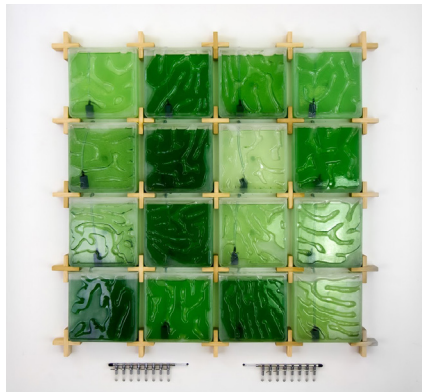
I gusci delle ostriche sono una ricca fonte di carbonato di calcio, che costituisce fino al 95% della loro composizione. Questo composto è ampiamente utilizzato nell'industria del cemento e del calcestruzzo, ma la sua estrazione comporta impatti ambientali significativi, contribuendo all'8% delle emissioni globali. **Con *Ostra*, il carbonato di calcio proveniente dai gusci di scarto viene recuperato e, insieme agli estratti di alghe, viene trasformato in un materiale simile alla ceramica.** Il processo di produzione utilizza un estrusore open-source chiamato *BioGun*.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

*Ostra* presenta **proprietà simili alla ceramica**, con una superficie solida e resistente. Il carbonato di calcio conferisce al materiale una robustezza paragonabile a quella del calcestruzzo. La combinazione con estratti di alghe ne migliora la lavorabilità, permettendo una maggiore flessibilità di forma. Il materiale può essere modellato in forme intricate.

[48] Markos Georgiou\_Ostra. (s.d.). wikifactory. <https://wikifactory.com/+othertodaystudio/oyster>





## CORAL [49]

**Designer:** Hyunseok An  
**Azienda produttrice:** Ulim  
**Luogo di produzione:** Corea del Sud  
**Anno:** 2021  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Alghe



### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto mira a integrare i **benefici nutrizionali delle alghe** nella vita quotidiana, ispirandosi al rapporto simbiotico tra alghe e coralli. Nelle barriere coralline, le alghe forniscono nutrienti vitali per mantenere l'ecosistema sano, trasformando l'anidride carbonica in biomassa ricca di nutrienti anche in acque povere di risorse. **Coral intende riprodurre questo ciclo naturale all'interno delle abitazioni, creando una "fattoria" di micro-alghe che promuove una salute sostenibile.**

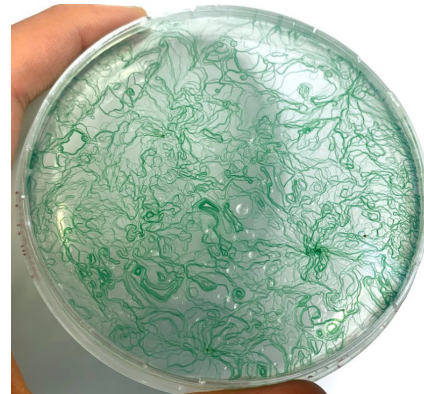
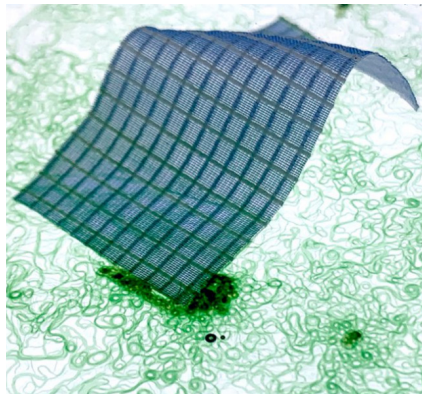
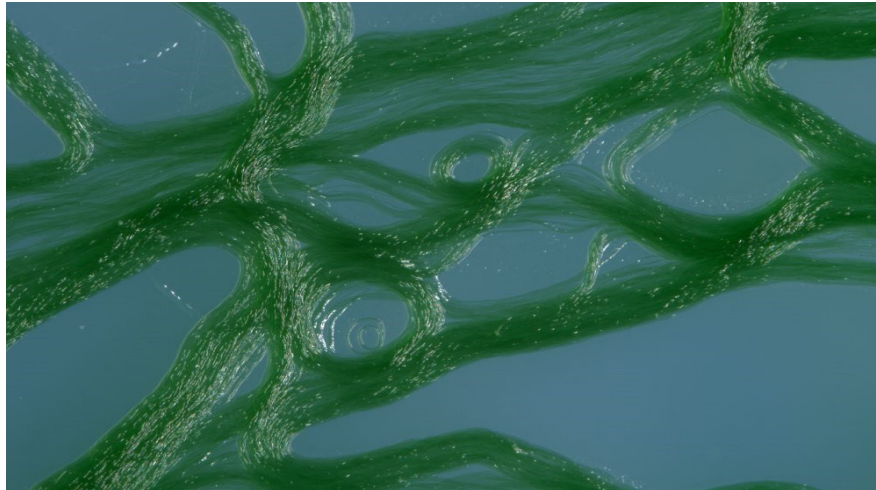
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

**Coral** è un **bioreattore da parete** che ospita una micro-fattoria di alghe in un ambiente controllato. La struttura è composta da **16 celle modulari**, ognuna delle quali funge da microcosmo in cui le alghe crescono e scuriscono man mano che assorbono anidride carbonica e producono nutrienti. **Ogni cella contiene circa due grammi di alghe**, pronti per il consumo una volta raggiunta la massima maturità in un ciclo di circa due settimane. Dopo la raccolta, la cella può essere rifornita e riutilizzata per proseguire il ciclo.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Coral **ottimizza il processo di fotosintesi** delle alghe. Ogni cella crea un microambiente ideale, **favorendo la crescita delle alghe** in modo sostenibile e sicuro per l'uso domestico. **Coral non solo introduce un superfood nelle case, ma permette di ridurre l'impatto di CO<sub>2</sub>.**

[49] Hyunseok An designs a sustainable algae micro-farm for the home. (s.d.). Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/07/04/hyunseok-an-algae-the-coral-micro-farm/>



## ALGEAR <sup>[50]</sup>



**Designer:** Randa Kherba  
**Luogo di produzione:** Regno Unito  
**Anno:** 2021  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Cianobatteri

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

L'introduzione di **tessuti sintetici** ha facilitato l'esplorazione di climi estremi, ma ha generato conseguenze ambientali significative. In particolare, nelle **zone montane**, dove per motivi di sicurezza gli alpinisti lasciano spesso l'attrezzatura. Per rispondere a questa sfida ambientale, c'è una crescente necessità di **creare attrezzature temporanee** realizzate con materiali naturali, pensate per essere utilizzate e biodegradate direttamente in natura.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Il progetto si basa sull'uso dei **cianobatteri** che grazie alla loro **capacità di resistere a condizioni ambientali difficili** e alla loro **fotosintesi**, offrono una soluzione sostenibile per la produzione di materiali adatti a climi estremi. Il processo di produzione sfrutta la capacità naturale dei cianobatteri di **crescere rapidamente**, consentendo la creazione di un materiale resistente che può essere utilizzato per realizzare attrezzature outdoor biodegradabili.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

La loro resistenza a climi variabili e la capacità di adattarsi a condizioni stressanti li rendono particolarmente adatti per le zone montane. Inoltre, essendo completamente biodegradabili, questi materiali **contribuiranno a fertilizzare il terreno, rispettando il principio *leave-no-trace***. *Algear* immagina un futuro con un **impatto minimo sull'ambiente naturale**.

[50] Algae by randa kherba – future materials bank. (s.d.). Future Materials Bank. <https://www.futurematerialsbank.com/material/algae-2/>



## BIOCOUTURE [51]



**Designer:** Suzanne Lee  
**Luogo di produzione:** Regno Unito  
**Anno:** 2014  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Cianobatteri

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

*Biocouture* consiste nella creazione di vestiti a partire da **batteri**. Questo processo promette un'alternativa sostenibile all'attuale industria tessile.

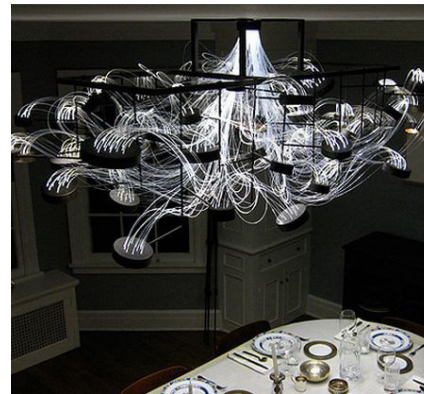
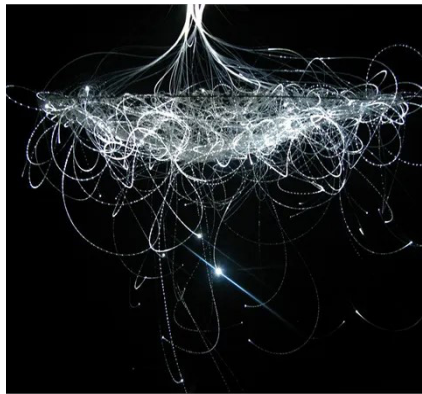
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Nel progetto i batteri vengono aggiunti a una soluzione di **tè verde zuccherato** che contiene anche lieviti e altri microrganismi. Durante la **fermentazione dello zucchero**, un processo attraverso il quale i batteri ottengono energia, alcuni ceppi producono microfibrille di cellulosa pura. Queste microfibrille si aggregano tra loro, **formando uno strato denso ma flessibile**. Dopo alcune settimane, sulla superficie del liquido si forma uno strato di circa 1,5 cm di spessore, che può essere rimosso e utilizzato in modi diversi. Quando è ancora umido, può essere **modellato su forme tridimensionali**, mentre se lasciato asciugare, può essere **tagliato e cucito** come i tessuti tradizionali.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Il materiale ottenuto è completamente **biodegradabile** e sicuro per il **compostaggio** alla fine della sua vita utile. La progettista sta ora lavorando allo sviluppo di un processo che permetta di guidare i batteri nella produzione di cellulosa con forme specifiche, mantenendo la flessibilità del materiale. Inoltre, sta cercando di controllare il processo di biodegradazione per evitare che i prodotti si decompongano inaspettatamente.

[51] Microbes are "the factories of the future" says Suzanne Lee. (s.d.). Dezeen. <https://www.dezeen.com/2014/02/12/movie-biocouture-microbes-clothing-wearable-futures/>



## BACTERIOPTICA [52]



**Designer:** Pietro Morozov  
**Luogo di produzione:** Stati Uniti  
**Anno:** 2010  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Batteri

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

*Bacterioptica* è un **lampadario vivente** che consente al proprietario di sperimentare gli **effetti di luce** generati da diversi tipi di **batteri**. Questi microrganismi, grazie alle loro proprietà bioluminescenti, creano una fonte di illuminazione naturale, offrendo una luce in continua evoluzione che cambia a seconda delle condizioni ambientali e delle interazioni con i batteri stessi.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

I **campioni di batteri** vengono coltivati in piastre di Petri, che vengono poi installate nel **lampadario modulare**. A seconda del tipo di **batterio** e della colorazione di ciascun campione, l'effetto luminoso può variare leggermente, riflettendo così la **diversità microbica** dei luoghi da cui i batteri sono stati raccolti. Questo permette di ottenere una luce personalizzata e in continua trasformazione, legata alla specificità dei microrganismi utilizzati. Il lampadario può ospitare fino a **100 campioni di batteri** di dimensioni differenti.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

La trasparenza del vetro e delle fibre ottiche consente una diffusione uniforme della luce, mentre la rifrazione crea effetti visivi. L'interazione tra luce, materiali traslucidi e aspetto organico delle colture batteriche produce un'estetica dinamica e in continua evoluzione, fondendo scienza e arte in un oggetto simbolico di decorazione.

[52] Biologically living chandelier formed within petri dishes. (s.d.). My Modern Met. <https://mymodernmet.com/madlab-bacterioptica/>



## MYCOKNIT <sup>[53]</sup>



**Designer:** F. Davis, A. Ghazvinian, B. Gürsoy, F. Oghazian, J. Pecchia, A. West

**Luogo di produzione:** Stati Uniti

**Anno:** 2021

**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** Micelio

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto *MycoKnit* si propone di esplorare il comportamento tra **compositi a base di micelio e tessuti in maglia**, utilizzando questi ultimi come substrato per la crescita dei materiali a base di micelio. L'obiettivo principale è lo sviluppo di un sistema costruttivo **sostenibile e biodegradabile**.

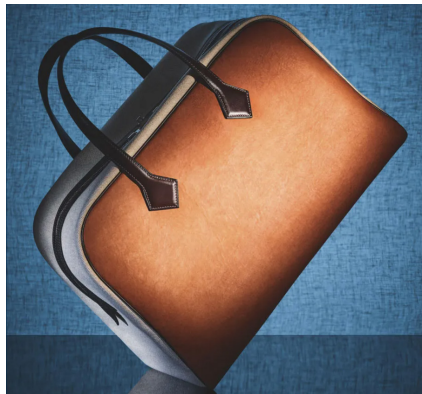
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Il **micelio** ha la capacità di **assorbire nutrienti dal materiale organico** e di legarli insieme. Una volta trattato, si trasforma in un materiale composito simile alla schiuma, noto per la sua **leggerezza e biodegradabilità**. Le caratteristiche di questo composito variano in funzione di diversi fattori, come la composizione del substrato, la specie fungina utilizzata e le condizioni di crescita.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Queste strutture, completamente **biodegradabili**, potrebbero contribuire significativamente alla **riduzione dei rifiuti** nel settore edile, fornendo una soluzione sostenibile ai materiali da costruzione non biodegradabili che attualmente occupano gran parte delle discariche a livello globale. Inoltre, presentano una **flessibilità e un comportamento multidirezionale**, rendendoli ideali per essere impiegati come **casceforme e rinforzi in sistemi strutturali** compositi.

[53] MycoKnit: Exploring mycelium-based composites on knitted textiles for sustainable architectural structures. (s.d.). Architecture Lab. <https://www.architecturelab.net/mycelium-based-composites-on-knitted-textiles-for-architectural-structures/>



## SYLVANIA [54]



**Designer:** Philip Ross, Sophia Wang

**Azienda produttrice:** MycoWorks

**Luogo di produzione:** Stati Uniti

**Anno:** 2013

**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** Micelio

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

La collaborazione esclusiva con la casa di moda di lusso Hermès e MycoWorks ha portato alla creazione di un nuovo materiale, chiamato *Sylvania*. Hermès ha utilizzato *Sylvania* per reinterpretare la sua iconica borsa *Victoria*, che è stata conciata e rifinita in Francia. Questa collaborazione **combina l'abilità tradizionale** nella concia di materiali di alta qualità **con le nuove tecnologie biotecnologiche**, rivoluzionando così il settore dei beni di lusso.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

*Sylvania* è un biomateriale derivato dal micelio progettato per sostituire la pelle di origine animale. Il processo di produzione per questo materiale prende il nome di **fine mycellium**, ed è una tecnica brevettata da MycoWorks. Il processo consiste nel far crescere, in condizioni controllate, **la rete intricata di filamenti del micelio, per imitare la struttura e la resistenza del cuoio convenzionale**, creando un materiale con una durata equivalente a quella del cuoio. Il processo combina la coltivazione del micelio attraverso **biotecnologie avanzate con le tradizionali tecniche di rifinitura artigianale** di Hermès.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Il materiale si distingue per la sua **resistenza, durata e sensazione al tatto**, posizionandosi ben al di sopra di materiali simili presenti sul mercato. Grazie alla possibilità di essere coltivato su misura e perfezionato durante la crescita, il **fine mycelium** permette ai marchi di moda di personalizzare il prodotto finito.

[54] An Exclusive Collaboration by Hermès and MycoWorks The new material Sylvania, a hybrid of nature and biotechn. (s.d.). MycoWorks. <https://www.mycoworks.com/introducing-sylvania-by-hermes>



## ECOCRADLE <sup>[55]</sup>



**Azienda produttrice:** Ecovative Design LLC

**Luogo di produzione:** Stati Uniti

**Anno:** 2011

**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** Micelio

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Ecovative Design ha sviluppato un'alternativa organica alla tradizionale schiuma di polimero derivata dal petrolio, un materiale che può persistere per centinaia di migliaia di anni e costituisce il **25% del volume dei rifiuti nelle discariche**, contenendo spesso sostanze chimiche nocive. L'innovativo materiale, chiamato **MycoBond**, ha un'ampia gamma di applicazioni, dai materiali da costruzione ai componenti automobilistici, fino agli imballaggi.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

*EcoCradle* è una soluzione di imballaggio realizzata che rappresenta una valida e preferibile alternativa al polistirolo. Il processo di produzione si basa sulla **crescita naturale dei funghi**, in particolare del **micelio**, la struttura vegetativa del fungo. L'altro componente chiave è costituito da **residui agricoli**, come le scorze di semi. Questo composto misto viene inserito in stampi che determinano la forma del prodotto finale. Il micelio si espande per riempire tutti gli spazi disponibili, creando una **matrice polimerica rigida**.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Il risultato è un **materiale leggero e resistente**, che mantiene le sue proprietà in condizioni asciutte, ma inizia a degradarsi naturalmente quando smaltito in un **compost**. Questo materiale è **competitivo** sia in termini di costi che di tempi di produzione, poiché cresce al buio ed è pronto in meno di due settimane.

[55] Ecovative's EcoCradle® Mushroom™. (s.d.). Packaging Gateway. <https://www.packaging-gateway.com/projects/ecovatives-ecocradle-mushroom-packaging-plant-new-york/>



## THE GROWING PAVILLION <sup>[56]</sup>



**Designer:** P. Leboucq, L. De Man, E. Klarenbeek  
**Azienda produttrice:** Fiction Factory, Tentech, Buitink Technology  
**Luogo di produzione:** Paesi Bassi  
**Anno:** 2022  
**Materiale:** Micelio, legno, residui del settore agricolo, cotone e giunco

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

L'attuale situazione climatica e i modi malsani di costruire e vivere hanno incoraggiato lo studio a lavorare con **biomateriali di origine naturale**. Il *Growing Pavillion* ha la missione di mostrare al pubblico le possibilità e la nuova estetica dei biomateriali. All'interno del padiglione i visitatori vivono un'esperienza di **storytelling**, con l'obiettivo di portarli a **riformulare il modo di pensare** agli ambienti costruiti.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Il padiglione è costituito da **biomateriali**, tra cui **legno, canapa, micelio, giunco e cotone**. Per la pelle esterna dell'edificio sono stati realizzati **88 pannelli di un composito** creato con il **micelio essiccato e le fibre naturali della canapa**. La **struttura portante** è realizzata in **legno**, il **pavimento** in **giunco**, il **soffitto** in **cotone**, e infine le **sedute** interne in **paglia di riso** trasformata in eco-boards.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Il **materiale biocomposito formato da micelio e fibre naturali di canapa** è robusto, leggero, ignifugo, isolante acustico e termico, idrorepellente e realizzabile nell'arco di poche settimane.

[56] The Growing Pavillion. (s.d.). The growing pavilion. The Growing Pavilion. <https://thegrowingpavillion.com/>





## CASI STUDIO: BIOMIMESI

La **Biomimesi** emula le forme e le funzionalità della natura e dei suoi organismi e le applica a prodotti o materiali. Nella maggior parte dei casi, i prodotti analizzati traggono ispirazione dal **regno animale**, come nel caso delle tele tessute dai ragni o delle squame degli squali o ancora dagli artigli del gatto.

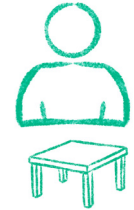
**L'emulazione dell'elemento naturale** nei seguenti casi studio ha comportato il miglioramento di determinate prestazioni come resistenza, leggerezza e multifunzionalità, che hanno consentito un funzionamento complessivo più efficace. Inoltre, l'applicazione della Biomimesi garantisce anche di arricchire l'estetica di un prodotto. Infatti, la combinazione di funzionalità e estetica derivata dalla natura ha permesso di creare prodotti o materiali armoniosi e con un equilibrio tra forma e funzione.

La **missione** dei casi studio analizzati si divide tra la capacità di migliorare l'utilizzo per la persona o per l'ecosistema. Alcuni progetti mirano, infatti, a migliorare la user experience per la persona, mentre altri sono improntati verso la rigenerazione degli ambienti naturali.

---



## BIOMIMICRY PIN [57]



**Designer:** Toshi Fukaya  
**Luogo di produzione:** Giappone  
**Anno:** 2011  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Silicene e plastica

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

La *Biomimicry Pin* nasce dall'osservazione della natura, in particolare dal **movimento delle zampe dei gatti**, in cui Toshi Fukaya ha trovato ispirazione. L'**obiettivo** del progetto è **creare una puntina da disegno più sicura rispetto a quelle tradizionali**, capace di ridurre il rischio di ferite grazie a un meccanismo che copre la punta appuntita quando non è in uso.

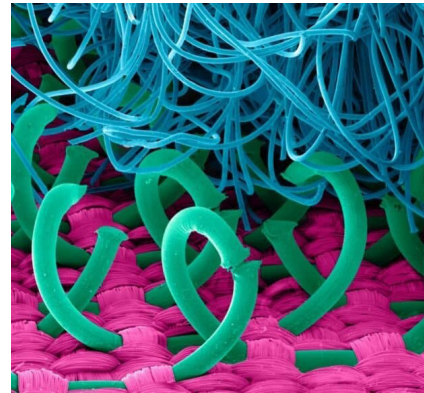
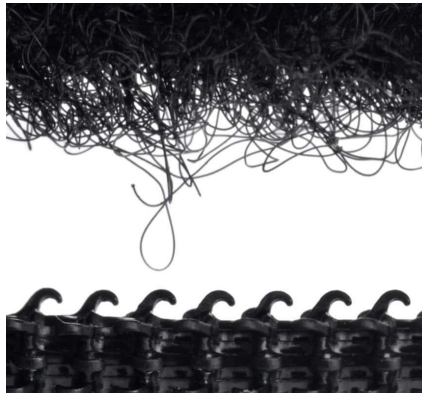
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

La puntina è realizzata principalmente con **silicene malleabile e plastica resistente**. La bolla che copre la punta della puntina, è costituito da silicene flessibile che può **espandersi e contrarsi a seconda della pressione esercitata**. Il manico della puntina è prodotto in plastica resistente per fornire una presa sicura e confortevole, mentre il pin vero e proprio è in metallo per garantire una penetrazione solida nelle superfici. Durante il processo produttivo, il pin di metallo viene prima assemblato al manico di plastica, e successivamente viene ricoperto dallo strato di silicene, che viene modellato per aderire e formare la bolla protettiva.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Il silicene possiede eccellenti proprietà di **elasticità e resistenza**, permettendogli di avere memoria di forma. La **plastica del manico è progettata per essere resistente ma leggera**, offrendo una **buona ergonomia** durante l'uso.

[57] Biomimicry pin - yanko design. (s.d.). Yanko Design - Modern Industrial Design News. <https://www.yankodesign.com/2012/03/28/biomimicry-pin/>



## VELCRO BIODEGRADABILE <sup>[58]</sup>



**Designer:** Isabella Fiorello e team IIT  
**Luogo di produzione:** Italia  
**Anno:** 2021  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Isomalto

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto nasce dall'esigenza di sviluppare metodi meno invasivi per **monitorare e trattare le piante**. Partendo dalla necessità di evitare danni alle foglie durante l'applicazione dei sensori, il team si è ispirato alla pianta **Galium aparine**, che si ancora a sostegni esterni grazie a microuncini naturali. L'**obiettivo finale è creare un sistema intelligente e sostenibile per monitorare la salute delle piante** e gestirne il trattamento, utilizzando dispositivi che si attaccano in modo non invasivo e biodegradabile.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Per la produzione dei microuncini, il team ha utilizzato la **stampa 3D** per **replicare i meccanismi di ancoraggio naturali** della Galium aparine. I dispositivi hanno dimostrato la capacità del velcro in **isomalto**, ovvero una sostanza solubile e biodegradabile.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Il *velcro biodegradabile* si dissolve nel tempo, eliminando sprechi e **riducendo l'impatto ambientale**. Inoltre il team ha sviluppato clip intelligenti dotate di **sensori di temperatura, luce e umidità**, capaci di raccogliere dati per periodi fino a 50 giorni.

[58] Realizzato il primo velcro biodegradabile ispirato alle piante rampicanti - Talk iit. (s.d.). Talk iit. <https://opentalk.iit.it/realizzato-il-primo-velcro-biodegradabile-ispirato-alle-piante-rampicanti/>



## INDUS <sup>[59]</sup>

**Designer:** Shneel Malik  
**Luogo di produzione:** India  
**Anno:** 2019  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Ceramica e alghe



### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto *Indus* nasce come **risposta alla crisi della contaminazione idrica causata dall'industria tessile e artigianale in India**. Oltre il 70% delle risorse idriche sono inquinate da scarichi non trattati. *Indus* è una **parete modulare composta da bioreattori a piastrelle che purificano l'acqua attraverso la bioremediation**. Malik ha progettato *Indus* per consentire alle comunità artigianali rurali di rigenerare l'acqua in modo economico e di riutilizzarla nei loro processi produttivi.

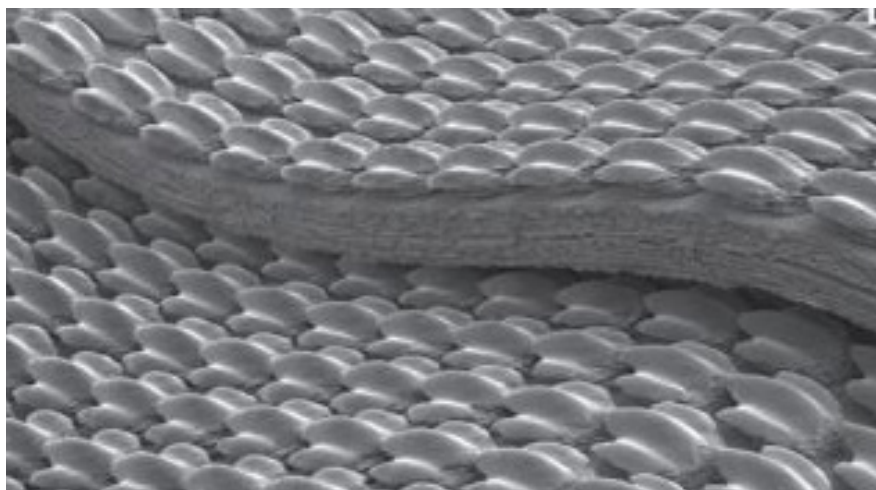
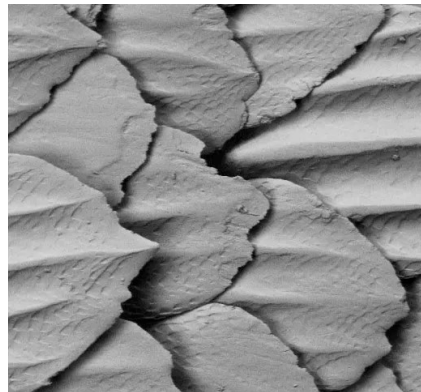
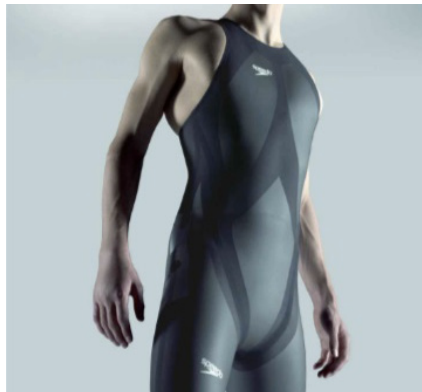
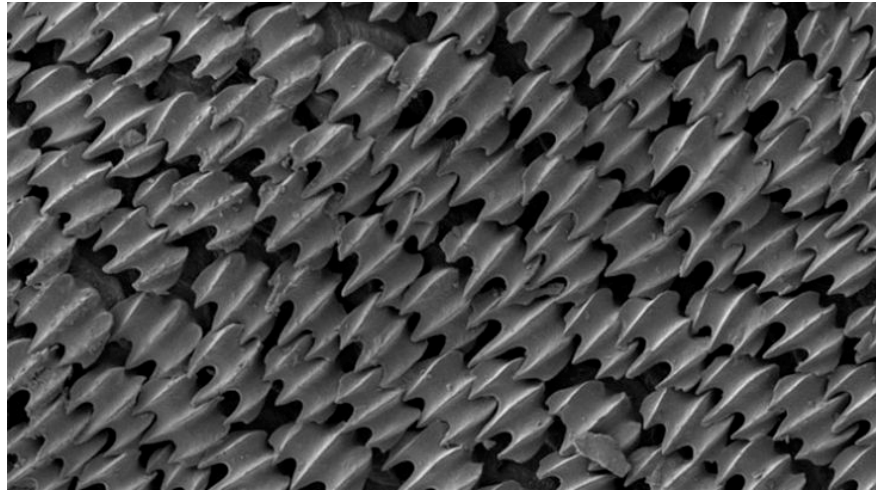
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Il sistema è rappresentato dalle **piastrelle modulari** ispirate alla **struttura delle foglie, dotate di canali** che ricordano le venature attraverso cui scorre l'acqua contaminata. **All'interno dei canali sono presenti alghe marine**, preparate in un idrogel che cattura i contaminanti attraverso i fitochelatini, composti che permettono loro di **assorbire elementi tossici come il cadmio per nutrirsi e crescere**. Le piastrelle sono prodotte con argilla locale, utilizzando tecniche tradizionali, il che riduce i costi e rende il sistema facilmente fabbricabile e manutenibile dalle stesse comunità di artigiani.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

L'idrogel e le alghe devono essere **sostituiti periodicamente**, ma le **piastrelle sono riutilizzabili**, rendendo il sistema sostenibile. *Indus* rappresenta una **soluzione universale al problema dell'inquinamento idrico**.

[59] Indus 1.0 / 2.0 | studio biocene. (s.d.). Studio Biocene. <https://www.studiobiocene.com/project/indus>



## BIOMIMICRY SHARK [60]



**Designer:** Trevor Sewell  
**Luogo di produzione:** Sud Africa  
**Anno:** 1997  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Tessuti sintetici

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

L'anatomia della pelle del grande squalo bianco è un esempio affascinante di adattamento naturale, caratteristiche che hanno ispirato il design di materiali innovativi. Le minuscole scaglie chiamate denticoli dermici, riducono l'attrito e la turbolenza durante il movimento, rendendo gli squali predatori silenziosi e agili. **L'obiettivo** di questo progetto è **tradurre questa caratteristica naturale in tessuti avanzati per migliorare le prestazioni atletiche, permettendo ai nuotatori di ridurre la resistenza in acqua e di raggiungere velocità maggiori**, ispirandosi alle dinamiche naturali del nuoto dello squalo.

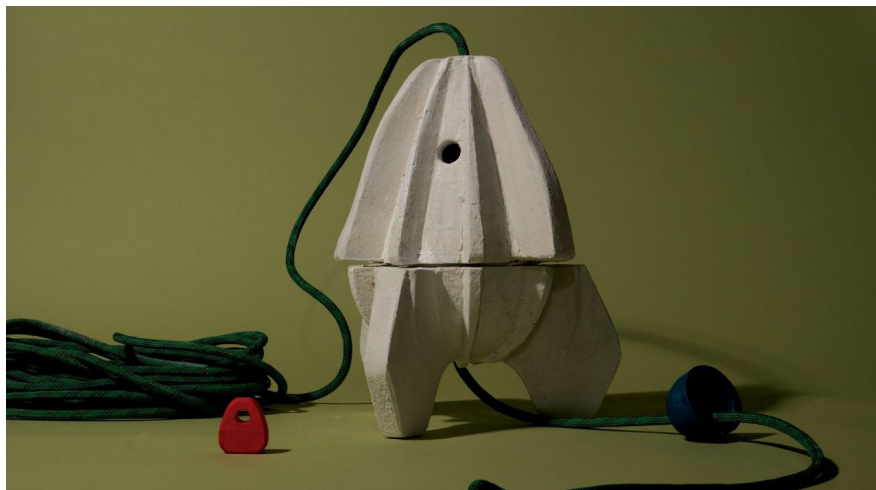
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Questo processo di biomimetica comporta l'**applicazione di texture microscopiche** che riducono la resistenza dell'acqua, aumentando l'aerodinamica del nuotatore. Realizzare un tessuto con queste caratteristiche **richiede tecnologie avanzate di stampa e modellazione 3D** per ottenere l'esatta disposizione dei denticoli e garantire un risultato che massimizzi la fluidodinamica.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Le scaglie sintetiche replicate permettono agli atleti di ridurre lo sforzo e migliorare le prestazioni. Questo tessuto biomimetico non solo rappresenta un vantaggio competitivo, ma mostra come i design ispirati alla natura possano rivoluzionare l'industria dello sport, sfruttando l'efficienza evolutiva.

[60] Wen, L., Weaver, J. C., & Lauder, G. V. (2014). Biomimetic shark skin: Design, fabrication and hydrodynamic function. *Journal of Experimental Biology*, 217(10), 1656–1666. <https://doi.org/10.1242/jeb.097097>



## REEF ROCKET [61]



**Designer:** Mary Lempres, Ahmed Miftah  
**Luogo di produzione:** Stati Uniti  
**Anno:** 2024  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Gusci di ostriche e bio-cemento

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto è **ispirato alla struttura resiliente delle barriere naturali** create dalle ostriche, *Reef Rocket* sfrutta i principi della biomimetica per imitare le funzioni delle barriere costiere. **L'obiettivo è proporre un'alternativa ecologica e sostenibile al cemento tradizionale**, integrando strutture che non solo proteggano le coste ma contribuiscano attivamente alla salute dell'ecosistema marino.

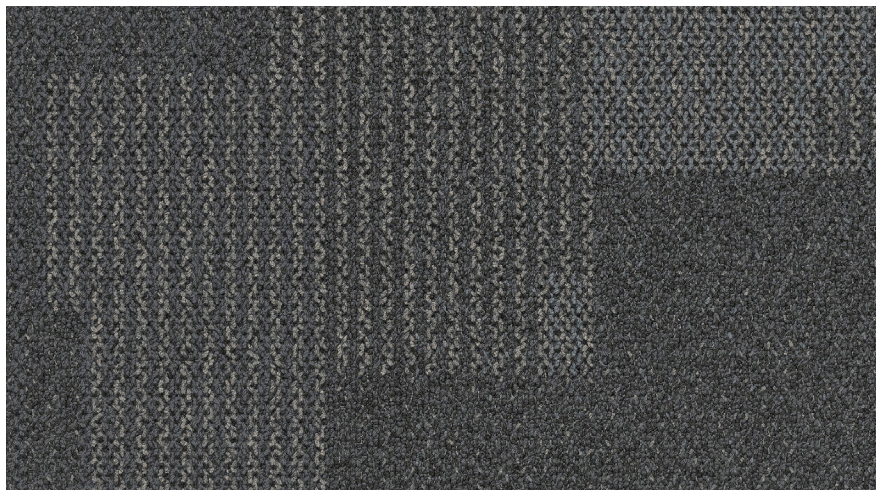
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

*Reef Rocket* è costituito da moduli in **bio-cemento**. Questi moduli sono ottenuti attraverso un metodo innovativo che prevede l'**uso di estratti vegetali per creare un cemento biologico**, ogni modulo si sviluppa saturando un substrato composto da **vetro frantumato e gusci d'ostrica** recuperati da ristoranti locali e dal porto di New York con una soluzione non tossica, permettendo alla **biocatalisi di formare "ponti minerali"** tra i componenti. L'intero processo richiede solo alcuni giorni di maturazione, producendo un **materiale resistente all'acqua e durevole** come il cemento tradizionale, **ma privo di impatto negativo sull'ambiente**.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Ogni modulo è di piccole dimensioni, **leggero e facile da assemblare**. Il design biomimetico e sostenibile rappresenta un'innovazione che mira a coniugare le esigenze delle infrastrutture umane con le capacità rigenerative dell'ambiente.

[61] Reef Rocket is a bio-cement reef grown from plant enzymes. (s.d.). Dezeen. <https://www.dezeen.com/2024/01/08/reef-rocket-bio-cement-reef/>



## ENTROPY [62]



**Designer:** David Oakey  
**Luogo di produzione:** Stati Uniti  
**Anno:** 2006  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Fibre bio-derivate, micelio

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

InterfaceFLOR ha rivoluzionato l'industria della moquette con le piastrelle *Entropy*, un progetto di design ispirato alla natura che applica la biomimetica per ridurre scarti, costi e manutenzione. Con colorazioni e pattern casuali, *Entropy* imita la disposizione naturale delle foglie, creando una soluzione modulare che riduce gli sprechi. Il successo di *Entropy* ha portato alla linea i2 e al lancio di TacTiles, sistema adesivo ispirato all'aderenza del geco. *Entropy* dimostra come sostenibilità e innovazione migliorano durata ed efficienza delle pavimentazioni.

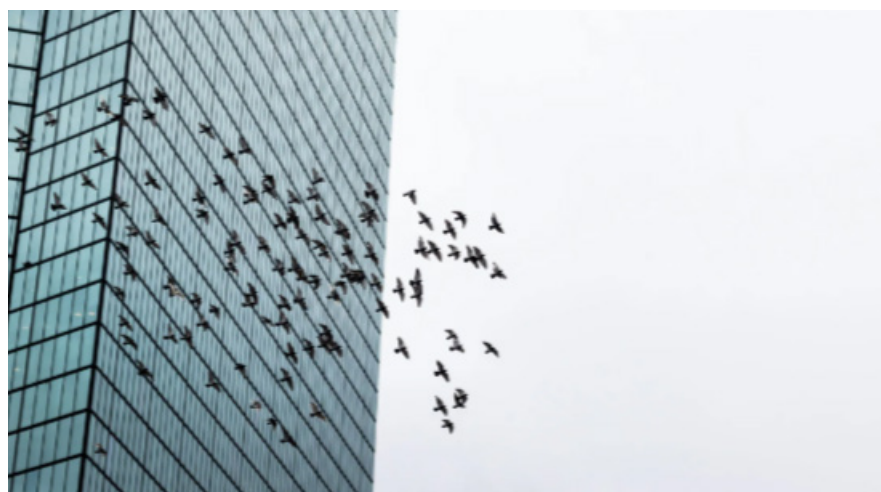
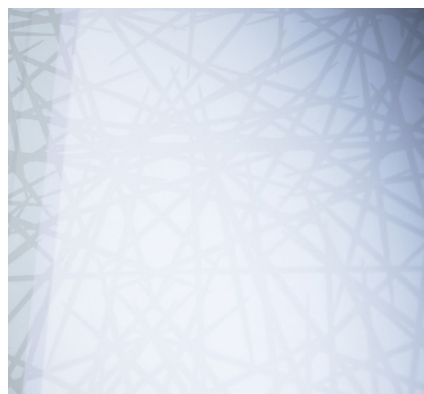
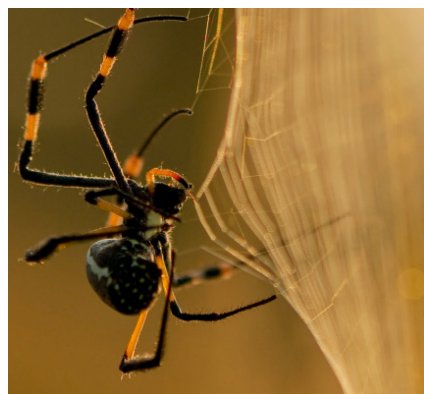
### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

*Entropy* usa materiali riciclati e fibre bio-derivate, riducendo il nylon da petrolio. Le piastrelle *Entropy* contengono fino al 74% di materiali riciclati, evitando milioni di chili di rifiuti in discarica. L'azienda riduce il consumo energetico del 43%, le emissioni del 44% e l'uso d'acqua del 77%. TacTiles elimina l'uso di adesivi permanenti, ispirandosi alla natura per permettere un riutilizzo e sostituzione più semplice.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Le piastrelle *Entropy* consentono installazione in ogni orientamento e semplice sostituzione, minimizzando i rifiuti. InterfaceFLOR ha come obiettivo di ridurre l'impronta ambientale, offrendo prodotti ad alta performance.

[62] Biomimicy. (s.d.). David Oakey Designs. <https://davidoakeydesigns.com/biomimicy/>



## ORNILUX [63]

**Designer:** Arnold Glas  
**Luogo di produzione:** Stati Uniti  
**Anno:** 2006  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Rivestimenti UV riflettenti



### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

*ORNILUX* nasce dall'osservazione del **ragno tessitore**, il quale **costruisce tele con fili riflettenti ai raggi UV per evitare collisioni con gli uccelli**. Questo prodotto ha l'**obiettivo di ridurre significativamente gli impatti degli uccelli contro le finestre**, contribuendo alla conservazione delle specie aviarie. Utilizzando uno strato di rivestimento UV, *ORNILUX* rende le superfici vetrate visibili agli uccelli, pur restando trasparenti per l'occhio umano.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

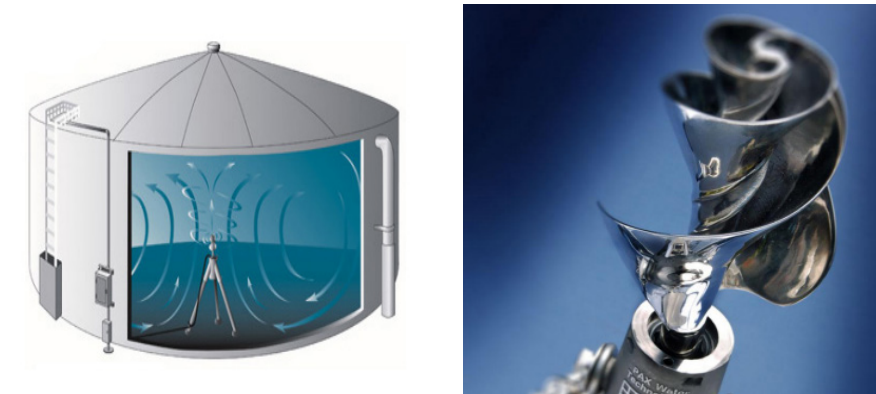
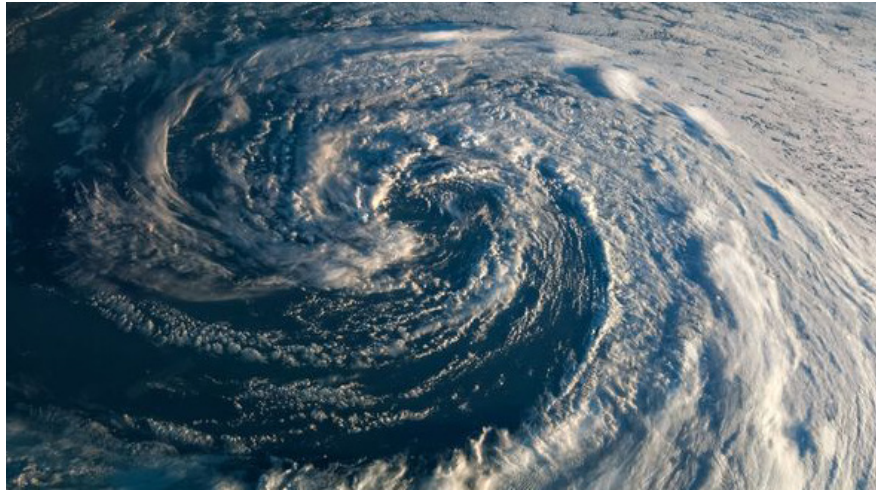
Il processo di sviluppo di *ORNILUX* è stato guidato dall'innovazione nei **rivestimenti UV riflettenti**. Arnold Glas, in collaborazione con Arcon, ha sviluppato una serie di pattern UV ispirati alla struttura della tela del ragno, che riflettono la luce UV rendendo visibile il vetro per gli uccelli. Il rivestimento Mikado, **che simula i fili intrecciati di un gioco di bastoncini**, è stato lanciato dopo la prima versione, ed è quasi **invisibile all'occhio umano**.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

Questa **tecnologia permette di prevenire efficacemente le collisioni**, mantenendo l'estetica degli edifici e migliorando la loro sostenibilità. Grazie all'efficacia di *ORNILUX*, diversi enti di architettura e progettazione urbana stanno introducendo regolamenti e certificazioni, come il credito LEED per la deterrenza dalle collisioni aviarie.

[63] ORNILUX® bird protection glass. (s.d.). Arnold Glas — Mehrscheiben-Isolierglas & Glasveredelung. <https://www.arnold-glas.de/en/products/pi-ornilux-bird-protection-glass-704924742>





## PAX WATER TECHNOLOGY <sup>[64]</sup>



**Designer:** Jay Harman  
**Luogo di produzione:** Australia  
**Anno:** 2010  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Polimeri e leghe metalliche

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

*PAX* ha come **obiettivo di innovare nel campo della gestione sostenibile delle risorse idriche e del trattamento dell'aria, ispirandosi alle forme e ai principi delle conchiglie presenti in natura.** Questa visione si riflette nel desiderio di creare sistemi che riducano il consumo di energia e risorse, abbiano una lunga durata operativa e migliorino la sostenibilità a livello industriale. L'ispirazione proviene anche dai **tornadi e uragani** nel tentativo di emulare i **processi di miscelazione naturali dell'aria e dell'acqua.**

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

Per la realizzazione vengono utilizzati **materiali selezionati per la loro resistenza alla corrosione, durata e capacità di essere modellati in forme biomimetiche.** Tra i materiali principali vi sono polimeri di alta qualità e leghe metalliche resistenti agli agenti chimici. Il processo di produzione prevede diverse fasi, tra cui: la **progettazione e prototipazione** con modelli CAD, **produzione** con lavorazione CNC e **finitura e controllo qualità.**

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

I materiali hanno proprietà fisiche chiave: **resistenza alla corrosione, leggerezza e flessibilità , proprietà termiche.** I materiali sono studiati per ridurre al minimo la conduzione termica indesiderata, ottimizzando l'efficienza energetica e capacità di riduzione della turbolenza.

[64] Water quality — PAX scientific. (s.d.). PAX Scientific. <https://paxscientific.com/water-tech>



## PURE BOND <sup>[65]</sup>



**Designer:** Kaichang Li  
**Azienda:** Columbia Forest Products  
**Luogo di produzione:** Stati Uniti  
**Anno:** 2005  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Soia

### VISIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto *PureBond* è stato sviluppato ispirandosi alla **capacità del mitilo blu, un mollusco delle coste dell'Oregon, di aderire saldamente alle rocce** resistendo all'erosione delle onde. Il progetto ha l'**obiettivo di offrire al settore del legno un adesivo privo di formaldeide, sicuro e sostenibile**, in grado di competere con le tradizionali resine industriali, ma riducendo l'impatto ambientale e i rischi per la salute.

### MATERIALI E PROCESSO DI PRODUZIONE

*PureBond* impiega **proteine di soia** modificate per imitare l'**amminoacido DOPA**, responsabile dell'adesione del mitilo. La proteina di soia viene trattata con **Kymene**, un agente di reticolazione, e poi riscaldata, **legandosi alle fibre di legno e formando una struttura resistente e durevole**, simile a quella degli adesivi a base di formaldeide. Durante la produzione, il materiale viene sottoposto a test di bollitura e asciugatura per verificarne la resistenza all'acqua e la tenuta.

### PROPRIETÀ FISICHE E DEI MATERIALI

*PureBond* garantisce un'**adesione tenace su superfici bagnate** e resiste a lunghe immersioni in acqua. È **privo di formaldeide e non tossico**, garantendo una scelta più sicura per i lavoratori e per l'ambiente. Grazie a una collaborazione con Columbia Forest Products, questa tecnologia è stata adottata su vasta scala, sostituendo milioni di chili di adesivi tradizionali e riducendo fino al 90% le emissioni inquinanti negli impianti.

[65] PureBond -columbia forest products. (s.d.). Columbia Forest Products. <https://www.columbiaforestproducts.com/library/technical-documents/purebond/>



# 2

# LA FLORA MARINA

|   |     |
|---|-----|
| PIANTE MARINE: DEFINIZIONE E STRUTTURA    | 2.1 |
| ALGHE: DEFINIZIONE E STRUTTURA            | 2.2 |
| INDICI AMBIENTALI SUL TERRITORIO ITALIANO | 2.3 |



## CAPITOLO 2 La flora marina

In questo capitolo, ci concentreremo sulla **biodiversità della flora marina**, analizzando la morfologia e le **principali caratteristiche fisico-chimiche** che definiscono le fanerogame marine e le alghe marine.

La definizione delle caratteristiche biologiche di queste specie vegetali marine, come la loro struttura, le modalità di crescita e l'adattabilità agli ambienti costieri è necessaria al fine di **fornire al progettista una base conoscitiva** indispensabile per comprenderne il **potenziale utilizzo nell'ambito del Bidesign**. Questa analisi generale permetterà di valorizzare al meglio le proprietà intrinseche delle fanerogame e delle alghe marine, guidando **scelte progettuali consapevoli** per lo sviluppo di biomateriali.



[Fig. 2.1] Foglie di *Nymphaea Alba*, pianta acquatica della famiglia delle Nymphaeaceae.



[Fig. 2.2] *Posidonia oceanica*, pianta acquatica, appartenente alla famiglia delle Posidoniaceae.

## 2.1 Piante marine: definizione e struttura

Le **piante acquatiche**, conosciute anche come **idrofiti**, sono organismi vegetali che dipendono da una costante presenza d'acqua per il loro sostentamento. Si tratta di piante che nel tempo si sono adattate a vivere sia **galleggianti sulla superficie dell'acqua che completamente sommerse**. Esse possono trovarsi in ambienti di **acqua dolce**, come nel caso della *Nymphaea*, oppure in **ambienti marini**, come per la *Posidonia oceanica*. In questo capitolo porremo particolare attenzione alle **fanerogame marine**, ovvero, piante acquatiche con fiori, adattate a vivere in **ambiente marino**, classificate anche come **piante superiori marine** [66].

Le **fanerogame marine**, sono **vere e proprie piante** a cormo, con radici, fusti, foglie e fiori. Fanno parte della famiglia delle **angiosperme monocotiledoni**, ovvero una divisione di piante formate da un fiore e un seme protetto da un frutto, perfettamente adattate alla vita acquatica, tanto da **non poter sopravvivere in ambienti diversi** perché prive di qualunque sistema atto ad accumulare o prevenire la perdita dell'acqua stessa. I pollini di queste specie, inoltre, sono privi dei caratteristici rivestimenti che permettono ai pollini delle piante terrestri di viaggiare nell'aria [66].

Le fanerogame marine, pur venendo erroneamente confuse con le alghe marine, presentano delle sostanziali **differenze**.

Le **alghe** sono **organismi meno avanzati**, formati da una sola o più cellule, ma non si organizzano mai in tessuti veri e propri. L'intera struttura si presenta omogenea e segue la stessa funzione, tranne gli sporangi e i gametangi che producono spore e gameti. Al contrario, le fanerogame sono capaci di sviluppare **organi specializzati** con diverse funzioni come **radici, fusti (rizomi), foglie, fiori, frutti e semi**.

[66] Le fanerogame marine. (s.d.). Recuperato 7 dicembre 2024, da <http://www.biologiamarina.eu/Fanerogame.html>

### 2.1.1 L'ORIGINE DELLE FANEROGAME

Si pensa che le prime fanerogame marine siano state presenti nei mari durante il **periodo del Cretaceo medio e tardo**, circa 100 milioni di anni fa. Per quanto riguarda la **provenienza geografica**, si ritiene che l'Indonesia, il Borneo e la Nuova Guinea, che ospitano la maggior parte delle specie, siano stati il **luogo di origine** delle fanerogame, e che successivamente si diffusero in tutto il pianeta. La distribuzione era piuttosto omogenea lungo le coste dell'Africa orientale e dell'Indonesia [66].

Nel corso degli anni sono stati diversi gli scienziati che hanno sviluppato **ricerche e teorie sull'evoluzione delle piante**, anche con un'attenzione specifica sulle fanerogame.

**Agnes Robertson Arber** (1879–1960), botanica e biologa britannica, sosteneva che le piante vascolari derivassero da piante, che nel passato vivevano in **ambienti d'acqua dolce** e che, in seguito a un **repentino aumento di salinità dell'acqua**, avessero gradualmente colonizzato ambienti salmastri e marini. Infatti, **Arber** osservò che le fanerogame vivessero prevalentemente in acque dolci, e solo in minor parte in ambiente marino. Da questo confronto dedusse che **le acque dolci fossero state gli ambienti di origine delle fanerogame** [66].

Secondo **Cornelis den Hartog** (1931–2016), ecologo e botanico olandese, le fanerogame si sono originate da **piante terrestri alotolleranti**, ovvero specie in grado di sopravvivere in **ambienti caratterizzati da alte concentrazioni di salinità**, e che vivevano in **zone intertidali**, adattatesi a fasi periodiche di emersione e immersione nell'acqua marina [66].

Rispetto alla **teoria di Arber**, ci sono prove più convincenti a favore dell'**ipotesi di Den Hartog**. A supporto dell'ipotesi del botanico olandese, è possibile analizzare le **caratteristiche biologiche e anatomiche** di determinate specie, e analizzare come quest'ultime si sono adattate progressivamente a condizioni marine. Questo implica che l'adattamento al sale sia avvenuto attraverso un **graduale processo evolutivo** a partire da piante già adattate a condizioni di stress salino, come quelle presenti in ambienti intertidali, piuttosto che dall'acqua dolce direttamente [66].

[66] Le fanerogame marine. (s.d.). Recuperato 7 dicembre 2024, da <http://www.biologiamarina.eu/Fanerogame.html>

### Per riassumere:



Le fanerogame marine forniscono **importanti servizi ecosistemici** [66]

Le **fanerogame marine** sono piante acquatiche con fiori adattate a vivere in **ambiente marino**, classificate anche come **piante superiori marine** [66]

Le fanerogame marine sviluppano organi specializzati con diverse funzioni come **radici, fusti, foglie, fiori, frutti e semi** [66]

Le prime fanerogame marine sono nate durante il periodo del Cretaceo medio e tardo, circa **100 milioni di anni fa** [66]

Per sopravvivere in ambienti marini nel corso del tempo sono avvenuti **adattamenti strutturali** aggiuntivi al fine di sopportare la **salinità** e rimanere **ancorati ai fondali marini** [66]

Si trovano sulle coste di **tutti i continenti** eccetto per l'Antartica [66]

[66] Le fanerogame marine. (s.d.). Recuperato 7 dicembre 2024, da <http://www.biologiamarina.eu/Fanerogame.html>

### 2.1.2 MORFOLOGIA DELLE FANEROGAME

Le fanerogame sono **piante modulari** composte da unità dette **ramet**. Le ramet secondo la definizione di **Timothy Smith**, biologo e biochimico britannico, sono **membri individuali**, ovvero cloni, di una pianta modulare. Nelle piante stolonifere come le fanerogame, i cloni si espandono lateralmente attraverso il **rizoma** e successivamente con nuove radici che poi si separano fisiologicamente dalla pianta madre [66].

Il **rizoma** [Fig. 2.3] è un **fusto sotterraneo** che permette alle piante di **crescere, riprodursi vegetativamente e immagazzinare nutrienti**.

I rizomi sono **dimorfici**, ovvero possono essere **sia orizzontali che verticali**:

- Il **rizoma plagiotropo** ha la funzione di **ancorare la pianta** e di **stabilizzare il substrato** permettendone l'**avanzamento** in senso **orizzontale**. Consente la formazione delle **praterie di piante marine**, in quanto favorisce la formazioni di **reti clonali** in cui più individui della stessa specie sono collegati tra di loro;
- Il **rizoma ortotropo** permette invece la crescita della pianta in senso **verticale**, favorendone **sostegno e ancoraggio al substrato in ambienti instabili** come quelli sabbiosi [66].

Inoltre, i rizomi si distinguono anche per la **differente elasticità**, quelli **verticali sono flessibili** e adattabili ai movimenti dell'acqua, quelli **orizzontali sono più robusti** e tendenti alla lignificazione. Più in generale, i **rizomi** costituiscono **lo strato ipogeo**, ovvero **sotterraneo della pianta**, caratterizzato da **stabilità nel tempo**, mentre **le foglie** costituiscono **lo strato epigeo**, ovvero **al di sopra del suolo, molto variabile** in funzione delle condizioni ambientali e stagionali [66].

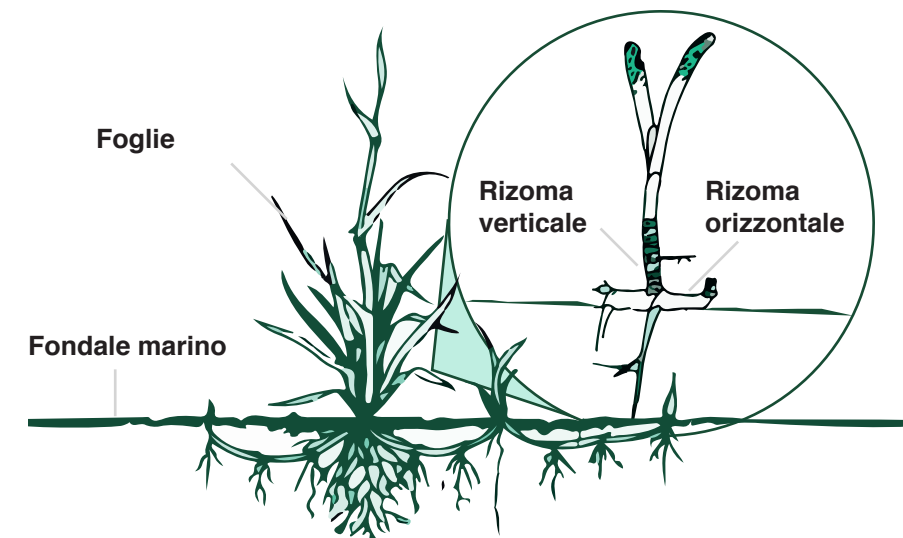
L'**apice vegetativo**, ovvero la **parte terminale del fusto** della pianta, è costituito da 6 o 7 giovani foglie ed è situato proprio nella parte superiore del rizoma. **Le foglie più giovani** sono interne e protette dalle più **vecchie** che si presentano più **lunghe e robuste**. La funzione delle foglie è quella **fotosintetica e di assorbimento dei nutrienti** dall'ambiente acquatico.

[66] Le fanerogame marine. (s.d.). Recuperato 7 dicembre 2024, da <http://www.biologiamarina.eu/Fanerogame.html>

Le foglie possono avere **conformazioni e lunghezze diverse** a seconda della specie. Ad esempio, le specie della *Halophyla* e della *Posidonia* possono avere **foglie lunghe più di un metro**, al contrario della *Zoostera nana*, le cui foglie si estendono fino a a un massimo di **30/40 centimetri**.

Le foglie si accrescono alla base, quindi l'apice vegetativo è la parte più vecchia della foglia stessa e per primo andrà incontro a fenomeni di senescenza. Quando la foglia si stacca, alla base rimangono delle **scaglie denominate lipule**, che in seguito alla lignificazione, **ricopriranno il rizoma**. Le lipule vengono misurate in millimetri e il **loro spessore permette di risalire** all'andamento della **crescita della pianta**, e con una certa approssimazione anche a quella della prateria [66].

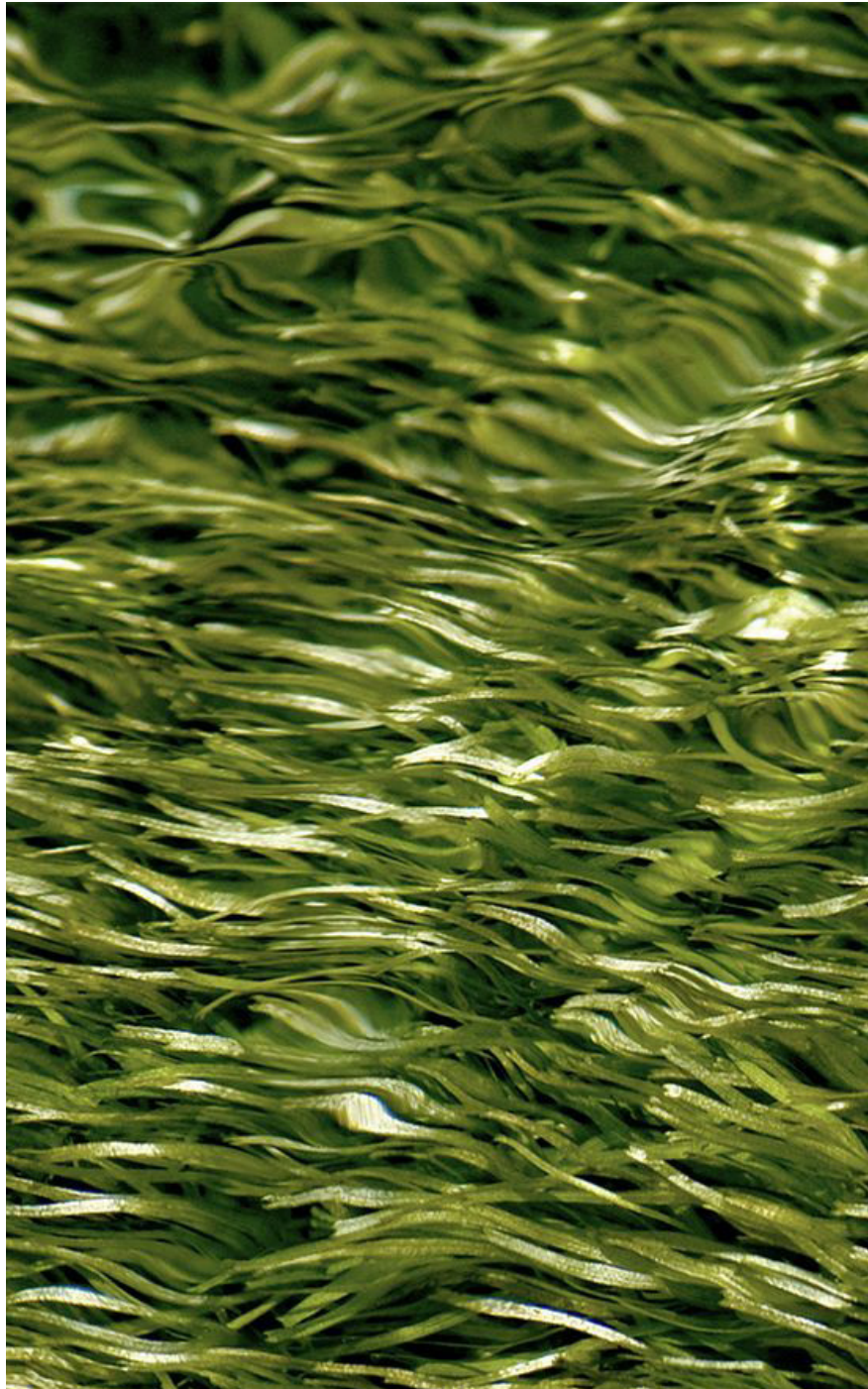
Spesso i sedimenti ove accrescono le fanerogame sono **anossici**, ovvero **privi o scarsi di ossigeno**, e pertanto esse **accumulano ossigeno nelle radici**, dove giunge attraverso i rizoma e il parenchima aerifero delle foglie, un tessuto vegetale specializzato fondamentale per la sopravvivenza delle specie in quanto ha la funzione di contenere aria [66].



[Fig. 2.3] La morfologia delle fanerogame marine. [67]

[66] Le fanerogame marine. (s.d.). Recuperato 7 dicembre 2024, da <http://www.biologiamarina.eu/Fanerogame.html>

[67] Bulegato, S. (s.d.). -Struttura dei rizomi nelle fanerogame marine. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/figure/Struttura-dei-rizomi-nelle-fanerogame-marine-biologiamarinaeu\\_fig1\\_332120009](https://www.researchgate.net/figure/Struttura-dei-rizomi-nelle-fanerogame-marine-biologiamarinaeu_fig1_332120009)



[Fig. 2.4] Zoom su una prateria marina.

### 2.1.3 DISTRIBUZIONE

Le specie di fanerogame marine sono pochissime rispetto ad altre specie marine: ne sono note solamente circa **70 specie**. Le fanerogame sono presenti nelle regioni temperate e tropicali. Riguardo alla distribuzione, le **regioni temperate boreali** sono dominate dal genere *Zostera*, mentre quelle **australi** dal genere *Posidonia*, in entrambi gli emisferi sono comunque presenti i due generi [68].

Le praterie [Fig. 2.4] globalmente coprono una superficie stimata di circa **250.000 km<sup>2</sup>**, distesa su 162 Paesi. In Europa sono stimati **22.000 km<sup>2</sup>** di praterie, in Oceania sono stimati **40.000 km<sup>2</sup>** di praterie, in America sono stimati **35.000 km<sup>2</sup>** di praterie, in Asia sono stimati **55.000 km<sup>2</sup>** di praterie e in Africa sono stimati **15.000 km<sup>2</sup>** di praterie [69].

### 2.1.4 PRATERIE

Le fanerogame marine si organizzano in **praterie**, ovvero **aree molto produttive** che offrono diversi benefici all'ecosistema, come la **difesa delle coste** dalle tempeste, la **stabilizzazione dei sedimenti**, la **creazione di habitat protetti per altre specie**, la **promozione della diversità biologica** e il **miglioramento della qualità dell'ecosistema**. Le praterie fungono da **filtri biologici** attuando un processo naturale di **depurazione dell'acqua**, riducendo le sostanze inquinanti presenti nel corpo idrico, in azione sinergica con i batteri nitrificanti. Contribuiscono quindi a mantenere l'acqua pulita, oltre a fornire il giusto habitat ad un'ampia fauna [68].

**Le praterie del mare** sono ambienti **diversificati e fertili** ed ospitano una vasta gamma di specie, inclusi pesci giovani e adulti, alghe macro e micro e animali selvatici, molluschi, vermi e nematodi. Contengono intricate **catene alimentari** che forniscono sostegno nutrizionale a specie e habitat. Dato il vasto assortimento di cibo proveniente da questo habitat ricco, non è strano che le praterie di fanerogame marine ospitino anche una vasta gamma di predatori ed erbivori [68].

[68] Nienhuis, P. H. (2002). Global seagrass research methods. *Aquaculture*, 212(1-4), 405–407. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00307-1](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00307-1)

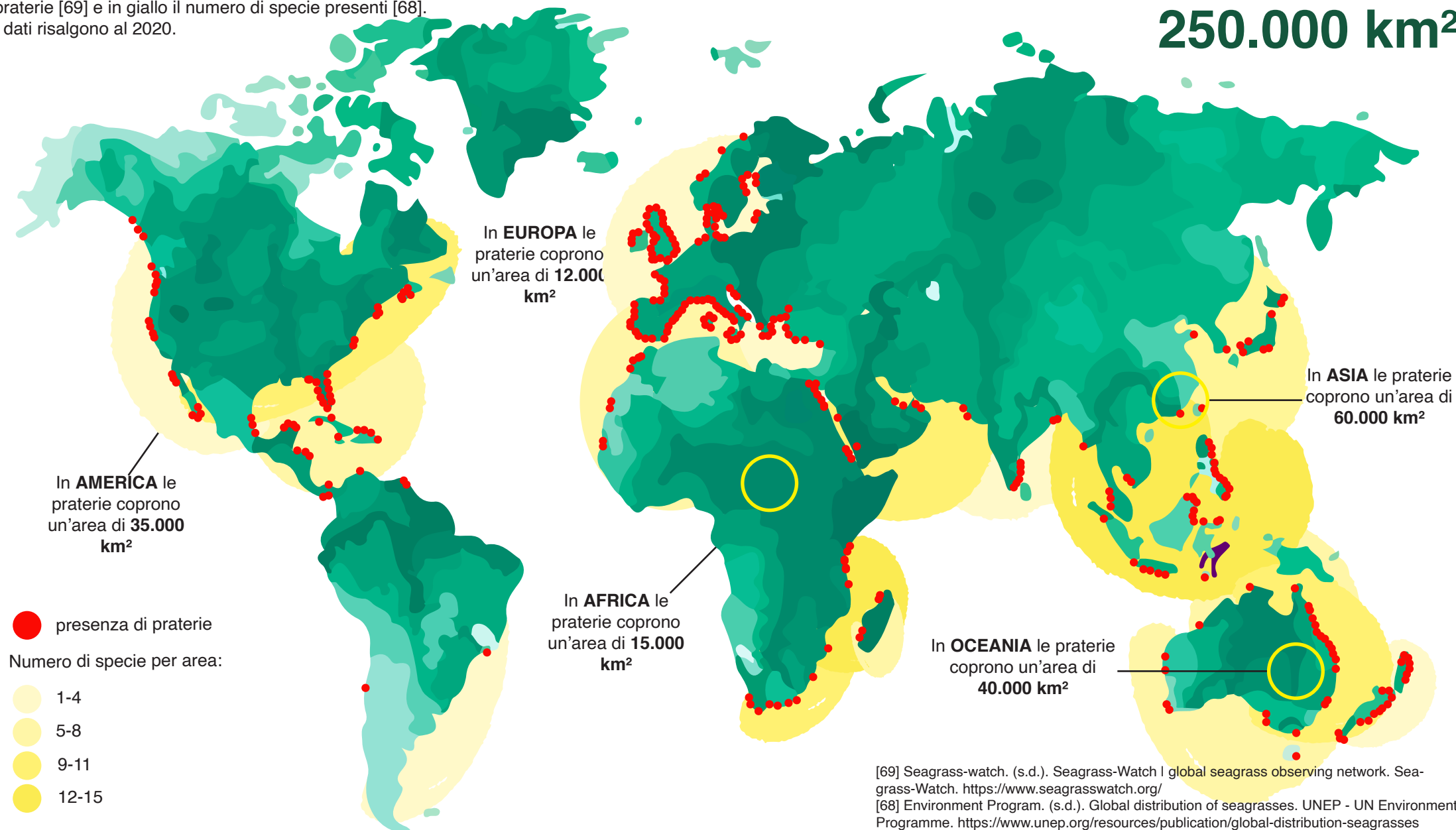
[69] Seagrass-watch. (s.d.). Seagrass-Watch | global seagrass observing network. Seagrass-Watch. <https://www.seagrasswatch.org/>

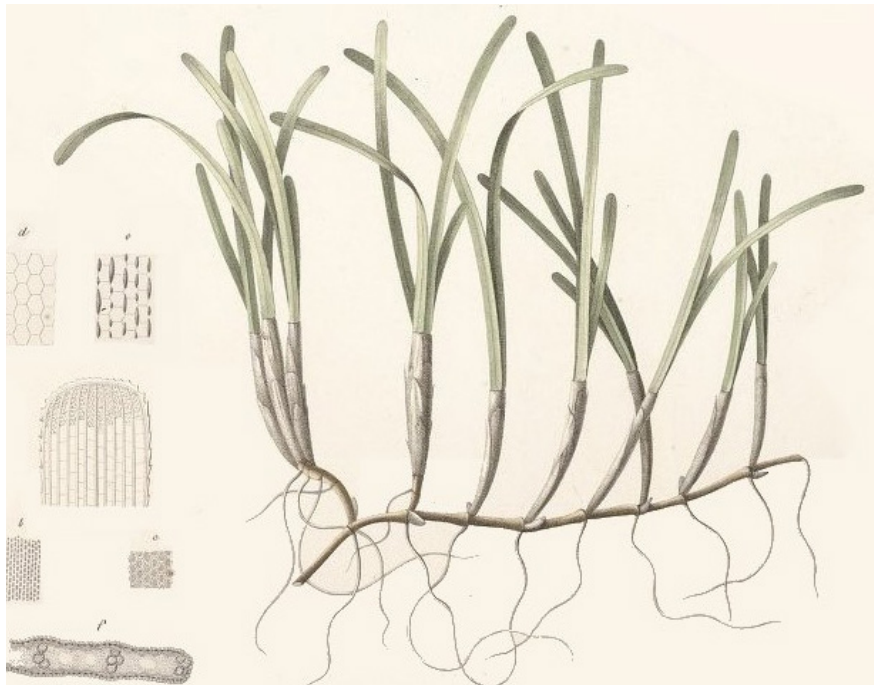


## La distribuzione globale delle Fanerogame marine.

In ciascuna zona geografica sono individuate in rosso la presenza di praterie [69] e in giallo il numero di specie presenti [68]. I dati risalgono al 2020.

**163 PAESI**  
**70 SPECIE**  
**250.000 km<sup>2</sup>**





[fig.2.5] *Cymodocea* è una pianta acquatica della famiglia Cymodoceaceae.



[fig.2.6] *Halophila stipulacea* è un'angiosperma marina della famiglia Hydrocharitaceae.

### 2.1.5 HABITAT

Le fanerogame marine sono **specie fotofile**, ovvero necessitano di una forte **esposizione alla luce** per crescere e svolgere le loro funzioni vitali come la fotosintesi. Per tale motivo si diffondono principalmente nel **piano infralitorale**, un ambiente marino sotto la linea di bassa marea che si estende fino a una **profondità massima di 50 metri**, in **acque limpide**. In generale, le fanerogame si sviluppano in aree dove c'è almeno il 10/20% della luce solare che arriva in superficie [70].

I fattori necessari affinché le fanerogame marine possano prosperare sono:

- la **trasparenza dell'acqua**;
- una **temperatura dell'acqua moderata** e non troppo proibitiva come accade ad esempio in ambienti artici o antartici;
- una **salinità stabile** intorno al 3,5%;
- un **substrato fangoso o sabbioso** in modo da potersi ancorare con i rizomi;
- **assenza di inquinamento** antropico [70].

Inoltre, nelle **zone intertidali** i limiti delle escursioni di marea influenzano la distribuzione di numerose specie. Alcuni studi hanno evidenziato **fotoinibizione, disseccamento e danni dai raggi UV**, durante la fase di bassa marea. **La salinità** in alcune specie **influenza la germinazione dei semi e l'abbondanza della fioritura** e quindi la riproduzione sessuale. Anche **la tipologia del substrato** è importante. Per esempio *Cymodocea nodosa* può crescere sia su fondali puliti che putridi, mentre *Posidonia oceanica* è molto meno tollerante e si sviluppa solamente su fondali puliti [70].

[70] UNEP. (s.d.). Seagrass meadows. UNEP - UN Environment Programme. <https://www.unep.org/topics/ocean-seas-and-coasts/blue-ecosystems/seagrass-meadows>

## Per riassumere:



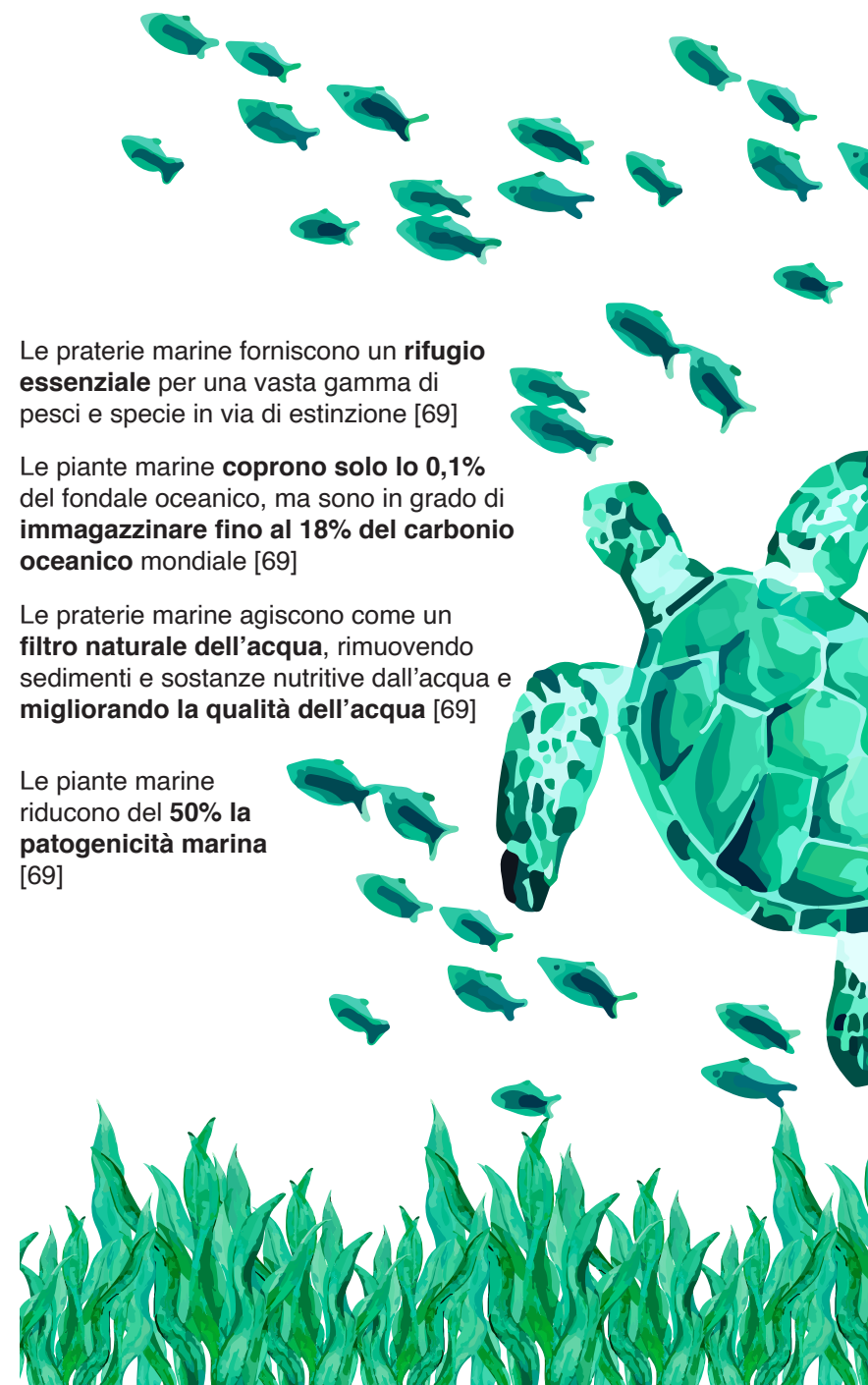
Le piante marine sono stimate a **4 milioni di dollari per chilometro quadrato all'anno** e sostengono le comunità e lo loro sussistenza in vari modi [69]

Le piante marine riducono la forza delle onde e **proteggono la costa dall'erosione** [69]

Le piante marine **mitigano le mareggiate** e aiutano a ridurre l'impatto delle tempeste [69]

Le piante marine forniscono protezione costiera a più di **100 milioni di persone** [69]

[69] Seagrass-watch. (s.d.). Seagrass-Watch | global seagrass observing network. Seagrass-Watch. <https://www.seagrasswatch.org/>



Le praterie marine forniscono un **rifugio essenziale** per una vasta gamma di pesci e specie in via di estinzione [69]

Le piante marine **coprono solo lo 0,1%** del fondale oceanico, ma sono in grado di **immagazzinare fino al 18% del carbonio oceanico** mondiale [69]

Le praterie marine agiscono come un **filtro naturale dell'acqua**, rimuovendo sedimenti e sostanze nutritive dall'acqua e **migliorando la qualità dell'acqua** [69]

Le piante marine riducono del **50% la patogenicità marina** [69]

[69] Seagrass-watch. (s.d.). Seagrass-Watch | global seagrass observing network. Seagrass-Watch. <https://www.seagrasswatch.org/>

### 2.1.6 EFFETTI ANTROPICI

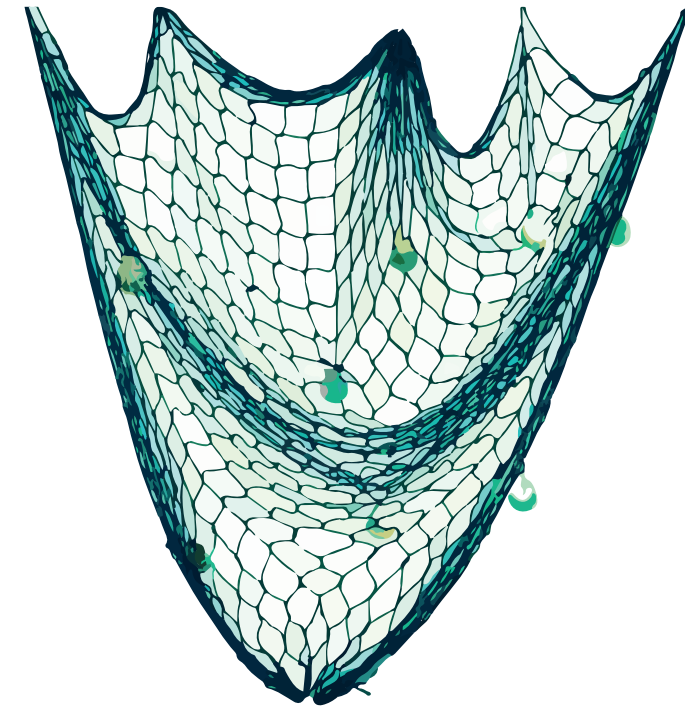
Le fanerogame marine, pur costituendo un importante habitat per la salute ambientale, **sono tra gli ecosistemi più minacciati al mondo a causa di pressioni e attività antropiche**. Secondo la **Lista rossa delle specie minacciate** dell'Unione Internazionale per la conservazione della natura (IUCN), si stima che ogni anno venga perso circa il **7% delle praterie** di fanerogame marine e si ritiene inoltre, che il **21% delle specie** siano in pericolo di estinzione [71].

Il repentino declino di queste specie, fondamentali per la salvaguardia dell'ambiente marino, ha portato un crescente interesse in diverse comunità di ricerca. Ad esempio, presso l'*Università di Cadice*, gli scienziati del **Dipartimento di Biologia** e appartenenti al gruppo EDEA, hanno pubblicato sulla rivista di divulgazione scientifica *Plos One*, gli effetti negativi su queste piante che conseguono da fattori di **natura antropica**. Questi fattori sono legati al **cambiamento climatico globale**, come l'aumento delle temperature e l'acidificazione degli oceani, e al **cambiamento climatico locale**, come l'eutrofizzazione attraverso l'aumento delle concentrazioni di ammonio.

I risultati di questi studi, condotti sulla *Cymodocea nodosa*, hanno dimostrato come il cambiamento climatico comporti **modifiche strutturali e morfologiche sulla natura delle foglie** di queste angiosperme marine, identificando nuovi composti fenolici contenuti in questa specie. Questo studio suggerisce che la **flora marina continuerà a modificarsi** conseguentemente al cambiamento climatico andando ad innescare trasformazioni nei processi erbivori nelle comunità di angiosperme marine, con importanti modifiche anche nella resilienza degli ecosistemi [72].

Le sorgenti di disturbo che minacciano gli habitat di fanerogame marine possono essere suddivise in attività che causano **impatto diretto** o che causano **impatto indiretto**.

Le prime agiscono **direttamente sulle piante o sui loro habitat** e comportano un immediato degrado.



- **Attività di pesca** come la pesca a strascico: lo strascico delle reti sul fondale marino porta alla distruzione delle praterie;
- **Ancoraggi e dragaggi**: sradicano le piante e danneggiano fisicamente il substrato;
- **Costruzioni costiere** (porti, frangiflutti, ecc.): riducono lo spazio disponibile per la crescita delle praterie;
- **Inquinamento locale**: scarichi diretti e dilavamento, turismo stagionale di massa sulle coste, impianti di acquacoltura, estrazioni petrolifere e minerarie sono tutte attività che soffocano le praterie, alterano il substrato marino [73].

[71] Cipolla, L. (2023, 1 marzo). Pistocchi (Università di Bologna): "Le fanerogame marine sono indice di un mare in salute". interris. <https://www.interris.it/la-voce-degli-ultimi/pistocchi-universita-bologna-fanerogame-marine-indice-mare-in-salute/>

[72] il cambiamento climatico provoca alterazioni nelle popolazioni di fanerogame marine. (s.d.). scienceaq. <https://it.scienceap.com/Biology/1002091002.html>

[73] ERM. (2015). Misure di compensazione per la minimizzazione degli impatti sulle fanerogame marine (Rapporto dell'ERM n. IAL00-ERM-643-Y-TAE-1036).

Le seconde, invece, **modificano l'ambiente circostante**, influenzando così la crescita e il mantenimento delle fanerogame.

- **Inquinanti chimici:** sversamento di idrocarburi, scarichi da impianti di desalinizzazione, attività industriali e l'inidoneo trattamento dei reflui urbani per alte densità di popolazione, alterano la composizione delle acque marine;
- **Aumento della torbidità dell'acqua:** dovuto alle modificazioni della costa (urbanizzazione, infrastruttura portuali), all'erosione costiera, ai sedimenti in sospensione o all'eutrofizzazione, che riduce la penetrazione della luce in profondità;
- **Cambiamenti climatici:** l'accumulo di gas serra, le attività di sovrasfruttamento della pesca e dell'agricoltura portano alterazioni della temperatura dell'acqua con l'aumento del livello del mare diminuendo le zone adatte alla crescita delle praterie;
- **Introduzione di specie invasive:** ovvero specie che competono per la disponibilità delle risorse e che modificano l'habitat, compromettendo la sopravvivenza delle fanerogame native [73].



[73] ERM. (2015). Misure di compensazione per la minimizzazione degli impatti sulle fanerogame marine (Rapporto dell'ERM n. IAL00-ERM-643-Y-TAE-1036).

## 2.2 Alghe: definizione e struttura

Le **alghe** sono indispensabili per la vita nell'ambiente acquatico. Questi organismi appartengono al **regno dei protisti** ovvero tutti quegli **organismi eucarioti**, in cui si includono i Protofiti e gli animali Protozoi. Questo gruppo oggi appare come parafiletico, in quanto non contiene tutti i discendenti dell'antenato comune, e non viene quindi considerato un raggruppamento valido per la tassonomia cladistica. I protisti hanno poco in comune tra loro, tranne **un'organizzazione abbastanza semplice**, che può essere **unicellulare o multicellulare** senza tessuti altamente specializzati. Le alghe si distinguono per le **varie configurazioni di forme e colori** disponibili in natura [74].

Le alghe sono organismi **strutturalmente molto semplici**. Sono formate da un **nucleo** racchiuso in una membrana e da **plasti** legati a una o più membrane, ovvero **organuli cellulari specializzati** che svolgono diverse funzioni legate alla **fotosintesi**, **all'immagazzinamento di nutrienti** e alla **sintesi di composti** essenziali [75].

Generalmente le alghe non hanno le strutture tipiche delle piante superiori terrestri come i fusti, radici o foglie ma sono formate semplicemente da **pseudotessuti**, denominati **talli** [76].

Il **tallo** costituisce la **struttura corporea dell'alga**, e viene definito come un **organismo pluricellulare o unicellulare privo di organi o tessuti differenziati**. Il tallo delle alghe rappresenta un'organizzazione corporea semplice, adattata alla vita acquatica, che svolge tutte le funzioni vitali senza la necessità di organi specializzati.

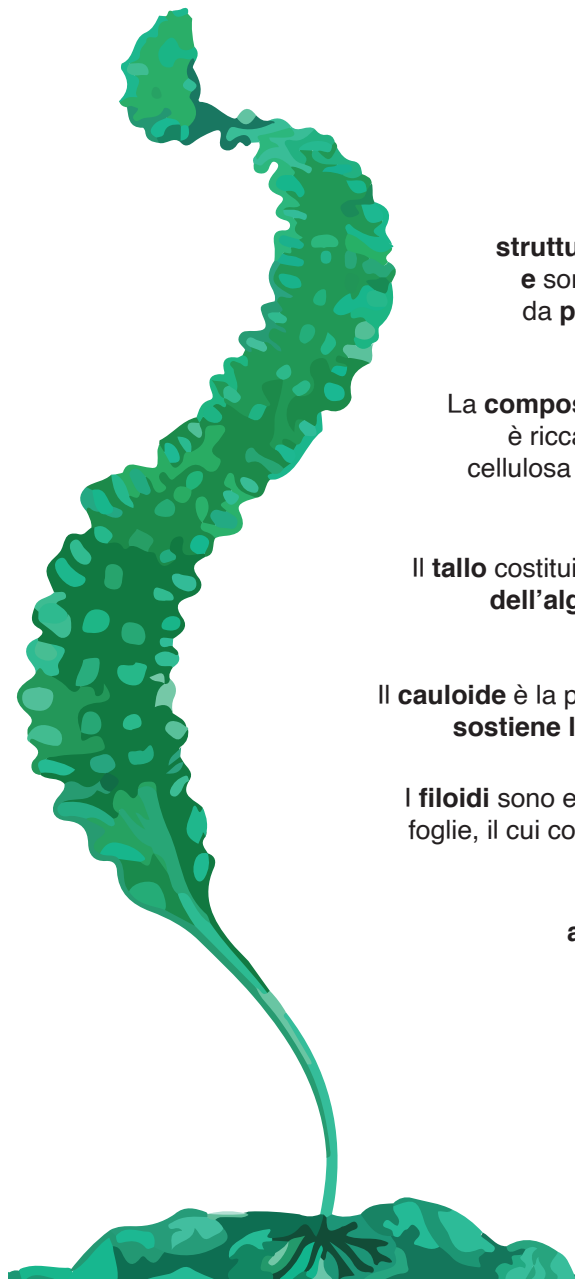
Il tallo è formato da **rizoidi**, **cauloide** e **filloidi**. I **rizoidi** sono strutture utili **all'ancoraggio del tallo al substrato**, il **cauloide** è la parte centrale del tallo e ne **sostiene la crescita** verso l'alto e infine i **filloidi** ovvero

[74] Nerino, V. (2022, dicembre 22). Le alghe. Microbiologia Italia. <https://www.microbiologiaitalia.it/didattica/le-alghe/>

[75] Protista. (2024). Wikipedia. [https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Protista&olidid=/140980128#cite\\_ref-1](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Protista&olidid=/140980128#cite_ref-1)

[76] redazione BioPills. (2018, 6 ottobre). Alghe: Caratteristiche generali e classificazione. BioPills. <https://www.biopills.net/alghe/>

## Per riassumere:



Le alghe sono organismi **strutturalmente molto semplici** e sono formate semplicemente da **pseudotessuti**, denominati **talli** [76]

La **composizione cellulare del tallo** è ricca di **polisaccaridi** come la cellulosa o gli alginati, e di pigmenti fotosintetici [76]

Il **tallo** costituisce la **struttura corporea dell'alga** ed è formato da **rizoidi**, **cauloide** e **filloidi** [76]

Il **cauloide** è la parte centrale del tallo e ne **sostiene la crescita** verso l'alto [76]

I **filloidi** sono espansioni lamellari simili a foglie, il cui compito è la **fotosintesi** [76]

I **rizoidi** sono strutture utili all'**ancoraggio del tallo al substrato** [76]

espansioni lamellari simili a foglie, il cui compito è la **fotosintesi**.

La **composizione cellulare del tallo** è ricca di **polisaccaridi** come la cellulosa o gli alginati, e di pigmenti fotosintetici. Le cellule possono distribuirsi in maniera differente a seconda della morfologia dell'alga [76].

Dalla diversa distribuzione cellulare conseguiranno diverse morfologie del tallo che sarà: **filamentoso**, con cellule allineate in filamenti o **coloniale**, con le cellule organizzate in colonie. Inoltre, se il tallo è piatto e sottile allora sarà **lamellare o fogliaceo**, se invece è grande o articolato sarà **massiccio o complesso** [76].

Le **funzioni del tallo** sono quindi quelle di **fotosintesi**, grazie ai **cloroplasti** presenti nelle cellule, di **scambio di sostanze nutritive** e di **ancoraggio al substrato marino**. Le **strutture fotosintetiche** nelle alghe sono derivate principalmente o secondariamente da cianobatteri che producono ossigeno dalla fotosintesi, a differenza dei batteri non fotosintetici come i batteri solforosi. Alcune alghe unicellulari dipendono esclusivamente da fonti di energia esterne e hanno un apparato fotosintetico limitato o inesistente [76].

Alcune alghe sono **unicellulari** e quindi **microscopiche**, altre perché **multicellulari** hanno **dimensioni più grandi** e possono raggiungere anche alcune decine di metri di lunghezza. La loro forma è variabile: le singole cellule possono essere **ovoidi**, **sferiche**, a **disco**, a **filamento** o a **bastoncino** e talvolta hanno piccole code chiamate **flagelli** che consentono loro di muoversi come cellule animali. Altri hanno un guscio, o rivestimento protettivo, per proteggerli; altri ancora hanno una forma filamentosa o fogliare e alcuni hanno una base che permette loro di aderire al fondo marino. Per distinguerli dalle piante terrestri chiamate cormofite, i botanici chiamano le alghe **talofite** [77].

[76] redazione BioPills. (2018, 6 ottobre). Alge: Caratteristiche generali e classificazione. BioPills. <https://www.biopills.net/alge/>

[77] Alge—Enciclopedia. (s.d.). Treccani. Recuperato 25 ottobre 2024, da [https://www.treccani.it/enciclopedia/alge\\_\(Enciclopedia-dei-ragazzi\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/alge_(Enciclopedia-dei-ragazzi)/)

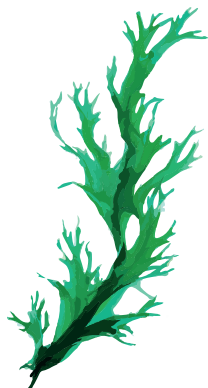
[76] redazione BioPills. (2018, 6 ottobre). Alge: Caratteristiche generali e classificazione. BioPills. <https://www.biopills.net/alge/>

### 2.2.1 CLASSIFICAZIONE

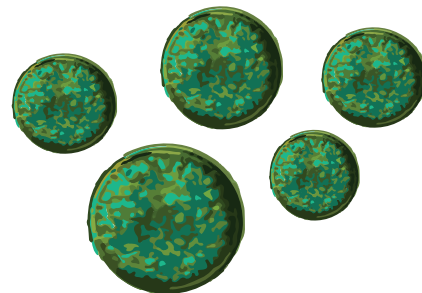
Le si dividono in: macroalghe, microalghe, alghe unicellulari e alghe pluricellulari.

Le **alghe unicellulari** o **pluricellulari**, come si può intendere dal nome sono composte da **un'unica cellula o da più cellule**, hanno strutture molto semplici costituite da un corpo vegetativo chiamato tallo, prediligono habitat vicini alla superficie dell'acqua e quindi esposti alla luce. Sono molto importanti per la fauna marina poiché fanno parte del fitoplancton. Inoltre forniscono l'atmosfera di grandi quantità di ossigeno [78].

Le **macroalghe** sono ben **visibili ad occhio nudo** infatti possono raggiungere svariati **metri di altezza**, la loro colorazione può variare. Le macroalghe hanno un **ruolo strutturale**, legato alla particolare modalità di accrescimento delle specie. I volumi d'acqua intrappolati fra le fronde o tra gli strati calcarei attraggono molte specie animali di piccole dimensioni, che qui riescono a trovare riparo dalle correnti e protezione contro i predatori. I tessuti stessi delle macroalghe costituiscono inoltre, **un'estesa superficie di ancoraggio** per altre specie vegetali di dimensioni più piccole [74].



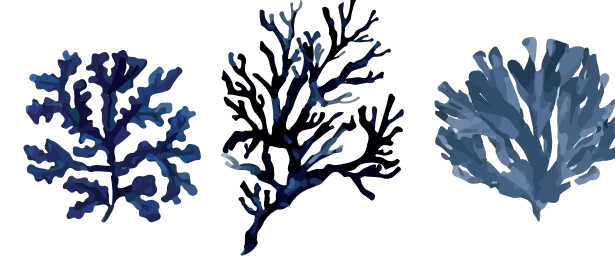
Le **microalghe** sono **visibili al microscopio** o ad occhio nudo se raggruppate in colonie di organismi. Queste alghe microscopiche **galleggianti** sono indispensabili, senza di loro gli ambienti acquatici diverrebbero inospitali. Questi organismi chiamati fitoplancton sono la base della catena alimentare [74].



[74] Nerino, V. (2022, dicembre 22). Le alghe. Microbiologia Italia. <https://www.microbiologiaitalia.it/didattica/le-alghe/>

[78] ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 25 ottobre 2024, da <https://www.arpato.toscana.it/>

Esistono inoltre varie **specie di alghe**:

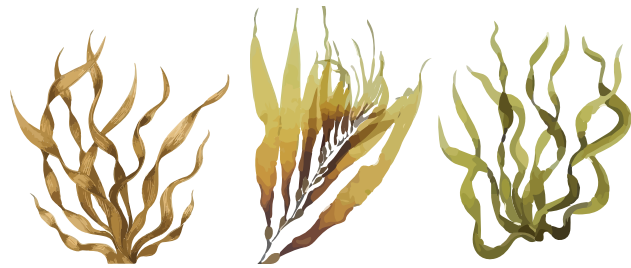


Le **cianofite** o **alghe azzurre**, ovvero **organismi microscopici** che consistono in una struttura primitiva di alghe. Le alghe azzurre svolgono **attività di fotosintesi** grazie alla fucocianina, una sostanza di colore azzurro in grado di catturare l'energia solare. Nonostante il nome, non tutti questi organismi sono blu: un rivestimento di mucillagine può far variare la colorazione. Possono vivere in ambienti molto diversi, dalle regioni polari alle calde acque termali. Una delle loro caratteristiche è che spesso vivono **dentro altri organismi**, dal più semplice come le amebe al più complesso come una pianta. Le cianofite associate alle ife di alcuni tipi di funghi formano organismi molto speciali, i licheni [74].



Le **clorofite** o **alghe verdi** sono alghe di colore verde dovuto alla **clorofilla**. Hanno colonizzato il terreno nel corso della storia, creando i progenitori di tutte le piante terrestri. Questo gruppo comprende gli individui che vivono sulla neve, sul suolo, sui tronchi o sui rami degli alberi. Altre alghe, invece, vivono associate a funghi (licheni). La *spirogira* è una clorofitea molto comune, facilmente riconoscibile dalle masse filamentose di colore verde presenti solitamente in acqua dolce stagnante di vasche, stagni o corsi d'acqua a flusso lento [74].

[74] Nerino, V. (s.d.). Le alghe. Microbiologia Italia. <https://www.microbiologiaitalia.it/didattica/le-alghe/>



Le **feoficee o alghe brune** sono marroni perché contengono nel loro gambo alcuni pigmenti tra cui la *fucoxantina* che, essendo rossa, maschera il colore verde della clorofilla. Vivono nelle **zone fredde degli oceani** e formano estese praterie al largo delle coste. Hanno dimensioni estremamente variabili. Alcune, come la *Laminaria*, presentano un gambo formato da una lama sostenuta da uno stipite ancorato al fondale marino attraverso ventose che aderiscono alle rocce. Altre come il *Fucus*, presentano piccole vescicole piene di gas sui bordi delle fronde, il cui scopo è sostenere il tallo affinché galleggi sulla superficie del mare [74].



Le **rodoficee o alghe rosse** sono così chiamate perché contengono *ficoeritrina*, un pigmento rosso. Sono **filamentosi** e vivono nelle **acque temperate tipiche delle regioni tropicali**, attaccati alle rocce o alle fronde di altre alghe. Si trovano più in profondità delle altre alghe perché i loro pigmenti permettono loro di assorbire le radiazioni anche in acque profonde. Le loro pareti cellulari hanno uno strato interno duro e uno strato esterno viscido fatto di agar [74].

[74] Nerino, V. (s.d.). Le alghe. Microbiologia Italia. <https://www.microbiologiaitalia.it/didattica/le-alghe/>



### 2.2.2 IL FITOPLANCTON

Le alghe microscopiche quando sono in grande quantità formano il **fitoplancton**, un organismo in grado di **produrre sostanze organiche** a partire da sostanze inorganiche disciolte utilizzando come fonte di energia **la radiazione solare** [79].

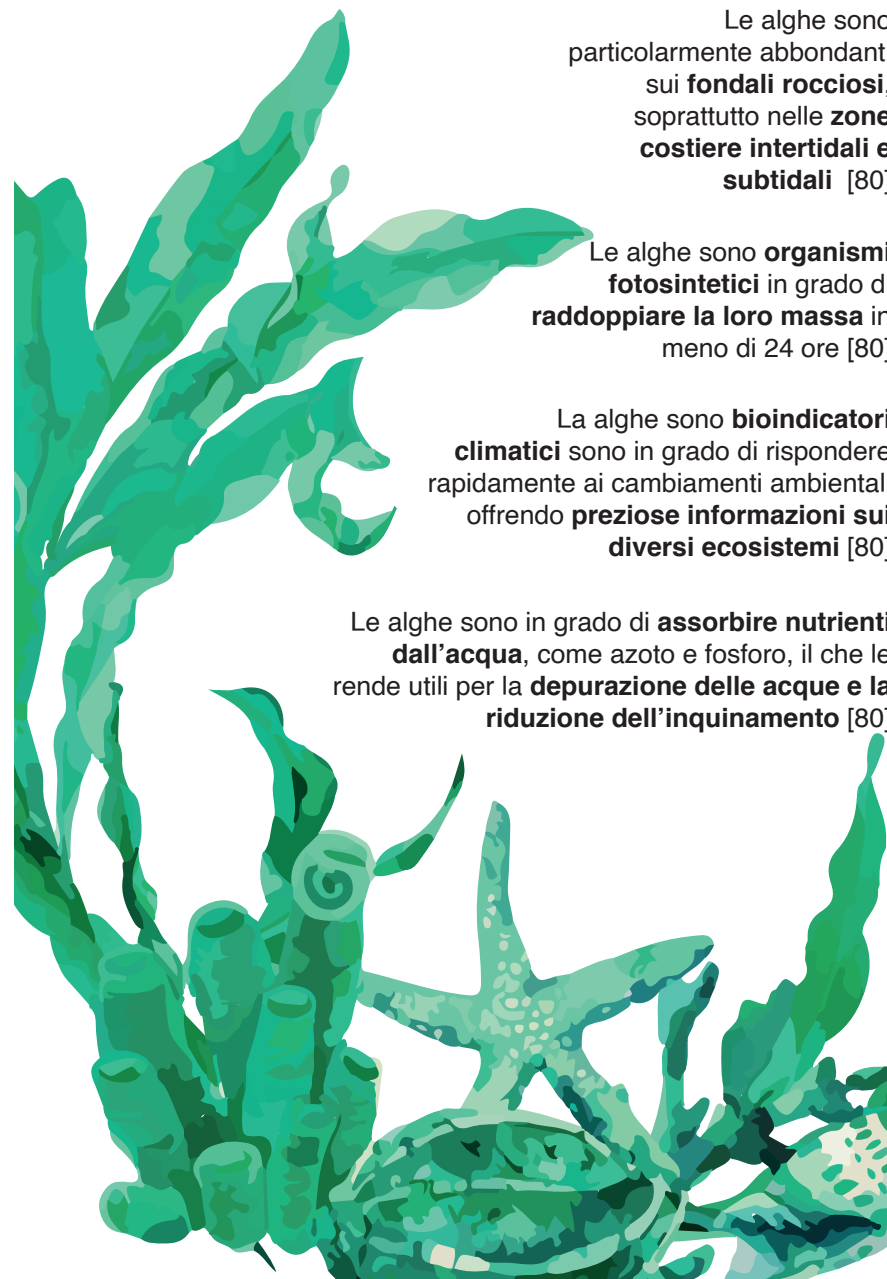
Il **fitoplancton** è indispensabile per la vita, essendo alla **base della catena alimentare** negli ambienti acquatici. Specie diverse di fitoplancton rispondono in modo differente a cambiamenti nei parametri chimico-fisici e biologici dell'ambiente. Il loro studio è quindi efficace per **valutare la presenza di perturbazioni antropiche**. I diversi gruppi tassonomici differiscono per **forma, dimensione, ecologia e fisiologia**. Essi condividono una **struttura cellulare abbastanza semplice** e **cicli di vita molto brevi**, dell'ordine di alcuni giorni, che rendono il cambiamento generazionale molto rapido [79].

La **distribuzione** del fitoplancton nell'acqua, dipende in gran parte dalle fluttuazioni dei parametri fisici quali **temperatura, salinità, turbolenza, disponibilità di luce** e di **sostanze nutritive**, soprattutto azoto e fosforo. Per questo motivo, la concentrazione di microalghe nell'acqua segue forti **variazioni stagionali**. Le concentrazioni di fitoplancton generalmente aumentano in primavera o in estate, quando le temperature sono alte e la disponibilità di luce è più elevata [79].

[79] Fitoplancton—ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 25 ottobre 2024, da <https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/fitoplancton>



## Per riassumere:



Le alghe sono particolarmente abbondanti sui **fondali rocciosi**, soprattutto nelle **zone costiere intertidali e subtidali** [80]

Le alghe sono **organismi fotosintetici** in grado di **raddoppiare la loro massa** in meno di 24 ore [80]

Le alghe sono **bioindicatori climatici** sono in grado di rispondere rapidamente ai cambiamenti ambientali offrendo **preziose informazioni sui diversi ecosistemi** [80]

Le alghe sono in grado di **assorbire nutrienti dall'acqua**, come azoto e fosforo, il che le rende utili per la **depurazione delle acque e la riduzione dell'inquinamento** [80]

[80] Roy, A., Gogoi, N., Yasmin, F., & Farooq, M. (2022). The use of algae for environmental sustainability: Trends and future prospects. Environmental Science and Pollution Research. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19636-7>

### 2.2.4 HABITAT DEI SISTEMI AD ALGA

Le alghe sono particolarmente abbondanti sui **fondali rocciosi**, soprattutto nelle **zone costiere intertidali e subtidali**. Questi fondali offrono un substrato solido a cui le alghe possono ancorarsi tramite i rizoidi. I vari gruppi di specie di alghe si distribuiscono **lungo fasce costiere a diverse profondità**, fino al limite massimo di circa **150 metri**, limite oltre il quale la luce non è più in grado di penetrare nell'acqua e avviare il processo di fotosintesi [81].

Ciascuna specie di alghe ha uno specifico **optimum ecologico e fisiologico**. Ciò fa sì che in una certa zona si sviluppi un determinato tipo di vegetazione, con proprie specie caratteristiche e un certo grado di stabilità nel tempo. **Cambiamenti drastici delle condizioni ambientali** possono stravolgere questo equilibrio e **alterare la composizione della flora locale**. In condizioni di equilibrio ambientale, su ripide scogliere ad alta energia mareomotrice, l'area immediatamente sopra il livello medio del mare viene normalmente colonizzata da alcune specie di alghe, andando a formare una **struttura terrazzata molto rigida**, simile ad un vero e proprio marciapiede costiero, detto **trottoir**. Sempre in assenza di pressioni ambientali, l'area sommersa delle scogliere è normalmente dominata da varie specie di alghe brune che crescono densamente e rigogliosamente, creando una vegetazione molto fitta [81].

Le alghe inoltre possono vivere **all'interno di organismi come i protozoi, gli idrozoi, le spugne e funghi**. Nell'ultimo caso le alghe e i funghi vivono in uno stretto rapporto chiamato **simbiosi**, creando un nuovo organismo chiamato **lichene** [81].

Inoltre, oggi, a causa delle **acque reflue** delle abitazioni, delle industrie e delle attività agricole che vengono riversate in corsi d'acqua e nei fiumi, si va a creare il fenomeno **dell'eutrofizzazione**. L'eutrofizzazione consiste nella proliferazione eccessiva di alghe in questi corsi d'acqua e che finiscono per ostacolare il movimento e la vita degli animali acquatici [81].

[81] Macrofite—ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 25 ottobre 2024, da <https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acquemarine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/macrofite>

### 2.2.5 EFFETTI ANTROPICI

Molte **pressioni antropiche** associate alle alghe possono avere impatti negativi. Gli **sversamenti civili e industriali** depositano nell'ambiente **sostanze inquinanti**, che possono accumularsi nei tessuti vegetali e poi essere trasportate lungo la catena alimentare. Inoltre, possono aumentare l'**eutrofizzazione costiera** e **ridurre la trasparenza dell'acqua**, riducendo così la capacità di trasmettere la luce. A questo proposito, molte **infrastrutture costiere** incidono anche sulla trasparenza, sulla salute della vegetazione e sulla biodiversità.

A ciò si aggiunge il **cambiamento climatico**, con il progressivo **riscaldamento delle acque**, che favorisce l'insediamento di **specie esotiche più invasive** e l'**estinzione** di tutte quelle specie più sensibili, spesso **autoctone**, creando così un tumulto di predatori e prede nel meccanismo del mondo vegetale.

Lungo le coste italiane, uno dei primi segnali di stress ambientale su fondali rocciosi superficiali è la **progressiva scomparsa dei trottoir** e la **rarefazione di determinate specie**.

Queste specie possono venire sostituite da altre **specie algali opportuniste** oppure, nei casi più critici, le alghe possono scomparire quasi del tutto ed essere sostituite da varie specie di cianobatteri [77].

Il disinteressamento riguardo il crescente declino degli habitat di alghe è controproducente da vari punti di vista, in quanto le alghe e le loro proprietà rappresentano **un'importante risorsa** impiegabile in diversi ambiti e contesti.

Le alghe sono ricche di **vitamine e sali minerali**, inoltre, a seconda dei tipi, le alghe vengono usate come **alimento, combustibile**, per la **concimazione dei campi**, e per l'estrazione della soda [82]. Alcune di queste alghe vengono anche usate nella fitoterapia ovvero una branca della **farmacoterapia** che si occupa di prevenire e trattare diversi disturbi e malattie mediante l'uso di piante medicinali e preparazioni da esse ottenute [83].

[77] Alghe—Enciclopedia. (s.d.). Treccani. Recuperato 25 ottobre 2024, da [https://www.treccani.it/enciclopedia/alghe\\_\(Enciclopedia-dei-ragazzi\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/alghe_(Enciclopedia-dei-ragazzi)/)

[82] Giraudo, A. (2019). Storie straordinarie delle materie prime. Add editore.

[83] Fitoterapia: La terapia delle piante medicinali. (s.d.). Recuperato 25 ottobre 2024, da <https://www.my-personaltrainer.it/benessere/fitoterapia.html>

Nelle erboristerie e ormai nei più comuni supermercati si possono trovare anche spirulina, klamath e agar-agar, quest'ultimo si ricava dalle alghe rosse e viene usato come gelatina vegetale o come ingrediente per la **creazione di bio-materiali**.

Dal punto di vista ambientale le alghe sono in grado di intervenire per la **salvaguardia dell'ambiente**, alcune alghe sono in grado di produrre dimetil solfuro, una sostanza che condensa le particelle di vapore acqueo provocando la formazione di nubi e **combattendo l'effetto serra** [84].



[84] Angela, P., & Pinna, L. (1991). L'atmosfera: Istruzioni per l'uso. Arnoldo Mondadori editore.

### 2.2.6 CONSIDERAZIONI FINALI

Le alghe e piante marine sono tasselli fondamentali all'interno dell'ecosistema marino, grazie alle loro capacità di fornire nutrimento, riparo e biodiversità alla vita sottomarina.

Grazie alla loro **velocità di riproduzione** e **capacità di adattarsi** a substrati marini differenti e a condizioni di salinità variabili, le risorse vegetali marine costituiscono un fondamentale ecosistema per la **conservazione della biodiversità marina**. Ma non solo, come è stato indagato nei paragrafi precedenti, rappresentano anche una importante fonte di **servizi per le comunità costiere**.

Alghe e piante marine rappresentano una serie di **differenze**, principalmente a **livello strutturale e nelle modalità di espansione** sui fondali marini. Sono risorse molto **versatili e con ottime proprietà fisiche**.

Tuttavia, come si è indagato in questo capitolo, gli **impatti antropici** come surriscaldamento della superficie delle acque, eutrofizzazione, pesca intensiva e inquinamento, stanno influenzando negativamente queste risorse rendendole **maggiormente vulnerabili**. Questa condizione di vulnerabilità **altera l'equilibrio degli ecosistemi marini** e causa la **progressiva scomparsa e regressione di specie e praterie**. Indirettamente, queste condizioni influenzano e hanno un impatto negativo anche sulla **vita umana**, poiché diminuiscono i servizi ecosistemici da cui le comunità dipendono.

Risulta necessario quindi, essere più **consapevoli dell'importanza ecologica** di alghe e piante marine, e attivarsi a **livello concreto** attraverso interventi mirati per contrastarne la regressione.

## 2.3 Indici ambientali sul territorio italiano

Per comprendere meglio lo **stato delle acque e della biodiversità marina** è necessario studiare gli **Indici ambientali** legati al mondo costiero. Gli Indici ambientali, sono strumenti che permettono di **valutare, monitorare e comunicare lo stato o l'impatto ambientale di un territorio, di un'attività, di un prodotto o di un sistema**.

Qui di seguito andremo ad analizzare i seguenti indici:

- L'indice CARLIT
- L'indice TRIX
- L'indice M-AMBI
- L'indice ESCA
- L'indice MaQI
- L'indice di biomassa fitoplanctonica

La conoscenza di questi indici e del loro significato costituisce un strumento importante per i progettisti e designer che si interfacciano con il Biodesign. Quando si progetta in un'area di intervento specifica, come lo può essere lo stato di salute degli habitat. In questo modo si può realmente andare a progettare qualcosa di utile e con una missione specifica, senza nuocere all'ambiente e a chi lo popola.

### L'indice CARLIT

L'indice **CARLIT** misura lo stato di **disturbo ecologico delle scogliere rocciose marine**, tramite l'analisi delle specie che compongono la vegetazione a **macroalghe** [85]. Secondo il DM n. 260/2010, tale indice è stato adottato a livello nazionale come descrittore esaustivo delle

[85] Indice CARLIT — ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 5 dicembre 2024, da <https://www.arpato.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/macrofite/indice-carlit>

macrofite nell'elemento di qualità biologica (EQB) e contribuisce quindi alla classificazione dello stato ecologico delle acque marino-costiere.

CARLIT è un **indice cartografico**, quindi le sue informazioni sono combinate con mappe dettagliate o fotografie aeree dell'area di studio. Si basa sul principio secondo cui, all'aumentare delle perturbazioni antropiche, alcune specie di macroalghe, definite sensibili, tendono a **scompare e ad essere sostituite da specie con livelli di tolleranza crescenti** allo stress ambientale. In particolare, l'indice descrive le macroalghe presenti sulle **scogliere rocciose nelle zone costiere intercotidali**, che emergono o sommano a seconda delle maree e sono più sensibili alle pressioni antropiche. L'analisi della vegetazione non si basa su tutte le singole specie presenti, ma sulle cosiddette **associazioni vegetali**, gruppi di specie che mostrano **livelli simili di tolleranza** alle condizioni ambientali e tipicamente crescono insieme in una determinata area [85].

I **valori di sensibilità** vengono calcolati in base alla **scarsità della vegetazione** e alla misura in cui essa può essere sostituita da specie progressivamente più tolleranti. La media pesata dei valori di sensibilità della vegetazione (SL), in funzione della lunghezza della costa, corrisponde a un **Valore di Qualità Ecologica (VQE)**. Calcolando di quanto questo valore effettivo si discosta da quello di **riferimento per la regione mediterranea**, si ottiene il **Rapporto di Qualità Ecologica (RQE)**, compreso fra 0 e 1 e suddiviso in 5 classi, che corrispondono ad altrettante classi di stato ecologico [tab. 2.1], secondo il D.M. 260/2010 [85].

| RQE         | STATO ECOLOGICO |
|-------------|-----------------|
| 1 - 0.75    | elevato         |
| 0.74 - 0.60 | buono           |
| 0.59 - 0.40 | sufficiente     |
| 0.39 - 0.25 | scarso          |
| 0.24 - 0    | cattivo         |

[Tab. 2.1] Limiti di classe dei valori del Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) per le macroalghe e relativa classificazione di Stato Ecologico [85].

[85] Indice CARLIT — ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 5 dicembre 2024, da <https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/macrofite/indice-carlit>

**PER IL DESIGNER:** permette di comprendere meglio la salute degli habitat costieri, aiutando nella progettazione di prodotti o sistemi che rispettino e valorizzino queste aree. Ad esempio, nella progettazione di prodotti che utilizzano alghe o materiali ricavati dal mare, il CARLIT può guidare scelte che minimizzino l'impatto ambientale.

**L'indice TRIX**

L'**eutrofizzazione** si manifesta attraverso vari cambiamenti nelle proprietà fisico-chimiche dell'acqua. Non solo aumentano l'azoto e il fosforo, ma aumenta il contenuto di **clorofilla**, aumenta la torbidità e diminuisce la concentrazione di ossigeno disciolto. **L'indice TRIX classifica le acque per livello trofico, dal livello oligotrofico più basso** (acque con scarsa produttività, stato di mare aperto) al **livello ipertrofico più alto** (acque di zone costiere eutrofiche) [86].

In generale il livello riscontrato in Italia è compreso tra 2 e 8. L'allegato 1 del D.lgs 258/00 raggruppa i livelli trofici in **4 classi di qualità ambientale: Elevato, Basso, Mediocre, Scadente** [Tab. 2.2] [86].

| Scala trofica | Stato   | Condizioni  |
|---------------|---------|---|
| 2 - 4         | elevato | Acque scarsamente produttive. Livello di trofia basso. Buona trasparenza. Assenza di anomale colorazioni. Assenza di sottosaturazione di ossigeno sul fondo.              |
| 4 - 5         | basso   | Acque moderatamente produttive. Livello di trofia medio. Buona trasparenza, con occasionali intorbidimenti. Occasional anomale colorazioni. Occasional ipossie sul fondo. |

[86] ARPAT. (s.d.). Indice TRIX — ARPAT. ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. <https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/stato-trofico-indice-trix/indice-trix>

|       |          |  |
|-------|----------|--|
| 5 - 6 | mediocre | Acque molto produttive. Livello di trofia elevato. Scarsa trasparenza delle acque. Anomale colorazioni. Ipossie e occasionali anossie sul fondo. Stati di sofferenza sul fondo.  |
| 6 - 8 | scadente | Acque fortemente produttive. Livello di trofia molto elevato. Elevata torbidità. Diffuse e persistenti colorazioni. Diffuse e persistenti ipossie/anossie sul fondo. Alterazioni delle comunità bentoniche. Danni economici per turismo, pesca e acquacoltura. |

[Tab.2.2] Limiti di classe della scala trofica e relative condizioni di riferimento [86].

**PER IL DESIGNER:** permette di identificare aree dove le attività umane hanno alterato l'equilibrio ecologico e proporre soluzioni di design che aiutino a mitigare l'impatto.

#### L'indice M-AMBI

L'indice M-AMBI (*Multiple Marine Biological Index*) permette di valutare lo stato di salute degli ambienti marini costieri studiando la composizione delle **comunità di macroinvertebrati che vivono sui fondali marini**. Tale indice è stato istituito a livello nazionale ai sensi del Decreto Ministeriale n. 260/2010 e contribuisce a classificare lo stato ecologico delle acque costiere [87].

**PER IL DESIGNER:** permette di utilizzare queste informazioni per progettare interventi, come barriere artificiali, sistemi di ripristino degli habitat o prodotti che non interferiscano con le comunità bentoniche, promuovendo la rigenerazione marina.

[86] ARPAT. (s.d.). Indice TRIX — ARPAT. ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. <https://www.arpato.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/stato-trofico-indice-trix/indice-trix>

[87] Indice M-AMBI — ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana.(s.d.). Recuperato 5 dicembre 2024, da <https://www.arpato.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/macroinvertebrati-bentonici/indice-m-ambi>

#### L'indice ESCA

L'indice ESCA (*Ecological Condition of Coral Assemblages*) misura il disturbo ecologico del corallo analizzando le specie che lo compongono. Questo indice è stato creato dall'ARPAT, l'*Agenzia regionale per protezione ambientale* della Toscana, e non costituisce una dichiarazione esaustiva della classificazione dello stato ecologico delle acque costiere prevista dal decreto ministeriale n. 260/2010.

Come il CARLIT, l'indice ESCA si basa sul principio che con l'aumento del **disturbo antropico**, alcune specie considerate sensibili potrebbero **scompare ed essere sostituite** da specie più tolleranti allo stress ambientale. Le popolazioni di coralli sono state studiate utilizzando **metodi non invasivi** che non richiedono un campionamento accurato, corrispondente al tempo limitato che l'uomo concede in profondità [88].

**PER IL DESIGNER:** conoscere i servizi ecosistemici come protezione costiera, assorbimento di CO<sub>2</sub> e habitat per la biodiversità permette di sviluppare progetti integrati che non solo siano sostenibili, ma anche migliorino il contributo delle aree marine alla resilienza climatica.

#### L'indice MaQI

L'indice MaQI (*Macrophyte Quality Index*) è stato adottato in Italia per classificare lo stato ecologico degli **ambienti di transizione** nell'ambito di applicazione della Direttiva 2000/60/CE.

MaQI valute le pressioni antropiche che colpiscono le zone transfrontaliere italiane e descrive cinque livelli di qualità ecologica: alta, buona, adeguata, scarsa e molto scarsa [89].

Il Macrophyte Quality Index è un multindicatore basato su:

- Numero e percentuale di **specie macrofite sensibili**;
- Abbondanza di **alghe rosse e verdi**;
- Percentuale di copertura di **macroalghe**;
- Percentuale di copertura delle **specie acquatiche fantasma** (ISPRA, 2011) [89].

[88] ARPAT. (s.d.). Indice ESCA — ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. <https://www.arpato.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/biodiversita-marina/coralligeno/indice-esca>

[89] ISPRA. (s.d.). ACQUE DI TRANSIZIONE – ELEMENTO DI QUALITA' BIOLOGICA MACROFITE MAQI-TW I Indicatori ambientali. Banca dati indicatori ambientali I Indicatori ambientali. <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/acque-marino-costiere-e-transizione/acque-di-transizione-elemento-di-qualita-biologica-macrofite-maqi-tw>

**PER IL DESIGNER:** offre indicazioni su quali ecosistemi vegetali marini sono in equilibrio, evitando lo sfruttamento di aree ecologicamente sensibili.

### L'Indice di Biomassa Fitoplanctonica

L'Indice di Biomassa Fitoplanctonica fornisce una descrizione completa di informazioni sulla produttività di un corpo idrico e sul suo equilibrio ecologico. In base al DM 260/2010, tale indice è stato adottato a livello nazionale come descrittore sintetico per l'elemento di **qualità biologica del fitoplancton** e contribuisce quindi alla **classificazione dello stato ecologico delle acque marino-costiere** [90].

Il **monitoraggio** del fitoplancton prevede due tipologie di valutazione:

- **L'analisi quantitativa e qualitativa** delle specie che compongono il fitoplancton;
- **La stima della biomassa risultante** in base alla quantità di clorofilla presente in superficie [90].

**La clorofilla**, infatti, è il pigmento più importante per la fotosintesi clorofilliana e la sua concentrazione nell'acqua è direttamente correlata al **numero di microalghe presenti e alla produttività dell'ecosistema**.

Le analisi vengono eseguite utilizzando apposite sonde in grado di registrare il contenuto di clorofilla nonché i valori di **temperatura, salinità, torbidità, pH e ossigeno** a diverse profondità. In superficie vengono inoltre raccolti campioni di acqua per le seguenti analisi di laboratorio: stima dei nutrienti, identificazione delle specie di fitoplancton presenti e stima della loro popolazione [90].

**PER IL DESIGNER:** comprendere come le risorse marine si rigenerano, fornisce dati che influenzano scelte progettuali, come il design di infrastrutture marine o prodotti che interagiscono con l'ambiente acquatico.

[90] Indice di Biomassa Fitoplanctonica—ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 5 dicembre 2024, da <https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/fitoplancton/indice-di-biomassa-fitoplanctonica>

### 2.3.1 LETTURA CRITICA DEGLI INDICI AMBIENTALI

In conclusione, questi indici non rappresentano solo uno strumento fondamentale per la **valutazione ambientale**, ma anche strumenti da consultare per una **progettazione consapevole, sostenibile e rispettosa degli ecosistemi naturali**. In particolar modo permettono di:

- identificare le **aree sensibili** e sviluppare soluzioni che riducano l'impatto umano,
- progettare prodotti e sistemi **in armonia con l'ambiente** marino e costiero,
- integrare principi di **economia circolare**, riducendo lo sfruttamento delle risorse marine,
- **comunicare in modo scientificamente fondato** l'impatto positivo di un progetto sui sistemi naturali.



# 3

PIANTE E ALGHE MARINE COME BIOMATERIALI 3.1  
IMPIEGHI 3.2  
TECNICHE DI LAVORAZIONE 3.3

# PIANTE E ALGHE MARINE NEL BIODESIGN



## CAPITOLO 3 Piante e alghe marine nel biodesign

La **sostenibilità** è un tema fondamentale nella **ricerca attuale** e un elemento chiave nel contesto sociopolitico. Si stima che entro il 2050 la popolazione globale raggiungerà i 9 miliardi [91], creando una notevole **pressione sulle risorse naturali**. Il cambiamento climatico, l'esaurimento delle risorse e i possibili effetti tossici rappresentano minacce inquietanti per la società, per cui è urgentemente richiesta una nuova risposta.

Concentrarsi sulla riduzione della nostra dipendenza dall'economia basata sui combustibili fossili e spostarsi verso un'economia basata sulle biotecnologie potrebbe aiutare ad affrontare queste situazioni, nonché a raggiungere gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile.

Il conseguimento di **un'economia fondata sulle biotecnologie** dipende completamente dall'impiego di **risorse rinnovabili**, in particolar modo biomassa, per generare applicazioni polivalenti, come alimenti, mangimi per animali, materiali biologici, energia e farmaci.

In quest'ottica, le **biomasse vegetali marine**, tra cui **alghe e fanerogame marine**, hanno generato un interesse crescente come risorsa innovativa nel Biodesign per la creazione di **materiali biologici**. Come affermato dal *Green Deal Europeo*, ovvero il piano strategico dell'Unione Europea per rendere l'Europa il primo continente a impatto climatico zero entro il 2050:

*«La coltivazione di alghe può contribuire al raggiungimento degli obiettivi dell'UE in termini di decarbonizzazione, inquinamento zero, circolarità, conservazione e ripristino della biodiversità, protezione degli ecosistemi e sviluppo di servizi ambientali.» (L'innovazione delle alghe: Alternative sostenibili che emergono dai mari e dalle acque europee, 2024)*

---

[91] Nakhate, P., & van der Meer, Y. (2021). A systematic review on seaweed functionality: A sustainable bio-based material. *Sustainability*, 13(11), 6174. <https://doi.org/10.3390/su13116174>

[92] CORDIS | European Commission. <https://cordis.europa.eu/article/id/449950-algae-innovation-sustainable-alternatives-emerging-from-european-seas-and-waters/it>





[Fig. 3.1] *Biomassa spiaggiata di pianta marina.*

## 3.1 Piante e alghe marine come biomateriali

Le **biomasse vegetali marine** [fig. 3.1], tra cui alghe e fanerogame marine, hanno generato un interesse crescente come **risorsa innovativa** per la produzione di **materiali biologici** con l'obiettivo di raggiungere una produzione sostenibile. In un'ottica industriale, questa biomassa presenta **potenziali utilizzi in diversi settori**, tra cui **bioenergia, alimenti, mangimi, fertilizzanti, tessuti, nanomateriali, edilizia e cosmetici**, a sostegno di una **bioeconomia circolare**.

Gli habitat acquatici coprono quasi il 70% della superficie terrestre [93] e contengono diverse specie che contribuiscono alla biodiversità marina. Gli organismi marini e acquatici sono ricchi di **composti chimici** che possono essere ampiamente utilizzati nei diversi settori industriali come **biomateriali innovativi** o per **sostituire i materiali tradizionali da fonti non rinnovabili**.

In passato, le **biomasse vegetali marine** erano utilizzate principalmente in **agricoltura** come **fertilizzanti naturali**, grazie al loro alto **contenuto di nutrienti**, e come alimento per le popolazioni costiere. Tuttavia, negli ultimi decenni, la ricerca scientifica e tecnologica, data la ricchezza dei composti estratti dalle alghe, e dalle sue peculiari caratteristiche, ha iniziato ad esplorare in profondità **le potenzialità di queste risorse**. La loro utilità si è così ampliata, **trovando nuove applicazioni e esplorando nuove vie in vari settori**.

Le **alghe e le piante marine** rappresentano **risorse straordinarie** per il Biodesign grazie alle loro caratteristiche uniche, che le rendono non solo sostenibili, ma anche altamente **versatili per lo sviluppo di materiali innovativi** e processi ecologici.

---

[93] Lagopati, N., Pippa, N., Gatou, M.-A., Papadopoulou-Fermeli, N., Gorgoulis, V. G., Gazouli, M., & Pavlatou, E. A. (2023). Marine-Originated materials and their potential use in biomedicine. *Applied Sciences*, 13(16), 9172. <https://doi.org/10.3390/app13169172>

Infatti, presentano una sorprendente **versatilità**: possono essere **convertite in bioplastiche, filati per tessuti o materiali compositi per rivestimenti e costruzioni**. Quando la biomassa delle alghe è combinata con altri polisaccaridi vegetali e cellulosa, contribuisce attivamente alla produzione di plastica biodegradabile e sostenibile, allineandosi perfettamente al discorso sui **materiali eco-compatibili**. Invece, nel contesto della bioindustria, la biomassa delle alghe marine si rivela preziosa, dimostrando la sua capacità di essere trasformata in combustibili liquidi e gassosi, convertibili in elettricità o calore. Questa **utilità multiforme** della biomassa di alghe o piante marine ne sottolinea ulteriormente l'importanza come **risorsa versatile e sostenibile** nella ricerca di alternative energetiche più ecologiche.

Le caratteristiche e **proprietà delle alghe e piante marine** sfruttate per gli impieghi **nelle diverse industrie** comprendono:

- **effetti antinfiammatori e antiossidanti;**
- **rapidità di crescita;**
- **adattabilità;**
- **ricchezza chimica;**
- **facilità di lavorazione;**
- **fine vita sostenibile e assorbimento di CO<sub>2</sub> [94].**

Le alghe contengono **composti bioattivi**, come polifenoli e carotenoidi, noti per le loro proprietà **antinfiammatorie e antiossidanti**. Queste caratteristiche sono sfruttate nel Biodesign per sviluppare materiali con funzionalità aggiuntive, come cosmetici ecocompatibili, packaging alimentari con capacità conservanti o tessuti che favoriscono il benessere cutaneo.

Le alghe possono crescere fino a **60 volte più velocemente delle piante terrestri [fig. 3.2]**, rendendole una **fonte rinnovabile altamente efficiente [94]**. Infatti, le alghe, non sviluppando steli o radici, impiegano la loro energia nella divisione cellulare, che ne permette la riproduzione costante a un ritmo molto più rapido rispetto alle piante terrestri. Inoltre, **non necessitano di fertilizzanti, pesticidi, acqua dolce o uso del suolo**.

---

[94] Amandolese, D. (2024, 16 ottobre). I biomateriali e la nuova frontiera dei materiali viventi: Le alghe | Salone del Mobile. Salone del Mobile Milano. <https://www.salonemilano.it/it/articoli/i-biomateriali-e-la-nuova-frontiera-dei-materiali-viventi-le-alghe>

Questa caratteristica permette la produzione su larga scala di biomateriali che non compromettono le risorse naturali e consentono la sostituzione delle materie prime di origine biologica derivanti dalla cellulosa vegetale proveniente dall'agricoltura.

La capacità di adattarsi a diversi ambienti, compresi quelli marini più estremi, conferisce alle alghe e alle piante marine una **straordinaria resilienza**. Nel biodesign, questa proprietà si traduce in materiali robusti e adatti a una vasta gamma di applicazioni, dall'edilizia sostenibile all'arredamento.

La **complessa composizione chimica** di alghe e piante marine, ricca di polisaccaridi, proteine, lipidi e minerali, offre infinite possibilità per creare bioplastiche, gel, colle naturali e tessuti innovativi. Questi composti sono spesso **biocompatibili**, il che li rende ideali anche per applicazioni mediche. La loro lavorazione, inoltre, richiede **meno energia** rispetto ai materiali convenzionali.

I prodotti ottenuti dalle biomasse vegetali marine sono interamente **biodegradabili o compostabili**, ciò comporta un rientro delle risorse nella biosfera senza lasciare tracce nocive nell'ambiente. Questa caratteristica è perfettamente in linea con i principi del biodesign, che mirano a ridurre l'impatto ambientale complessivo dei prodotti.

Infine, le alghe e fanerogame marine contribuiscono significativamente alla **mitigazione del cambiamento climatico**. Queste specie vegetali sono tra i più efficaci **assorbitori di anidride carbonica**, infatti contribuiscono all'assorbimento del 50% circa del totale di CO<sub>2</sub> sequestrata dalla biosfera [95]. Nonostante le loro dimensioni ridotte, sono in grado di ridurre significativamente i gas serra grazie ai loro cicli di vita relativamente brevi. Integrare queste risorse nel biodesign significa utilizzare materiali che hanno un bilancio di carbonio negativo, favorendo così la creazione di prodotti con un basso impatto ambientale.

Tuttavia, nonostante le loro potenzialità, la produzione su larga scala di **biomateriali derivati da alghe e piante marine** non è esente da **criticità**. Infatti, anche se le microalghe sono spazialmente più produttive

---

[95] Dongo, D., & Pietrollini, G. (2023, 18 gennaio). Alghe e microalghe. Carbon farming e upcycling di CO2 | Gift. Gift | GIFT – Informazione indipendente su cibo e dintorni. <https://www.greatitalianfoodtrade.it/progresso/alghe-e-microalghe-carbon-farming-e-upcycling-di-co2/>



[Fig. 3.2] Raccolta manuale di biomassa algale in superficie.



[Fig. 3.3] Manipolazione di alghe e biomassa vegetale accumulata sull'acqua.

delle piante terrestri e delle macroalghe, la loro produzione è ancora più **costosa**, soprattutto a causa degli elevati costi di investimento iniziale e dei costi di produzione. Inoltre, i processi di trasformazione, in particolar modo l'essiccazione e il trasporto della biomassa richiedono **ingenti quantità di energia**.

La coltivazione intensiva richiede **infrastrutture specifiche** e l'implementazione di fattorie marine che non interferiscano con gli ecosistemi naturali. Infine, la trasformazione della biomassa in materiali utilizzabili spesso implica **processi chimici e tecnologici avanzati**, i cui costi possono rappresentare una barriera per molte industrie.

Al fine di mitigare gli effetti di questi processi è possibile intraprendere diverse strategie, come l'ottimizzazione della produttività delle alghe, la ricircolazione e utilizzo dei sottoprodotti, l'adozione di energia rinnovabile per l'essiccazione e il prolungamento della vita delle infrastrutture.

Attualmente, la ricerca per l'**integrazione di queste risorse** in un'ottica circolare è in rapida espansione. Nel 2024, si prevede che il mercato raggiunga un valore di 3,59 miliardi di dollari, con una crescita annua composta (CAGR) del 7,44% fino al 2029, quando dovrebbe raggiungere i 5,14 miliardi di dollari [96]. Questa crescita è trainata dalla crescente domanda nei settori alimentare, agricolo e della salute umana.

La **collaborazione interdisciplinare** è essenziale per sfruttare appieno il potenziale delle alghe e delle piante marine. Biologi, chimici, designer e ingegneri, lavorando insieme, sviluppano soluzioni innovative, che non rappresentano solo una risposta alle esigenze ambientali del nostro tempo, ma anche un'opportunità per ripensare il modo in cui progettiamo e utilizziamo i materiali.

---

[96] Commercial seaweed market size, share, trends report, 2030. (s.d.). Market Research Reports & Consulting | Grand View Research, Inc. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/commercial-seaweed-market>

## 3.2 Impieghi



### 3.2.1 SETTORE ALIMENTARE

La sicurezza nel settore alimentare rappresenta una priorità globale. Gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite pongono l'accento sulla **sicurezza alimentare** e spingono le parti interessate a trattare una strategia al riguardo. Secondo le proiezioni, soltanto la metà dei 9 miliardi di abitanti della Terra avrà accesso a un'alimentazione sana entro il 2050 [97]. Le **alghe** sono riconosciute per il loro **apporto nutrizionale** sia per gli esseri umani che per gli animali, poiché possono offrire **minerali, vitamine, calorie e antiossidanti** necessari.

Il principale beneficio della coltivazione delle alghe è che **non competono con le piante terrestri**. Si prevede che il **consumo** complessivo di alghe essiccate raggiunga 2.000.000 di tonnellate [98], incluse le verdure marine, utilizzate come fonte diretta e in altre applicazioni. Le nazioni asiatiche, come Cina, Corea, Giappone, Vietnam, Filippine e Thailandia, sono fortemente impegnate nella **coltivazione di alghe**.

Inoltre, vari paesi europei, come Francia, Norvegia, Irlanda, Regno Unito, Spagna e altri stati, compresi Canada, Nuova Zelanda e Cile, si dedicano alla **produzione di alghe**. Le alghe sono generalmente essiccate prima di qualsiasi lavorazione successiva, seguite da salatura, miscelazione, arrotolamento e affettatura secondo le necessità [98].

Le alghe sono le uniche specie responsabili della produzione di diversi fitochimici, tra cui **agar-agar, alginato e carragenina**, sostanze ampiamente sfruttate nell'industria dell'alimentazione.

L'**agar-agar** è un polisaccaride complesso composto da agarosio e agaropectina, costituisce le pareti di alcune varietà di **alghe rosse**, appartenenti alla famiglia delle gelidiaceae. È una **sostanza addensante** normalmente venduta come polvere. L'**estrazione** avviene con acqua calda o in ebollizione, dopodiché l'estratto è trattato con carbone attivo e infine **filtrato**. Il gel è sottoposto a processi di **congelamento e scongelamento** ripetuti per purificarsi: in questo modo elimina l'acqua che trascina con sé le sostanze indesiderate [91].

[97] FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO. (2024). The state of food security and nutrition in the world 2024 (Rapporto della FAO). <https://doi.org/10.4060/cd1254en>

[98] Lindsey White, W., & Wilson, P. (2015). World seaweed utilization. In Seaweed Sustainability (pp. 7–25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418697-2.00002-7>

[91] Nakhate, P., & van der Meer, Y. (2021). A systematic review on seaweed functionality: A sustainable bio-based material. Sustainability, 13(11), 6174. <https://doi.org/10.3390/su13116174>

L'agar-agar è impiegato come **addensante** nell'**industria alimentare e farmaceutica**, con particolare riferimento a quella dolciaria. I prodotti che utilizzano questa alga includono: budini, gelatine, carne in scatola, creme, gelati, marmellate, salumi, cereali, piatti precotti, ecc...

Gli **alginati** sono sali dell'acido alginico, comunemente noto come algina, un polimero ottenuto dalla **parete cellulare di diverse alghe**, tra cui spiccano, per notorietà, la *laminaria* e il *fucus*. La capacità degli alginati di **assorbire elevata quantità di acqua** creando gel li rende vantaggiosi per diverse applicazioni. Principalmente sono impiegati nel **settore alimentare come additivi** stabilizzanti, emulsionanti, addensanti e gelificanti [91].

Vengono impiegati nella realizzazione di vari articoli ai quali si desidera dare una forma o una consistenza peculiare e, in particolare, per **prevenire** il loro **deterioramento** durante il periodo di commercializzazione. I cibi che li contengono più frequentemente sono: budini industriali, gelati preconfezionati, verdure in lattina, pesce in scatola, certi tipi di carne in scatola, maionese, certi formaggi freschi e creme di formaggio, alcuni yogurt, certe preparazioni a base di latte e alcuni dadi da brodo.

La **carragenina** è un **poligalattosio**, ovvero polimeri lineari, ottenuti industrialmente da alghe marine appartenenti alla famiglia delle Rodoficee. È presente come un **composto gelatinoso** ottenuto dal *Carragheen* o *Chondrus Crispus* ovvero **alghe rosse**. Il nome trae origine dalla località di Carragheen in Irlanda: si tratta di una piccola alga a forma di cespuglio, caratterizzata da ramificazioni dense di colore violaceo rossastro che raggiungono un massimo di 15/30 centimetri di lunghezza, rivestendo le rocce nelle zone costiere dove le acque sono poco profonde [91].

La carragenina, in quanto **idrocolloide**, **assorbe elevate quantità di acqua** e contribuisce ad **aumentare il peso degli alimenti a cui è aggiunta**, il peso finale del prodotto può crescere fino al 50% [91].

La carragenina è un additivo che ha un'ampia applicazione nel **settore alimentare**, oltre a quello **medico e industriale**, **si espande in acqua fredda e si dissolve totalmente in acqua calda**. È ampiamente impiegato

---

[91] Nakhate, P., & van der Meer, Y. (2021). A systematic review on seaweed functionality: A sustainable bio-based material. Sustainability, 13(11), 6174. <https://doi.org/10.3390/su13116174>

nel settore alimentare come addensante, stabilizzante, gelificante ed emulsionante. Si può reperire in: confetture, gelatine, marmellate, alimenti dietetici a basso contenuto calorico, carni in scatola, panna pastorizzata, gelati, creme da tavola e latte aromatizzato e condensato, caffè istantaneo, ecc...

### 3.2.2 MANGIME ANIMALE

Le materie prime classiche impiegate nell'alimentazione degli animali comprendono avena, soia, grano, orzo e sorgo. Il problema principale nell'impiego delle materie prime tradizionali è che, oltre a fornire un apporto salutare alla **dieta umana**, sono piante stagionali e necessitano di un significativo periodo di crescita. L'impiego di queste risorse nel corso dell'anno può generare una controversia nella catena di approvvigionamento e causare un aumento dei prezzi dei generi alimentari.

Le **alghe offrono numerosi benefici** rispetto alle colture stagionali, poiché possono essere **raccolte in ogni periodo dell'anno, crescono rapidamente e non necessitano di terreni agricoli tradizionali**. Le alghe presentano vari **composti bioattivi e nutrienti salutari**, che possono risultare utili e offrire vantaggi nutrizionali. L'estratto di alghe presenta fibre solubili, come fucoidan, alginato e ulvan, che possiedono efficaci proprietà antimicrobiche, favorendo il benessere degli animali [91].

---

[91] Nakhate, P., & van der Meer, Y. (2021). A systematic review on seaweed functionality: A sustainable bio-based material. Sustainability, 13(11), 6174. <https://doi.org/10.3390/su13116174>

**SETTORE ENERGETICO**



**PRO**

- non inquina,
- riduce l'estrazione di combustibili fossili,
- abbatte le emissioni di anidride carbonica.

**CONTRO**

- necessita di una luce LED che eguagli la luce emessa dal sole,
- la produzione di biocarburante sfrutta per ora solo parte dell'alga,
- la ricerca è ancora agli inizi.

### 3.2.3 SETTORE ENERGETICO

I **biocarburanti** sono carburanti ottenuti da **materie prime organiche di origine vegetale**, come mais, canapa o altri scarti dell'industria agricola. I **biocarburanti ricavati dalla biomassa vegetale di alghe e piante marine** rientrano in questa categoria, offrendo **vantaggi competitivi significativi** rispetto ad altri carburanti di origine vegetale. Le biomasse vegetali marine rappresentano una materia prima promettente e sostenibile per la produzione di biocarburanti. La loro elevata disponibilità, la loro composizione chimica facilmente fermentabile e la loro capacità di degradazione li rendono una risorsa energetica vantaggiosa come alternativa ai combustibili fossili [99]. A differenza delle materie prime di origine agricola, le alghe e piante marine non rappresentano un bene economico destinato esclusivamente alla nutrizione dell'uomo, vengono coltivate in appositi impianti di acquacoltura, **non necessitano ampi spazi** o terreni fertili, quindi **non interessano aree destinate all'agricoltura e non favoriscono la deforestazione**. In questo modo, il rischio della cannibalizzazione del settore agroalimentare da parte del settore energetico, viene eliminato. Inoltre, l'acquacoltura esercita un impatto ambientale minore e può essere praticata sia nelle acque superficiali vicino alle coste o in alto mare [100].

La *Technische Universität* di Berlino ha analizzato che il metodo più efficiente dal punto di vista energetico e ambientale, per la coltivazione di alghe destinate alla produzione di **biocarburante**, è quello di impiegare **serre alimentate a luce LED**. La luce emessa dalle lampadine a LED deve essere paragonabile all'intensità solare, al fine di promuovere il corretto sviluppo della specie. Al periodo di maturazione, che si compie in pochi giorni, segue la raffinazione. Per ottenere biocarburante, verrà sfruttata solamente la **parte grassa** ovvero i lipidi dell'alga [101]. Lo sviluppo della bioenergia e dei biocarburanti marini è ancora agli inizi, ma rappresentano un settore molto promettente. Le foreste macroalgali ricoprono il **9% della superficie oceanica globale** e il loro impiego nel settore energetico sarebbe in grado di produrre biogas **sufficienti a soddisfare il fabbisogno energetico** da combustibili fossili e di rimuovere dall'atmosfera circa 53 miliardi di tonnellate di anidride carbonica all'anno [102].

[99] Yiru Zhao, Nathalie Bourgougnon, Jean-Louis Lanoisellé, Thomas Lendormi. Biofuel Production from Seaweeds: A Comprehensive Review. *Energies*, 2022, 15 (24), pp.9395. 10.3390/en15249395. hal-04104374

[100] Biocarburanti dalle alghe. (s.d.). Ecoage: scienza e tecnologia. <https://www.ecoage.it/biocarburanti-dalle-alghe.htm>

[101] Pettorossi, E. (2018, 19 aprile). Biocarburanti dalle alghe: Un po' di chiarezza – Cittadini Ecologisti. Cittadini Ecologisti. <https://www.cittadiniecologisti.it/tecnologie-sostenibili/biocarburanti-alghe/>

[102] Adriatico, U. (2023, 3 settembre). Alghe e biocarburanti: Facciamo un po' di chiarezza. *algaUlisse*. <https://www.algaUlisse.it/post/macroalghe-e-biocarburanti-facciamo-un-po-di-chiarzza>

## ENEA <sup>[103]</sup>

**Designer:** /

**Azienda produttrice:** Centro Ricerche ENEA di Portici ed Enel Green Power

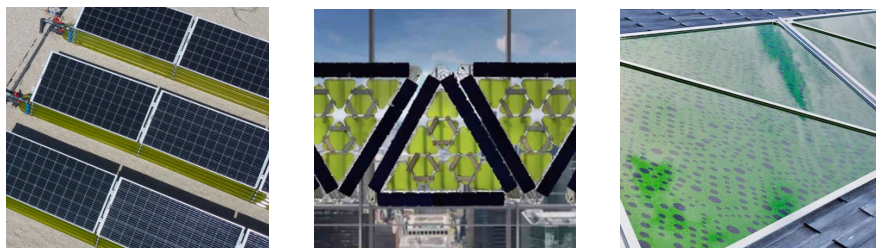
**Luogo di produzione:** Italia

**Anno:** 2022

**Stato:** Impianto commerciale algovoltaico

**Materiale:** Microalghe

**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>



Sostenibilità



Energia rinnovabile



Isolamento termico



Impermeabilità



Produzione di ossigeno

### IL PROGETTO

ENEA, in collaborazione con Enel Green Power, ha realizzato il primo **impianto algovoltaico** in Italia presso il Centro Ricerche ENEA di Portici (Napoli). Questo sistema innovativo combina la **produzione di energia elettrica da fotovoltaico** con la **coltivazione di microalghe per usi alimentari, cosmetici e farmaceutici**. Con una potenza di 7 kWp e una superficie di 40 mq, l'impianto produce circa 30 kg di alghe essiccate all'anno, promuovendo la **sinergia tra energie rinnovabili e colture sostenibili**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

L'impianto di Portici adotta un sistema automatizzato per la **coltivazione di microalghe** preziose (100-600 €/kg), impiegato nei settori cosmetico e farmaceutico. Le alghe si sviluppano in un ambiente acquoso all'interno di **fotobioreattori**, che sono tubi di vetro trasparenti situati sotto pannelli fotovoltaici disposti in verticale. Nutrito da energia solare e anidride carbonica, il procedimento **genera biomassa e ossigeno**. Le alghe mature sono estratte tramite una centrifuga, mentre il sistema si adatta al retrofitting di impianti fotovoltaici già esistenti, aumentando efficienza e sostenibilità.

### MODALITÀ DI FINE VITA

La sperimentazione, avviata nel settembre 2023, mira a valutare la scalabilità del sistema su larga scala. ENEA ha presentato il progetto in eventi dedicati alle tecnologie green e all'economia blu, come Zero Emission Mediterranean 2023 e Blue Planet Economy Expoforum. Oltre all'algovoltaico, ENEA ha discusso temi come agrivoltaico, comunità energetiche rinnovabili, accumulo di energia e materiali sostenibili, sottolineando il ruolo chiave delle **energie rinnovabili** e dell'**economia circolare** per un futuro sostenibile.

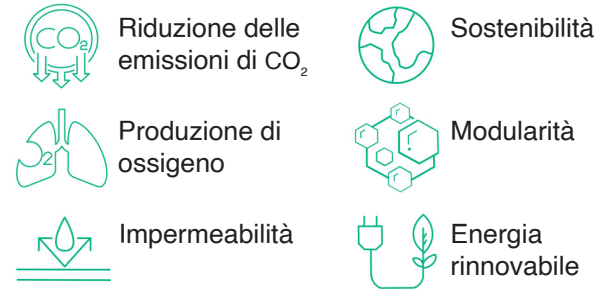
[103] Energia: ENEA presenta il primo impianto algovoltaico in Italia. (s.d.). Media ENEA. <https://www.media.enea.it/comunicati-e-news/archivio-anni/anno-2023/energia-enea-presenta-il-primo-impianto-algovoltaico-in-italia.html>

## ALGIECEL [104]

**Designer:** Henrik Busch-Larsen (ingegnere)  
**Azienda produttrice:** /  
**Luogo di produzione:** Danimarca  
**Anno:** 2021  
**Stato:** Startup greentech (impianto commerciale)  
**Materiale:** Alghe fotosintetiche  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Algiecel è una startup greentech impegnata nello sviluppo di un **fotobioreattore (PBR) chiuso**, progettato per **catturare il carbonio utilizzando microalghe** e integrato in un container standard. Il suo obiettivo è **trasformare le emissioni industriali di CO<sub>2</sub> in biomassa e ossigeno**, fornendo una **soluzione sostenibile** e redditizia per ridurre l'impatto ambientale. Il sistema è caratterizzato da una distribuzione ottimale del flusso e da un design che riduce il rischio di incrostazioni. L'**illuminazione** è interamente fornita da **luci LED**, che **ottimizzano la fotosintesi** eliminando problemi legati alla luce naturale, come l'auto-ombreggiatura e la sovraesposizione.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il fotobioreattore è un **impianto modulare** e compreso dove alghe fotosintetiche scorrono in tubi illuminati e alimentati da CO<sub>2</sub> industriale pura. Il flusso costante assicura il movimento, evitando incrostazioni e ottimizzando l'esposizione alla luce, **massimizzando così fotosintesi e biomassa**. Un degassatore integrato elimina l'ossigeno in eccesso, mentre un collettore innovativo, creato in collaborazione con Böhme, garantisce un flusso costante e un'illuminazione eccellente.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Il modello di Algiecel sostiene una **bioeconomia circolare**, **convertendo le emissioni di CO<sub>2</sub> in biomassa di microalghe** per uso alimentare, cosmetico e bioenergetico, favorendo la decarbonizzazione. Il fotobioreattore modulare permette una distribuzione locale vicino alle fonti di CO<sub>2</sub>, **minimizzando l'impatto ecologico**. Il progetto, ideato per favorire la transizione ecologica, include comunità locali, centri di ricerca e imprese, concentrandosi su un miglioramento costante e sulla possibilità di espandere la tecnologia.

[104] Home - ALGIECEL. (s.d.). ALGIECEL. <https://www.algiecel.com/>



## ALGENOL [105]

**Designer:** /

**Azienda produttrice:** Bioenergy Technologies Office (BETO) con Protec Fuel

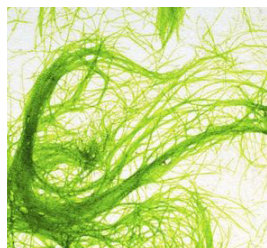
**Luogo di produzione:** Stati Uniti

**Anno:** 2016

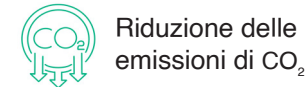
**Stato:** Impianto commerciale

**Materiale:** Alghe microcellulari

**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>



Sostenibilità



Basso impatto ambientale



Energia rinnovabile

### IL PROGETTO

**Algenol**, in partnership con il Bioenergy Technologies Office (BETO) del Dipartimento dell'energia degli Stati Uniti, ha siglato un accordo con Protec Fuel per commercializzare e distribuire **etanolo avanzato prodotto da alghe**. Il carburante verrà distribuito a flotte e al consumo al dettaglio a partire dal modulo dimostrativo commerciale di Algenol situato a Fort Myers, in Florida. Le prime stazioni di servizio che offriranno etanolo E15 e E85, prodotte da Algenol, apriranno nel prossimo anno a Tampa e Orlando.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Algenol utilizza **tecnologie avanzate di bioraffineria** per produrre diversi **biocarburanti a partire dalla biomassa algale**. Oltre all'etanolo, l'azienda è in grado di produrre benzina, carburante per aerei e diesel, tutti caratterizzati da una sostenibilità superiore rispetto ai carburanti fossili. Il successo nella produzione di questi biocarburanti è stato sostenuto anche dal finanziamento di 25 milioni di dollari da parte di BETO, che ha consentito ad Algenol di ampliare la sua produzione dalla fase di laboratorio a quella pilota.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Il **biocarburante** avanzato prodotto da Algenol non solo offre una **fonte di energia sostenibile**, ma contribuisce anche a **ridurre le emissioni di gas serra**, un aspetto fondamentale per affrontare i cambiamenti climatici. Grazie a tecnologie innovative, Algenol ha sviluppato anche **cianobatteri blu e verdi** che riducono ulteriormente le emissioni di gas serra. Il progetto fa parte di un ampio sforzo per portare biocarburanti accessibili, ad alte prestazioni e a **basso impatto ambientale sul mercato**, con un focus sulla sostenibilità e la creazione di un futuro energetico più pulito.

[105] Bioenergy Technologies Office. (2015, 2 ottobre). Algenol announces commercial algal ethanol fuel partnership. Energy.gov. <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/algenol-announces-commercial-algal-ethanol-fuel-partnership>

## INTEGRATED ALGAL BIOREFINERY [106]

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** Sapphire energy e Harris Group  
**Luogo di produzione:** Stati Uniti  
**Anno:** 2011  
**Stato:** Impianto commerciale  
**Materiale:** Alghe  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>



Energia rinnovabile



Sostenibilità chimica



Sostenibilità

### IL PROGETTO

Sapphire Energy ha avviato un progetto ambizioso per dimostrare la fattibilità di un impianto su larga scala che utilizzasse la propria biotecnologia per la **produzione di carburanti** fungibili destinati ai trasporti, attraverso la **coltivazione di alghe** e la **conversione dell'olio di alghe**. Il progetto prevedeva l'uso di **300 acri** di stagni aperti per la **coltivazione di alghe**, con l'obiettivo di produrre 100 barili al giorno di greggio verde, che successivamente veniva raffinato in carburanti liquidi per il trasporto.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il procedimento inizia con la crescita delle alghe in vasche all'aperto, dove si sviluppa grazie all'energia solare e all'**assorbimento di CO<sub>2</sub>**. La biomassa viene raccolta quindi **convertita in greggio verde** mediante **pirolisi o transesterificazione**, processi che trasformano la biomassa in un liquido analogo al petrolio. In seguito, il petrolio grezzo viene lavorato, separando varie frazioni per produrre carburanti appropriati. L'approccio integrato si propone di generare **combustibili rinnovabili e sostenibili**.

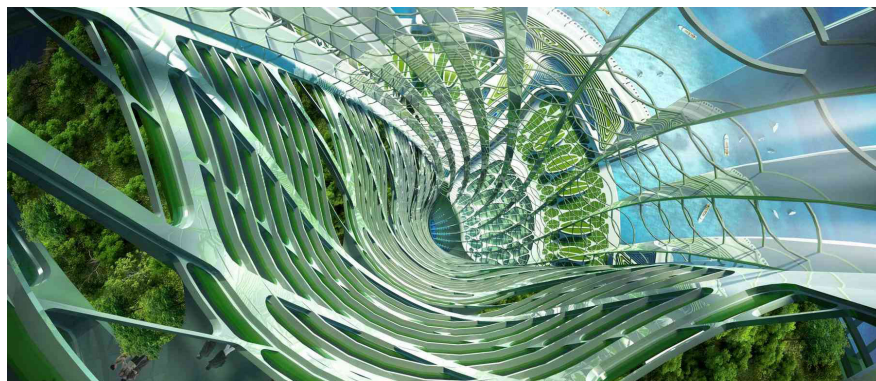
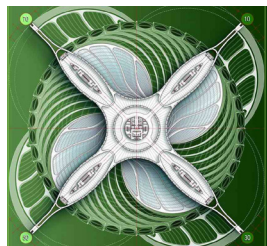
### MODALITÀ DI FINE VITA

Durante l'intero processo, il sistema utilizza **tecnologie per controllare e migliorare ogni fase**, assicurando efficienza e rilasciato delle emissioni. Le strutture come laghetti e i materiali da costruzione sono riutilizzati o riciclati. Le tecnologie utilizzate, come **reattori e impianti di filtrazione**, vengono **disassemblate e riciclate**. I resti organici delle alghe non elaborate possono essere impiegati come **fertilizzanti o biomassa per generare energia**, riducendo i rifiuti e incentivando il riutilizzo delle risorse.

[106] Sapphire energy | harris group. (s.d.). Harris Group Multidisciplinary Engineering & Design Consultants USA. <https://www.harrisgroup.com/projects/sapphire-energy>

## HYDROGENASE [107]

**Designer:** Vincent Callebaut  
**Azienda produttrice:** /  
**Luogo di produzione:** Francia  
**Anno:** 2016  
**Stato:** Sperimentazione creativa  
**Materiale:** Alghe  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>



Modularità



Resistenza alla corrosione



Energia rinnovabile



Sostenibilità

### IL PROGETTO

L'architetto belga Vincent Callebaut ha progettato un sistema di trasporto innovativo denominato *Hydrogenase*, che prevede l'impiego di **dirigibili alimentati ad alghe** per la **produzione di biocarburante e il trasporto aereo**. Il progetto, che mira a **ridurre l'impatto ambientale**, prevede la creazione di fattorie galleggianti nell'oceano entro il 2030. Queste fattorie produrranno biocarburante dalle alghe e fungeranno da hub per dirigibili ibridi, impegnati in missioni umanitarie, operazioni di soccorso, e trasporto aereo ecologico.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

L'idrogenasi si fonda sulla **bio-mimetica**, traendo ispirazione dai processi naturali per creare soluzioni energetiche sostenibili. Il progetto si concentra sulla produzione di **bio-idrogeno dalle alghe**, le quali **assorbono CO<sub>2</sub>** tramite fotosintesi accelerata. Le fattorie flottanti, in cui si coltivano alghe, sono **sistemi autosufficienti** che sfruttano fonti di **energia rinnovabile** come il solare e l'eolico per generare energia ecologica. Questi dirigibili non soltanto trasferiscono merci, ma aiutano anche nella bonifica degli ecosistemi marini, convertendo i rifiuti gassosi in **biocarburante privo di emissioni di CO<sub>2</sub>**.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Il progetto ha una visione di **sostenibilità a lungo termine**, integrando un **ciclo "dalla culla alla culla"** che garantisce il riutilizzo completo delle risorse. Le fattorie galleggianti producono energia, biocarburante, e agiscono anche come **purificatori di mari e oceani**, ripulendo i rifiuti galleggianti e promuovendo la protezione degli ecosistemi marini. La struttura del dirigibile è progettata per essere totalmente **autosufficiente**, riducendo al minimo l'impatto ambientale.

[107] HYDROGENASE - vincent callebaut architectures. (2010). Vincent callebaut architectures. [https://vincent.callebaut.org/object/100505\\_hydrogenase/hydrogenase/projects](https://vincent.callebaut.org/object/100505_hydrogenase/hydrogenase/projects)

**SETTORE DELL'EDILIZIA**



**PRO**

- resistenza alla muffa,
- resistenza al fuoco e all'umidità,
- non inquinante.

**CONTRO**

- problemi di integrazione nell'uso sociale,
- costi elevati.

### 3.2.4 SETTORE DELL'EDILIZIA

La **biomassa vegetale marina** possiede una serie di caratteristiche che la rendono un'opzione efficiente ed ecologica impiegabile nel **settore delle costruzioni**. Nello specifico viene impiegata come **alternativa ai materiali isolanti tradizionali, naturali**, come lana di pecora, canapa, sughero o **sintetici**, come lana di vetro, poliuretano o polistirene espanso.

Le alghe e piante marine sono altamente **resistenti alla muffa, all'umidità** e al fuoco e **non richiedono trattamenti chimici inquinanti** per migliorare le loro prestazioni. La trasformazione della biomassa vegetale marina per uso isolante comporta un **consumo energetico ridotto**, circa il **30% in meno** rispetto ai metodi di produzione di materiali isolanti in vetroresina, lana minerale o polistirolo. Inoltre, essendo un materiale completamente naturale, giunto a fine vita può essere facilmente dismesso attraverso il **compostaggio** [108].

[108] Seghetti, E. (2017, giugno 6). Innovazione scientifica in edilizia: Alghe per isolare gli edifici. Green.it. <https://www.green.it/innovazione-scientifica-in-edilizia/>

## PADIGLIONE BIOSACK [109]

**Designer:** Anders Lynderup, Michael Skov e Marie Louise Thorning

**Azienda produttrice:** Rex Skov Arkitekter

**Luogo di produzione:** Danimarca

**Anno:** 2022

**Stato:** Padiglione temporaneo

**Materiale:** Legno lamellare e alghe

**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>



Flessibilità



Leggerezza



Resistenza al fuoco



Biodegradabilità



Circolarità del materiale



Elasticità



Sostenibilità

### IL PROGETTO

La struttura è uno dei cinque padiglioni temporanei installati nei cortili della villa di Charlottenborg. Progettato da Anders Lynderup, Michael Skov e Marie Louise Thorning, il padiglione intende promuovere un'**architettura più sostenibile e ridurre le emissioni di carbonio** nel settore edile. L'iniziativa si inserisce nel concorso annuale della fiera, che ha invitato architetti a presentare progetti ispirati alla **bioarchitettura**. La Chart Art Fair include esposizioni, conferenze e spettacoli, coinvolgendo professionisti del design e appassionati d'arte.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Costruito con **legno lamellare recuperato** da un progetto di edilizia popolare a Odense, in Danimarca, e presenta un **tetto** interamente realizzato con **alghe intrecciate**. Questa scelta progettuale si ispira a una tradizione architettonica dell'isola danese di Læsø, dove le case storicamente venivano coperte con voluminosi tetti di alghe. L'interno ha un pavimento ricoperto di conchiglie. Il tetto di alghe è un'alternativa ai materiali convenzionali grazie alla sua capacità di **immagazzinare carbonio** e alla naturale **resistenza al fuoco** dovuta all'impregnazione di sale.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Le alghe utilizzate nel tetto non solo **assorbono e immagazzinano carbonio** nel corso del loro ciclo vitale, ma sono anche **biodegradabili**, riducendo l'impatto ambientale a fine vita.

Inoltre, il legno lamellare recuperato impiegato nella struttura offre una **seconda vita** a materiali già esistenti, promuovendo un **approccio circolare alla costruzione**. Questo tipo di architettura dimostra come sia possibile creare edifici che contribuiscano attivamente a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>, favorendo soluzioni sostenibili per il futuro.

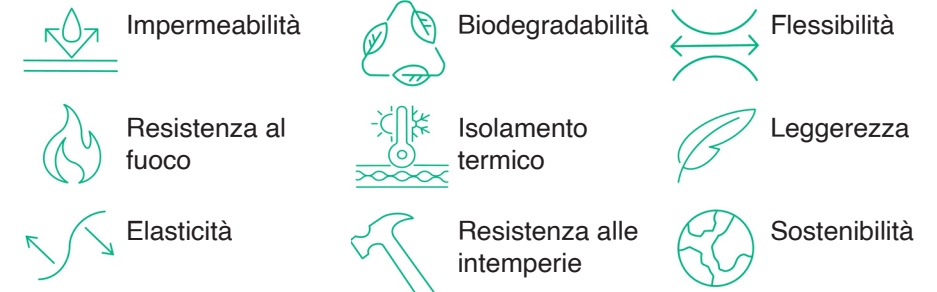
[109] Amber, A. (2022, 26 settembre). Rex Skov Arkitekter tops Chart Art Fair pavilion with seaweed roof. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2022/08/26/biosack-pavilion-chart-art-fair-seaweed/>

## EELGRASS [110] [93]

**Designer:** Kathryn Larsen  
**Azienda produttrice:** KEA Campus Service  
**Luogo di produzione:** Danimarca  
**Anno:** 2018  
**Stato:** Ricerca di tesi individuale e installazione annuale  
**Materiale:** Zostera Marina  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Secondo la ricerca di Kathryn Larsen, la tradizionale paglia di alghe utilizzata nell'architettura danese potrebbe diventare un **materiale da costruzione contemporaneo e sostenibile**. Questa particolare alga, chiamata comunemente **Eelgrass**, presenta proprietà ecologiche molto interessanti, essendo naturalmente **ignifuga, resistente alla putrefazione e impermeabile** dopo circa un anno. Larsen ritiene che l'uso della zostera marina in edilizia sia una risposta concreta alle sfide poste dai cambiamenti climatici.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

È stato sviluppato un sistema di **pannelli prefabbricati** per tetti e facciate impiegando **paglia di zostera marina**, testando diversi leganti. Il progetto si basa su **soluzioni innovative** già esistenti nel settore delle costruzioni e del design degli interni. A differenza dei metodi tradizionali, il sistema utilizza cuscini di rete per l'inserimento della zostera, rendendo la **struttura più leggera**. I pannelli sono attualmente in fase di verifica sul tetto della KEA, dove stanno mostrando **resistenza agli agenti atmosferici**.

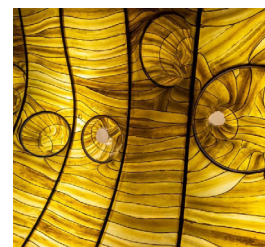
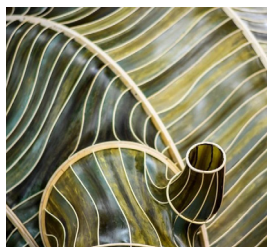
### MODALITÀ DI FINE VITA

L'uso della zostera marina come materiale da costruzione presenta diversi **vantaggi in termini di sostenibilità**. I pannelli prefabbricati di alghe possono garantire un **ciclo di vita più lungo** rispetto ai materiali tradizionali e, a fine vita, il **materiale può essere smaltito senza impatti significativi** sull'ambiente. Nei suoi progetti futuri, Larsen intende testare i valori di isolamento termico dei pannelli per verificarne le **proprietà isolanti** e sviluppare ulteriori prototipi che potrebbero essere adottati nell'industria edile danese.

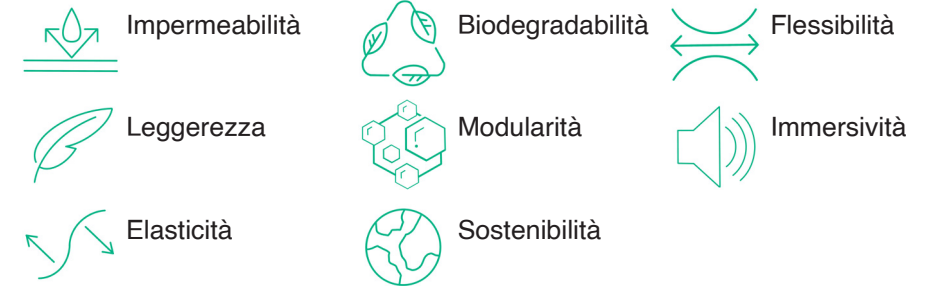
[110] Eelgrass by kathryn larsen – future materials bank. (s.d.). Future Materials Bank. <https://www.futurematerialsbank.com/material/prefabricated-seaweed-thatch-panels/>

## HIDAKA OHMU [111]

**Designer:** Julia Lohmann  
**Azienda produttrice:** /  
**Luogo di produzione:** Svizzera  
**Anno:** 2020  
**Stato:** Installazione temporanea  
**Materiale:** Alghe Kombu Ahtola (kelp)  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Il padiglione è una **struttura organica** formata da **pannelli semitrasparenti** di una grande alga marina chiamata **kelp**, posizionati su una **struttura in rattan**. Installato contro una finestra del centro congressi, il padiglione sembra crescere naturalmente dall'edificio. I visitatori possono accedere al suo interno attraverso un'apertura laterale e sedersi su una panchina, godendo di una vista sul paesaggio innevato della Svizzera. Lohmann ha progettato l'opera per offrire un'**esperienza multisensoriale** della natura sperando di **sensibilizzare** i partecipanti sui problemi ambientali e sui cambiamenti climatici.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il padiglione è stato costruito utilizzando **pannelli di kelp** trattati per conservarne la **flessibilità**, tesi su un'**armatura modulare in rattan** e compensato fresato a CNC. La costruzione, formata da più di 200 travi distintivi suddivisi in 21 moduli per agevolarne il trasporto, è stata concepita tramite **modellazione 3D** e predisposta per la **lavorazione CNC**. Il progetto si ispira all'opera "Oki Naganode" e ha incorporato laboratori pratici per esaminare l'**impiego delle alghe nel design**, favorendo un confronto tra scienza, natura e creatività.

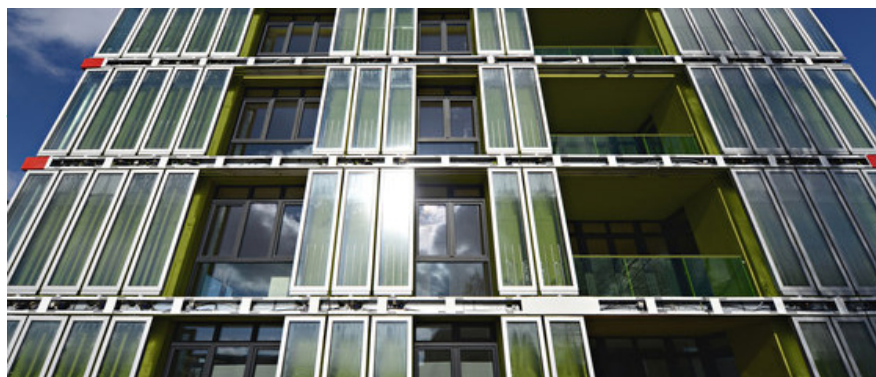
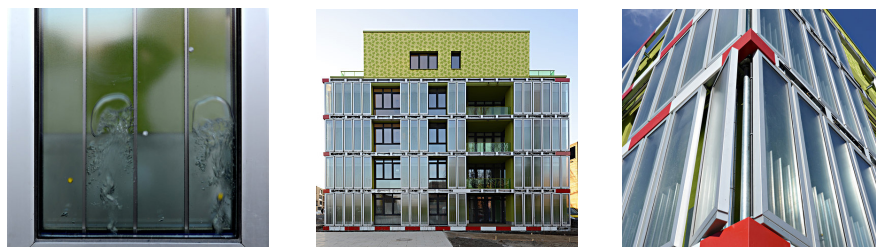
### MODALITÀ DI FINE VITA

Il progetto di Lohmann promuove un **approccio sostenibile all'uso delle alghe marine** come **risorsa rinnovabile** per il design e l'edilizia. Il kelp utilizzato è **biodegradabile** e può essere **smaltito senza impatti ambientali**, contribuendo a un ciclo di vita sostenibile. La designer invita a un **design empatico** e non antropocentrico, volto alla **protezione degli ecosistemi**. La sua ricerca sui materiali e i biocolori a base di alghe prosegue all'Università di Aalto in Finlandia, dove sviluppa progetti interdisciplinari tra arte e chimica.

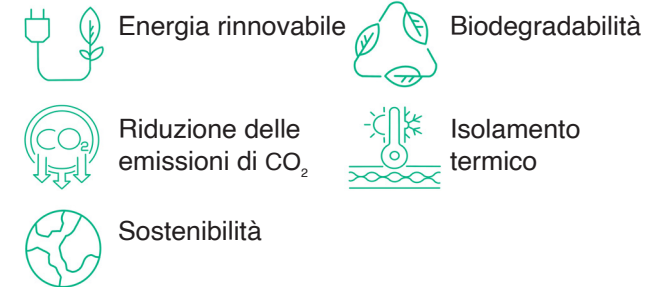
[111] Pownall, A. (2020, 24 gennaio). Julia Lohmann brings seaweed pavilion to Davos as climate change warning. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2020/01/24/seaweed-pavilion-julia-lohmann-hidaka-ohmu-architecture/>

## BIQ HOUSE [112]

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** Arup, SSC  
**Luogo di produzione:** Germania  
**Anno:** 2013  
**Stato:** Edificio permanente  
**Materiale:** Microalghe  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

La BIQ House, rappresenta il debutto mondiale della prima **facciata bioreattiva basata sulle alghe**. Con 200 m<sup>2</sup> di fotobioreattori integrati, questa casa a energia passiva non solo **genera biomassa e calore**, ma offre anche funzionalità aggiuntive come **ombreggiatura dinamica, isolamento termico e riduzione del rumore**. La BIQ House si configura come un progetto pilota per testare il pieno potenziale di questa tecnologia innovativa, contribuendo a sviluppare soluzioni sostenibili per la produzione di energia in contesti urbani.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Le facciate della BIQ House presentano **129 bioreattori in vetro** a pannello piatto, posizionati sulle facciate sud-ovest e sud-est. Nei bioreattori si allevano **microalghe**, i quali utilizzano la luce solare per generare biomassa e calore. L'energia prodotta è raccolta in un **circuito chiuso e controllato** da un sistema automatizzato che **conserva il calore solare** e lo impiega per generare acqua calda, aumentando l'efficienza energetica dell'edificio.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Le microalghe, utilizzate come **risorse rinnovabili** per la produzione di biomassa e calore, sono coltivate in un sistema chiuso che **minimizza gli sprechi e ottimizza l'efficienza**. In un contesto di fine vita, è probabile che le alghe possano essere gestite come biomassa per la produzione di energia o compostaggio, contribuendo a un **ciclo di vita sostenibile**. La tecnologia e il design della facciata sono sviluppati per favorire la durabilità e la funzionalità continua, con il potenziale di essere adattati o sostituiti in modo ecologico quando necessario.

[112] BIQ house by Arup | Apartment blocks. (2013, 11 giugno). Architonic. <https://www.architonic.com/en/project/arup-biq-house/5101636>



## URBAN ALGAE FOLLY [113]

**Designer:** Marco Poletto, Claudia Pasquero, Elisa Bolognini, Alessandro Buffi, Julien Sebban

**Azienda produttrice:** EcoLogicStudio

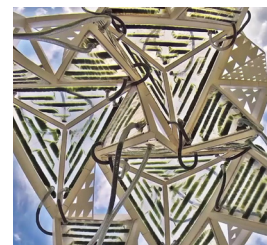
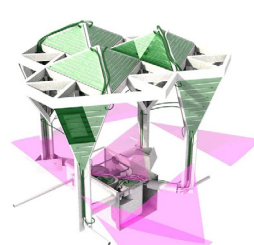
**Luogo di produzione:** Milano, Italia

**Anno:** 2015

**Stato:** Installazione temporanea

**Materiale:** Spirulina

**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>



Biodegradabilità



Leggerezza



Sostenibilità



Isolamento termico



Produzione di ossigeno

### IL PROGETTO

Il padiglione è dedicato alla **coltivazione urbana di microalghe**, con un focus sulla **Spirulina**, una **microalga** dalle straordinarie proprietà fotosintetiche. L'**Urban Algae Folly** rappresenta un esempio tangibile di architettura biodigitale, con l'obiettivo di mostrare come la tecnologia e la natura possano integrarsi per affrontare le sfide alimentari urbane. Il progetto non solo mira a **produrre alimenti** ma anche a **migliorare la qualità dell'aria** e a **ridurre l'anidride carbonica nell'ambiente urbano**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

La costruzione è fondata su una **membrana architettonica in ETFE**, un materiale **leggero e trasparente** che favorisce un contesto ottimale per lo sviluppo delle microalghe. Il padiglione è creato per supportare lo sviluppo della **Spirulina**, la quale cresce velocemente grazie all'intensa luce solare. L'alga non si limita ad **assorbire CO<sub>2</sub>**, ma aiuta anche ad aumentare il comfort dei visitatori, grazie al suo effetto di **protezione sulla pelle** architettonica. Un sistema digitale controlla i flussi di alghe in risposta alla presenza umana, **incentivando ossigenazione, irraggiamento e sviluppo**.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Le microalghe, una volta raccolte, possono essere utilizzate come **fonte di alimenti o biomassa**, e la pelle ETFE, essendo un materiale riciclabile, può essere **riutilizzata o smaltita in modo ecologico**. Inoltre, il sistema di coltivazione delle alghe in un ambiente controllato potrebbe essere replicato o adattato in altri contesti urbani, contribuendo a un ciclo di vita sostenibile e integrato. Il progetto suggerisce dunque una **gestione responsabile dei materiali e delle risorse**, con un'attenzione particolare al ciclo di vita completo dell'installazione.

[113] The Nest Living | EXPO 2015\_URBAN ALGAE FOLLY. (s.d.). The Nest Living | Nature Symbiotic Architectural Design. <https://www.thenestliving.it/portfolio/expo-2015-urban-algae-folly/>

**SETTORE PACKAGING**



**PRO**

- **biodegradabilità**,
- **impatto ecologico** minore rispetto ai materiali classici,
- assorbimento di **anidride carbonica**.

**CONTRO**

- **scarsa resistenza** alle **sollecitazioni meccaniche**,
- difficoltà nella **gestione logistica** e **economica**,
- necessità di un **imballaggio supplementare**.

### 3.2.5 SETTORE PACKAGING

I packaging realizzati a partire dalla biomassa vegetale marina, rappresentano una novità nel settore dell'imballaggio alimentare grazie alle caratteristiche di **biodegradabilità** e per il suo **impatto ecologico minore rispetto ai materiali convenzionali**.

I **vantaggi ecologici** del packaging realizzato con alghe e piante marine sono significativi. In primo luogo, le alghe catturano anidride carbonica e producono ossigeno nel loro processo di crescita, offrendo un contributo favorevole alla **riduzione dell'impronta di carbonio** dei processi produttivi e delle aziende.

A differenza della **plastica convenzionale**, l'imballaggio realizzato con le specie vegetali marine è **del tutto biodegradabile**, contribuendo così a **diminuire l'accumulo di rifiuti nelle discariche e nei mari**.

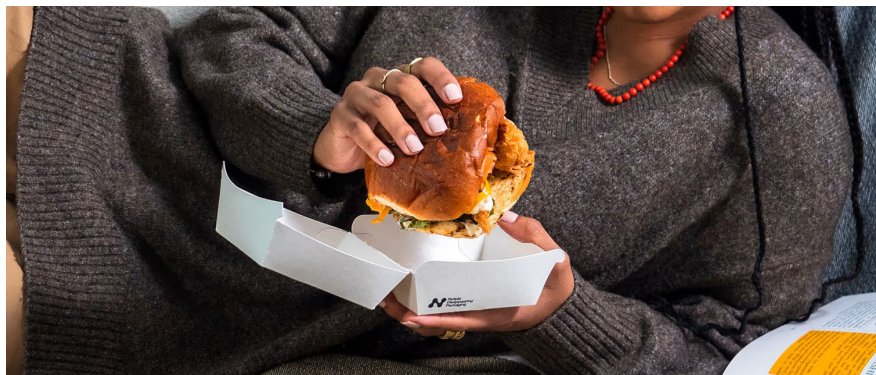
Un ulteriore aspetto significativo è l'**assenza di bisogno di terreni agricoli** per la loro crescita, rendendo le alghe una risorsa sostenibile che non entra in competizione con la produzione di cibo.

Malgrado i vari benefici, il packaging realizzato con alghe e piante marine deve affrontare diverse **difficoltà**. La più evidente è la **resistenza** e la **durabilità** del materiale, soprattutto sotto sollecitazioni meccaniche o in condizioni umide. In aggiunta, la produzione in grande quantità può comportare **difficoltà logistiche e di costo**, richiedendo uno sviluppo supplementare per rendere questo tipo di imballaggio competitivo rispetto alle opzioni tradizionali [114].

[114] Francone, M. V. (2024, gennaio 10). Alga come futuro del packaging: Una rivoluzione sostenibile nell'industria alimentare. GREENAD. <https://greenad.it/10-01-24-alga-come-futuro-del-packaging/>

## FOODCONTAINER [115]

**Designer:** Rodrigo Garcia Gonzalez e Pierre Paslier  
**Azienda produttrice:** Notpla  
**Luogo di produzione:** Germania  
**Anno:** 2022  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Alghe brune  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE

-  Impermeabilità
-  Leggerezza
-  Atossicità
-  Biodegradabilità
-  Sostenibilità
-  Circolarità del materiale
-  Resistenza agli oli
-  Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>

### IL PROGETTO

NotPla è una startup che produce **imballaggi biodegradabili** a base di **alghe** e piante, completamente **privi di plastica**. Il materiale utilizzato è naturale e versatile, adatto a diversi tipi di packaging, come bolle edibili per contenere liquidi, rivestimenti per contenitori alimentari, e carta per l'industria cosmetica o della moda. L'obiettivo principale di NotPla è quello di **ridurre l'impatto ambientale** del settore del packaging, uno dei più inquinanti, sostituendo la plastica con soluzioni ecologiche che contribuiscano alla lotta contro la crisi climatica.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

La copertura degli imballaggi è fatta esclusivamente con **alghe marine** e **non viene alterata chimicamente**, preservando così le caratteristiche naturali del materiale. Questo metodo innovativo consente di creare un rivestimento **impermeabile e resistente agli oli**, utilizzabile in diversi settori, incluso il trasporto sicuro di prodotti alimentari. Le alghe marine cresciute da NotPla **assorbono il carbonio** 20 volte più rapidamente degli alberi, aiutando a diminuire le emissioni di CO<sub>2</sub>. La **solidità** dei materiali offre **sicurezza e comodità** durante il trasporto.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Gli imballaggi NotPla sono **completamente compostabili e biodegradabili**, decomposti naturalmente senza lasciare tracce o microplastiche, a differenza di plastica e bioplastica. Certificati conformi alla norma EN13430, non contaminano i flussi di rifiuti di carta e possono essere **smaltiti facilmente** senza impatti ambientali negativi. Il **rivestimento non contiene allergeni** ed è conforme alle direttive europee sulla plastica monouso.

[115] Notpla seaweed-coated food containers. (s.d.). notpla.com. <https://www.notpla.com/food-containers>

## SEAWEED PAPER [116]

**Designer:** Rodrigo Garcia Gonzalez e Pierre Paslier  
**Azienda produttrice:** Notpla  
**Luogo di produzione:** Germania  
**Anno:** 2022  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Alghe brune  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Impermeabilità



Flessibilità



Atossicità



Biodegradabilità



Leggerezza



Circularità del materiale



Sostenibilità

### IL PROGETTO

Notpla Seaweed Paper è un nuovo **materiale innovativo** ottenuto dal sottoprodotto della lavorazione delle alghe: la **carta di alghe**, che si distingue per la sua venatura unica e la sua **qualità sensoriale**. Questo materiale interamente **naturale e circolare** consente ai brand e ai creativi di sviluppare **imballaggi e materiali di stampa ecosostenibili**, mantenendo alti standard di qualità e performance. Il suo utilizzo **riduce l'impatto ambientale e promuove soluzioni ecologiche** nel settore della stampa e del packaging, chiudendo il cerchio della filiera delle alghe

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

La produzione di Seaweed Paper utilizza **sottoprodotti di alghe** anziché polpa vergine di alberi, **riducendo** significativamente **la deforestazione**. La carta di alghe ha un potenziale di riscaldamento globale (GWP) inferiore dell'88% rispetto alla carta tradizionale. La Seaweed Paper è compatibile con una vasta gamma di tecniche di stampa, tra cui **litografia, laser, getto d'inchiostro, digitale, offset, stampa a caldo, rilievo e debossing**, garantendo risultati precisi e di alta qualità.

### MODALITÀ DI FINE VITA

La carta di alghe Notpla è realizzata per essere **totalmente riciclabile** e anche **compostabile a livello domestico**, assicurando che, dopo l'uso, possa tornare nel ciclo naturale senza generare rifiuti. Le sue **forme circolari** la rendono ideale per volantini, brochure, manifesti, packaging di alta gamma e prodotti particolari. Questa **capacità di biodegradarsi** garantisce che il materiale, quando viene eliminato, si scomponga in modo semplice, aiutando a diminuire i rifiuti e a proteggere l'ambiente.

[116] Notpla Seaweed Paper Remarkable zero-waste paper from a forest below the sea. (s.d.). Notpla.com. <https://www.notpla.com/paper>

## BIOPLASTICA A BASE DI ALGHE

[117]

**Designer:** Margarita Talep

**Azienda produttrice:** /

**Luogo di produzione:** Cile

**Anno:** 2019

**Stato:** Sperimentazione creativa di materiali di ricerca e sviluppo

**Materiale:** Alghe rosse

**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Impermeabilità



Flessibilità



Atossicità



Biodegradabilità



Leggerezza



Sostenibilità



Circolarità del materiale

### IL PROGETTO

**Alternativa ecologica** agli imballaggi monouso, utilizzando **alghe rosse** come materia prima. Spinta dalla necessità di ridurre l'uso di materiali non riciclabili nel settore alimentare, ha ideato un **materiale biodegradabile e naturale** che si **decompone facilmente** dopo l'uso. Il progetto nasce dalla volontà di contrastare l'utilizzo di plastica indistruttibile per prodotti usa e getta, offrendo un'opzione più **sostenibile e rispettosa dell'ambiente**. Talep ha sottolineato l'importanza della biofabbricazione e la necessità di promuovere un'economia circolare per ridurre i rifiuti plastici.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il materiale creato da Talep è costituito da **agar**, un polimero ricavato dalle **alghe rosse**, al quale vengono incorporati un **plastificante e un additivo**. La miscela, **riscaldata a 80°C e inserita in uno stampo**, acquisisce una **consistenza gelatinosa** quando si raffredda sotto i 20°C, e si asciuga in un luogo ventilato, divenendo **simile a plastica sottile o carta**. Per la tintura, Talep impiega coloranti naturali ottenuti da frutta e verdura. Il materiale può diventare **rigido o flessibile** cambiando le proporzioni degli elementi.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Il packaging in bioplastica ottenuto dalle alghe è concepito per decomporre in due o tre mesi, in base allo spessore e alla temperatura del suolo. A differenza di alcune bioplastiche che necessitano di alte temperature per degradarsi, il materiale di Talep **si distrugge anche in ambienti più freddi**, sebbene a una velocità più lenta. Questo lo rende **idoneo al compostaggio naturale, senza il pericolo di liberare microplastiche o sostanze nocive**.

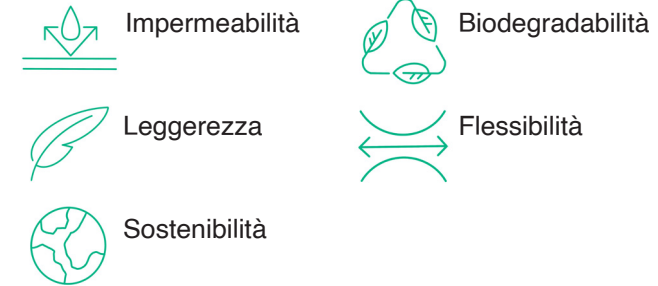
[117] Hitti, N. (2019, 18 gennaio). Margarita Talep develops algae-based alternative to single-use plastic packaging. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/01/18/margarita-talep-algae-bioplastic-packaging-design/>

## POLYBAG <sup>[118]</sup>

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** Sway  
**Luogo di produzione:** Stati Uniti  
**Anno:** 2020  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** 50% di TPSea (resina biologica a base di alghe)  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

I sacchetti di polietilene Sway sono una **soluzione innovativa** progettata per il trasporto sicuro degli oggetti, realizzata con TPSEA™, un **materiale a base di alghe**, piante e polimeri compostabili a casa. Questa borsa è progettata per essere **forte, versatile** e ha un aspetto lussuoso al tatto, pur essendo un'**alternativa sostenibile** alla plastica tradizionale. La sua composizione principale, a base di alghe, contribuisce a rigenerare il pianeta, migliorando la salute degli oceani e sostenendo ecosistemi e comunità costiere.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

I Polybag Sway adottano una metodologia che include le **alghe come componente principale**, garantendo una **robustezza** e una difesa analoghe a quelle della plastica. Anche se sono **leggeri e pratici**, i sacchetti sono termosaldabili e possono essere stampati, rendendoli semplici da personalizzare. La **superficie** del materiale è **levigata, elastica e vellutata al tatto**, con una barriera intermedia all'ossigeno e una resistenza alla lacerazione media, rispetto alle pellicole compostabili concorrenti.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Una delle caratteristiche distintive di questi sacchetti è che, pur essendo resistenti e protettivi, hanno una **durata limitata** e possono essere **compostati in modo sicuro, sia a casa che in impianti industriali**. Al termine del loro utilizzo, i Polybag Sway tornano alla natura senza inquinare, grazie alla loro capacità di biodegradarsi attraverso il compostaggio. L'**utilizzo delle alghe** come materia prima non solo **riduce il ricorso al petrolio**, ma **promuove** anche la **crescita di colture abbondanti e sostenibili**, che supportano l'ambiente e le comunità costiere resilienti.

[118] Circular seaweed packaging by sway. (s.d.). swaythefuture.com. <https://swaythefuture.com/compostable-seaweed-polybags>

## SEAWEED WINDOW [119]

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** Sway  
**Luogo di produzione:** Stati Uniti  
**Anno:** 2020  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** 85% di fibre di carta riciclata, 15% alghe  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Le Seaweed Window sono finestre **trasparenti, resistenti e adatte al contatto con gli alimenti**, certificate al 100% di **origine biologica**. Derivano principalmente dalle **alghe**, una coltura oceanica abbondante che ripristina gli ecosistemi durante la sua crescita. Queste finestre sono abbinata a scatole Kraft Box, ultra-sostenibili e realizzate in cartone kraft riciclato al 100%, per un **imballaggio completo ed ecologico**. Adatte a una varietà di applicazioni, tra cui articoli per la casa, cosmetici, moda, e cibi secchi, offrono un'alternativa sostenibile agli imballaggi tradizionali.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Le Seaweed Window sono prodotte utilizzando Pellicola Sway Firstwave™, certificata al 100% di origine biologica, con una maggioranza di alghe. La pellicola ha uno spessore di 1-3 mil ed è **completamente compostabile** per uso domestico e industriale. Le Kraft Box sono realizzate con cartone kraft non sbiancato e 100% riciclato, contenente l'85% di fibre di carta riciclata post-consumo. Le scatole sono **facili da montare** grazie alla loro progettazione con fondo automatico e chiusura a soffiutto, oppure fondo a scatto 1-2-3 con chiusura superiore a capanna.

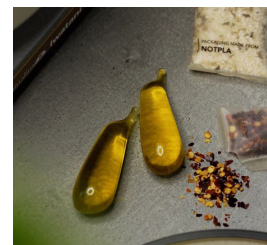
### MODALITÀ DI FINE VITA

I materiali utilizzati, le Seaweed Window e le Kraft Box, sono progettati per **ridurre al minimo l'impatto ambientale**. Le finestre Seaweed sono compostabili sia a livello domestico che industriale, mentre le scatole Kraft sono riciclabili e compostabili industrialmente. Si consiglia di compostare le finestre e riciclare le scatole; se il compostaggio non è possibile, la scatola può essere riciclata, mentre la finestra Seaweed deve essere separata e smaltita come altri additivi per imballaggi. Un codice QR sulla scatola fornisce istruzioni per la gestione del ciclo di vita del prodotto.

[119] Seaweed windows. (s.d.). swaythefuture.com. <https://swaythefuture.com/windows>

## PIPETTE MONODOSE [120]

**Designer:** Rodrigo Garcia Gonzalez e Pierre Paslier  
**Azienda produttrice:** Notpla  
**Luogo di produzione:** Germania  
**Anno:** 2022  
**Stato:** prodotto sul mercato  
**Materiale:** alghe brune  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Le pipette monodose Notpla sono una **soluzione innovativa** per il confezionamento dell'olio, realizzate utilizzando **alghe**, uno dei materiali più rinnovabili al mondo. Queste pipette sono **naturali al 100%, biodegradabili, compostabili in casa** e adatte a uno stile di vita vegano. La loro praticità le rende ideali per versare facilmente olio d'oliva su una vasta scala di alimenti, sia a casa che nei ristoranti o in viaggio. Con un semplice pizzico e torsione, è possibile aprire la pipetta e dosare l'olio in modo controllato e senza sprechi.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

La configurazione **elastica e robusta** delle pipette permette un dosaggio semplice ed accurato, grazie a un beccuccio concepito per schiacciare e regolare il rilascio dell'olio. Il nuovo **materiale** impiegato per la produzione delle pipette è **totalmente naturale** e, a differenza delle confezioni classiche, è **privo di allergeni** ed è adatto a vegani e vegetariani. Inoltre, le pipette vantano un'ampia durata di conservazione, garantendo la qualità del prodotto anche nel corso di prolungati periodi di stoccaggio.


### MODALITÀ DI FINE VITA

Le pipette Notpla sono create per essere **completamente compostabili in casa, senza emettere microplastiche o sostanze nocive nell'ambiente**. Dopo l'uso, possono essere gettate direttamente nel compost casalingo, dove si degradano naturalmente, come una buccia di frutta.

[120] NOTPLA pipettes - revolutionising the way oil is packaged. (s.d.). Notpla Packaging. <https://notpla.shop/products/notpla-pipettes?variant=41710166212777>



**SETTORE DELLA MODA**



**PRO**

- consumo ridotto di **acqua ed energia**,
- **impatto ecologico minore** rispetto ai materiali classici,
- assorbimento di **anidride carbonica**.

**CONTRO**

- difficoltà di **integrazione sociale**;
- **meno economico**.

### 3.2.6 SETTORE DELLA MODA

L'industria della moda è la seconda più inquinante a livello globale e la sua produzione genera notevoli problemi ambientali: il metodo tradizionale di tintura dei tessuti causa, ad esempio, il 20% dell'inquinamento globale delle acque dolci mentre, considerando gli impatti nocivi sulla salute umana, il 10% delle sostanze chimiche nei nostri abiti si trasferisce alla pelle e al corpo. Attualmente, la fibra naturale più prodotta a livello globale è il cotone. La coltivazione e la lavorazione generano il **10% delle emissioni globali di carbonio**, mentre il suo smaltimento, dato che solo il **15% viene riciclato**, avviene tramite incenerimento o discarica. A tal proposito, è stata riconosciuta nelle **alghe e piante marine** una **fibra vegetale alternativa** che soddisfa sia le **esigenze economiche** della produzione che quelle etiche della sostenibilità ambientale. Nell'industria tessile, le alghe sembrano fornire gli stessi vantaggi ecologici che hanno dimostrato in altri settori produttivi, come quello alimentare, edile e dell'energia.

In Cina, la crescita eccessiva delle alghe nelle acque è un problema significativo e nei mesi estivi porta disagi alla popolazione, compromettendo al contempo la qualità dell'acqua potabile e della pesca. Il governo cinese ha avviato una fruttuosa collaborazione con l'Università di Qingdao per esplorare l'**utilizzo delle alghe come fonti di fibra tessile**. Il gruppo di ricerca ha esaminato l'estrazione di **fibra di alginato da diverse tipologie di alghe**, scoprendo che queste fibre sono **ignifughe e ad alta resistenza**: le fibre algali si rivelano quindi una risorsa preziosa per la produzione di abbigliamento speciale.

Le fibre derivate dalla lavorazione di alghe e piante marine hanno proprietà **antibatteriche, antiodore e traspiranti, sono morbide al tatto**, fungono da **schermo contro raggi UV** e assorbono il 50% di sudore in più della normale fibra di cotone. Un altro impiego della biomassa vegetale marina, è la creazione di **inchiostri e tinture**. Ad esempio l'inchiostro nero sviluppato dall'azienda statunitense **Livin Ink**, derivato dalle alghe e progettato per sostituire le colorazioni tradizionali a base di carbonio di petrolio, è realizzato sfruttando i rifiuti delle coltivazioni di alghe contribuendo a un approccio più sostenibile e rispettoso dell'ambiente [121].

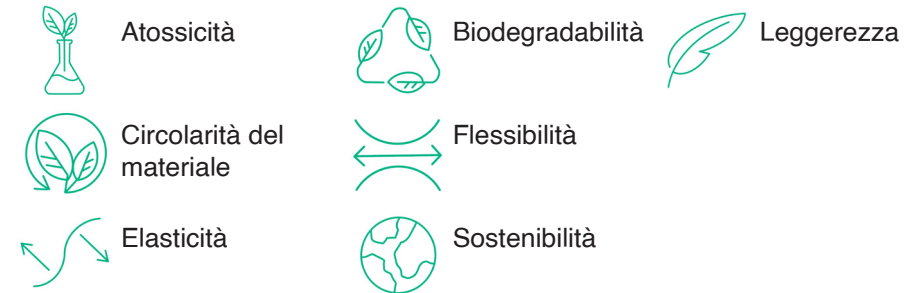
[121] Adriatico, U. (2023, novembre 13). Alghe e abbigliamento. algaUlisse. <https://www.algaUlisse.it/post/macroalghe-e-abbigliamento>

## WEARABLES [122]

**Designer:** Bonnie Hvillum  
**Azienda produttrice:** Natural Material Studio x FRAMA CPH  
**Luogo di produzione:** Danimarca  
**Anno:** 2021  
**Stato:** Installazione materiale temporanea  
**Materiale:** Biopolimeri e alghe  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Il Natural Material Studio della designer danese Bonnie Hvillum ha collaborato con lo studio multidisciplinare Framma per creare una collezione di **materiali biodegradabili**, realizzati con alghe, argilla e schiuma. La collezione è stata esposta nello showroom di Framma a Copenaghen durante il festival 3 Days of Design, con l'intento di **esplorare nuove soluzioni per materiali naturali** da utilizzare nell'arredamento e nella moda. Tra i tessuti esposti figurano il **Alger**, realizzato con alghe marine, e Terracotta, un biotessuto pigmentato con argilla, oltre al materiale innovativo B-Foam.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

I tessuti sono realizzati con un **biopolimero proteico** ottenuto dai rifiuti e subiscono un trattamento per diventare biodegradabili. Ogni materiale è modellato a mano in telai di legno, dove vengono appesi per asciugare prima di essere tagliati e rifiniti. I **tessuti creati con le alghe** contengono alghe vive, che sono impiegate per la **colorazione e la pigmentazione**, dando agli indumenti e agli altri articoli un aspetto naturale e organico. Il **B-Foam** è stato creato a partire dal 2019 ed è impiegato in molteplici settori, dalla moda all'arredamento, evolvendo in modo continuo.

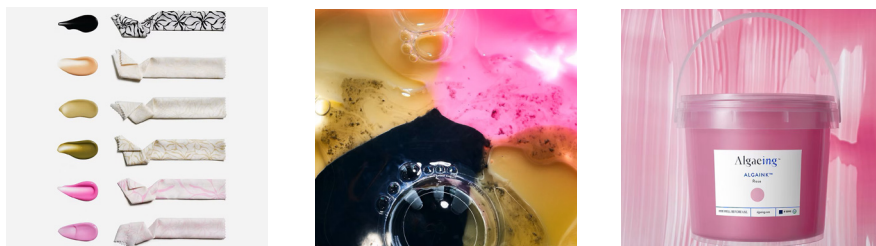
### MODALITÀ DI FINE VITA

I materiali realizzati sono **completamente biodegradabili e circolari**, con la promessa di **decomposizione completa entro tre mesi se esposti al suolo e ai batteri vivi**. Nonostante il loro potenziale, Hvillum sottolinea che questi materiali sono ancora nelle **fasi iniziali di sviluppo**, e che sono **necessarie ulteriori ricerche** per poterli rendere accessibili sul mercato e raggiungere gli standard commerciali. La speranza è che, con il tempo e ulteriori sperimentazioni, questi materiali diventino parte dell'uso quotidiano.

[122] Carlson, C. (2022, 19 gennaio). Natural Material Studio and Framma showcasealgae and terracotta fabrics. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2022/01/19/natural-material-studio-framma-algae-terracotta-fabrics/>

## ALGAEING [123]

**Designer:** Renana Krebs  
**Azienda produttrice:** Algaeing  
**Luogo di produzione:** Germania  
**Anno:** 2023  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Alghe  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

**Algaeing** sviluppa **inchiostri e coloranti per tessuti a zero spreco** utilizzando **alghe rinnovabili**. L'azienda propone oltre 25 colori biologici, che garantiscono solidità e possono essere integrati nei processi tessili esistenti senza modifiche strutturali. La missione è **ridurre l'impatto ambientale dell'industria tessile**, offrendo **soluzioni sostenibili** basate su un unico elemento naturale: le alghe. Algaeing è un'evoluzione del progetto Algalife, orientata a promuovere una colorazione eco-positiva per i tessuti.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il sistema di produzione di Algaeing adotta un **approvvigionamento a ciclo chiuso**, fondato su **alghe coltivate in modo sostenibile in serre verticali** alimentate da energia solare. Questo procedimento diminuisce del 98% l'uso di acqua e **riduce le emissioni di gas serra del 70-74%** nel confronto ai coloranti tradizionali, eliminando inoltre l'impiego di sostanze chimiche nocive. Tra le maggiori novità si trova **Algadye 3.0, un colorante naturale completamente biodegradabile**, idoneo per tessuti sia naturali che sintetici, che rappresenta un'opzione ecologica per il settore della moda.

### MODALITÀ DI FINE VITA

I coloranti e i tessuti trattati con i prodotti Algaeing sono **totalmente biodegradabili** e si **scompongono nel terreno senza produrre residui chimici pericolosi**. L'azienda sostiene una **filiera tessile ecologica fondata su materiali rinnovabili e con un ridotto impatto ambientale**. Tuttavia, l'implementazione di queste soluzioni necessita di un cambiamento di atteggiamento da parte dei marchi, che dovrebbero promuovere iniziative innovative per incentivare un modello di produzione circolare.

[123] Algaink™ | algaeing. (s.d.). Algaeing. <https://www.algaeing.com/algaink>

## THE VOICE OF THE SEA [124]

**Designer:** Violaine Buet  
**Azienda produttrice:**  
**Luogo di produzione:** Francia  
**Anno:** 2019  
**Stato:** Sperimentazione creativa di materiali di ricerca e sviluppo  
**Materiale:** Alghe  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Violaine Buet, designer specializzata in Textile Design, crea **tessuti innovativi** utilizzando le alghe come un materiale inusuale. Le sue creazioni, pensate principalmente per moda e cinema, comprendono tessuti e accessori unici, come borse, cappelli e cinture. Buet si rivolge a una **clientela di nicchia** e i suoi lavori sono esposti in musei internazionali, da New York a Tel Aviv, rendendo il suo atelier un punto di riferimento per il **design sperimentale basato sulle alghe**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il processo creativo di Buet inizia con la **raccolta** delle alghe, che avviene attraverso un lavoro personale o tramite acquisto dai coltivatori della zona. Dopo un processo che offre una durata di circa due anni, le alghe sono impiegate mediante **tecniche come la tessitura**, che consente di **trasformare i fili in tessuti**. Buet opera in maniera **artigianale**, **ricercando costantemente nuove tecniche** e mantenendo un contatto diretto e tangibile con il materiale.

### MODALITÀ DI FINE VITA

I tessuti di Buet, realizzati con **alghe biodegradabili**, sono **materiali temporanei con una durata circoscritta**. Ancora non pronti per la produzione di massa, si tratta di **iniziative sperimentali** con un elevato potenziale per il settore tessile. Lo scopo è **promuovere un progresso sostenibile nel settore della moda**, proponendo opzioni ai materiali convenzionali.

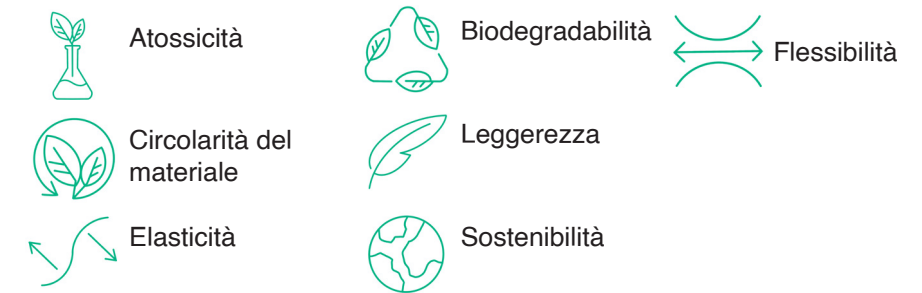
[124] Espinosa, A. (2020, 3 settembre). Algae: The muse of violaine buet's textiles | luxiders magazine. Luxiders Magazine. <https://luxiders.com/violaine-buet/>

## T-SHIRT BLACK ALGAE DED [125]

**Designer:** Steve Tidball  
**Azienda produttrice:** Vollebak  
**Luogo di produzione:** Paesi Bassi  
**Anno:** 2019  
**Stato:** Startup di abbigliamento tecnologico  
**Materiale:** 80% cotone organico; 20% da alghe  
**Prezzo:** 125,00 €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

La startup Vollebak ha lanciato una maglietta realizzata con **materiali naturali** come polpa di legno e alghe, progettata per **decomporsi nel terreno o nel compost in tre mesi**. Il legno utilizzato proviene da foreste gestite in modo sostenibile e viene trasformato in fibre tessili. Il disegno verde sulla maglietta è realizzato con **inchiostro di alghe**, prodotto tramite **bioreattori**. **Ogni maglietta è unica**, poiché il pigmento naturale delle alghe cambia colore nel tempo.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

La t-shirt è fabbricata con fibra proveniente dalla polpa di alberi di eucalipto, faggio e abete rosso, che vengono convertiti in tessuto. Il disegno è realizzato con **inchiostro naturale derivante da alghe**, cresciute in **bioreattori, poi filtrate, essiccate e ridotte in polvere**, mescolata a un legante acquoso. Il **pigmento naturale modifica il suo colore nel tempo a causa dell'ossidazione**, rendendo ogni maglietta speciale. I fondatori Nick e Steve Tidball impiegano un filo unico derivante da foreste sostenibili per realizzare la maglietta e la stampa.

### MODALITÀ DI FINE VITA

La maglietta può essere compostata o sotterrata a fine vita, **decomporsi entro tre mesi** e diventare **nutrimento per i vermi**, integrandosi nel ciclo naturale. La **velocità di decomposizione** dipende da fattori ambientali come calore, batteri e funghi. È **adatta** sia per **compostaggio industriale che domestico**, con tempi variabili in base alle condizioni climatiche. Vollebak sottolinea che la maglietta non si decomporrà se conservata in un armadio, ma necessita del contatto con il terreno per disintegrarsi completamente.

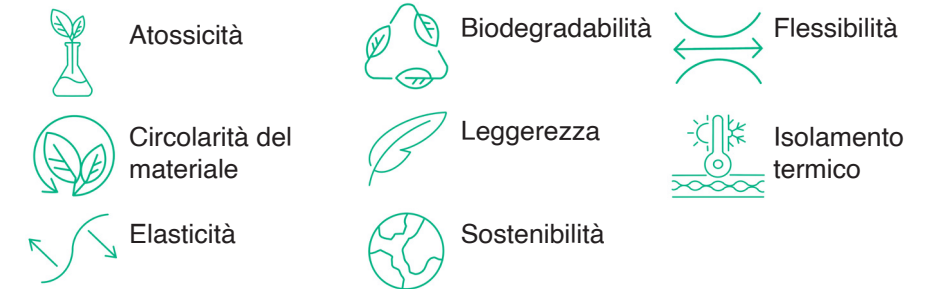
[125] Hitti, N. (2019b, 28 agosto). Vollebak's plant and algae T-shirt becomes "worm food" in 12 weeks. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/08/28/vollebak-plant-and-algae-t-shirt-sustainable-biodegradable-fashion/>

## SEACELL [126]

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** Katia  
**Luogo di produzione:** Spagna  
**Anno:** 2015  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** 75% alghe; 25% lyocell  
**Prezzo:** 6,45 €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

SeaCell™ è una **fibra innovativa** nata per **ridurre l'impatto ambientale della produzione tessile**, utilizzando **risorse naturali e sostenibili** come legno e alghe. Questa fibra viene trattata in combinazione con Lyocell e Modal, creando due varianti: SeaCell™ LT e SeaCell™ MT. Entrambe le versioni sono **biodegradabili** e vengono realizzate attraverso **processi brevettati che risparmiano energia e risorse**, garantendo un prodotto rispettoso dell'ambiente e della salute umana.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

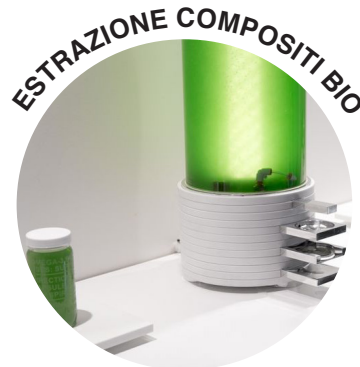
Le **alghe marine** impiegate per SeaCell™ vengono **raccolte in modo ecologico**: vengono prelevate solo le parti in grado di rigenerarsi, assicurando la protezione degli ecosistemi marini. Dopo la raccolta, le alghe vengono **essiccate e ridotte in polvere**, successivamente **integrate nella cellulosa naturale nel corso del processo produttivo**. Questo approccio consente di mantenere le qualità vantaggiose delle alghe all'interno della fibra, che si trasforma in un **tessuto innovativo e nutriente, ricco di vitamine e minerali**.

### MODALITÀ DI FINE VITA

SeaCell™ è una **fibra totalmente biodegradabile ed ecologica**, concepita per **degradarsi in modo naturale senza produrre residui nocivi**. I prodotti realizzati con questa fibra, come quelli in SeaCell Cotton, garantiscono non solo **comodità e leggerezza**, ma anche vantaggi per la pelle, grazie agli **antiossidanti e agli amminoacidi delle alghe**. Quando raggiungono la fine della loro vita, questi articoli **si degradano in modo ecologico, favorendo un sistema circolare sostenibile**.

[126] SeaCell: Cosa rende questa fibra così speciale? (2021, 9 novembre). blog.calida. <https://blog.calida.com/it-IT/blog/SeaCell-cosa-rende-questa-fibra-così-speciale/>

## 3.3 Tecniche di lavorazione



### 3.3.1 COLTIVAZIONE

Le piante e le alghe marine si sono rivelate una delle risorse rinnovabili più promettenti grazie alla loro notevole **adattabilità**, al **breve periodo di sviluppo** e alla **sostenibilità delle risorse**. Permettono un'efficace soluzione per **alleviare la futura crisi** legata al reperimento delle **materie prime** per la produzione di materiali o prodotti necessari al sostentamento della vita umana.

Ciò ha comportato un crescente interesse nei confronti delle alghe e delle piante marine che ha portato ad un **aumento della domanda** in tutto il mondo.

Secondo i dati dell'**Organizzazione per l'Alimentazione e l'Agricoltura** (FAO), la produzione globale di alghe (sia in acquacoltura che in natura) è quasi triplicata da 118.000 tonnellate a 358.200 tonnellate dal 2000 al 2019. La **produzione mondiale** di alghe proviene per lo più dai **cinque continenti** principali. L'Asia rappresenta il 97,38% della produzione mondiale, con il 99% delle alghe coltivate artificialmente. In particolare, la Cina si colloca al primo posto nel mondo per produzione di acquacoltura, con il 56,82% dell'acquacoltura mondiale [127]. Con il crescente mercato per l'uso alimentare, industriale e medico dei prodotti a base di alghe e piante marine, le **risorse selvatiche** sono progressivamente **diminuite**, ciò ha promosso la **coltivazione commerciale** delle alghe marine su scala mondiale. Nella maggior parte dei casi i metodi di coltivazione sono tradizionali e le superfici coltivate sono notevolmente più piccole rispetto quelle necessarie per le specie terrestri [128].

La coltura delle alghe può essere praticata su **terra, mare, deserto** e persino in un sistema integrato di **acquacoltura**. Le peculiarità di ciascuna tecnologia di coltivazione è strettamente dipendente dal contesto naturale in cui viene attuato [127].

In base all'ambiente di coltivazione, il processo di coltivazione viene eseguito in diverse configurazioni:

- coltivazione sulla terraferma o algocoltura;

[127] Zhang, L., Liao, W., Huang, Y., Wen, Y., Chu, Y., & Zhao, C. (2022). Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00103-2>

[128] Nakhate, P., & van der Meer, Y. (2021). A systematic review on seaweed functionality: A sustainable bio-based material. *Sustainability*, 13(11), 6174. <https://doi.org/10.3390/su13116174>

- acquacoltura;
- maricoltura inshore o offshore;
- acquacoltura integrata;
- coltivazione a livello molecolare.

I sistemi di coltivazione delle alghe o **alghicoltura** comprendono principalmente la categoria delle **microalghe**, tra cui il fitoplancton. Questo perché, pur avendo un ampio uso commerciale e industriale, **le macroalghe** date le loro dimensioni e i requisiti necessari al loro accrescimento, necessitano di uno spazio maggiore e pertanto vengono raccolte direttamente dall'oceano [128].

### 3.3.2 ALGOCOLTURA

La **coltivazione delle alghe sulla terraferma** avviene principalmente in **sistemi chiusi** quali serbatoi d'acqua, stagni, lagune e condutture. L'alghicoltura produce specie di alghe che hanno un **alto valore economico o nutrizionale** (ad esempio, alghe per alimenti, farmaci o bioplastiche). Necessita di un'**attrezzatura semplice** e facilmente accessibile che consente il **monitoraggio** in tempo reale e la **regolazione** efficace delle condizioni di coltura delle alghe, che comprendono nutrienti, luce, valore del pH, anidride carbonica e salinità dell'acqua [127]. Permette il controllo preciso dei **fattori biotici e abiotici** e la biomassa che ne deriva è di maggiore **qualità e quantità grazie a un ambiente di coltivazione controllato**. La composizione biochimica delle alghe è variabile a seconda della stagionalità, dalle condizioni di coltivazione e dall'ambiente circostante.

La coltivazione su terraferma in condizioni controllate permette di eliminare gli **attacchi** da parte di **organismi erbivori** che in ambiente oceanico si ciberebbero delle alghe o delle piante marine. Inoltre, gli **ambienti oceanici** favoriscono la diffusione di **patogeni e parassiti delle alghe**, che in condizioni terrestri controllate non proliferano.

La coltivazione su terraferma in condizioni controllate **consente di mantenere costanti le proprietà** necessarie alla crescita delle specie. Ciò avviene attraverso sistemi di **illuminazione artificiale** o a sistemi di gestione della luce naturale e attraverso la somministrazione di **nutrienti**

[127] Zhang, L., Liao, W., Huang, Y., Wen, Y., Chu, Y., & Zhao, C. (2022). Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00103-2>

[128] Nakhate, P., & van der Meer, Y. (2021). A systematic review on seaweed functionality: A sustainable bio-based material. *Sustainability*, 13(11), 6174. <https://doi.org/10.3390/su13116174>

in modo costante. Inoltre, la velocità di crescita può essere dimezzata attraverso l'**aerazione controllata** che dispensa ossigeno e anidride carbonica in maniera controllata.

La **coltivazione in ambiente terrestre** di microalghe offre una soluzione sostenibile e un'ottima opportunità di **cattura del carbonio**. Attraverso questo sistema di coltivazione si ottiene una cattura diretta di circa 18-20 tonnellate di carbonio per acro, una quantità che supera la produttività di coltivazioni terrestri convenzionali come il mais [129].

L'**algicoltura** delle alghe e delle piante marine consente di **massimizzare la produttività** delle alghe, di **ridurre i rischi di perdita del raccolto e di migliorare la qualità del prodotto finale** [127].

Negli ultimi decenni, è stato anche possibile utilizzare le **acque sotterranee alcaline saline** per la coltivazione di alghe, utilizzando le **risorse esistenti** di acqua salata a basso costo e ad alta efficienza economica. Con ulteriori ricerche e implementazioni su larga scala, sistemi di coltura circolare possono essere sviluppati al fine di ridurre i costi e diventare soluzioni cruciali per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità globale [127].

### 3.3.3 ACQUACOLTURA

L'**acquacoltura** consiste nella produzione di alghe, in **ambienti marini confinati in condizioni controllate dall'uomo**. L'acquacoltura avviene in **acque basse**, a una profondità che varia dai 5 ai 50 metri in zone costiere, e costituisce il principale metodo di coltivazione di microalghe e piante marine.

L'acquacoltura si divide in diverse fasi. Innanzitutto è necessario **selezionare il sito** che sarà influenzato dal tipo di alga che si coltiva. Le alghe marine richiedono **acqua salata**, mentre altre specie necessitano **acqua dolce** di laghi o stagni. Inoltre, le acque da selezionare dovranno essere **ricche di nutrienti**, ben ossigenate e con temperature e salinità adeguate.

Successivamente, si passa alla **semina di spore o frammenti di alghe**. Il substrato in cui avviene la semina può essere **naturale o artificiale** come reti, corde, telai o vasche.

La **crescita delle specie marine** avviene in condizioni di illuminazione e

[127] Zhang, L., Liao, W., Huang, Y., Wen, Y., Chu, Y., & Zhao, C. (2022). Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00103-2>

[129] Augyte, S., Sims, N. A., Martin, K., Van Wychen, S., Panczak, B., Alt, H., Nelson, R., & Laurens, L. M. L. (2023). Tropical red macroalgae cultivation with a focus on compositional analysis. *Plants*, 12(20), 3524. <https://doi.org/10.3390/plants12203524>



di nutrienti controllati, al fine di accelerare la produzione. Infine, **la raccolta** avviene manualmente o tramite macchinari, per poi sottoporre le biomasse a processi di lavorazione appropriati a seconda dell'uso.

Esistono **diverse tipologie di acquacoltura** a seconda della densità di produzione e dell'ambiente, tra queste troviamo **la maricoltura e i sistemi integrati di acquacoltura**.

La **maricoltura** è una tipologia di acquacoltura che utilizza **zattere o gabbie galleggianti** in mare o impianti costieri a terra per le coltivazioni delle specie marine. A seconda della distanza dalla costa, si distinguono impianti *offshore* o *inshore*.

**Gli impianti offshore**, ovvero **lontani dalle coste**, necessitano di attrezzature con requisiti specifici e sono costosi nella manutenzione. Inoltre, essendo situati al largo in acque profonde sono fortemente influenzati da **fenomeni naturali** come le forti correnti di vento.

**Gli impianti inshore**, ovvero **sottocosta**, sono meno diffusi e richiedono una meticolosa valutazione e selezione delle zone marine e delle specie di alghe o piante marine da sottoporre alla coltivazione. Inoltre, sono **maggiormente impattanti** dal punto di vista ambientale sugli ecosistemi rispetto agli impianti *offshore* [127].

Con **sistema integrato di acquacoltura** si intende che **diverse specie marine** sia vegetali che animali vengono **coltivate insieme** utilizzando la stessa fonte d'acqua.

**L'acquacoltura integrata** segue un approccio basato sulle leggi che alimentano gli **ecosistemi**: un tipo di sistema è l'*Aquaponics*, in cui pesci e piante sono coltivati insieme e l'**acqua ricca di nutrienti** risultante dalle scorie dei **pesci**, invece di lasciare il sistema, viene utilizzata come **fertilizzante per le piante**.

Altri processi ispirati dai sistemi integrati di acquacoltura sono: l'**Acquacoltura Climaticamente Intelligente** (*Climate Smart Aquaculture* e *CSA*) e l'**Acquacoltura Multitrofica Integrata**. Il primo svolge un ruolo importante nella **riduzione della vulnerabilità** del settore e nel

---

[127] Zhang, L., Liao, W., Huang, Y., Wen, Y., Chu, Y., & Zhao, C. (2022). Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00103-2>

**rafforzamento della sua resilienza ai cambiamenti climatici**. Il secondo è un nuovo processo di coltivazione dei pesci al fianco di molluschi come le ostriche e di piante marine come le microalghe [130].

I vantaggi dell'acquacoltura comprendono: una maggiore **sostenibilità**, in quanto non è necessario utilizzare fertilizzanti chimici e pesticidi per accelerare la crescita delle alghe o piante marine e un **supporto alla biodiversità**, in quanto, gli impianti galleggianti fungono da habitat per diverse specie marine [127].

Ricerche più recenti, condotte nell'ultimo decennio, hanno spostato l'attenzione sulla coltivazione delle alghe a **livello molecolare** al fine di sfruttare il potenziale economico delle specie vegetali marine.

Il processo è diviso in quattro fasi: **coltivazione di piante giovani, coltivazione di piante adulte, raccolta e trasformazione finale** [Tab. 3.1]

---

[127] Zhang, L., Liao, W., Huang, Y., Wen, Y., Chu, Y., & Zhao, C. (2022). Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00103-2>

[130] Al Busaidi, R. (2021, 19 agosto). What is integrated aquaculture and how can it help feed the world? *weforum*. <https://www.weforum.org/stories/2021/08/integrated-aquaculture/>

|                                 | ALGOLTURA  | ACQUACOLTURA  |
|---------------------------------|--|---|
| <b>ORGANISMI COLTIVATI</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Si concentra sulle <b>alghe (microalghe e macroalghe)</b> utilizzate per biocarburanti, alimenti, integratori, cosmetici, fertilizzanti, e per sequestrare CO<sub>2</sub>.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Si occupa di <b>organismi acquatici e piante acquatiche</b> per consumo alimentare, ripopolamento ittico o prodotti commerciali.</li> </ul>                            |
| <b>AMBIENTE DI COLTIVAZIONE</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Serbatoi chiusi o vasche.</li> <li>Lagune o aree marine con supporti per macroalghe. Richiede esposizione alla luce per la fotosintesi.</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vasche a terra, stagni o recinti in mare aperto.</li> <li>Gabbie galleggianti.</li> <li>Non sempre la luce è un fattore critico (dipende dagli organismi).</li> </ul>  |
| <b>NUTRIZIONE</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizzano <b>nutrienti</b> come azoto e fosforo insieme alla luce.</li> <li>Alcune possono essere coltivate usando zuccheri.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Gli animali sono eterotrofi, quindi richiedono alimenti (es. pellet, plancton, piccoli pesci) che rappresentano un costo elevato.</li> </ul>                           |
| <b>IMPATTO AMBIENTALE</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Migliora l'ambiente assorbendo CO<sub>2</sub> e riducendo l'acidificazione degli oceani.</li> <li>Può essere usata per trattare i rifiuti.</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Migliora l'ambiente assorbendo CO<sub>2</sub> e riducendo l'acidificazione degli oceani.</li> <li>Può essere usata per trattare i rifiuti.</li> </ul>                  |
| <b>PRODOTTI FINALI</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Biocarburanti (biodiesel, bioetanolo).</li> <li>Superfood (es. spirulina, nori).</li> <li>Additivi alimentari, cosmetici, fertilizzanti e medicinali.</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pesci, frutti di mare e superfood a base di alghe e piante marine per il consumo umano.</li> <li>Ripopolamento di specie.</li> </ul>                                   |
| <b>TECNOLOGIE E COSTI</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Necessita di <b>fotobioreattori</b> o strutture per alghe marine.</li> <li>I costi possono essere elevati per la raccolta e lavorazione.</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Richiede <b>infrastrutture</b> come gabbie, serbatoi o sistemi di filtrazione.</li> <li>Costi variabili, ma i mangimi rappresentano una voce significativa.</li> </ul> |

[Tab. 3.1] Differenze tra algocoltura e acquacoltura.

### 3.3.4 ESTRAZIONE COMPOSTI BIOLOGICAMENTE ATTIVI

Le alghe contengono una vasta gamma di **composti biologicamente attivi** che vengono utilizzati come **alimenti nutrizionali, additivi alimentari, ome combustibili** o materie prime per carburanti. A partire da questi composti attivi, tra i quali troviamo **proteine, lipidi, carotenoidi, pigmenti, fenoli e polisaccaridi**, è possibile sfruttare la biomassa vegetale marina **per la produzione di biomateriali** impiegabili nelle diverse industrie [131].

Gli estratti di alghe possono essere classificati in diverse categorie, a seconda della **specie di alghe** (micro e macroalghe), **tecnica di estrazione** (tradizionale e nuova), **tipologia del composto biologicamente attivo estratto, proprietà degli estratti algali** (antibatterico, antimicotico, antiossidante, antivirale, antinfiammatorio, ecc.), **possibile applicazione degli estratti algali ottenuti**.

La **preparazione per l'estrazione** può essere considerata sotto due aspetti.

Il primo è il **pretrattamento** della biomassa vegetale marina che viene raccolta dai bacini idrici naturali (d'acqua salata o dolce). In questo caso, il processo di pretrattamento prevede il **lavaggio accurato** della biomassa più volte con acqua (subito dopo la raccolta) **per rimuovere le impurità** e le particelle di sabbia aderenti.

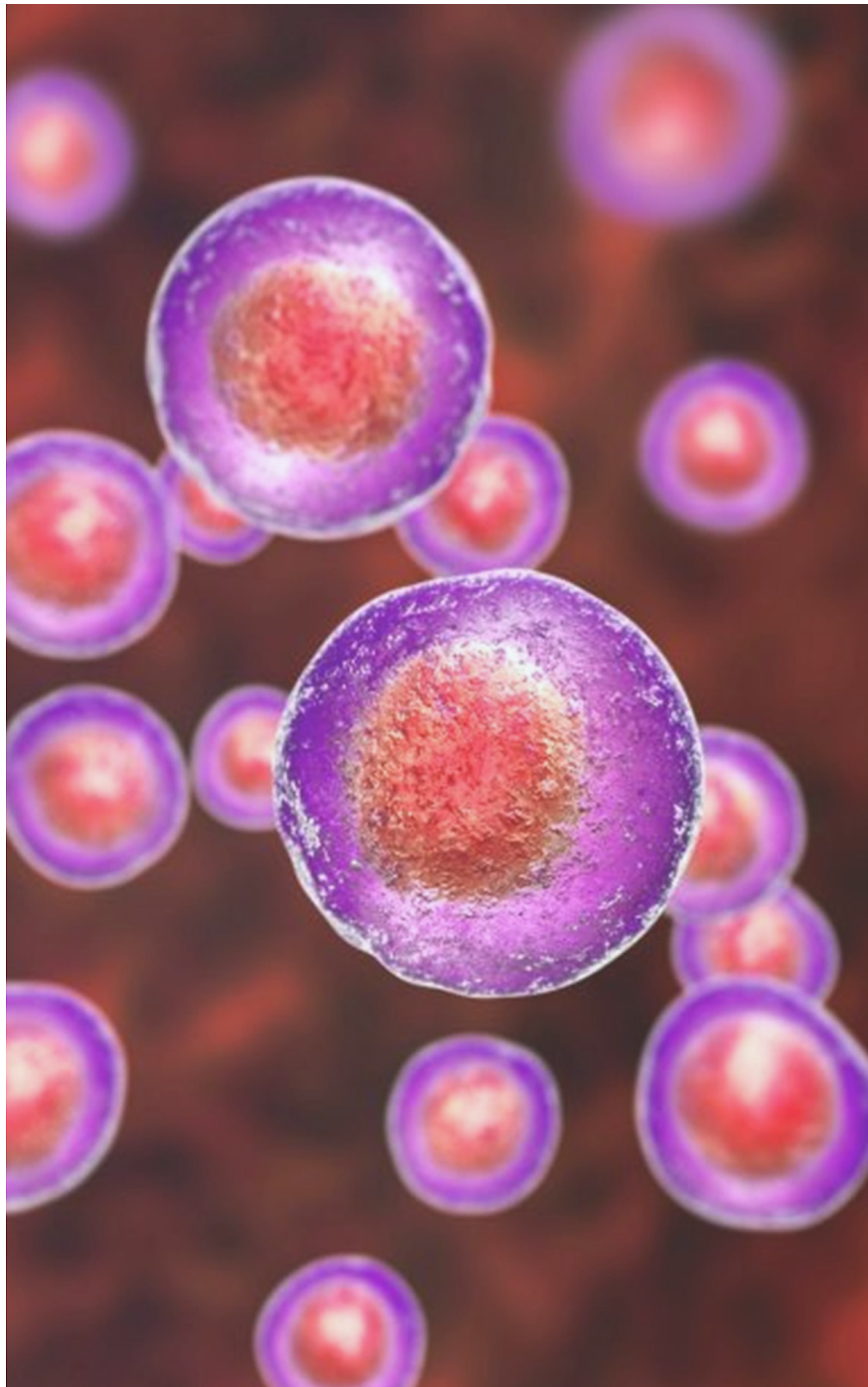
Nella fase successiva, le alghe raccolte vengono essiccate e macinate per ottenere un campione omogeneo.

Per l'**essiccazione** di macro o micro alghe o piante marine si possono utilizzare due metodi:

- **liofilizzazione**, il campione viene lavato con acqua e liofilizzato a una temperatura di 253,15 K per diversi giorni;
- **essiccamento a bassa temperatura** (vicino ai 35 °C) al fine di evitare la degradazione dei composti termolabili [131].

Il secondo aspetto riguarda il processo di **estrazione**. Il pretrattamento della biomassa mira a **migliorare la resa estrattiva**. Nella fase di pretrattamento, le **cellule sono distrutte**, rendendo i composti biologicamente attivi più

[131] Michalak, I., & Chojnacka, K. (2015). Algae as production systems of bioactive compounds. Eng. Life, 15(160-176).



[Fig. 3.3] *Lisi cellulare.*

disponibili. La **scelta del metodo appropriato** dipende dalla **natura del composto** estratto e dalle **condizioni di processo** (influenza del solvente, pH, temperatura, pressione) che potrebbero avere un'influenza significativa sul risultato del processo di estrazione.

I **metodi di rottura cellulare** possono essere:

- **Meccanici**, utilizzati industrialmente, includono la fresatura, estrusione ad alta pressione e in misura minore ultrasuoni;
- **Termici**, con il duplice scopo di rompere e lisare le cellule rimuovendo l'acqua residua e viene comunemente eseguito in essiccatori a tamburo alimentati con gas naturale;
- **Ultrasonici**, comprimono ripetutamente e rarefanno le onde che provocano delle cavità o microbolle che collassando creano forze di taglio che rompono le pareti cellulari e membrane [131].

Un'altra soluzione per la rottura delle pareti cellulari algali è l'**omogeneizzazione** della biomassa. L'**omogeneizzatore** viene utilizzato per pretrattare i materiali e per rompere le cellule algali grazie all'aumento della temperatura.

L'estrazione dei componenti biologicamente attivi delle alghe avviene tramite **tecniche convenzionali** come l'estrazione in acqua con solventi o idrolisi in condizioni alcaline, neutre o acide, oppure tramite **tecniche nuove** e innovative [131].

Gli estratti algali ottenuti mediante **estrazione in acqua** (ebollizione, autoclavaggio, omogeneizzazione) hanno il potenziale di applicazione **nell'agricoltura moderna** come fertilizzanti o biostimolanti vegetali. Questi estratti hanno un effetto positivo sulla **salute, la crescita e la resa di molte piante**. Ad esempio, i minerali presenti negli estratti di alghe marine possono svolgere un ruolo importante nella nutrizione e nella fisiologia delle piante.

Gli estratti di alghe marine possono essere anche essere utilizzati come **additivi per mangimi animali, per il miglioramento delle prestazioni di**

---

[131] Michalak, I., & Chojnacka, K. (2015). Algae as production systems of bioactive compounds. Eng. Life, 15(160-176).

**crescita degli animali e per la riduzione dei batteri patogeni.** L'attenzione principale è rivolta all'applicazione degli estratti delle macroalghe brune (*Phaeophyta*) per l'alimentazione dei suini. Anche questi estratti vengono ricavati tramite **estrazione con solventi**, i solventi usati possono essere di natura acquosa, per estrarre polissaccaridi idrosolubili o solventi organici per estrarre composti lipidici o fenolici. [131]

L'impiego di **nuove tecniche di estrazione**, quali l'estrazione supercritica del fluido (SFE), l'estrazione assistita a microonde (MAE), l'estrazione assistita da ultrasuoni (UAE), l'estrazione assistita da enzimi (EAE), l'estrazione pressurizzata dei liquidi (PLE), può fornire un'alternativa ai metodi tradizionali che presentano diversi inconvenienti. Queste tecniche sono state utilizzate con successo per l'estrazione di composti biologicamente attivi applicabili nelle industrie alimentari e farmaceutiche.

**Estrazione supercritica del fluido.** Nell'SFE, i solventi vengono utilizzati a **temperature e pressioni** superiori ai loro punti critici. In questo stato, la **densità del fluido** è simile a quella di un **liquido**, le cui caratteristiche sono variabili modificando i valori di temperatura e pressione [131].

Come **solvente**, viene utilizzata principalmente la CO<sub>2</sub>, che è considerata un solvente **non tossico e non corrosivo**, facilmente **separabile dall'estratto senza lasciare residui nocivi**. Inoltre, la CO<sub>2</sub> è economica, disponibile nell'ambiente, inerte al prodotto, non infiammabile e **mostra una grande affinità per i composti volatili** [131].

**Estrazione assistita a microonde.** Nel MAE, il microonde induce la **vibrazione delle molecole d'acqua** all'interno della cellula. Le vibrazioni provocano l'**aumento della temperatura** dei liquidi intracellulari. Segue l'evaporazione dell'acqua e la pressione esercitata sulle pareti delle cellule. Quando la parete cellulare si rompe, il contenuto intracellulare viene rilasciato nel mezzo [132].

**L'estrazione a ultrasuoni.** In questo metodo, **le onde sonore migrano** attraverso il mezzo e inducono **variazioni di pressione** che comportano la disgregazione delle cellule in maniera **efficace e rapida**, senza andare

[131] Michalak, I., & Chojnacka, K. (2015). Algae as production systems of bioactive compounds. *Eng. Life*, 15(160-176).

[132] Estrazione di alghe a ultrasuoni per integratori nutrizionali. (s.d.). hielscher. <https://www.hielscher.com/it/ultrasonic-algae-extraction-for-nutritional-supplements.htm>

ad influenzare i composti bioattivi. I vantaggi dell'estrazione a ultrasuoni sono **l'alta resa, l'affidabilità, la sicurezza, la semplicità e il rispetto dell'ambiente** [132].

**Estrazione assistita da enzimi.** Per estrarre i composti biologicamente attivi dalla biomassa delle alghe, in alcuni casi è necessario applicare una **miscela ben definita di enzimi, poiché la parete cellulare algale** è chimicamente e strutturalmente più eterogenea rispetto ad altre cellule (per esempio quelle delle piante terrestri). L'EAE viene eseguita in **condizioni moderate** che proteggono i composti biologicamente attivi dalla loro degradazione. Il vantaggio di EAE è che gli enzimi comuni che vengono utilizzati nell'industria alimentare (proteasi neutra e alcalina, α-amilasi, cellulasi e pepsina) possono venire utilizzati.

**L'estrazione pressurizzata in liquido.** Questo metodo rispetto ai processi di estrazione tradizionali, comporta una **maggiore selettività, tempi di estrazione più brevi, processi di estrazione più rapidi e minori quantità di solventi organici**. Nel PLE, si applica l'uso combinato di **alte pressioni e temperature**. In queste condizioni, i liquidi possono essere utilizzati a temperature superiori al loro normale punto di ebollizione [131].

### 3.3.5 BIOPLASTICHE DA ALGHE: TECNICHE DI LAVORAZIONE

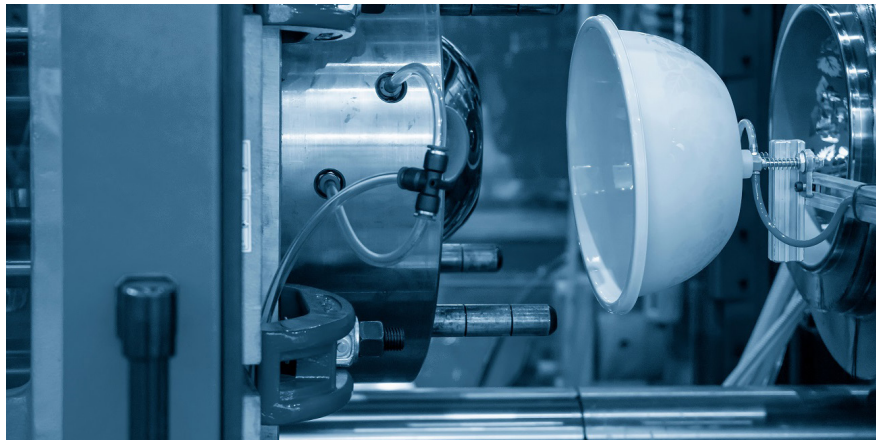
I **polisaccaridi** nelle specie vegetali marine mostrano una **processabilità e degradabilità estremamente eccellenti**, che forniscono condizioni favorevoli per la costruzione di **materiali a base di alghe o piante marine** che possono essere utilizzati come sostituti **delle plastiche a base di petrolio**. La **bioplastica da biomassa vegetale marina** è ampiamente utilizzata nel settore della tecnologia alimentare, della microbiologia, della biotecnologia e in medicina.

La bioplastica da alghe o piante marine, viene principalmente trasformata sotto forma di **film sottile o rivestimento**, con impieghi diffusi principalmente nel **settore del packaging**.

Il processo inizia con la **raccolta** delle risorse sulla spiaggia, vengono poi pulite con acqua dolce più volte per rimuovere detriti indesiderati e particelle di sabbia. In seguito, vengono fatte asciugare e seccare, infine vengono

[131] Michalak, I., & Chojnacka, K. (2014). Algal extracts: Technology and advances. *Eng. Life*, 14(581-591).

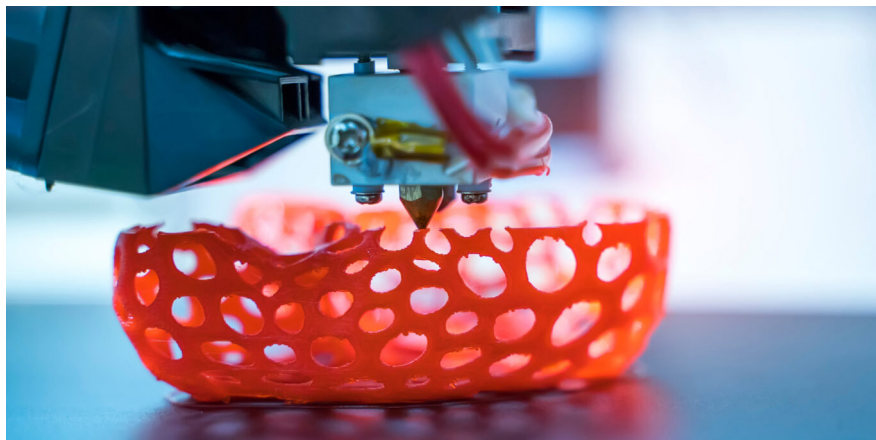
[132] Estrazione di alghe a ultrasuoni per integratori nutrizionali. (s.d.). hielscher. <https://www.hielscher.com/it/ultrasonic-algae-extraction-for-nutritional-supplements.htm>



[Fig. 3.4] *Packaging protettivi.*



[Fig. 3.5] *Estrusione.*



[Fig. 3.6] *Stampa 3D.*

conservate in sacchetti ermetici con gel di silice. Esistono vari metodi per la lavorazione dei biofilm, che variano in base al **tipo di polimero, ai plastificanti, ai rinforzi e al tipo di applicazioni** [133].

I procedimenti maggiormente comuni per la **fabbricazione di film sottili** a partire da biomasse marine come microalghe, macroalghe o piante marine sono le tecniche di colata, che comportano la **dispersione di nanoparticelle in soluzioni polimeriche** e la successiva colata del film con tecniche standard di rivestimento.

Dopo un opportuno trattamento di estrazione, **si disciolgono i composti organici** come i polisaccaridi (ad esempio, alginati o carragenani) in acqua o solventi compatibili per formare la soluzione polimerica.

La funzione delle **nanoparticelle** è quella di conferire alla soluzione polimerica nuove proprietà specifiche, ad esempio migliorare la resistenza meccanica o la conduttività elettrica.

Le diverse tipologie di colata comprendono:

- **Spin coating**, la soluzione polimerica è sottoposta a forze centrifughe che distribuiscono il materiale omogeneamente sul substrato, formando un film sottile il cui spessore è regolabile.
- **Dip coating**, il substrato viene immerso nella soluzione polimerica e successivamente estratto a velocità controllata, contemporaneamente alla deposizione del film.
- **Casting**, la soluzione polimerica viene colata sul substrato e lasciata asciugare, una volta asciutta sarà possibile prelevare il film [134].

In queste tecniche, il **solvente evapora** durante il processo di fusione portando la formazione di film compositi sottili. La composizione e struttura del film è variabile e dipende dalla **velocità di evaporazione del solvente e dalla temperatura di essiccazione**. Per ottenere film compositi omogenei, sono necessarie una buona solubilità del polimero nel solvente selezionato e un'eccellente dispersione delle nanoparticelle nella soluzione polimerica [134].

**Le applicazioni** comprendono **packaging protettivi** [Fig. 3.4] utilizzabili

[133] Bukhari, N. T. M., Rawi, N. F. M., Hassan, N. A. A., Saharudin, N. I., & Kassim, M. H. M. (2023). Seaweed polysaccharide nanocomposite films: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125486. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125486>

[134] Matyjaszewski, K., & Möller, M. (A cura di). (2012). *Polymer science: A comprehensive reference*. Elsevier Science.

sia in **campo alimentare che biomedico**. Infatti, le pellicole con uno spessore che varia dal nanometro al micrometro svolgono un ruolo chiave nel **migliorare l'estetica** di un prodotto, nel **proteggerlo dalle influenze ambientali**, come l'umidità o raggi UV o **dagli impatti meccanici** e nell'introdurre nuove funzionalità. Inoltre, sono biodegradabili e rappresentano un'alternativa sostenibile ai polimeri sintetici da fonte non rinnovabile.

Un'altra tecnica di lavorazione per trasformare le alghe o piante marine in fogli sottili o film è la **compressione a caldo**. Nella compressione a caldo, la **biomassa vegetale essiccata viene prima polverizzata** attraverso tecniche di essiccazione termica controllata, e infine attraverso pressatura ad alta temperatura. Il prodotto finale viene utilizzato nel settore dell'imballaggio [134].

Le alghe e le piante marine hanno anche potenziale per essere trasformate in **materie plastiche tridimensionali**. Le bioplastiche a base di biomassa vegetale marina vengono prodotte estraendo polisaccaridi come l'**alginato e l'agar**. Ciò avviene tramite tecniche di lavorazione quali: lo stampaggio a iniezione, l'estrusione e stampa 3D.

**Stampaggio a iniezione.** Lo stampaggio a iniezione è un metodo ampiamente utilizzato per produrre materiali plastici da fonte rinnovabile e biodegradabile. Il processo consiste nel **ammorbidimento della materia prima** mediante riscaldamento e nella sua introduzione attraverso **pressione** all'interno di uno **stampo**. Normalmente è necessario premiscelare i polisaccaridi e i plastificanti con un miscelatore [135].

Il processo può essere suddiviso in **quattro fasi**: nella prima fase, il materiale viene riscaldato alla temperatura che consente al materiale di fluire; nella seconda fase, si procede con **l'iniezione**, un pistone applica una certa pressione che spinge il materiale nella **cavità dello stampo** alla temperatura di stampaggio; quindi, una volta che la miscela è nella cavità dello stampo si mantiene una **temperatura e una pressione costante**, al fine di ottenere una materia plastica stabile; infine, lo stampo viene raffreddato per poter manipolare ed estrarre il campione [135].

---

[134] Matyjaszewski, K., & Möller, M. (A cura di). (2012). Polymer science: A comprehensive reference. Elsevier Science.

Questa tecnica è molto versatile, poiché si possono ottenere prodotti di **forme diverse**. Con questo metodo sono state prodotte **bioplastiche a base di alghe brune** *Rugulopteryx okamurae* e **compositi a base di acido polilattico**.

**Estrusione [Fig. 3.5].** L'estrusione è un metodo ampiamente utilizzato per la lavorazione dei polimeri. Si tratta di un **cilindro metallico**, capace di riscaldarsi, che alloggia una o **due viti interne**, a seconda che si tratti di un estrusore monovite o bivate, che trasporta il polimero da una tramoggia alla matrice d'uscita. La vite genera pressione e forze di taglio in tutto il cilindro, che viene riscaldato attraverso il riscaldamento per attrito.

Per quanto riguarda il trattamento delle macroalghe e dei loro sottoprodotti, come l'**alginato**, per produrre bioplastiche mediante estrusione, si utilizzano di solito due diversi modelli di lavorazione: **umido e secco**. La differenza tra l'estrusione a umido e a secco risiede nelle **condizioni di umidità e temperatura** durante il processo [135].

**L'estrusione a umido** viene eseguito ad **alta umidità e bassa temperatura**, seguito da una fase di reticolazione per rafforzare il rivestimento.

**L'estrusione a secco** viene eseguita a **temperature molto elevate e a bassi livelli di umidità**, come avviene per l'estrusione convenzionale dei polimeri termoplastici. In questo caso, la **biomassa macroalgale** o i polimeri derivati sono miscelati con polimeri termoplastici convenzionali, ma il prodotto risultante non è riciclabile e compromette la biodegradabilità [135].

**Stampa 3D [Fig. 3.6].** Per la progettazione di biomateriali per la stampa 3D viene sfruttata la capacità dell'alginato di gelificare nonostante le variazioni di temperatura. I **gel di alginato** possono essere **essiccati e poi reidratati** convenientemente quando necessario, in modo che possano essere impiegati come materie prime per la formazione di nuovi materiali bioplastici.

Un gruppo di ricercatori della *North Carolina State University* ha sfruttato questa capacità dell'alginato, sviluppando una nuova classe di **idrogel** ad alte prestazioni per la stampa 3D, a partire dalle **alghe marine**. Con

---

[135] Santana, I., Felix, M., & Bengoechea, C. (2024). Seaweed as basis of eco-sustainable plastic materials: Focus on alginates. *Polymers*, 16(12), 1662. <https://doi.org/10.3390/polym16121662>

materiali idrogel si intendono reti tridimensionali di polimeri idrofili, in grado di assorbire e trattenere grandi quantità di acqua o altri fluidi senza dissolversi.

Al fine di migliorare determinate caratteristiche del materiale come ad esempio l'elasticità o la resistenza ad urti, è possibile l'utilizzo di rinforzi in fibra, che possono aiutare con il controllo della rigidità e allo stesso tempo incoraggiare l'attività cellulare. Tuttavia, i materiali di riempimento diversi dalla matrice in idrogel possono provocare interfacce sollecitate, che possono causare crepe nel materiale.

Gli alginati utilizzati nell'idrogel derivano da macroalghe e microalghe, e sono comunemente usati per la **medicazione di ferite** a causa delle loro qualità curative. In quanto tale, gli scienziati ritengono che il materiale stampato in 3D, possa essere utilizzato per un'eccellente fasciatura ad alta resistenza o per la somministrazione di farmaci. Altre potenziali applicazioni comprendono il **settore alimentare e cosmetico** [137].

La stampa 3D di biomateriali come gli alginati è oggetto di ricerche sempre più frequenti nel settore accademico. Ricercatori della *Delft University of Technology* hanno utilizzato una nuova tecnica di biostampa 3D per creare un materiale artificiale costituito da cellule di alghe. La ricerca ha coinvolto la stampa 3D di microalghe direttamente in una cellulosa batterica non vivente, un composto organico prodotto da batteri per creare un **materiale resistente e flessibile capace di fotosintesi**.

La microalga vivente può essere depositata sulla cellulosa batterica con risoluzioni millimetriche. Poiché la cellulosa batterica è **flessibile, resistente e forte in natura**, il materiale risultante può essere attorcigliato e schiacciato senza mai perdere la sua forma originale. Inoltre, è **completamente biodegradabile e facile da produrre su larga scala**.

Con i depositi di alghe all'interno, il materiale è in grado di alimentarsi da solo, attraverso la fotosintesi per un periodo di diverse settimane.

Il team di ricercatori della *Delft University* è stato in grado di rigenerare il materiale per far crescere campioni più grandi, utilizzando solo la coltura originale. Anche senza alcuna sorgente luminosa, il materiale biostampato è in grado di sopravvivere stabilmente per almeno tre giorni. [138]

[137] Sertogu, K. (2021, 3 giugno). Scientists develop new high-strength, seaweed-based hydrogel for 3d printing. 3dprintingindustry. <https://3dprintingindustry.com/news/scientists-develop-new-high-strength-seaweed-based-hydrogel-for-3d-printing-190861/>

[138] Sertogu, K. (2021a, 4 maggio). Delft researchers use 3d printing to create algae-based artificial leaves for space missions. 3dprintingindustry. <https://3dprintingindustry.com/news/delft-researchers-use-3d-printing-to-create-algae-based-artificial-leaves-for-space-missions-189478/>

Questo **biomateriale stampato in 3D** è stato impiegato per la creazione di foglie artificiali, ovvero strutture che imitano le foglie reali **convertendo l'acqua e l'anidride carbonica in ossigeno ed energia**. Sfruttando la capacità delle alghe di immagazzinare energia e zuccheri, è anche possibile la **conversione di biocarburanti** [138].

### 3.3.6 FERMENTAZIONE E BIOTRASFORMAZIONE

L'uso delle microalghe come nuovo campo per la produzione ecologicamente sostenibile di prodotti e combustibili a base biologica è un argomento di attuale interesse scientifico e tecnologico. Questi microrganismi hanno un'**elevata capacità di rimozione degli inquinanti, un importante contenuto lipidico per la produzione di biocarburanti** e polimeri biodegradabili, e importanti molecole per il settore farmaceutico e alimentare. Tra le tecnologie più comuni troviamo:

#### Fermentazione

La fermentazione utilizza **microrganismi come batteri, lieviti e funghi** per convertire zuccheri, lipidi e altre biomasse in molecole utili alla produzione di energia, bioplastiche, alimenti e chimica fine [139].

#### Pirolisi e gassificazione

La pirolisi è un processo di **scomposizione termochimica**, ottenuta attraverso l'applicazione di calore e in completa assenza di ossigeno. La gassificazione avviene a temperature elevate ma al contrario della pirolisi, in presenza di una percentuale sotto-stoichiometrica di ossigeno o vapore. Questi processi termochimici convertono la biomassa in bio-oli o gas di sintesi, utili come **energia o materia prima per combustibili** avanzati [139].

#### Estrazione e conversione

L'estrazione e la conversione sono tecniche per estrarre oli, proteine e composti bioattivi da microalghe o biomassa lignocellulosica. Questo processo sfrutta fotobioreattori, congegni in grado di rilasciare importanti quantità di ossigeno nell'atmosfera, contribuendo alla riduzione dei gas serra [139].

[138] Sertogu, K. (2021a, 4 maggio). Delft researchers use 3d printing to create algae-based artificial leaves for space missions. 3dprintingindustry. <https://3dprintingindustry.com/news/delft-researchers-use-3d-printing-to-create-algae-based-artificial-leaves-for-space-missions-189478/>

[139] Hashmi, Z., Bilal, M. R., Fahrurrozi, Zaini, J., Lim, J. W., & Wibisono, Y. (2023). Recent Progress in Microalgae-Based Technologies for Industrial Wastewater Treatment. 311.

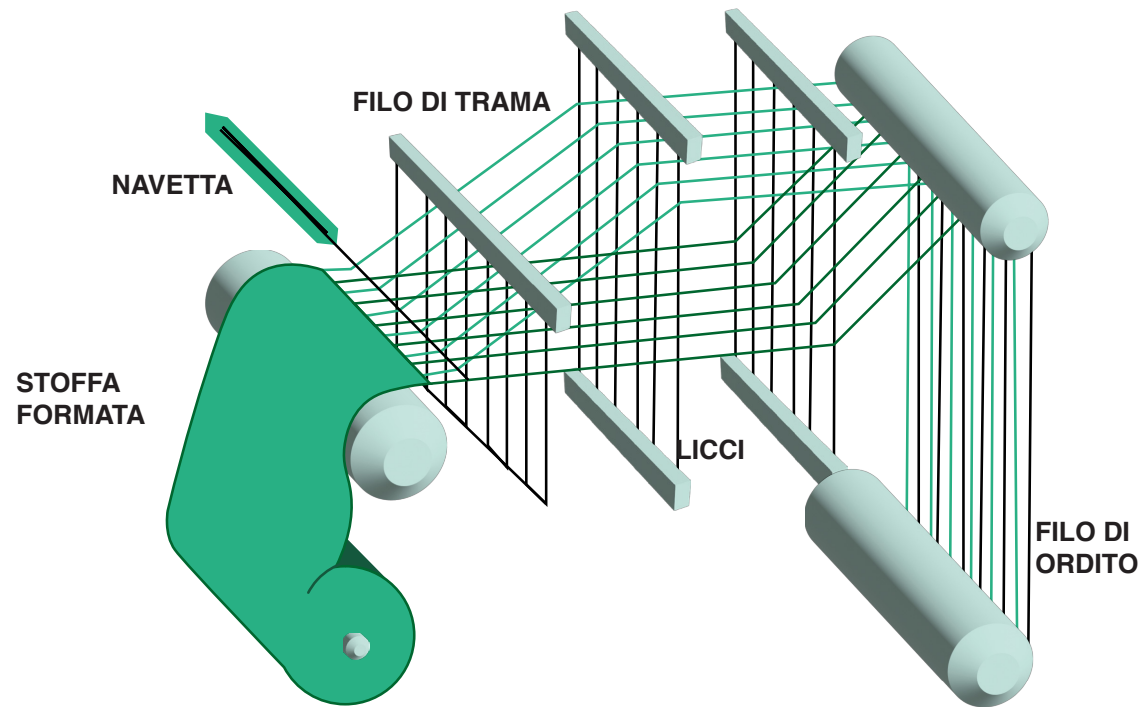
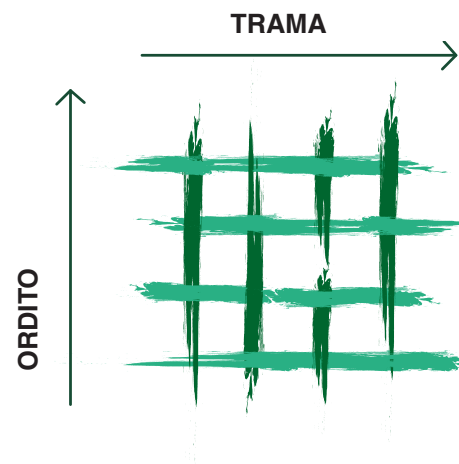


Fig. 3.7] Il telaio e le sue componenti.



[Fig. 3.8] Rappresentazione di trama e ordito,

### Processi enzimatici e catalitici

Questi processi impiegano enzimi o catalizzatori per trasformare biomasse complesse in bioplastiche, solventi e materiali chimici [139].

### 3.3.7 TESSITURA E FILATURA

Le alghe hanno proprietà uniche che le rendono particolarmente adatte per l'industria tessile. Crescono dalle **40 alle 60 volte più velocemente delle piante terrestri e non richiedono terreni agricoli o acqua dolce** per svilupparsi, riducendo così il consumo di risorse naturali. Inoltre nelle piante marine e nelle alghe risiedono numerose **proprietà nutritive** che si trasferirebbero all'oggetto creato.

Mentre l'industria della moda continua ad espandersi, è quindi fondamentale adottare un approccio sistemico e lungimirante per mitigare gli impatti negativi sull'ambiente. Le alghe e piante marine, con il loro potenziale di crescita rapida e il basso impatto ambientale, rappresentano una risorsa cruciale per costruire un futuro più sostenibile e circolare per il settore tessile [140].

**Il tessuto a base di alghe** è stato scoperto più di un secolo fa, durante la Prima Guerra Mondiale, quando i produttori tessili sperimentavano diverse fonti di materiali per realizzare tessuti. L'alga Knotted Wrack è stata utilizzata per produrre uno dei primi tessuti di questo tipo. Tuttavia, a causa della mancanza di una fonte commerciale di alginati puri, i primi filati di alghe erano irregolari nelle dimensioni e nelle proprietà.

La creazione di filati a partire da biomassa vegetale marina vede la **disidratazione, la polverizzazione e infine l'integrazione della risorsa** con la cellulosa in un processo chimico per la creazione di fibre morbide, leggere e confortevoli [141].

### 3.3.8 COMPOSTAGGIO E RIGENERAZIONE

Il **compostaggio dei rifiuti marini**, in particolare delle alghe, sta emergendo come una soluzione ecologica ed efficiente per affrontare il problema dell'accumulo di alghe sulle spiagge e nelle acque costiere. Le

[140] I biomateriali e la nuova frontiera dei materiali viventi: Le alghe | Salone del Mobile. (s.d.). Recuperato 1 dicembre 2024, da <https://www.salonemilano.it/it/articoli/i-biomateriali-e-la-nuova-frontiera-dei-materiali-viventi-le-alghe>

[141] Cowley, L. (2020, novembre 13). What is Seaweed Fabric? Fabric from the Ocean | Eco World. <https://ecoworldonline.com/what-is-seaweed-fabric-fabric-from-the-ocean/>



alghe marine, sebbene siano un elemento naturale dell'ecosistema marino, quando si **accumulano in grandi quantità** sulle spiagge possono diventare un problema di tipo antropico. Tuttavia, queste stesse alghe possono essere trasformate in risorse attraverso il **compostaggio**, offrendo un vantaggio sia per la gestione dei rifiuti che per la produzione di compost ricco di nutrienti.

L'aggiunta di alghe al **compost** può migliorare il suo **valore nutrizionale e accelerare il processo di decomposizione**. Uno degli impieghi del compost arricchito con alghe è quello di **migliorare la qualità del suolo e sostenere la crescita delle piante** [142]. Infatti, e specie vegetali marine, essendo ricche di nutrienti come azoto, fosforo e potassio contribuiscono a migliorare la ritenzione idrica del compost, un vantaggio per i terreni aridi e per la stabilità a lungo termine dello stesso.

Le alghe e le piante marine non sono solo utili nel compostaggio, ma rivestono un ruolo fondamentale nella **rigenerazione ambientale**. Le loro capacità di **assorbire inquinanti e di arricchire il suolo** le rende risorse ecologiche vitali per il **recupero di ecosistemi danneggiati o impoveriti**. La biomassa algale può essere utilizzata per rinforzare la struttura del suolo in aree vulnerabili, prevenendo l'erosione e migliorando la capacità di ritenzione dell'umidità nel terreno. L'uso delle alghe per il miglioramento della qualità dell'acqua e dei suoli degradati rappresenta un'importante applicazione, trasformando le alghe da un rifiuto ambientale in una risorsa per la **salute ecologica e la rigenerazione degli ecosistemi terrestri e marini** [143].

---

[142] Ascophillum nodosum Bioki, estratto naturale. (s.d.). Recuperato 10 dicembre 2024, da <https://www.bioki.it/negozi/alghe-in-agricoltura>

[143] How to clean seaweed from beaches: Dry it and use the biomass for energy. (s.d.). ScienceDaily. Recuperato 10 dicembre 2024, da <https://www.sciencedaily.com/releases/2013/05/130503094138.htm>

### 3.3.9 LETTURA CRITICA

In conclusione, questo capitolo ha approfondito il promettente ambito dei **biomateriali derivati da piante e alghe marine**, evidenziandone il potenziale e le molteplici applicazioni. **L'analisi degli impieghi** ha permesso di comprendere come la proprietà intrinseca di queste risorse marine valorizzino i prodotti e contribuiscano a ridurre l'impatto ambientale, trasformando materiali che una volta venivano considerati di scarto in elementi chiave per lo sviluppo di progetti sostenibili. **Lo studio delle tecniche di lavorazione**, invece, ha permesso di contestualizzare i metodi di produzione di queste risorse.

Il percorso esplorato in questo capitolo, non solo sottolinea l'importanza di integrare la sostenibilità nei processi produttivi e progettuali, ma anche l'opportunità di pensare a **nuove materie prime** per lo sviluppo di prodotti, materiali o servizi. L'impiego delle piante e alghe marine come biomateriali rappresenta una frontiera in cui **tradizione e innovazione si incontrano**, e da questo incontro scaturiscono soluzioni rispettose per l'ambiente, integrabili in un'ottica di economia circolare e orientate al benessere del Pianeta.

# 4

# LA POSIDONIA OCEANICA

|   |       |
|---|-------|
| POSIDONIA OCEANICA: BIOLOGIA E ECOLOGIA | 4.1   |
| UN ECOSISTEMA IN PERICOLO: IMPATTO      | 4.2   |
| ANTROPICO SULLE PRATERIE DI P. OCEANICA |       |
| LE BANQUETTES DI POSIDONIA SPIAGGIATA   | 4.3   |
| MORFOLOGIA                              | 4.3.1 |
| RUOLO ECOLOGICO                         | 4.3.2 |
| GESTIONE DEGLI ACCUMULI DI P. OCEANICA  | 4.3.3 |
| QUADRO NORMATIVO NAZIONALE              | 4.3.4 |
| LA POSIDONIA OCEANICA COME BIOMATERIALE | 4.4   |
| CASI STUDIO DI MATERIALI E PRODOTTI     | 4.4.5 |



## CAPITOLO 4 La Posidonia oceanica

In questo capitolo, ci concentreremo sul tema della **Posidonia oceanica**, analizzandola dapprima dal punto di vista **biologico ed ecologico**, per poi arrivare ad analizzarne le **potenziali applicazioni come biomateriale** nel mondo del Biodesign.

La scelta di apporfondire la Posidonia oceanica è legata al suo **importante ruolo ecologico** di difesa degli ambienti costieri e di salvaguardia della fauna e flora marina. Pur svolgendo un ruolo di fondamentale importanza all'interno dell'**ecosistema marino**, questa fanerogama marina è spesso percepita come un **rifiuto spiaggiato sulle spiagge** da eliminare e gestire. Infatti, l'accumulo di questa biomassa vegetale spiaggiata, anche denominato **banquettes**, è sottoposto, dalle amministrazioni locali dei comuni costieri, a onerosi **interventi di rimozione**.

In questo contesto, il capitolo si propone di esplorare come la Posidonia oceanica possa essere **reinterpretata**, passando dall'essere un elemento di scarto ad una risorsa materiale dal potenziale progettuale.



[Fig. 4.1] *La Posidonia oceanica.*

## 4.1 Posidonia Oceanica: Biologia e Ecologia

### 4.1.1 MORFOLOGIA

La *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile [Fig. 4.1] è una **pianta superiore marina** appartenente al gruppo delle fanerogame angiosperme. Si tratta di una specie che appartiene alla famiglia delle *Posidoniaceae*. In quanto pianta marina, come è già stato affrontato in precedenza, si differenzia dalle alghe per la **produzione di fiori, frutti e semi**, e per la presenza di **foglie** e di un **apparato strutturale complesso** per il trasporto e l'immagazzinamento dei nutrienti [144] [145].

La *Posidonia oceanica* è una **specie endemica del Mar Mediterraneo**, con specie endemica si intende una specie esclusiva di un dato territorio, dove ha trovato le condizioni ambientali ottimali di temperatura, salinità e trasparenza delle acque per prosperare.

I **rizomi** della *Posidonia oceanica*, sono sia plagiotropi che ortotropi, ovvero hanno la caratteristica di accrescersi sia in senso orizzontale che verticale. Il rizoma accrescendosi in direzioni diverse dà origine alla **matte** [Fig. 4.2], ovvero una **struttura a terrazzo** formata da più strati di rizomi, radici e sedimento. L'edificazione della matte, e la sedimentazione della pianta dipendono dal moto ondoso delle correnti e può arrivare fino ai **6 metri di altezza** [144] [145].

Le **foglie** della *Posidonia oceanica* crescono sul rizoma e sono di colore **verde brillante**. Sono raggruppate in fasci, dove le più giovani sono rivolte verso l'interno, protette dalle più adulte. Sono di **forma nastriforme** con gli apici arrotondati, hanno una **larghezza media di 1 centimetro** e la loro **lunghezza** può variare mediamente dai **50-80 centimetri fino a 1,5**

[144] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di *Posidonia oceanica* e altre biomasse vegetali marine spiaggiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23).

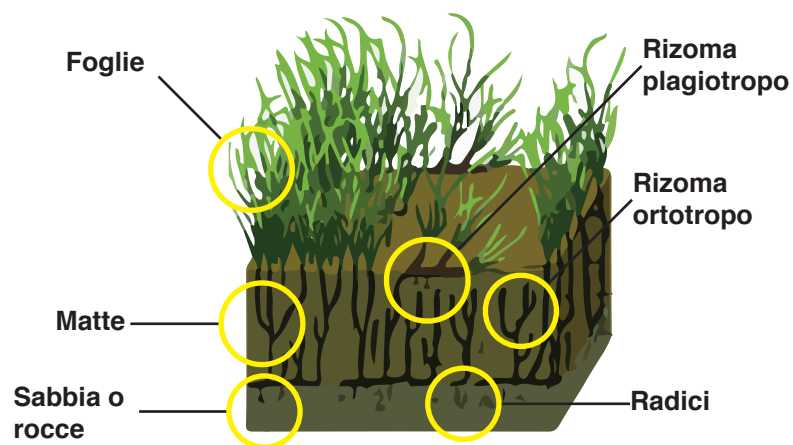
[145] ARPAT. (2024, 10 aprile). *Posidonia oceanica*: Polo di biodiversità. Issuu. <https://issuu.com/arpatoscana/docs/arpat-posidonia-oceanica>

**metri.** Le foglie adulte rimangono vitali dai 5 agli 8 mesi e invecchiando si seccano, **staccandosi dal rizoma nella stagione autunnale.** Una volta staccatesi dal fusto, vengono trasportate dalle correnti e dal moto delle onde sulla spiaggia dove **si accumulano formando le banquettes.** La caduta delle foglie lascia sul rizoma dei resti fibrosi, tondeggianti e di colore marrone chiamati **egagropili** [145].

I **fiori** sono ermafroditi, ovvero contengono sia l'organo riproduttivo femminile che quello maschile, sono piccoli, verdi e vengono raggruppati in un'infiorescenza al centro del rizoma.

L'impollinazione è idrofila, ovvero avviene con il rilascio del polline in acqua.

La **riproduzione vegetativa**, avviene per stolonizzazione, tramite la dispersione di frammenti di rizoma in acqua. La riproduzione vegetativa è il mezzo principale per il **mantenimento e l'espansione delle praterie.** La **fioritura avviene in settembre-ottobre** nelle praterie più superficiali, mentre è ritardata di circa due mesi in quelle più profonde. Il frutto della Posidonia oceanica viene anche chiamato **oliva di mare** [144].



[Fig. 4.2] La matite [146].

[144] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiagiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23).

[145] ARPAT. (2024, 10 aprile). Posidonia oceanica: Polo di biodiversità. Issuu. <https://issuu.com/arpatoscana/docs/arpat-posidonia-oceanica>

[146] Boudouresque and Meinesz, 1982, *Structure of Posidonia oceanica on matite* [disegno]. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-Posidonia-oceanica-on-matte-from-Boudouresque-and-Meinesz-1982-modified\\_fig1\\_363579423](https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-Posidonia-oceanica-on-matte-from-Boudouresque-and-Meinesz-1982-modified_fig1_363579423)

## Per riassumere:

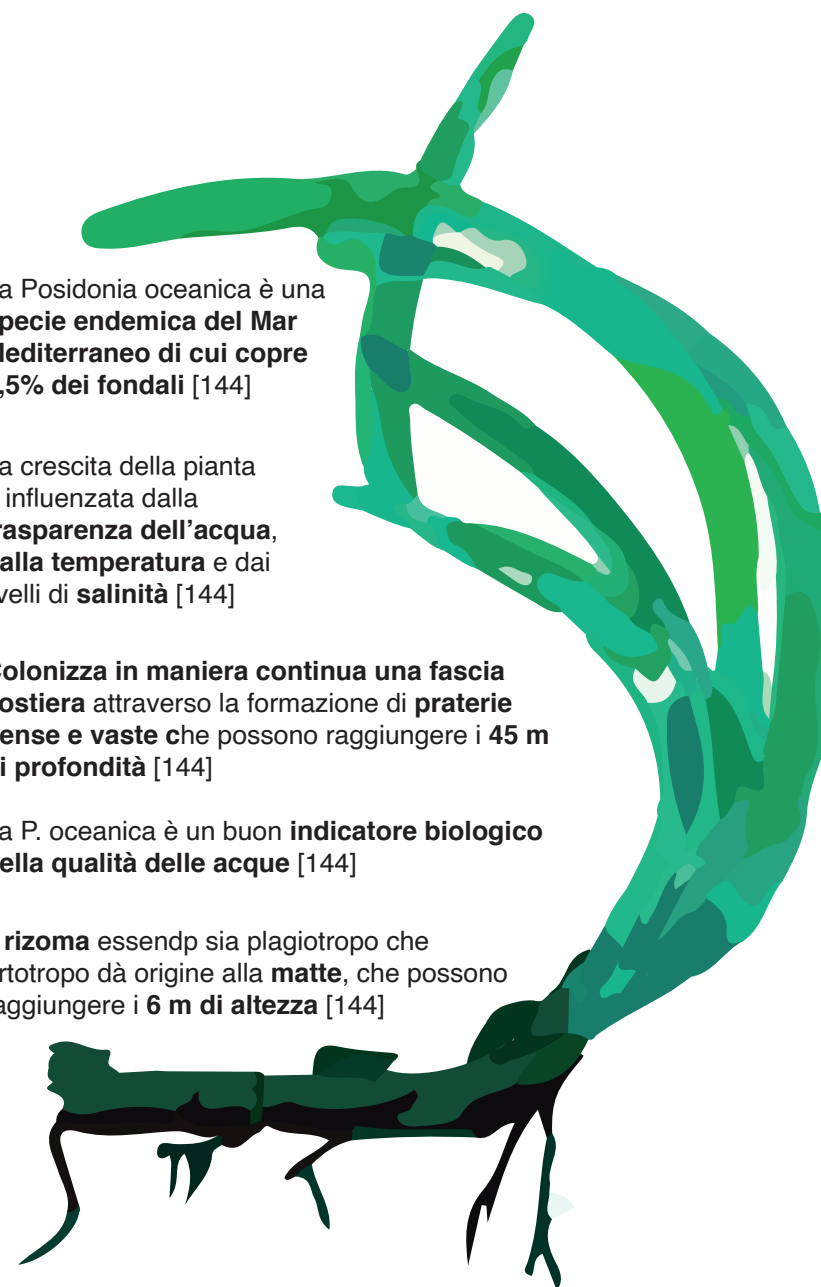
La Posidonia oceanica è una **specie endemica del Mar Mediterraneo di cui copre 1,5% dei fondali** [144]

La crescita della pianta è influenzata dalla **trasparenza dell'acqua, dalla temperatura e dai livelli di salinità** [144]

Colonizza in maniera continua una fascia costiera attraverso la formazione di **praterie dense e vaste** che possono raggiungere i **45 m di profondità** [144]

La P. oceanica è un buon **indicatore biologico della qualità delle acque** [144]

Il **rizoma** essendp sia plagiotropo che ortotropo dà origine alla **matite**, che possono raggiungere i **6 m di altezza** [144]



[144] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiagiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23).

#### 4.1.2 LE PRATERIE

La Posidonia oceanica è l'unica fanerogama in grado di **colonizzare in maniera continua una fascia costiera** attraverso la formazione di **praterie**, ovvero l'insieme di tante piante sopra la matte. Le praterie di Posidonia oceanica sono **molto vaste e molto dense**, accrescono in altezza grazie al rizoma verticale e si estendono in larghezza, espandendosi sul fondale marine, grazie al rizoma orizzontale [Fig. 4.3].

Le praterie grazie alla funzione di **ancoraggio del rizoma**, possono prosperare sia su **fondali marini sabbiosi che rocciosi**, e possono essere organizzate in diverse configurazioni: strisce parallele o cordoni perpendicolare al litorale [144].

La crescita della pianta e la conseguente formazione della prateria è influenzata **dalla trasparenza e dalla profondità dell'acqua**. La Posidonia oceanica è una **pianta fotofila**, pertanto, acque più cristalline, permettendo la penetrazione della luce solare, daranno vita a praterie più profonde. Le praterie di Posidonia oceanica possono raggiungere fino i **45 metri di profondità** in condizioni ambientali ottimali, in un campo di temperature compreso fra i **10 e i 28 °C** e con **valori di salinità stabili**. La Posidonia oceanica, per la sua sensibilità alle variazioni delle condizioni ambientali è, inoltre, considerata un **buon indicatore biologico della qualità delle acque** [144].

La Posidonia oceanica è **l'ecosistema più importante del Mar Mediterraneo** di cui copre circa **l'1.5% dei fondali** per un'area complessiva stimata tra i **25.000 e i 45.000 chilometri quadrati**. Per questo motivo, le sue praterie costituiscono un complesso ecosistema in termini di **biodiversità**. Esse rappresentano un **habitat di riparo, riproduzione e primo accrescimento** per moltissimi organismi marini, sono, infatti, **rifugio per un quarto delle specie di flora e fauna** del bacino mediterraneo [144].

A tal proposito, l'*Università di Pisa* nell'ambito di **FutureMARES**, progetto di ricerca finanziato dall'Unione Europea avviato nel settembre 2020 e conclusosi nell'agosto 2024, ha dimostrato come le praterie di Posidonia oceanica possano rappresentare un rifugio per alcune delle **specie**

[144] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiaggiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23).

#### minacciate dall'acidificazione dei mari.

Le analisi di questo studio, pubblicate su riviste scientifiche come *Science of the Total Environment* e *Environmental Research*, hanno dimostrato che la Posidonia oceanica, grazie alla propria **attività fotosintetica**, è in grado di **alzare il pH dell'acqua di 0.15 unità**. In presenza delle praterie, specie come le larve di riccio hanno così sviluppato meno malformazioni e raggiunto una grandezza maggiore nella fase finale dello sviluppo [146].

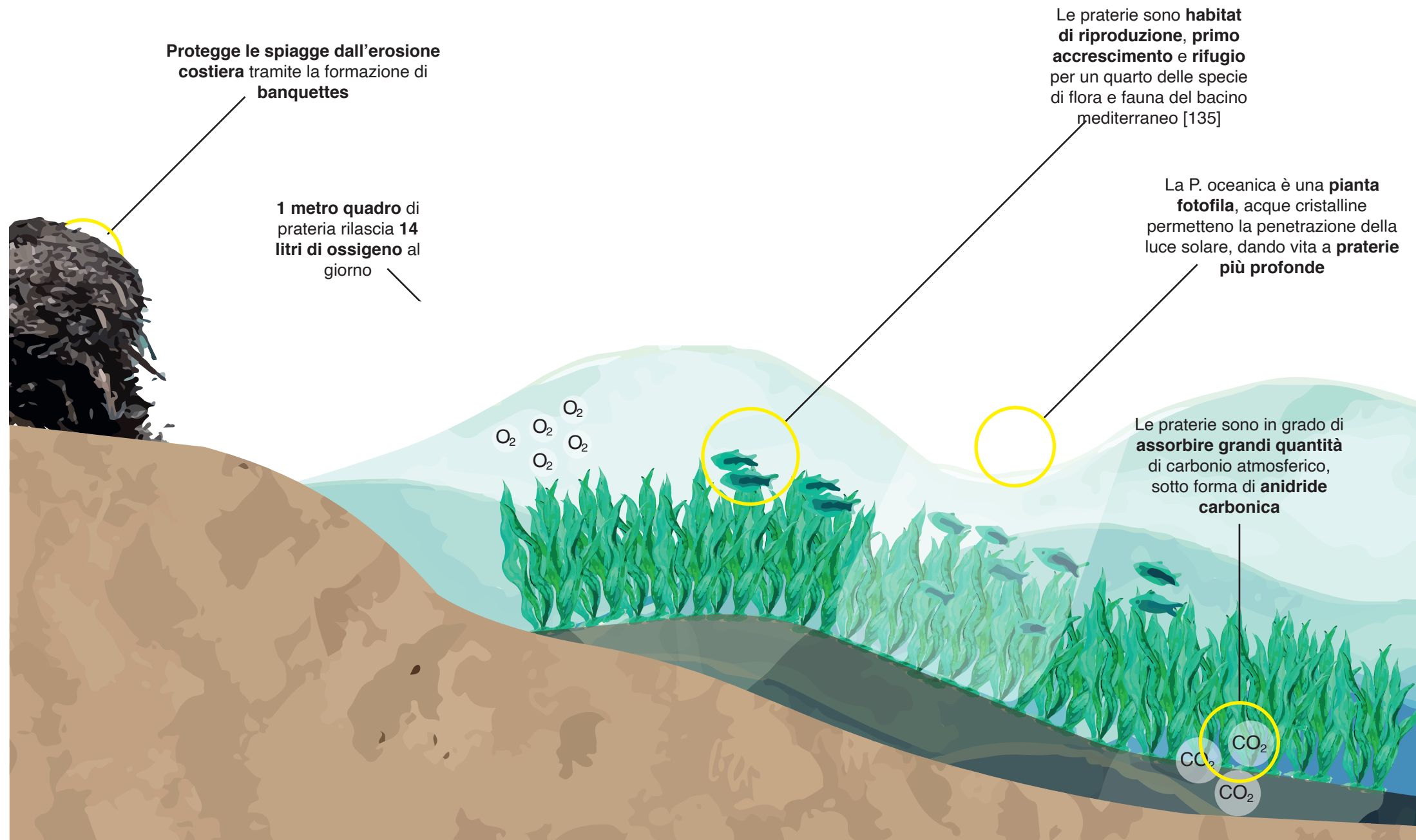
Le praterie sono anche un'importante **fonte di ossigeno**: a 10 metri di profondità, 1 metro quadro di prateria rilascia al giorno, **14 litri di ossigeno**. Inoltre, sono in grado di **assorbire grandi quantità di carbonio atmosferico**, sotto forma di anidride carbonica, e per questo sono comparabili all'ecosistema delle foreste pluviali [146] [Fig. 4.4].

Le praterie di Posidonia oceanica svolgono un importante **ruolo ecologico e geomorfologico** negli ambienti costieri del Mar Mediterraneo. Infatti, sono in grado di costruire strutture permanenti nell'ambiente marino, che permettono di **aumentare la complessità e l'eterogeneità dell'habitat**. [Fig. 4.5] Inoltre, contribuiscono **all'equilibrio fisico** di una grande porzione delle coste mediterranee, **attenuando le onde e le correnti e stabilizzando il litorale, proteggendo la spiaggia dall'erosione**. Oltre a stabilizzare le coste, la Posidonia oceanica rende stabile anche il fondale marino, ostacolando il movimento dei sedimenti sul fondo dovuto alle eventuali mareggiate [144].

[144] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiaggiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23).

[146] ScientificiCult. (2024, 1 febbraio). Biologia Le praterie di Posidonia riducono gli effetti dell'acidificazione dei mari (e la prova sono i ricci di mare). <https://scientificcult.it/2024/02/01/le-praterie-di-posidonia-riducono-gli-effetti-dellacidificazione-dei-mari-e-la-prova-sono-i-ricci-di-mare/>

## Per riassumere:





[Fig. 4.3] Prateria di *Posidonia oceanica* nel Mar Mediterraneo



[Fig. 4.4] *Posidonia Oceanica* e i suoi frutti, le olive di mare.



[Fig. 4.5] La *P. oceanica* è un importante habitat per la fauna marina.





[Fig. 4.6] Effetti dell'inquinamento del mare sulle egagropili.

## 4.2 Un ecosistema in pericolo: impatto antropico sulle praterie di *P. oceanica*

Le praterie di piante e alghe marine sono tra gli **ecosistemi costieri più preziosi della Terra** in termini di beni e servizi che forniscono. Sebbene i loro ruoli strutturali e funzionali siano stati ampiamente compresi, le praterie marine **stanno diminuendo a ritmi allarmanti** a causa dei **cambiamenti climatici** (riscaldamento, acidificazione degli oceani), **invasione di specie esotiche** e **attività antropiche** dirette in prossimità delle coste (sviluppo urbano costiero, attività di pesca, acquacoltura) [147].

Secondo uno studio condotto dal dipartimento di *Marine and Tropical Biology* dell'*Università James Cook* in Australia, almeno l'**1,5% dei letti di piante e alghe marine viene perso ogni anno** globalmente e quasi il **29% della superficie delle specie marine è scomparso** globalmente dal 1879, il che implica che **1/3 delle funzioni e degli habitat** che forniscono sono già stati persi [148].

Tra gli ecosistemi maggiormente colpiti emerge l'ecosistema della *Posidonia oceanica* [Fig. 4.6]. Uno studio condotto da un gruppo di biologi marini presso la *Columbia Climate School* della *Columbia University* di New York, sulla **distribuzione territoriale delle praterie**, ha mostrato che il **34% delle praterie di *P. oceanica*** sono andate incontro a **regressione** negli ultimi 50 anni. Da questo dato emerge che questo fenomeno generalizzato deve essere attribuito principalmente agli effetti cumulativi di molteplici fattori di stress locali e globali [147].

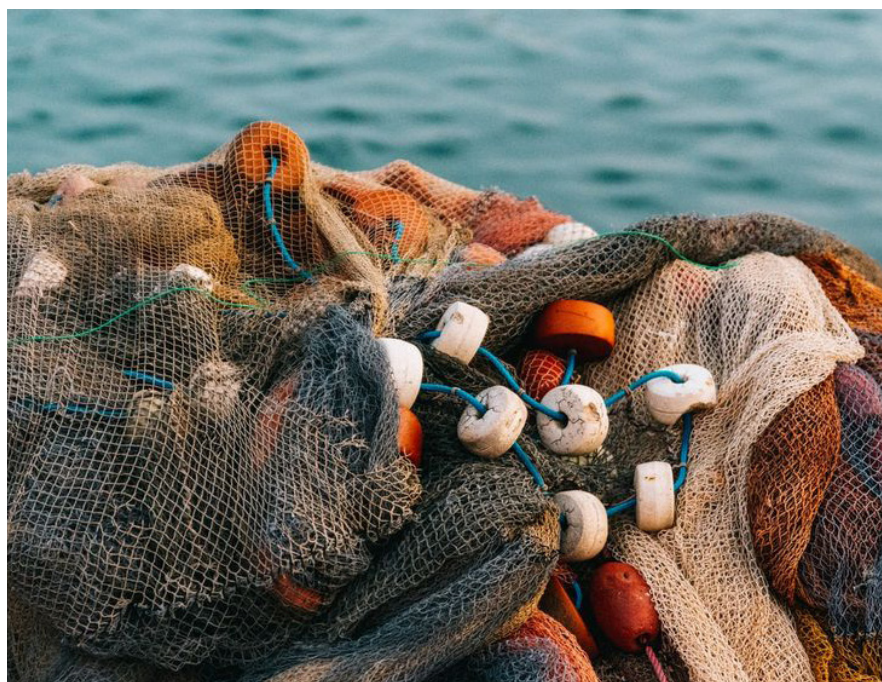
Di seguito, vengono analizzati i **principali fattori di stress locali e globali di natura** che stanno attualmente causando la regressione delle praterie di *Posidonia oceanica*.

[147] Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, et al. (2015). Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific Reports*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/srep12505>

[148] Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, et al. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30), 12377–12381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>



[Fig. 4.7] Inquinamento nei mari e negli oceani.



[Fig. 4.8] Il fenomeno dell'overfishing causa la regressione delle praterie di *P. oceanica*.

La *Posidonia oceanica*, come è già stato introdotto, è una pianta endemica del Mediterraneo, nelle cui aree costiere ospitano circa il 37,2 % della popolazione. La **massiccia urbanizzazione delle coste** ha portato all'incremento del **carico fognario** dei vari centri abitati che confluisce nelle acque marine, intensificato nella stagione estiva per l'afflusso turistico. Le **sostanze chimiche inquinanti** che confluiscono in mare, dovute oltre all'**urbanizzazione**, anche all'**industria e all'agricoltura**, producono **inquinamento e torbidità delle acque** [Fig. 4.7]. La conseguenza è la diminuzione della radiazione luminosa in grado di raggiungere la pianta permettendole l'**attività di fotosintesi** [145].

La **massiccia cementificazione** delle zone litorali, conseguente alla costruzione di strutture come **porti, palazzi o strade vicino alla costa**, provocano un'**alterazione nel fondale marino**. Questa alterazione, dovuta alla formazione di **fango e sedimenti** che finiscono in mare sulle praterie, provoca uno squilibrio nella crescita della *Posidonia oceanica* [145].

Al fine di studiare l'effetto provocato dalle **sostanze chimiche inquinanti sulla struttura genetica** della *Posidonia oceanica*, l'*Istituto di Bioscienze e Biorisorse* di Bari, insieme al *dipartimento di Bioscienze, Biotecnologie e Ambiente* dell'*Università Aldo Moro* di Bari e all'*Osservatorio del Mare* di Molfetta, hanno condotto uno studio su due praterie situate nel mare Adriatico lungo la costa italiana: **la prateria di San Vito-Barletta e la prateria delle isole Tremiti**.

La prateria di San Vito-Barletta è situata in una **zona non protetta** vicina a diverse **città di medie dimensioni**, suggerendo che sia più soggetta ad impatti antropici. Infatti, questo prato presenta una **struttura di sottopopolazione** e una **maggiore diversità genetica e genotipica** che può essere la conseguenza di una combinazione di diversi impatti antropici e caratteristiche ambientali.

Al contrario, la prateria delle isole Tremiti è compresa in un'**area marina protetta lontana dalle grandi città**. L'analisi genetica ha dimostrato che questo prato possiede una struttura monoclonale con **bassa diversità genetica e genotipica** [149].

La salute dell'ecosistema delle praterie di *Posidonia oceanica* è minacciata

[145] ARPAT. (2024, 10 aprile). *Posidonia oceanica*: Polo di biodiversità. Issuu. <https://issuu.com/arpatoscana/docs/arp-at-posidonia-oceanica>

[149] De Paola, D., Chimienti, G., Degryse, B., Vendramin, G. G., Bagnoli, F., & de Virgilio, M. (2024). *Posidonia oceanica meadows of the Italian southern Adriatic Sea display different genetic structure*. *Journal for Nature Conservation*, 126585. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126585>

anche dall'**uso eccessivo di imbarcazioni e dal traffico marittimo** che causano **inquinamento e disturbo alle comunità sottomarine**, dagli **ancoraggi inconsapevoli** che incidono negativamente **raschiando i fondali** marini, dagli **impianti di acquicoltura** e dal **sovrasfruttamento delle attività di pesca**.

Il fenomeno del sovrasfruttamento della pesca, dall'inglese **overfishing**, comprende anche alcune tipologie di **pesca illegale** come **la pesca a strascico**, che utilizza una rete trainata sul fondale marino, arando il substrato e estirpando le foglie e i rizoma della pianta acquatica [Fig. 4.8]. In Italia questo tipo di pesca è severamente vietata entro le tre miglia dalla costa [144].

Le **nuove opere costiere** che si stanno diffondendo lungo le coste e che racchiudono oleodotti e gasdotti, dighe foranee di porti e barriere artificiali, rappresentano una crescente minaccia per l'ecosistema marino. La costruzione di infrastrutture costiere aumentano la sedimentazione e soffocano la pianta in maniera irreversibile.

Tra gli impatti non direttamente collegati alle attività umane, ma che influenzano negativamente la crescita della Posidonia oceanica, vi è l'**introduzione di specie aliene** che competono per il substrato [144].

Anche il **cambiamento climatico** aumenta la vulnerabilità della Posidonia oceanica, che diventa sempre **meno tollerante** proporzionalmente **all'aumentare della temperatura superficiale delle acque marine**. Uno studio pubblicato nel 2023 sulla rivista scientifica *New Phytologist* e condotto nella zona orientale del bacino del Mediterraneo, ha dimostrato che l'**aumento senza precedenti della temperatura** superficiale dei mari e **la frequenza e intensità** crescenti delle ondate di calore marine negli ultimi quattro decenni, stanno influenzando diversi ecosistemi marini su più livelli.

Il **Mar Mediterraneo** si sta riscaldando in media il **20% più velocemente** dell'oceano globale, con un aumento cumulativo della temperatura superficiale dei mari media di **1,3°C** negli ultimi 40 anni. Dallo studio effettuato tra due decenni, dal 1997 al 2018, è emersa una **traiettoria di declino delle praterie**, principalmente correlata all'aumento del regime

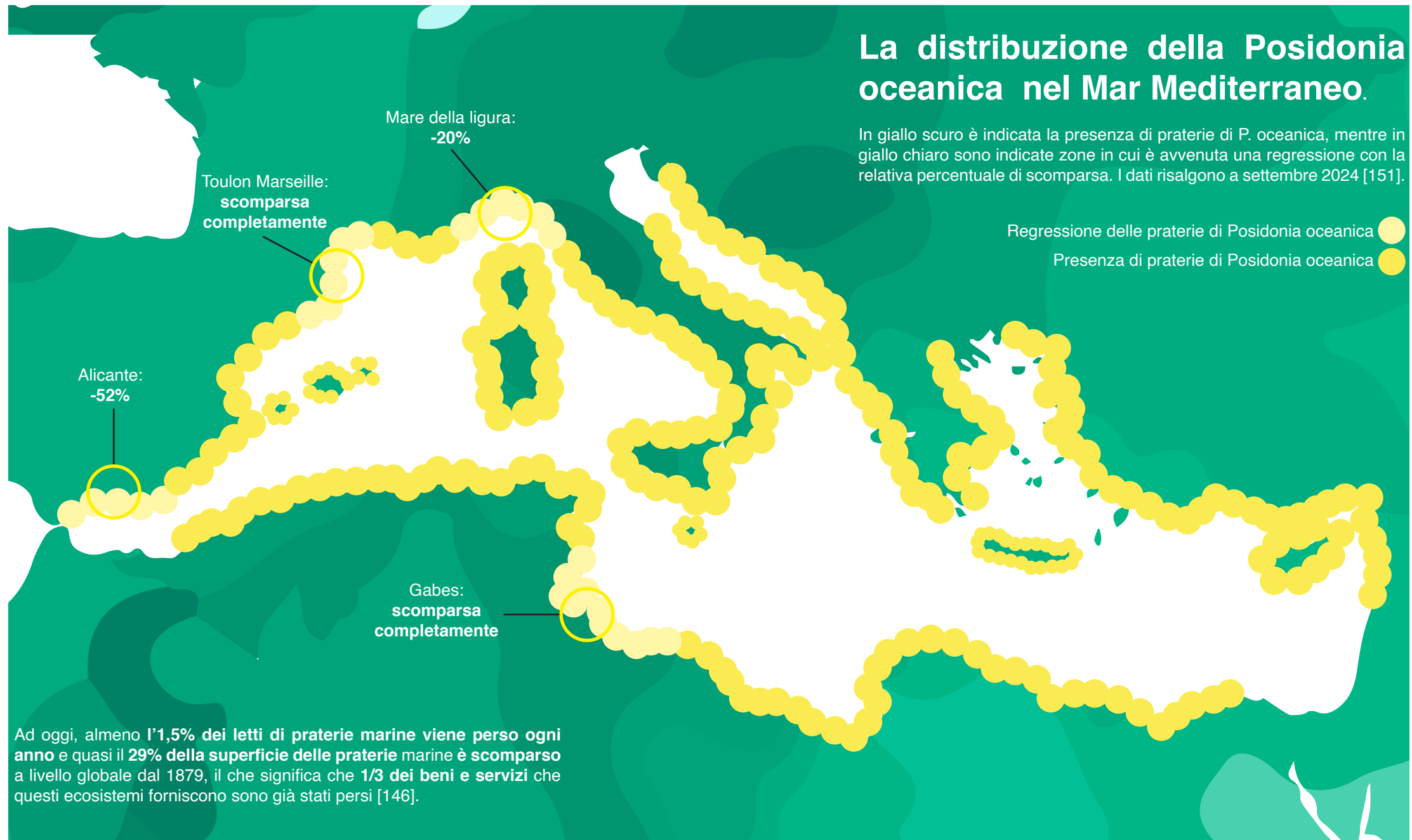
[144] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiaggiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23).

termico durante il periodo di studio. Le analisi si sono concluse dimostrando che la Posidonia oceanica è particolarmente vulnerabile allo stress termico, con danni estesi o addirittura una mortalità massiccia. In particolar modo:

- la temperatura della superficie del mare **compresa tra i 22 e i 24 °C** provoca una piccola diminuzione della produzione di Posidonia oceanica;
- la temperatura superficiale del mare **superiore a 26,5 °C** comporta una forte diminuzione della produzione di Posidonia oceanica [150].

Una temperatura **superiore a 26,5 °C** può essere stata registrata nel **21% dei casi** dell'area di studio [150].

[150] Litsi-Mizan, V., Efthymiadis, P. T., Gerakaris, V., Serrano, O., Tsapakis, M., & Apostolaki, E. T. (2023). Decline of seagrass (*Posidonia oceanica*) production over two decades in the face of warming of the Eastern Mediterranean Sea. *New Phytologist*. <https://doi.org/10.1111/nph.19084>



[146] Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, et al. (2015). Seagrass meadows (Posidonia oceanica) distribution and trajectories of change. Scientific Reports, 5(1). <https://doi.org/10.1038/srep12505>

[151] European Environment Agency. (2024). [infografica]. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/distribution-of-the-marine-angiosperm-posidonia-oceanica-and-zostera-sp-in-the-mediterranean?activeTab=a7caf3b5-7254-4a24-8919-693d4115158b>



[Fig. 4.9] Banquettes di Posidonia spiaggia a Trapani, Sicilia.

## 4.3 Le banquettes di Posidonia spiaggiata

### 4.3.1 MORFOLOGIA

In seguito alle **mareggiate autunnali e invernali**, in prossimità alle grandi praterie, i resti di Posidonia oceanica danno luogo alla **formazione di strutture elastiche di grandi dimensioni**, denominate **banquettes** [Fig. 4.9]. Con banquettes, si intendono **depositi di residui di Posidonia oceanica**, ovvero le sue **foglie**, i suoi **rizomi** e **fibre fogliari**, che si mischiano alla **sabbia** e ad altro **materiale di natura antropica** presente sulla spiaggia. Le fibre che derivano dalle foglie e dai rizomi della pianta prendono il nome di **egagropili**. Le **egagropili** vengono modellate e compattate dall'azione del moto delle onde sulla battigia, agglomerandole tra di loro [144].

La formazione delle banquettes è favorita a partire dalla **tarda estate**, con un **picco nel periodo autunnale**, fino all'inverno, ovvero quando sono presenti grandi quantità di foglie cadute, e i venti iniziano a soffiare con forte insistenza. Il **moto delle correnti**, infatti, permette alle onde di infrangersi sulla riva **depositando sulla spiaggia** il loro carico di foglie morte di Posidonia oceanica [Fig. 4.10]. Nelle spiagge più riparate, la presenza di Posidonia spiaggiata è influenzata dalla presenza di prateria nelle vicinanze del litorale, mentre nelle spiagge più esposte invece, le foglie vengono trasportate tramite le mareggiate e possono percorrere distanze elevate. La formazione della banquettes parte con una prima deposizione dei resti della pianta, che continuerà a **crescere in altezza e larghezza con l'accumulo di altre deposizioni** [144].

Le dimensioni, forme e distribuzioni delle banquettes di Posidonia oceanica sono variabili, a seconda dell'assetto geomorfologico della costa. Hanno

[144] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiaggiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23).

profondità ed estensioni differenti: possono raggiungere **un'altezza di 2,5 metri ed estensioni anche di centinaia di metri lungo l'arenile** [134]. Le banquettes costituite principalmente da Posidonia oceanica hanno una struttura **lamellare, elastica e compatta**, conferita dalla forma a nastro delle foglie. Nei casi di maggiore stabilità e compattezza costituiscono delle formazioni bio-geomorfologiche transitorie ma che caratterizzano l'ambiente costiero, incrementandone il **patrimonio ecologico e geomorfologico** [141].

#### 4.3.2 RUOLO ECOLOGICO

I depositi naturali di **Posidonia spiaggiata** svolgono un ruolo importante nella **conservazione e valorizzazione dell'ecosistema naturale**. I resti che si depositano sulla battigia costituiscono una struttura che, una volta frammentato da organismi e da processi fisici, rappresenta un'importante **fonte di nutrienti, carbonio e particolato disciolto**. Le banquette offrono, infatti, **nutrimento e risorse per il sostentamento di molte specie animali o vegetali** allo stadio giovanile [Fig. 4.11] [145].

Un altro ruolo fondamentale che riveste la banquette è la sua capacità di **assorbire l'energia del moto ondoso, mitigando l'erosione costiera e proteggendo i litorali marini**. La sua capacità di dissipare l'energia meccanica delle onde consente la protezione della stabilità della spiaggia [145].

Gli spiaggiamenti di Posidonia oceanica, inoltre, contribuiscono all'importanza ecologica delle **drifting line**, ovvero fasce formate da detriti naturali di materiale organico, resti animali marini e detriti inorganici come sabbia, rocce e frammenti di natura antropica, che si accumulano lungo le rive delle spiagge, trasportati dalle correnti.

La funzione svolta dalla biomassa spiaggiata è quella di **tampone nei confronti dei depositi dunali** e si sviluppa attraverso tre distinti meccanismi [152]:

- Apporto di vegetali in semi, radici e frammenti che possono germinare, contribuendo alla **rigenerazione dell'area costiera**;

[145] ARPAT. (2024, 10 aprile). Posidonia oceanica: Polo di biodiversità. Issuu. <https://issuu.com/arpatoscana/docs/arpat-posidonia-oceanica>

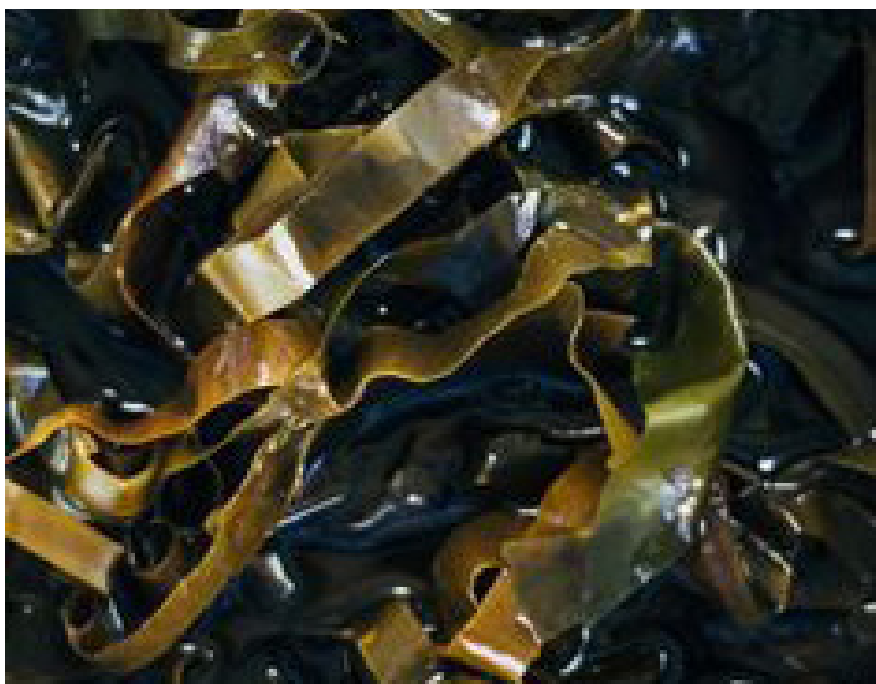
[152] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2010). Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili (Manuali e linee guida 55/2010). Tipolitografia CSR.

- Creazione di superfici irregolari sulla spiaggia che rallentano il vento e l'acqua, al fine di favorire l'intrappolamento di sabbia e la **stabilizzazione della spiaggia contro l'erosione**;
- La decomposizione della biomassa libera nutrienti come azoto e fosforo attraverso processi di mineralizzazione. Questi nutrienti fertilizzano l'ambiente circostante, **favorendo la crescita di piante locali e aumentando la biodiversità** [152].

[152] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2010). Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili (Manuali e linee guida 55/2010). Tipolitografia CSR.



[Fig. 4.10] *Posidonia spiaggiata sulla battigia.*



[Fig. 4.11] *Foglie di Posidonia spiaggiata.*

## Per riassumere:

Il **moto delle correnti deposita sulla spiaggia** il carico di foglie morte di Posidonia oceanica e le **accumula** sulla spiaggia formando le **banquettes** [144]

Le banquettes sono **strutture elastiche** di grandi dimensioni formate dalle foglie e degli egagropili di **Posidonia spiaggiata** [144]

Le banquettes possono raggiungere **un'altezza di 2,5 metri ed estensioni** anche di **centinaia di metri lungo l'arenile** [144]

Le banquettes svolgono un ruolo importante nella **conservazione e valorizzazione dell'ecosistema naturale** [152]

Le banquettes stabilizzano **la spiaggia contro l'erosione** [152]

Le banquettes favoriscono **la crescita di piante locali e aumentando la biodiversità** [152]



[144] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiaggiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23).

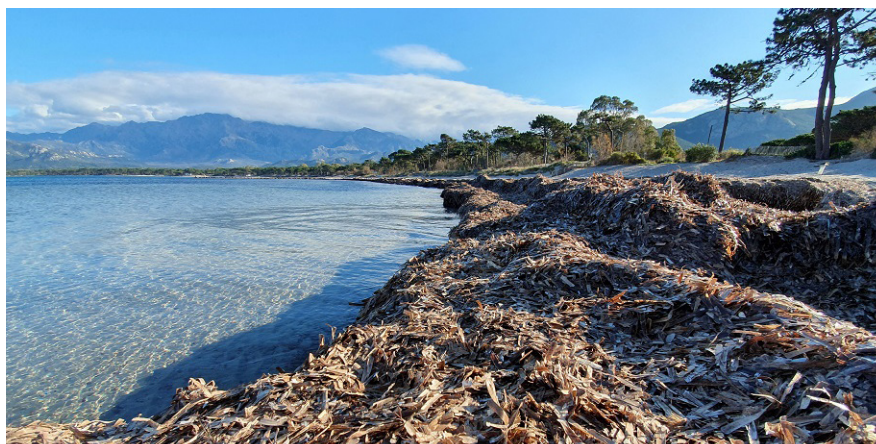
[152] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2010). Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili (Manuali e linee guida 55/2010). Tipolitografia CSR.



[Fig. 4.12] Estensione di una banquettes di *P. oceanica*.



[Fig. 4.13] Banquettes di *P. oceanica* sugli scogli.



[Fig. 4.14] Banquettes di *P. oceanica* sulla spiaggia.

### 4.3.3 Gestione degli accumuli di Posidonia oceanica

I resti di Posidonia oceanica, quando vengono portati sulle coste, insieme a quelli di altre fanerogame marine, alghe, o altra materia vegetale terrestre, **si mescolano ad elevate quantità di rifiuti antropici**, abbandonati in mare o sugli arenili. Il tema della **gestione delle banquettes di Posidonia oceanica** si inserisce, così, nel problema più ampio della **gestione delle biomasse vegetali spiaggiate**, e di come queste ultime **debbano essere considerate** [Fig. 4.12].

La gestione delle banquettes costituisce un problema in crescita: infatti, se da un lato è utile **mantenerle in loco per ostacolare l'erosione** delle spiagge e **favorire la produttività delle acque costiere** [Fig. 4.13], dall'altro la loro presenza nelle **zone turistico-balneare**, può scoraggiare la presenza dei bagnanti sia per i residui fluttuanti che per gli odori che si sviluppano durante i processi di degradazione batterica [144].

La **sottrazione** di ingenti quantità di materiale vegetale spiaggato è critica. Come è già stato affrontato, le banquettes rappresentano un **ecosistema fondamentale** per la salvaguardia dell'ambiente costiero mediterraneo. In tempi passati, le banquettes erano considerate **parte integrante del paesaggio dei litorali** [Fig. 4.14] e venivano sfruttate attraverso l'impiego delle foglie per creare materiali isolanti, termici e acustici, materiali da imballaggio o per imbottitura, ammendante naturale e materiale da costruzione [144].

Ma, attualmente, il tema della gestione della Posidonia spiaggata deve conciliare esigenze differenti. Da una parte la necessità di rimuovere il materiale spiaggato, e dall'altra l'esigenza ecologica di lasciarlo in sito. La missione deve essere quello di trovare la **giusta mediazione tra le**

[144] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiaggiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23).



**esigenze correlate alle attività turistico-balneari e le finalità ambientali** di protezione degli ecosistemi costieri e della morfologia della spiaggia [152].

La rimozione degli accumuli di biomassa spiaggiata dalle spiagge avviene principalmente per motivazioni turistico-balneari:

- il materiale spiaggiato viene considerato **sgradevole** in quanto **altera l'estetica della spiaggia**, alimentando **bias cognitivi** secondo cui, le persone associano inconsciamente un'impressione di sporco o trascuratezza alle banquettes;
- i processi di decomposizione ad opera di batteri della biomassa vegetale spiaggiata comportano il rilascio di vari gas che producono **odori poco gradevoli e attirano insetti** [152].

Tali aspetti comportano una **diminuzione del valore turistico della spiaggia** stessa, e di conseguenza viene richiesto alle amministrazioni locali di **rimuovere** tali depositi per rendere le spiagge più gradevoli. I soggetti pubblici coinvolti, ad oggi, hanno adottato per lo più **soluzioni temporanee e di emergenza** ricorrendo anche ad **onerosi interventi di raccolta e smaltimento in discarica**.

La rimozione può avvenire tramite **lo spostamento degli accumuli, l'interramento in sito, il trasferimento degli accumuli presso impianti di riciclaggio, la re-immissione in ambiente marino e il trasferimento in discarica** attraverso operazioni meccanizzate.

**Operazioni di mantenimento e di reimmissione in mare** permettono un impiego delle biomasse per **interventi di restauro e protezione** dei litorali sabbiosi, per mantenere queste risorse all'interno del sistema spiaggia. Eppure, le operazioni maggiormente utilizzate per la gestione delle banquettes sono operazioni di tipo meccanizzate [152].

Le **operazioni meccanizzate** di pulizia degli arenili **danneggiano fisicamente la spiaggia**, innescando una condizione di **artificialità** della stessa e di **desertificazione** delle coste.

Inoltre, queste tipologie di operazioni contribuiscono al mescolamento della

---

[152] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2010). Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili (Manuali e linee guida 55/2010). Tipolitografia CSR.

frazione vegetale con la **frazione di materie contaminanti**, come rifiuti di natura antropica.

Questo comporta **difficoltà nella riutilizzo e nel riciclo** della biomassa, a cui segue, pertanto, lo smaltimento in discarica.

Lo **smaltimento in discarica** comporta una **sottrazione irreversibile delle biomasse e di sabbie**, un **danneggiamento alla vegetazione e alla fauna** del territorio interessato, un'occupazione di **ampi volumi** in discarica che comportano **l'acidificazione del suolo**, data dalla composizione chimica organica del deposito vegetale, ed **alti costi ambientali, sociali** ma anche **economici ed energetici** lungo tutto il processo, dalla raccolta al trasporto e allo smaltimento [144] [152].

---

[144] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiaggiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23).

[152] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2010). Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili (Manuali e linee guida 55/2010). Tipolitografia CSR.

## Per riassumere:

Gli accumuli di biomasse spiaggiate come la Posidonia oceanica **non dovrebbero essere toccati** in quanto rappresentano un **ecosistema fondamentale per l'ambiente costiero, forniscono riparo per fauna e flora e mitigano l'erosione costiera**, proteggendo le spiagge. Eppure, per fini **turistici balneari** vengono **rimosse** attraverso operazioni meccaniche. Di seguito sono riassunti i pro (in verde) e i contro (in rosso) delle **operazioni di rimozione** degli accumuli di biomasse spiaggiate.

### REIMMISSIONE IN MARE



- **Ripristino dell'ecosistema** marino
- Contributo alla **biodiversità marina**
- **Soluzione naturale**
- Problemi di **accettazione sociale**
- **Possibile ritorno** delle biomasse

### INTERRAMENTO IN SITO



- **Riduzione** dei costi di trasporto e smaltimento
- **Arricchimento** del suolo
- **Mitigazione** dell'erosione costiera
- Impatto **olfattivo**
- **Tempistiche di decomposizione** lunghe
- **Accettabilità** sociale

### RIMOZIONE DEGLI ACCUMULI



- **Miglioramento** del turismo
- **Riduzione** dell'impatto olfattivo
- **Rimozione** immediata
- **Gestione** complessa
- **Costi** elevati
- Impatto **ambientale**

### TRASFERIMENTO IN CENTRI PER IL RICICLO



- **Valorizzazione** delle biomasse
- **Riduzione** dell'impatto ambientale locale
- **Economia circolare**
- **Limitata capacità** degli impianti
- **Emissioni** legate al trasporto
- **Costi elevati**

### TRASFERIMENTO IN DISCARICA



- Soluzione **rapida**
- **Spreco** di risorse
- **Impatti** ambientali negativi
- **Costi di smaltimento**

## 4.3.4 Quadro Normativo Nazionale

Gli accumuli di Posidonia oceanica **non sono rifiuti**, segno di degrado ambientale o un pericolo per la salute umana. Al contrario, **sono indice di un'alta qualità ambientale** poiché segnalano la presenza di praterie nelle prossimità della costa.

In Italia, la gestione degli accumuli di biomassa vegetale spiaggiata, come la Posidonia oceanica, è **regolamentata sia a livello nazionale che regionale**, con **possibilità di scelta per le amministrazioni locali**. Le **amministrazioni locali** (comuni e province), quindi, pur avendo autonomia nella gestione pratica delle biomasse spiaggiate, devono seguire quelle che sono le indicazioni a livello regionale e nazionale. Le possibilità di gestione, come abbiamo visto precedentemente sono quelle di:

- lasciare la biomassa nel suo **habitat naturale**;
- **rimuoverla** per garantire l'uso **turistico-balneare** delle spiagge;
- **reimpiegarla** per scopi ambientali, agricoli;
- sfruttare il materiale spiaggiato nell'ambito del **Biodesign** per promuovere progetti di economia circolare che integrano innovazione, sostenibilità e creatività.

### 4.3.5 NORMATIVE NAZIONALI

#### Decreto Legislativo 152/06, all'art. 183

Classifica tutti i materiali spiaggiati come **rifiuti urbani**. Afferma che i rifiuti urbani sono di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico o **sulle spiagge marittime** e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua.

Afferma che non costituiscono operazioni di gestione tutte le attività relative ai materiali spiaggiati effettuate nel sito dove tali materiali si sono depositati, sottraendoli dunque, se non spostati, ai regimi relativi alla gestione dei rifiuti urbani.

Con **gestione dei rifiuti** si intende: la raccolta, il trasporto, il recupero e lo smaltimento dei rifiuti. Non costituiscono attività di gestione dei rifiuti le operazioni di prelievo, raggruppamento, cernita e deposito preliminare alla raccolta di materiali o sostanze naturali derivanti da eventi atmosferici o meteorici, ivi incluse mareggiate e piene, anche ove frammisti ad altri materiali di origine antropica effettuate [153].

#### Circolare MATTM n. 8123/2006

In mancanza di una metodologia gestionale univoca e di norme specifiche, il *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare* (MATTM) anche a seguito delle pressanti richieste di chiarimenti da parte dei comuni costieri, ha fornito tre possibili **tipi di intervento gestionale** legati di volta in volta alla specificità dei luoghi e delle situazioni sociali ed economiche:

- **mantenimento in loco** della banquettes;
- **spostamento** degli accumuli;
- **rimozione** permanente e trasferimento in discarica [154].

Inoltre, esprime un concetto chiave ovvero che **i materiali vegetali spiaggiati sono da considerarsi rifiuti solo se si manifesti la volontà di disfarsene**. La circolare continua affermando che la rimozione e successivo trattamento come rifiuti compromettono l'integrità dell'habitat e risultano economicamente molto onerosi [154].

#### Decreto Legislativo 31/12/2010, n. 205

Vengono ammesse alghe e piante marine, con riferimento esemplificativo alla Posidonia spiaggiata, tra le matrici che compongono gli **scarti compostabili**, previa separazione dall'eventuale sedimento presente ed in proporzione non superiore al 20% in peso della miscela iniziale [155].

[153] DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152 - normativa. (s.d.). Normattiva il portale della legge vigente. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2006;152~art183!vig=>

[154] Posidonia oceanica spiaggiata: La gestione degli accumuli e la valorizzazione. (s.d.). ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/tema-mare/posidonia-oceanica-spiaggiata-la-gestione-degli-accumuli-e-la-valorizzazione>

[155] DECRETO LEGISLATIVO 3 dicembre 2010, n. 205 - normativa. (s.d.). Normattiva. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2010;205>

### Decreto Legislativo 29/04/2010, n. 75

Fatta salva la disciplina in materia di protezione dell'ambiente marino e le disposizioni in tema di sottoprodotto, laddove sussistano univoci elementi che facciano ritenere la loro presenza sulla battigia direttamente dipendente da mareggiate o altre cause comunque naturali, è consentito l'**interramento in sito della Posidonia oceanica** e delle meduse spiaggiate, purché ciò avvenga **senza trasporto né trattamento** [156].

### Legge SalvaMare 60/2022

Presenta disposizioni per il **recupero dei rifiuti in mare** e nelle acque interne e per la promozione dell'economia circolare.

**Definisce i giusti comportamenti per la gestione di biomasse marine.** Le biomasse marine possono essere lasciate in loco, trasportate in impianti di gestione dei rifiuti o reintrodotte nell'ambiente, attraverso il riaffondamento in mare o il trasferimento in aree retrodunali. Prima di queste operazioni, è prevista una **vagliatura per separare la sabbia e rimuovere i rifiuti antropici**, anche per recuperare la sabbia da utilizzare per il ripascimento della spiaggia. Il riaffondamento è eseguito in via sperimentale in siti idonei [157].

### 4.3.6 NORMATIVE EUROPEE

#### Direttiva 2008/56/CE “Direttiva Strategia Marina”

Rappresenta un importante **strumento di governance** del sistema mare, promuovendo l'**adozione di strategie** complesse mirate alla **salvaguardia dell'ecosistema marino** per il raggiungimento del Buono Stato Ambientale (Good Environmental Status – GES) e della conservazione della biodiversità [158].

#### Direttiva 2000/60/CE “Direttiva Acque”

Istituisce un **quadro per l'azione comunitaria** in materia di acque interne superficiali, di transizione, costiere e sotterranee, perseguendo scopi

[156] DECRETO LEGISLATIVO 29 aprile 2010, n. 75 - normattiva. (s.d.). Normattiva. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2010;075>

[157] LEGGE 17 maggio 2022, n. 60 - normattiva. (s.d.). Normattiva. <https://www.normattiva.it/eli/id/2022/06/10/22G00069/ORIGINAL>

[158] La direttiva europea sulla strategia marina | ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica. (s.d.). Il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. <https://www.mase.gov.it/pagina/la-direttiva-europea-sulla-strategia-marina>

che riguardano tanto il profilo ambientale quanto quello più prettamente economico e sociale della gestione della risorsa. Tra gli scopi è inserito: prevenire il deterioramento, proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici e degli ecosistemi terrestri dipendenti [159]

### 4.3.7 LETTURA CRITICA DELLE NORMATIVE

Le **normative italiane ed europee** non offrono un approccio univoco alla gestione della Posidonia oceanica. **Nella teoria**, le disposizioni **incoraggiano pratiche sostenibili** improntate all'uso consapevole di questa risorsa e alla salvaguardia dell'ambiente, **nella pratica**, però, la loro attuazione, essendo lasciata alla discrezione delle singole amministrazioni locali, **genera criticità generando disparità operativa**.

Inoltre, in quanto **rifiuto solido urbano**, le operazioni di **raccolta, trasporto e smaltimento** devono essere **regolamentate e hanno costi onerosi**.

L'introduzione di **linee guida operative chiare e uniformi** consentirebbe di semplificare e migliorare le pratiche gestionali a livello locale. In questo modo si garantirebbe un approccio mirato a **integrare la salvaguardia dell'ecosistema costiero, con lo sviluppo economico e sociale locale e il rispetto delle esigenze turistiche**.

Infine, la percezione della Posidonia oceanica come rifiuto da rimuovere contrasta con **la necessità di valorizzarla come risorsa ambientale e materiale per progetti creativi**, come quelli legati al biodesign e all'economia circolare. Le normative dovrebbero focalizzarsi sulla promozione di **una maggiore sensibilizzazione sull'importanza ecologica** delle praterie marine e **sulle potenzialità del riutilizzo della biomassa spiaggata**. Un quadro normativo maggiormente improntato sulla **creatività progettuale** permetterebbe di trasformare un problema ambientale in una soluzione sostenibile per la società e il mercato, aprendo così nuove prospettive nel mondo del design.

[159] Direttiva 2000/60/CE | ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica. (s.d.). Il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. <https://www.mase.gov.it/pagina/direttiva-200060ce>

## 4.4 La posidonia oceanica come biomateriale

La Posidonia oceanica spiaggiata consente di creare una **filiera sostenibile basata sulle risorse autoctone e endemiche del Mar Mediterraneo**, favorendo la **ri-collocazione della risorsa nel suo habitat naturale**. In questa prospettiva circolare, viene promosso il riuso delle biomasse marine e vegetali spiaggiate, con l'obiettivo di trasformare un rifiuto destinato alla discarica in una risorsa per la **creazione di nuovi materiali**.

Questo approccio si basa sulla **progettazione circolare**, una progettazione attenta ai flussi naturali di risorse e materiali, che trasforma un **output del sistema naturale in un input per quello industriale**. Il prodotto che scaturisce da questa metodologia progettuale è strettamente connesso ai circuiti locali di **territorialità, materiali, energia, consumi e bisogni**.

In questo contesto, **la materia di origine naturale diventa protagonista**. Il Biodesign delle biomasse vegetali propone una **nuova funzionalità e una nuova estetica**, in grado di **valorizzare** l'effetto materico del materiale organico integrandolo con altri componenti tradizionali come carta, legno e metallo. La nuova estetica che emerge supera i canoni contemporanei del design e **esplora nuovi significati nella materia**.

### 4.4.1 COMPOSIZIONE CHIMICA E PROPRIETÀ

La composizione chimica della Posidonia oceanica, rende questa fanerogama marina, una risorsa molto importante e studiata per il Biodesign. Il Biodesign della P. oceanica vede una **molteplicità di impieghi nei diversi settori** dovuti alla sua struttura, proprietà e tecniche di lavorazione [160].

[160] Coccozza, C., Parente, A., Zaccone, C., Mininni, C., Santamaria, P., & Miano, T. (2011). Chemical, physical and spectroscopic characterization of Posidonia oceanica (L.) Del. residues and their possible recycle. Biomass and Bioenergy, 35(2), 799–807. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.033>

| Composizione chimica della P. oceanica     | Proprietà  |
|--|--|
| Cellulosa e lignina                        | Resistenza meccanica, capacità isolante, durezza   |
| Sali minerali (calcio, magnesio, potassio) | Fertilità del suolo, proprietà nutrienti per l'agricoltura   |
| Polisaccaridi complessi                    | Biodegradabilità, capacità di assorbire vapore acqueo e CO <sub>2</sub>  |
| Fenoli e antiossidanti naturali            | Resistenza agli agenti atmosferici, proprietà antimicrobiche, antifungine, repellente per insetti, resistente a muffa ed umidità |
| Struttura fibrosa porosa                   | Isolamento termico, leggerezza   |
| Fibre vegetali                             | Flessibilità, leggerezza, ottime per la lavorazione artigianale  |
| Silice                                     | Stabilità termica, resistente al fuoco, capacità di rinforzo nei compositi   |
| Contenuto organico degradabile             | Compostabilità, produzione di biogas   |
| Cenere derivata dalla combustione          | Utilizzo come ammendante agricolo, riciclo in edilizia   |

[Tab. 4.1] Composizione chimica e proprietà della P. oceanica [160].



[Fig. 4.15] *Posidonia spiaggiata sulla battigia.*



[Fig. 4.16] *Foglie essiccate di materiale vegetale spiaggiato.*

#### 4.4.2 TECNICHE DI LAVORAZIONE

Al fine di sfruttare le proprietà materiali della Posidonia oceanica è necessario seguire una serie di azioni, che vanno dalla sua raccolta alla sua trasformazione in biomateriale da poter essere impiegato nei vari settori.

Le prime operazioni sono quelle di **raccolta e selezione** [Fig. 4.15]:

- la Posidonia oceanica viene **raccolta** dalla battigia, durante **la stagione primaverile** in previsione della stagione estiva;
- in seguito alla raccolta, avviene la **separazione tra la materia vegetale e la sabbia, detriti e altri materiali di origine animale e antropica** presenti sulle coste. Si selezionano poi le piante in base alla loro qualità [161].

Successivamente è necessaria **l'asciugatura e l'essiccazione delle foglie** di P. oceanica. Il processo di asciugatura preserva **la struttura fibrosa** della pianta, **rimuove l'umidità e evita il rischio di deterioramento** durante le fasi di lavorazione. L'asciugatura può avvenire al sole o in forno:

- l'asciugatura al sole avviene in **ambienti aperti** con le foglie di P. oceanica sotto la **luce solare**;
- l'asciugatura in forno avviene quando la **quantità di materiale è elevata** o quando le **condizioni climatiche non sono favorevoli**. Il forno consente una maggiore velocità e omogeneità del prodotto finale [161].

Una volta asciugata, avviene **la triturazione** della Posidonia oceanica. La triturazione **riduce le dimensioni volumetriche** della biomassa, rendendola **maneggevole e facilitandone i processi di lavorazione** e di **integrazione** con altri materiali. La triturazione meccanica può avvenire tramite **mulini o trinciatrici**. Inoltre, la P. oceanica può essere trattata per ottenere fibre lunghe o fibre corte [161].

**L'estrazione dei componenti biologicamente attivi** avviene attraverso **metodi di rottura cellulare ultrasonici**. Tra questi sono utilizzati **l'estrazione a ultrasuoni, l'estrazione in acqua e l'estrazione con solventi organici**.

[161] Benito-González, López-Rubio, Martínez-Abad, Ballester, Falcó, González-Candelas, Sánchez, Lozano-Sánchez, Borrás-Linares, Segura-Carretero & Martínez-Sanz. (2019). In-Depth characterization of bioactive extracts from posidonia oceanica waste biomass. Marine Drugs, 17(7), 409. <https://doi.org/10.3390/md17070409>

I composti biologicamente attivi che ne derivano sono principalmente composti fenolici, proteine e polisaccaridi.

Dalle fibre di Posidonia oceanica è possibile creare **materiali compositi**. Le fibre possono essere usate come **rinforzo nei materiali naturali** come legno, carta o argilla per conferire **maggiore resistenza e elasticità**, e nelle bioplastiche come il PLA per conferire caratteristiche di **maggiore biodegradabilità e di isolamento termico ai prodotti**.

Le lavorazioni maggiormente in uso sono:

- la **pressatura a caldo o a freddo** per formare fogli o pannelli con una struttura rigida e resistente;
- lo **stampaggio** che sfrutta il comportamento plastico delle fibre e crea oggetti tridimensionali;
- **tecniche di lavorazione artigianali** come tessitura e legatura per ottenere tessuti o corde [161].

Successivamente alla lavorazione si passa al **trattamento superficiale** del materiale prodotto:

- per evitare la formazione di muffe o batteri, la P. oceanica viene trattata con **soluzioni naturali o biologiche** per proteggerla senza compromettere le proprietà;
- la superficie può poi essere rifinita con **vernici o oli vegetali** per migliorare l'aspetto estetico e conferendogli particolari proprietà di protezione [161].

[161] Benito-González, López-Rubio, Martínez-Abad, Ballester, Falcó, González-Candelas, Sánchez, Lozano-Sánchez, Borrás-Linares, Segura-Carretero & Martínez-Sanz. (2019). In-Depth characterization of bioactive extracts from posidonia oceanica waste biomass. Marine Drugs, 17(7), 409. <https://doi.org/10.3390/md17070409>

## Per riassumere:

RACCOLTA E SELEZIONE



ESTRAZIONE DEI COMPOSTI ATTIVI



ASCIUGATURA E ESSICCAZIONE



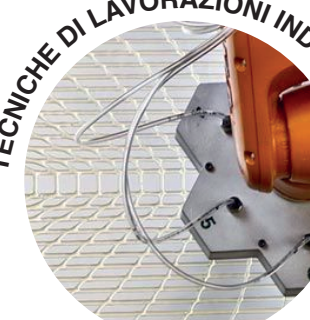
TRITURAZIONE



TECNICHE DI LAVORAZIONI ARTIGIANALI



TECNICHE DI LAVORAZIONI INDUSTRIALE





[Fig. 4.17] Posidonia spiaggiata la lana di pecora come materiale isolante naturale.



[Fig. 4.18] Posidonia spiaggiata come materiale isolante naturale..

#### 4.4.3 STATO DELL'ARTE: gli impieghi della Posidonia oceanica come biomateriale

I primi impieghi della Posidonia oceanica risalgono alla storia antica. Gli antichi egizi utilizzavano le **egagropili** per la **produzione di calzature**. Successivamente, i veneziani iniziarono ad utilizzare le **foglie secche** di Posidonia oceanica per **avvolgere e proteggere** il delicato vetro da loro prodotto. L'impiego delle foglie come packaging vantava anche altri utilizzi: oltre il vetro veniva usato per trasportare ceramiche e il pesce fresco venduto nei mercati.

Tradizionalmente, le foglie di P. oceanica venivano anche utilizzate come **fertilizzante agricolo** per migliorare le caratteristiche del terreno. Altri impieghi nell'agricoltura e nell'allevamento di bestiame vedono la P. oceanica impiegata come **lettieria** grazie alle sue **proprietà antifungine e repellenti per gli insetti**, e come **integratori alimentare** grazie all'alto valore nutritivo [144].

Durante la prima metà del XX secolo si iniziarono a studiare le **proprietà isolanti** della P. oceanica. Le popolazioni costiere del nord Africa furono le prime ad impiegare la fanerogama nel **settore edilizio**, utilizzando le foglie secche come **coperture dei tetti delle abitazioni**. Mentre, verso la fine del secolo si iniziò ad impiegare per la **produzione di carta** a causa dell'alto contenuto di cellulosa [152].

Oltre le varie applicazioni nelle attività umane, la Posidonia oceanica veniva impiegata anche come **pianta medica** nel trattamento di varie malattie umane. I primi impieghi della Posidonia come pianta medicinale provengono dall'antico Egitto, dove veniva usata come cura per il mal di gola e irritazioni alla pelle.

Infine, durante il XVI secolo le foglie di P. oceanica hanno trovato impiego anche come **imbottitura per cuscini e materassi** perché in grado di **prevenire le infezioni respiratorie** e di alleviare le condizioni delle persone affette da tubercolosi [152].

Negli ultimi anni, la **ricerca scientifica** è stata in grado di identificare nuove

[133] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiaggiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23).

[152] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2010). Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili (Manuali e linee guida 55/2010). Tipolitografia CSR.





[Fig. 4.19] Dettaglio della texture di Posidone, tavolo realizzato con le foglie di *P. spiaggiata*.

applicazioni. Tra queste troviamo un crescente interesse nelle **scienze alimentari**, dove la Posidonia oceanica è impiegabile grazie alle sue proprietà **antiossidanti e antimicrobiche**, come **sostituto ad additivi chimici** per la **conservazione degli alimenti**, riducendo ed eliminando gli agenti patogeni e i microrganismi che danneggiano gli alimenti [162].

Inoltre, diversi ricercatori hanno testato e valutato la fattibilità di utilizzare i rifiuti da biomassa vegetale, come i residui di Posidonia spiaggiata, a causa del loro **basso impatto ambientale**, e dal fatto che sono risorse rinnovabili non dipendenti da fonti fossili. **L'impiego delle fibre naturali** di Posidonia oceanica è ampiamente sfruttato in diverse industrie data la loro **abbondanza**, il **basso costo**, la **bassa densità**, la **non tossicità**, la **biodegradabilità**, le **elevate proprietà specifiche** (modulo di resistenza), la **facilità di lavorazione** e la **bassa abrasività**.

Industrie come quella automobilistica, dell'edilizia e degli imballaggi, si stanno concentrando sullo sviluppo di **nuovi materiali plastici riempiti con fibre naturali**. Ma, data la crescente domanda di materiali lignocellulosici per usi tradizionali come produzione di carta o di fibre tessili, è necessario individuare nuove fonti di fibre.

Tra queste ultime emergono le fibre di Posidonia spiaggiata che permettono l'ottenimento di nuovi materiali biodegradabili alternativi alle plastiche convenzionali.

Le **fibre di Posidonia spiaggiata** vengono impiegate come:

- **Riempitivo nei film plastici** a base di amido di patate;
- **Rinforzo nei film** di polietilene ad alta densità (HDPE), polipropilene e polivinile;
- **Assorbente** per la rimozione di metalli e metalli pesanti [163].

La Posidonia oceanica viene anche sfruttata come materia prima per la **bioconversione in biocarburanti**.

A tal proposito, il **progetto IOPOS**, condotto da *MEA*, impresa per l'innovazione industriale, in collaborazione con *Laserinn*, centro di innovazione tecnologica, formazione e consulenza, ha finalizzato una **nuova**

[162] Vasarri, M., De Biasi, A. M., Barletta, E., Pretti, C., & Degl'Innocenti, D. (2021). An overview of new insights into the benefits of the seagrass *Posidonia oceanica* for human health. *Marine Drugs*, 19(9), 476. <https://doi.org/10.3390/md19090476>

[163] In-Depth characterization of bioactive extracts from *Posidonia oceanica* waste biomass. (s.d.). MedCrave online. [https://medcraveonline.com/BBIJ/biovalorization-of-Posidonia-oceanica-waste-biomass-as-a-green-approach-toward-a-sustainable-bioeconomy.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://medcraveonline.com/BBIJ/biovalorization-of-Posidonia-oceanica-waste-biomass-as-a-green-approach-toward-a-sustainable-bioeconomy.html?utm_source=chatgpt.com)

**tecnologia per trasformare la biomassa della Posidonia spiaggiata in bioetanolo.** Con il biogas ottenuto dalla digestione anaerobica è stato alimentato un prototipo di motore [164].

Ma non solo bioetanolo, infatti, nel 2022 la startup Miras Energy ha sviluppato una tecnologia per convertire la materia spiaggiata sul litorale del Cilento in **biometano**.

Inizialmente la biomassa vegetale spiaggiata viene prelevata dal sito e trasportata su speciali nastri a tamburo che ne consentono la divisione dai sedimenti sabbiosi e dal sale dalle foglie. Successivamente la Posidonia, insieme a una restante frazione di rifiuti organici di rifiuti urbani, viene conferita nelle **bioraffinerie** per essere trasformata in biometano, attraverso la **digestione anaerobica** [165].

Le caratteristiche di **isolamento termico e acustico** della pianta, inoltre, la rendono impiegabile nel settore dell'edilizia. Infatti, la Posidonia oceanica **non è soggetta a putrefazione, non produce sostanze tossiche** ed è **antibatterica**, insieme di proprietà che la rendono perfetta come materiale nelle costruzioni ad uso abitativo.

La P. oceanica, insieme ad altri materiali, diventa un isolante termico da utilizzare nelle coperture o nelle murature delle case e degli edifici, **caratterizzato da risparmio energetico** e dalla possibilità di tracciare durante l'intera vita utile, **le materie prime, le filiere, i processi produttivi, la competitività economica e la biodiversità** [166].

Il progetto **Life Reusing Posidonia**, realizzato nel 2017 dagli architetti dell'*Instituto Balear de la Vivienda* (IBAVI), ha sfruttato le proprietà isolanti della Posidonia oceanica nella realizzazione di **14 unità abitative sociali a Formentera**. Recuperando saperi e tecniche di **costruzione tradizionali e sostenibili**, le abitazioni costruite sfruttano la **Posidonia oceanica essiccata** come isolante termico e acustico. Il fine di questo progetto è di sfruttare una risorsa preziosa per l'ecosistema, **augmentandone il suo interesse sociale** [167].

Attraverso l'impiego della Posidonia oceanica si è stati in grado di **ridurre l'impronta ecologica e l'impatto ambientale** durante le fasi di costruzione

[164] Biogas e compostaggio dalla Posidonia. (s.d.). Icmea. <https://www.icmea.it/2021/05/19/biogas-e-compostaggio-dalla-posidonia/>

[165] Raicaldo, P. (2022, 5 novembre). Produrre energia pulita dalla Posidonia spiaggiata. la Repubblica. [https://www.repubblica.it/green-and-blue/2022/11/05/news/energia\\_pulita\\_posidonia\\_cilento-369548986/](https://www.repubblica.it/green-and-blue/2022/11/05/news/energia_pulita_posidonia_cilento-369548986/)

[166] Thermal insulation role and possible exploitation of Posidonia oceanica detritus in the Mediterranean area. (2018). *Flora Mediterranea*, 28. <https://doi.org/10.7320/flmedit28.279>

[167] Sagredo, R. (2019, 31 gennaio). Life reusing posidonia / IBAVI. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/910485/life-reusing-posidonia-ibavi-instituto-balear-de-la-vivienda>

e di utilizzo delle unità abitative. In particolar modo, il consumo di energia durante la sua fabbricazione è diminuito del **50%**, il consumo energetico durante la sua vita utile del **75%** e il consumo di acqua del **60%** [156].

Il principale aspetto innovativo è la **riduzione del 50% delle emissioni di anidride carbonica** durante l'esecuzione dei lavori, per i quali è avvenuta una proposta un'adeguata nella selezione dei materiali.

Tra le risorse impiegate prevalgono i **materiali naturali derivanti dalla biosfera**, recuperando tecniche tipiche dell'**architettura vernacolare**, ovvero un'architettura pensata in funzione del territorio su cui si sviluppa e degli abitanti che usufruiscono degli edifici [167].

#### 4.4.4 LETTURA CRITICA

Matericamente parlando, la Posidonia oceanica è estremamente versatile. Come abbiamo visto, può essere trasformata in bioplastiche, in fibre tessili o in materiali compositi per rivestimenti. In più, i prodotti derivati da questa biomassa marina sono completamente **biodegradabili**, rendendoli ideali anche per applicazioni temporanee. Numerose aziende, studi di design e ricercatori stanno esplorando le potenzialità di questi materiali, applicandoli ai vari settori del design.

Nel **design di prodotto** [Fig. 4.19], la Posidonia oceanica può essere trasformata in oggetti di uso quotidiano, elementi d'arredo o packaging. Quando alle fibre vegetali marine vengono integrate resine naturali, ad esempio, si vanno a creare **materiali con strutture robuste e eco-compatibili**. Inoltre, la possibilità di adattarsi a diverse tecniche di lavorazione, come la tessitura o il pressaggio, amplifica le progettualità dei designer.

Infine, i biomateriali derivati dalla Posidonia oceanica aggiungono un **valore culturale e narrativo ai prodotti**, dato dalla sua storia e dal suo legame con il Mar Mediterraneo. In quest'epoca in cui il design si deve confrontare con le sfide ambientali, la P. oceanica emerge come una risposta autentica e sostenibile, per coniugare il **rispetto dell'ecosistema marino, funzionalità e estetica**.

[167] Sagredo, R. (2019, 31 gennaio). Life reusing posidonia / IBAVI. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/910485/life-reusing-posidonia-ibavi-instituto-balear-de-la-vivienda>



## 4.5 Casi studio di materiali e prodotti

Di seguito verranno analizzati 11 casi studio di prodotti e materiali che vedono come **componente materica principale la Posidonia oceanica**. In particolare, si approfondiranno le sue applicazioni in diversi ambiti:

### **SALUTE DELLA PERSONA**

vengono analizzate proposte progettuali in cui la Posidonia oceanica viene valorizzata in prodotti destinati al **benessere e alla cura della persona**.

### **MATERIALI DA ARREDAMENTO**

vengono analizzate proposte progettuali che integrano la Posidonia oceanica nella realizzazione di materiali **funzionali o decorativi**, mettendo in evidenza come l'impiego di questi biomateriali eco-compatibili possa conferire **narrative uniche negli spazi** in cui vengono inseriti.

### **MATERIALI DA COSTRUZIONE**

vengono analizzate proposte progettuali nel settore edilizio, mettendo in evidenza quelle che sono le **proprietà naturali** della Posidonia oceanica, e la loro capacità di migliorare la sostenibilità, efficienza e resistenza dei materiali edilizi.

Attraverso questi casi studio si propone di esplorare come la Posidonia oceanica possa essere **reinterpretata**, passando dall'essere un elemento di scarto ad una risorsa materiale dal **potenziale progettuale**.

## EGADI COSMESI NATURALE [168]

**Designer:** /

**Azienda produttrice:** Egadi Cosmesi Naturale

**Luogo di produzione:** Isola di Favignana, Italia

**Anno:** 2016

**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** Estratto di P. oceanica

**Prezzo:** €10-25



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Non tossico



Riduce emissioni di CO2



Sostenibile



Nutriente



Materiale circolare

### IL PROGETTO

La linea *Egadi Cosmesi Naturale* ha debuttato nel 2016 con **10 prodotti a base di estratto di Posidonia oceanica**: 5 per il viso e 5 per il corpo. Le ricerche che hanno reso possibile l'impiego della pianta nella cosmetica sono state avviate insieme all'area marina protetta delle isole Egadi ed a diversi **istituti di ricerca e università**.

I prodotti sfruttano le **proprietà naturali della P. oceanica per la salute della pelle**, come quelle **antiossidanti e nutrienti**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Per arrivare al **processo di estrazione** è necessario la **raccolta** della biomassa, la **pulizia** della risorsa da agenti inquinanti, la sua **essiccazione** e infine la **macinazione per ottenere estratti o polveri**. La P. spiaggiata prelevata dalle Isole Egadi non è compromessa, ma al contrario, le caratteristiche di **limpidezza e assenza di inquinanti dell'acqua** di questi siti, permette alla pianta di compiere la **sintesi delle sostanze rilevanti ad uso cosmetico**.

### MODALITÀ DI FINE VITA

L'estratto di Posidonia oceanica è interamente naturale, per questo motivo potrebbe essere **diluito e smaltito in acqua** in condizioni controllate. Se l'estratto è puro, può essere **compostato o trattato come un rifiuto organico**.

[168] Posidonia – giurati group. (s.d.). Giurati Group – Dal 1970 impegno, passione e qualità per il benessere. <https://giuratiogroup.com/prodotti/posidonia/>

## POSEIDONA [169]

**Designer:** /

**Azienda produttrice:** Poseidona

**Luogo di produzione:** Barcellona, Spagna

**Anno:** 2024

**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** Ingredienti proteici provenienti dalla P. oceanica, alghe invasive e integratori bioattivi e nutrizionali

**Prezzo:** /



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Non tossico



Riduce emissioni di CO2



Sostenibile



Nutriente



Materiale circolare



Eco-compatibile

### IL PROGETTO

*Poseidona* è un'azienda impegnata nello sviluppo di **tecnologie alimentari sostenibili**. L'azienda sfrutta il potenziale dei mari attraverso lo sviluppo di **ingredienti proteici dalla Posidonia oceanica e da alghe marine invasive**: una soluzione in grado di fornire nutrimento e di aiutare a ripristinare gli ecosistemi marini. La sua missione consiste nel creare un futuro più sostenibile per il **settore alimentare**, in particolar modo creand un'alternativa alle **proteine di soia**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

La tecnologia di lavorazione di *Poseidona* permette di creare ingredienti di alta qualità dalle risorse marine ed è attualmente sotto brevetto. Attraverso l'impiego di enzimi in un processo di **idrolisi enzimatica**, l'azienda è in grado di trasformare le biomasse spiaggiate in qualcosa di **valore**, ottenendo una risorsa con il **minimo quantitativo di rifiuti**.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Gli scarti che derivano dai processi di estrazione della materia vegetale marina possono venire **compostati, riutilizzati e inseriti in nuovi cicli di produzione** o per altri impieghi, ad esempio diventando fertilizzanti naturali, o trasformati in **energia rinnovabile** per produrre bioenergia.

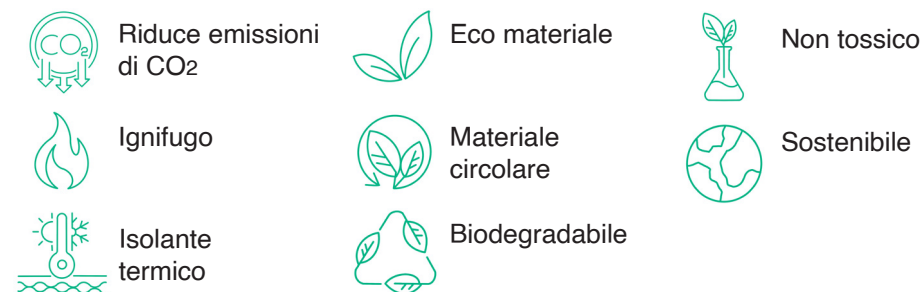
[169] Our solutions - Poseidona. (s.d.). Poseidona. <https://poseidona.eu/our-solutions/>

## EDIMARE [170]

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** EDIZERO  
**Luogo di produzione:** Sardegna, Italia  
**Anno:** 2015  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Egagropili di P. oceanica e lana di pecora  
**Prezzo:** /



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

*Edimare* è un **materiale isolante termico per l'edilizia** che collabora con comuni costieri per recuperare gli **egagropili di P. spiaggiata** diretta in discarica combinandola con la **lana di pecora**. Il materiale è in grado di proteggere sia dal freddo che dal caldo, con **un'efficacia complessiva migliore del 20%** rispetto ai materiali isolanti convenzionali (dal legno e i suoi derivati). Altri vantaggi rispetto agli altri isolanti sul mercato sono: **maggiore durabilità nel tempo, tracciabilità** totale delle filiere, delle materie prime e dei processi produttivi e **competitività economica**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Le egagropili, dopo essere **raccolte a mano** per salvaguardare l'habitat diventano **lana di mare**, attraverso la loro **trasformazione in fibre naturali**. Successivamente, la lana di mare viene unita alla lana di pecora, 100% **pura lana vergine** recuperata dagli scarti della tosatura. Tutti i processi di *Edimare* impiegano **tecnologie a crudo e a secco senza processi termici**. Inoltre, il materiale finito non presenta termolegature o termofissaggi, pratiche che andrebbero a snaturare le caratteristiche fisiche naturali delle risorse oltre ad aumentare le emissioni nocive di CO<sub>2</sub> nell'ambiente.

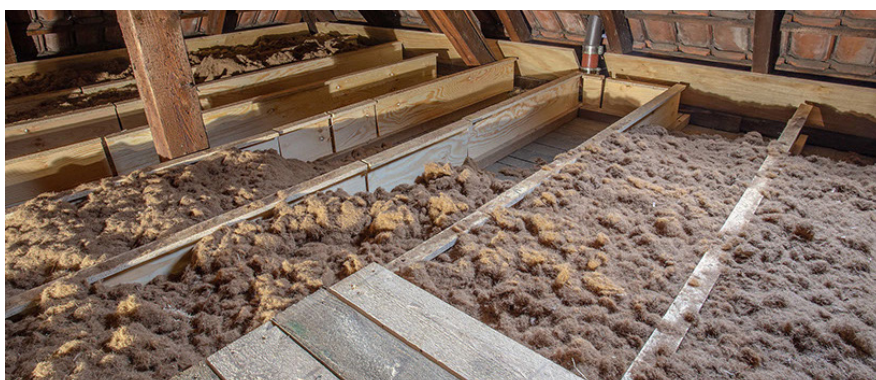
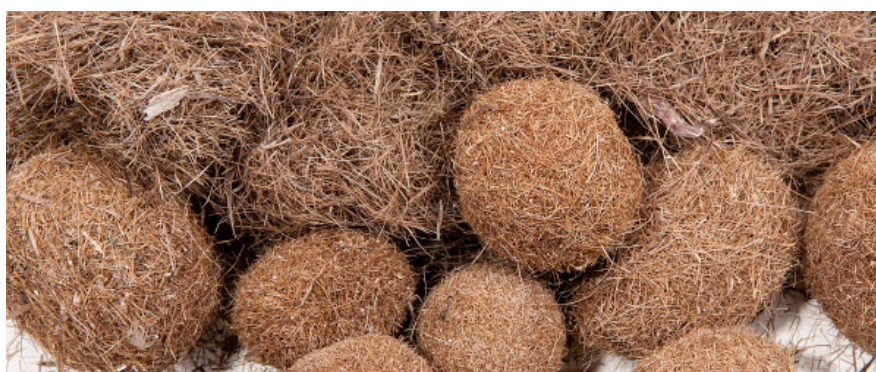
### MODALITÀ DI FINE VITA

Il materiale, non essendo trattato con additivi chimici, può essere facilmente smaltito tramite **compostaggio**, poichè entrambe le materie di cui è composto sono di origine naturale. Nel caso in cui non possa essere compostato a livello domestico, può essere conferito in **impianti specializzati per il trattamento di rifiuti organici**. Inoltre, attraverso **termovalorizzazione** possono essere trasformati in **energia rinnovabile**.

[170] Edimare: L'isolante per la bioedilizia fatto di lana e posidonia spiaggiata | greenews.info. (s.d.). Greenews. <https://www.greenews.info/comunicati-stampa/edimare-lisolante-fatto-di-lana-e-posidonia-premiato-al-salone-del-gusto-20141031/>

## NEPTUTHERM <sup>[171]</sup>

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** Neptu GmbH  
**Luogo di produzione:** Germania  
**Anno:** 2015  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Egagropili di P. oceanica  
**Prezzo:** /



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Isolante termico



Eco materiale



Non tossico



Ignifugo



Materiale circolare



Sostenibile



Riduce emissioni di CO<sub>2</sub>



Biodegradabile

### IL PROGETTO

*Neptutherm* è un **materiale isolante per l'edilizia**. *Neptutherm* è un prodotto 100% naturale, ecologico e sostenibile. Infatti, un ettaro di materiale è in grado di **immagazzinare e convertire in ossigeno grandi quantità di CO<sub>2</sub>**. Il materiale è costituito al 100% dagli **scarti della Posidonia spiaggiata** depositata sulle spiagge. *Neptutherm* è ideale per **ristrutturazioni o nuove costruzioni** ed è facilmente installabile, versandolo e compattandolo in pareti o tetti.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

La risorsa spiaggiata secca, dopo essere **raccolta a mano**, **setacciata** più volte per allontanare sabbia e altri agenti estranei, successivamente non subisce un trattamenti fisici o chimici, ma viene **triturata** e infine **sminuzzata meccanicamente in fibre** dalla lunghezza variabile da 15 a 20 mm. Il prodotto finito presenta valori alti in termini di: isolamento termico, infiammabilità, resistenza alla muffa e alla salinità.

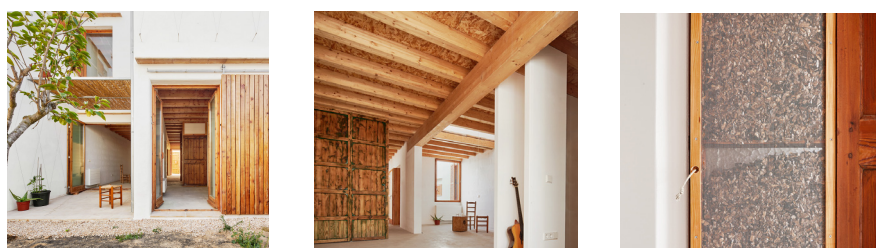
### MODALITÀ DI FINE VITA

Il materiale, non essendo trattato con additivi chimici, può essere facilmente smaltito tramite **compostaggio**, poichè entrambe le materie di cui è composto sono di origine naturale. Nel caso in cui non possa essere compostato a livello domestico, può essere conferito in **impianti specializzati per il trattamento di rifiuti organici**.

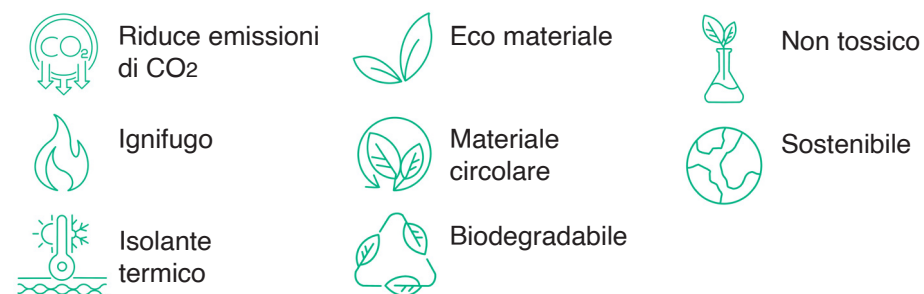
[171] NeptuTherm - MaterialDistrict. (s.d.). MaterialDistrict. <https://materialdistrict.com/material/neptutherm/>

## LIFE REUSING POSIDONIA [172]

**Designer:** Balearic Social Housing  
**Azienda produttrice:** /  
**Luogo di produzione:** Formentera, Spagna  
**Anno:** 2013-2019  
**Stato:**  
**Materiale:** Posidonia oceanica  
**Prezzo:** /



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Al fine di contrastare gli effetti ambientali negativi comportati dall'uso di materiali da costruzione tradizionali, quali il calcestruzzo, i mattoni refrattari e l'isolamento petrolchimico, *Life Reusing Posidonia* ha utilizzato la **Posidonia spiaggiata per l'isolamento termico di 14 alloggi sociali** per sull'isola balearica di Formentera. Questo metodo di costruzione locale ed ecologico ha **ridotto le emissioni del 60%**, il **consumo energetico del 75%** e il **consumo d'acqua del 60%**. Creando un **modello di costruzione replicabile** in altre zone costiere che ospitano la P. oceanica.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Tutti i materiali impiegati nella costruzione sono di origine naturale o derivano da scarti di produzione come: **rifiuti locali riutilizzabili** (legno o P. oceanica), **prodotti locali eco-compatibili** (argilla, sughero) e **materiali riciclati o ottimizzati** (cemento o metalli). L'isolamento dei tetti delle abitazioni è realizzato con uno spessore di **16 cm di Posidonia essiccata e compattata in pallet** di seconda mano. L'impiego della pianta come termo-isolante ha garantito un **elevato livello di comfort interno** con una media di 21°C in inverno e 26°C in estate, con un basso **consumo energetico**.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Il materiale, non essendo trattato con additivi chimici, può essere facilmente smaltito tramite **compostaggio**, poichè entrambe le materie di cui è composto sono di origine naturale. Nel caso in cui non possa essere compostato a livello domestico, può essere conferito in **impianti specializzati per il trattamento di rifiuti organici**.

[172] Life reusing posidonia: Architecture in search of meaning. (s.d.). The Sibarist. <https://thesibarist.com/en/magazine/life-reusing-posidonia-arquitectura-en-busca-de-sentido/>



## POSIDONIA SEAFLOOR [173]

**Designer:** Andrés Ramirez

**Azienda produttrice:** /

**Luogo di produzione:** Spagna

**Anno:** 2021

**Stato:** Prototipo

**Materiale:** Egagropili di *P. oceanica*, filo di cotone. Opzionale: resina vegetale, agar-agar, acqua

**Prezzo:** /



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Riduce emissioni di CO<sub>2</sub>



Eco materiale



Leggero



Materiale circolare



Ignifugo



Sostenibile



Non tossico



Biodegradabile

### IL PROGETTO

Attraverso il progetto *Posidonia Seafloor*, l'obiettivo del designer è stato quello di creare un nuovo materiale, utilizzando **le sfere di egagropili di Posidonia spiaggiata** per favorire **l'economia circolare delle zone costiere** attraverso il riuso delle risorse disponibili in natura. Da questo materiale deriva la creazione di un **tappeto**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Questo materiale è creato **cucendo le egagropili di Posidonia oceanica insieme utilizzando del filo di cotone**. Facoltativamente è possibile applicare un **mix di resina vegetale, agar-agar e acqua** per proteggere superficialmente la composizione del materiale e per evitare che si sfibri se sottoposto a compressione quando ci si cammina sopra.

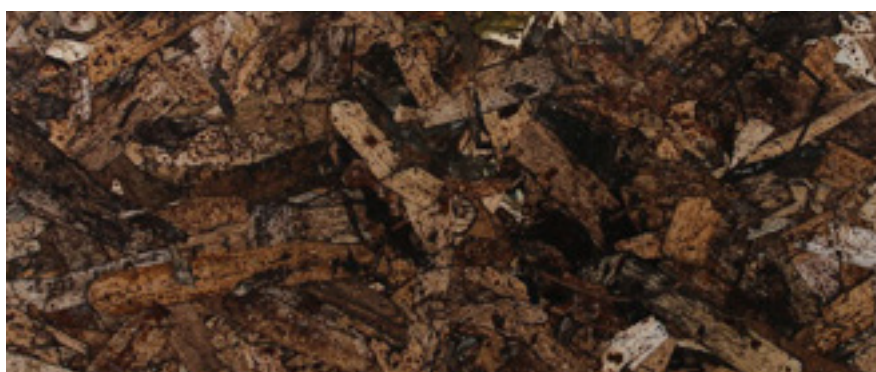
### MODALITÀ DI FINE VITA

Le egagropili di Posidonia oceanica sono **biodegradabili** in ambiente e possono essere **compostate** o **smaltite** come materiale organico.

[173] Posidonia by andrés ramírez – future materials bank. (s.d.). Future Materials Bank. <https://www.futurematerialsbank.com/material/posidonia/>

## PHEE <sup>[174]</sup>

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** Phee  
**Luogo di produzione:** Grecia  
**Anno:** 2016  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Foglie di P. oceanica e resine naturali  
**Prezzo:** € 20-195



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Riduce emissioni di CO<sub>2</sub>



Eco materiale



Leggero



Materiale circolare



Ignifugo



Resistente a compressione e agli urti



Non tossico



Biodegradabile

### IL PROGETTO

*Phee* è un'azienda greca che sfrutta la foglia secca della P. oceanica per la **creazione di prodotti**. Tra questi è possibile trovare: pannelli, racchette, cover per dispositivi elettronici e diverse montature di occhiali da sole, tutti realizzati con foglie di **P. spiaggiata e resine biologiche**. Il team *PHEE*, dopo 3 anni di ricerca e sviluppo, è diventata la **prima azienda al mondo ad utilizzare la Posidonia oceanica come materia prima primaria**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il materiale è estetico e a base di **P. spiaggiata e cellulosa**, sviluppato attraverso un processo brevettato. Si tratta di un materiale **unico**, in quanto la disposizione delle foglie varia, **personalizzabile**, a seconda delle esigenze del cliente, **resistente al fuoco e sostenibile**, sia per quanto concerne la produzione che l'approvvigionamento della materia prima. A seconda del prodotto, la **P. oceanica è affiancata da altri materiali**. Nel caso delle cover da un telaio in biopolimero ammortizzante, e nel caso degli occhiali da una miscela di cera d'api bianca e olio extravergine di oliva per conferire **impermeabilità** e una **finitura lucida**.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Il materiale a base di Posidonia oceanica **non contiene additivi tossici** e pertanto, al termine del suo ciclo di vita, può **decomporsi** naturalmente attraverso **compostaggio** o **smaltito come materiale organico**.

[174] Company | phee. (s.d.). Phee. <https://phee.gr/company/>

## TETHYS SIDE TABLE <sup>[175]</sup>

**Designer:** Alex Mint

**Azienda produttrice:** Alex Mint Studio

**Luogo di produzione:** Grecia

**Anno:** 2022

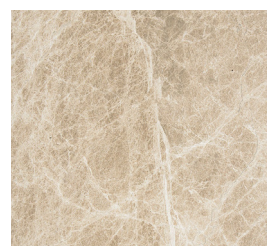
**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** P. oceanica e marmo

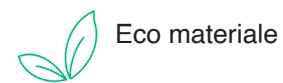
**Prezzo:** € 1585

**Dimensioni:** 50 x 50 x 45 cm

**Peso:** 45 kg



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Eco materiale



Biodegradabile



Sostenibile



Materiale circolare



Ignifugo



Non tossico



Resistente a compressione e agli urti

### IL PROGETTO

Il *Tethys side table* fa parte della **collezione Oceanides** pensata dalla designer Alex Mint e realizzata dalle mani sapienti di artigiani. La collezione prende ispirazione **dall'oceano** e si pone l'obiettivo di **coniugare eleganza e sostenibilità**. Il pattern creato dalla disposizione della pianta è **unico in ogni pezzo** e vuole comunicare un'idea di consumo consapevole.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il *Tethys side table* impiega due materiali principali: **le foglie secche di Posidonia spiaggiata e il marmo**. Le lavorazioni sono tutte **artigianali**. Tutti i pezzi sono **laccati con una finitura protettiva** per dare una superficie durevole e resistente alle macchie

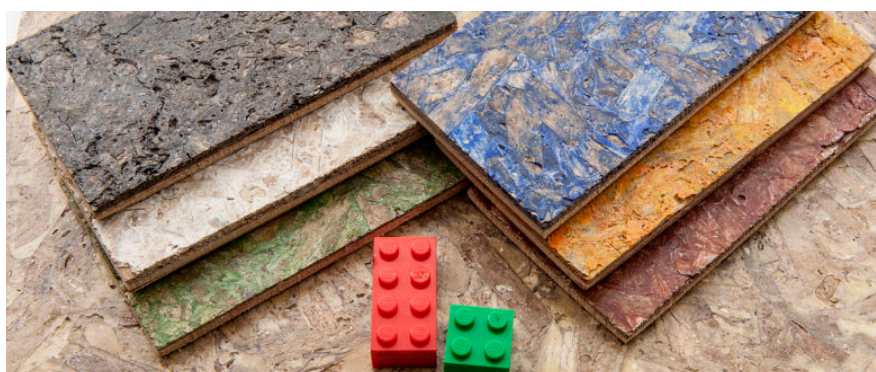
### MODALITÀ DI FINE VITA

Il materiale, non essendo trattato con additivi chimici, può essere facilmente smaltito tramite **compostaggio**, poichè entrambe le materie di cui è composto sono di origine naturale. Nel caso in cui non possa essere compostato a livello domestico, può essere conferito in **impianti specializzati per il trattamento di rifiuti organici**. Il marmo non può essere riciclato.

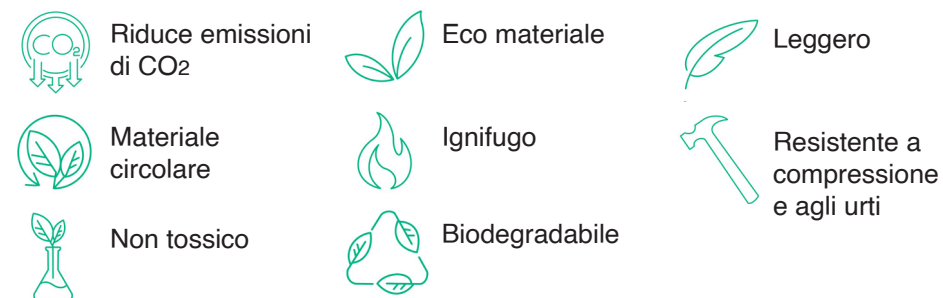
[175] Tethys side table. (s.d.). curiospace. <https://curio.space/products/tethys-side-table?variant=49235776635185>

## METIS SEAGRASS [176]

**Designer:** Yannis Pavlakis  
**Azienda produttrice:** Metis Seagrass  
**Luogo di produzione:** Grecia  
**Anno:** 2018  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** P. oceanica e resine vegetali  
**Prezzo:** /



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

*Metis Seagrass* produce pannelli ecologici utilizzabili come **rivestimenti e impiallacciature** e come **elementi decorativi** per pareti e possono essere applicate in **spazi esterni e interni**, co spazi per uffici, spazi immobiliari per residenti, ristoranti, hotel o altri servizi di locazione. La missione dell'azienda **trasformare gli spazi**, fornendogli un'atmosfera naturalmente unica, sana per la mente e l'anima, **incorporando la saggezza della natura**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

*Metis Seagrass* sono create, in parte manualmente, con fibre naturali di **Posidonia oceanica e leganti biologici**. Le foglie vengono poste su HPL, ovvero **laminati ad alta pressione**. Grazie alla loro composizione offrono una alternativa alle superfici tradizionali da petrolchimici. Durante la produzione **non viene impiegata acqua, non vengono prodotti rifiuti** ed è caratterizzata da **efficienza energetica**. Inoltre, è presente in varie **colorazioni** ed è facile da applicare, installare e combinare.

### MODALITÀ DI FINE VITA

In condizioni climatiche normali la **durata di vita** dei pannelli *Metis Seagrass* è paragonabile a quello di un **truciolato di legno**. Le superfici sono soggette a un **processo di invecchiamento naturale**, ad esempio attraverso la luce UV.

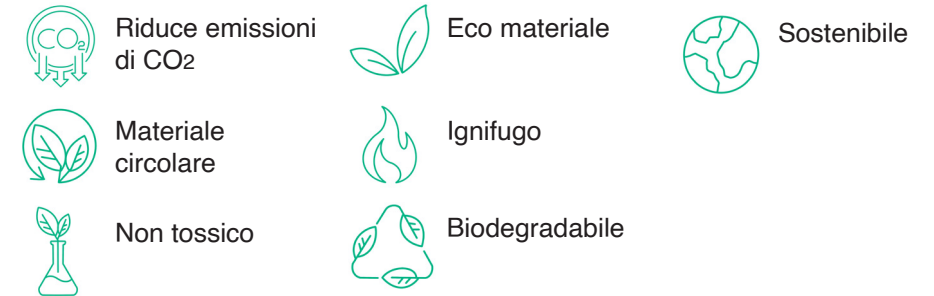
[176] Home - metis-seagrass.com. (s.d.). metis-seagrass.com. <https://metis-seagrass.com/>

## POSIDONE [177]

**Designer:** Francesco Cantini  
**Azienda produttrice:** /  
**Luogo di produzione:** Italia  
**Anno:** 2018  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** P. oceanica e resina bioepossidica  
**Prezzo:** /



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Il tavolo *Posidone* fa parte della **collezione Endèmica**, ovvero un **progetto di ricerca sul Mediterraneo**, che lo analizza sia come luogo di cultura che come bioma. L'obiettivo del progetto è quello di creare **un nuovo linguaggio e una nuova estetica dei materiali naturali**. Endèmica nasce dalla necessità di strutturare una collezione di prodotti che dimostrino la possibilità di mantenere una **filiera sostenibile che sfrutti le risorse autoctone** del bioma mediterraneo attraverso una **ricollocazione materiale**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il materiale del tavolo è ottenuto **artigianalmente mescolando la resina naturale e la Posidonia oceanica**. Attraverso il lavoro manuale, la superficie presenta una **forma libera, irregolare e unica**, volutamente voluta dal designer, che la ricollega alla **natura multiculturale, biodiversa, ibrida e mista del Mar Mediterraneo**.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Il materiale, non essendo trattato con additivi chimici, può essere facilmente smaltito tramite **compostaggio**, poichè entrambe le materie di cui è composto sono di origine naturale. Nel caso in cui non possa essere compostato a livello domestico, può essere conferito in **impianti specializzati per il trattamento di rifiuti organici**.








[177] Posidone I endèmica. (s.d.). francescocantini. <https://cantinifrancesco.wixsite.com/francescocantini/posidone>

## POC PACKAGING [178]

**Designer:** Felix Pöttinger  
**Azienda produttrice:** /  
**Luogo di produzione:** Londra, Regno Unito  
**Anno:** 2017  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Fibre e legante estratto dalla P. oceanica, fibre vegetali  
**Prezzo:** /



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE

-  Riduce emissioni di CO<sub>2</sub>
-  Eco materiale
-  Sostenibile
-  Materiale circolare
-  Ignifugo
-  Non tossico
-  Biodegradabile

### IL PROGETTO

Poc è un materiale che utilizza la Posidonia oceanica come sostituto alla plastica. L'obiettivo di Poc è **diminuire l'impiego di plastica nel settore del packaging alimentare**. Il materiale impiegato è la Posidonia oceanica in quanto presenta ottime **proprietà antibatteriche e di conservazione alimentare**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

La Posidonia oceanica viene lavorata al fine di estrarne le **fibre** e una particolare **sostanza legante** che ha al suo interno. Il composto di fibre di P. oceanica, altre **fibre vegetali** intatte e legante ottenuto, viene poi **pressato** in uno stampo di metallo e **cotto a 180°C** finchè non risulterà completamente asciutto. La forma è realizzata con stampi di imballaggi già esistenti, in modo da permettere ai produttori di generi alimentari di poter adottare Poc senza cambiare macchinari.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Il packaging a fine vita è completamente **biodegradabile** grazie alla sua **composizione interamente naturale**. Infatti, Poc non prevede l'uso di trattamenti superficiali o di additivi chimici o nocivi all'ambiente.

[178] Zanetta, O. (2017, 26 luglio). Poc, da una pianta acquatica nascono imballaggi alimentari sostenibili. LifeGate. <https://www.lifegate.it/poc-alghe-marine-materiale-alternativo>

# 5

# META PROGETTO

|  |       |
|--|-------|
| IDENTIFICAZIONE DEL PROBLEMA                     | 5.1   |
| PERCHÉ INTERVENIRE?                              | 5.1.1 |
| PROPOSTA METAPROGETTUALE: RIGENERAZIONE COSTIERA | 5.2   |
| PROPOSTA METAPROGETTUALE: PANNELLI ECOLOGICI     | 5.3   |
| PROPOSTA METAPROGETTUALE: PACKAGING              | 5.4   |
| CONCLUSIONE                                      | 5.5   |

PROPOSTA METAPROGETTUALE: RIGENERAZIONE COSTIERA 5.2

PROPOSTA METAPROGETTUALE: PANNELLI ECOLOGICI 5.3

PROPOSTA METAPROGETTUALE: PACKAGING 5.4

CONCLUSIONE 5.5



## CAPITOLO 5 Metaprogetto

Nei capitoli precedenti abbiamo esplorato la disciplina del Biodesign, analizzandone il **significato e la missione progettuale**. Successivamente, abbiamo individuato il nostro campo di ricerca di interesse: la flora marina. Ne abbiamo approfondito la biologia e le applicazioni nella progettazione biologica, focalizzandoci in particolare sulle biomasse spiaggiate e, nello specifico, sulla Posidonia spiaggata. La scelta di questa risorsa è motivata sia dalla sua ampia reperibilità in natura, sia dalle problematiche legate alla sua gestione e dismissione.

Attraverso l'analisi di casi studio sull'impiego della Posidonia oceanica come biomateriale, abbiamo potuto comprendere più a fondo **le sue potenzialità e le opportunità progettuali** che offre, ma anche **le criticità** legate al suo utilizzo. Queste considerazioni ci hanno spinto a cercare una soluzione metaprogettuale che possa valorizzare questa risorsa in modo sostenibile.

A tal proposito, abbiamo individuato tre strade metaprogettuali: **rigenerazione costiera, pannelli ecologici e packaging**. Per ciascuna applicazione metaprogettuale---- sono state analizzate le aree di intervento, i materiali e le loro tecniche di lavorazione, i casi studio di progetti simili e infine sono stati proposti degli schizzi.





[Fig. 5.1] Banquettes di Posidonia spiaggiata.

## 5.1 Identificazione del problema

A cavallo tra la stagione estiva e la stagione autunnale **le maree e le correnti**, trasportano i resti di Posidonia oceanica sulle spiagge andando a creare accumuli di **biomassa vegetale spiaggiata**, anche conosciuti come **banquettes**.

Le banquettes, pur essendo utili per contrastare l'erosione costiera e favorire la biodiversità, possono **scoraggiare i turisti** a causa dei residui fluttuanti e degli odori prodotti dalla degradazione batterica. Ciò **riduce il valore turistico delle spiagge**, spingendo le **amministrazioni locali a rimuoverli**, spesso ricorrendo a **costose raccolte e smaltimenti** in discarica. Tuttavia, questa pratica compromette gravemente l'ecosistema costiero, privandolo di un elemento fondamentale per la sua **stabilità e rigenerazione**.

**+38**

L'anno di **materiale organico spiaggiato accumulato** sulle spiagge prodotto dai posidonieti di **Posidonia oceanica** [179].

% di **superficie del Mar Mediterraneo** ricoperta dai posidonieti di **Posidonia oceanica** [180].

**+1,5**

[179] Posidonia - marevivo. (2020, 3 aprile). Marevivo. <https://marevivo.it/tutela-della-biodiversita-approfondimenti/posidonia/>

[180] Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiaggiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23)

## 5.1.1 Perché intervenire?

### MOTIVI ECOLOGICI

Le banquettes di P. oceanica **difendono le spiagge dall'erosione costiera**. Il **30% dei litorali costieri** mediterranei è in **erosione**, ovvero le spiagge sono in arretramento.

Ogni anno, **460 ettari** di praterie di P. oceanica assorbono fino a **1 tonnellata di anidride carbonica**, mentre **1 mq** è in grado di produrre **14 litri di ossigeno**.

Le banquettes di P. oceanica sono **rifugio e luogo di riproduzione** di molti **organismi marini** e costituiscono una parte importante della **produttività ittica** del Mar Mediterraneo.



[179] Posidonia - marevivo. (2020, 3 aprile). Marevivo. <https://marevivo.it/tutela-della-biodiversita-approfondimenti/posidonia/>

### MOTIVI ECONOMICI

I costi per il **ripascimento delle spiagge** sono stimati tra i **1600-2100 euro** per metro lineare di litorale.

La rimozione della banquettes causa una progressiva **desertificazione della spiaggia**, in quanto insieme al materiale spiaggiato vengono rimosse **grandi quantità di sabbia**.

La rimozione delle banquettes corrisponde a un arretramento di circa **20 metri di spiaggia** che annualmente corrispondono a un **danno economico di 20.000-80.000 euro**.



[179] Posidonia - marevivo. (2020, 3 aprile). Marevivo. <https://marevivo.it/tutela-della-biodiversita-approfondimenti/posidonia/>

## 5.2 Proposta metaprogettuale: RIGENERAZIONE COSTIERA

### 5.2.1 DESCRIZIONE METAPROGETTUALE

I *living seawalls* o **barriere marine artificiali** sono strutture in grado di **favorire la biodiversità marina, fornire riparo agli organismi marini viventi e contrastare l'erosione costiera**. Le barriere marine artificiali sono progettate per **integrarsi armoniosamente** con l'ambiente costiero e diventare un elemento attivo nella **rigenerazione marina**.

### 5.2.2 REFERENCE PROGETTUALI



Moduli conici frangiflutti immersi per ridurre l'erosione costiera e ristabilire ecosistemi sani per la vita acquatica.



Il sistema a vite, aggiunge complessità alla struttura. Attrae organismi che filtrano gli inquinanti mantenendo l'acqua pulita.



Sistema modulare di componenti ceramici porosi che formano strutture reticolari in grado di ricostruire gli ambienti marini.



Barriere a campana ecocompatibili che sfruttano l'energia delle onde per la protezione delle coste.

### 5.2.3 AREE DI INTERVENTO

Ogni contesto marino ha **esigenze e requisiti diversi** e di conseguenza anche le barriere coralline artificiali dovranno avere caratteristiche specifiche per potersi **adattare e integrare all'ambiente stabilito**.

#### MOLI



#### REQUISITI

Deve essere applicato a **pareti verticali** senza compromettere la **sicurezza della struttura**.

Deve facilitare l'**insediamento di filtratori** come ostriche e cozze per **migliorare la qualità dell'acqua**.

Deve sopportare l'**impatto delle onde** generate dal **traffico marittimo**.

#### SPIAGGE



#### REQUISITI

Deve **stabilizzare il fondale marino** senza interrompere i processi naturali di sedimentazione.

Deve integrarsi nel paesaggio senza **alterare l'uso della spiaggia** da parte delle persone.

Deve tollerare il **continuo flusso delle maree** e le tempeste marine.

#### SCOGLI



#### REQUISITI

Deve avere forme, colori e texture simili a quelli delle **rocce esistenti** per favorire l'**integrazione**.

Deve avere sopportare il moto ondosso **senza degradarsi** nel tempo.

Deve tollerare **sbalzi termici e condizioni marine variabili**.

### 5.2.4 MATERIALE

#### POSIDONIA OCEANICA + ECOCONCRETE

*ECO*crete è una tecnologia brevettata dall'azienda *ECO*creteTECH. Si tratta di un materiale durevole che **emula le caratteristiche fisiche e meccaniche del cemento** e che consente la **costruzione consapevole** di strutture in ambiente marino. La **composizione chimica** del materiale **favorisce la crescita di organismi** come ostriche, coralli o molluschi, che agiscono da **colla biologica**, migliorando la resistenza e la durata delle strutture, aggiungendo **stabilità e longevità**.

La Posidonia oceanica offre **nuova funzionalità e una nuova estetica al prodotto finito**, in grado di **valorizzare** l'effetto materico del materiale organico. La sua composizione chimica permette di migliorare determinate caratteristiche dell'*ECO*crete, come la **durabilità, resistenza alla corrosione e agli agenti marini** e favorisce l'**insediamento di numerosi organismi marini** [181].

#### ECOCONCRETE



- **Compatibile con l'ambiente marino** e i suoi organismi;
- **Composizione posora** e organica;
- Favorisce la **colonizzazione di organismi** animali e vegetali;
- **Proprietà meccaniche** sono simili al cemento tradizionale;
- **Resistenza** all'erosione e alla corrosione salina;
- **Stabilità strutturale** per resistere alle forze delle onde e delle correnti.

#### POSIDONIA OCEANICA



- **Facilmente lavorabile e miscibile** con altri materiali anche per la sua **leggerezza**;
- **Proprietà antimicrobiche, isolanti, nutrienti**;
- **Mitigazione dell'acidificazione marina** grazie all'elevato contenuto di carbonato di calcio;
- **Durabilità e resistenza agli agenti marini** grazie alla sua composizione ricca di silice e lignina.

### 5.2.5 TECNICA DI PRODUZIONE

Per la realizzazione di una barriera artificiale in cemento e P. oceanica si ipotizza l'uso di **tecniche di colata in stampo o stampa 3D**. La **colata in stampo** produce prodotti più **compatti e resistenti**, in quanto consente **superfici più omogenee**. Una problematica è però legata agli **stampi** necessari per la creazione di forme complesse. La **stampa 3D**, invece, produce oggetti stratificati, permettendo una maggiore **libertà nella geometria** e nella **personalizzazione delle forme**, ma questo può risultare in resistenza meccanica inferiore rispetto alla colata.

La scelta tra la tecnica di colata in stampo e la stampa 3D dipende quindi, dalle **esigenze specifiche** della barriera artificiale. Se l'obiettivo è ottenere una soluzione **resistente e duratura**, la colata è preferibile, se invece è necessaria una maggiore **adattabilità delle forme** e una produzione più sostenibile, la stampa 3D rappresenta un'opzione migliore.



COLATA IN STAMPA



COLATA IN STAMPA



STAMPA 3D



STAMPA 3D

[181] *ECO*crete - we bring concrete to life. (s.d.). *ECO*crete. <https://econcretetech.com/>

5.2.6 STAKEHOLDER MATRIX

La Stakeholder Matrix è uno strumento strategico utile per comprendere chi sono gli **attori e i destinatari** di un prodotto, sistema o servizio. Nel caso specifico delle barriere coralline artificiali sono stati individuati 6 attori principali ovvero: **comuni e amministrazioni, università e centri di ricerca, agenzie per l'ambiente, associazioni ambientaliste, residenti e cittadini e settore turistico e balneare.**

**Comuni e amministrazioni locali:** facilitano l'implementazione del progetto, integrandolo con le politiche locali di sostenibilità e gestione costiera.

**Università e centri di ricerca:** grazie alla ricerca accademica è possibile monitorare gli effetti delle barriere sulla biodiversità marina.

**Agenzie per l'ambiente:** si occupano della regolamentazione e della supervisione dei progetti ambientali.

**Settore turistico e balneare:** opportunità per lo sviluppo di un turismo sostenibile, legato ad attività di snorkeling, immersioni e percorsi educativi.

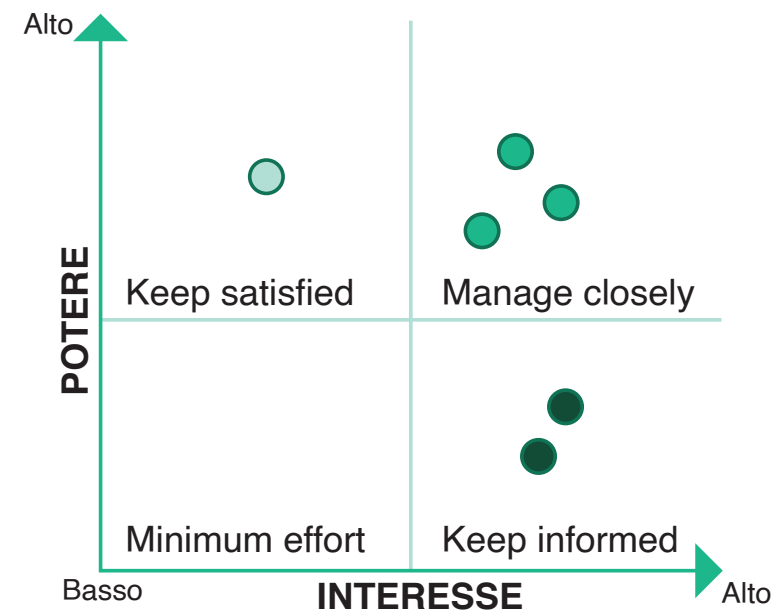
**Residenti e cittadini:** l'accettazione sociale della barriera artificiale dipende dalla loro percezione del valore ecologico ed economico dell'iniziativa.

TABELLA STAKEHOLDER

|   |  | STRATEGIA DI GESTIONE                       |
|---|--|---|
| ● | <b>Comuni e amministrazioni</b>                            | Coinvolgimento diretto e negoziazione       |
|   | <b>Università e centri di ricerca</b>                      | Condivisione di dati per analisi e ricerche |
|   | <b>Agenzie per l'ambiente (ISPRA, UE, ecc.)</b>            | Comunicazione trasparente e reportistica    |
| ● | <b>Associazioni ambientaliste (WWF, Legambiente, ecc.)</b> | Supporto comunicativo e advocacy            |
|   | <b>Residenti e cittadini</b>                               | Sensibilizzazione e partecipazione          |
| ○ | <b>Settore turistico e balneare</b>                        | Coinvolgimento per valorizzazione           |

[Tab. 5.1] I 6 attori individuati **sono coinvolti e interagiscono** con il prodotto in maniere differenti a seconda della loro funzione e della loro posizione nella Stakeholder Matrix. Le **strategie di gestione** rappresentano la modalità attraverso cui i diversi stakeholder esercitano la loro influenza o il loro interesse sul dato prodotto.

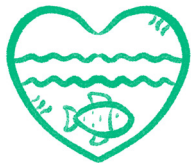
MATRICE DEGLI STAKEHOLDER



[Fig. 5.2] La matrice degli Stakeholder si divide in quattro quadranti e **a seconda della posizione** i ruoli di **potere o interesse sul prodotto cambiano**. Gli attori in alto a destra esercitano alto interesse e alto potere, in alto a sinistra alto potere e basso interesse e in basso a destra basso potere e basso interesse.

### 5.2.7 LINEE GUIDA

Le seguenti linee guida sono state sviluppate per fornire un **quadro chiaro e dettagliato** sulla **progettazione, realizzazione e gestione** delle barriere coralline artificiali.



#### RUOLO ECOLOGICO

Il prodotto ha la capacità di rispondere alle **questioni ambientali** attuali in maniera consapevole e sostenibile attraverso il **ripristino degli ecosistemi marini**.



#### FORME BIOMIMETICHE

Il prodotto presenta una struttura dalle **configurazioni biomimetiche**. La creazione di strutture artificiali per l'ambiente richiede integrazione e interazione con le specie locali.



#### RESISTENZA

I materiali impiegati devono rispondere a condizioni particolari, come **umidità, salinità e pressione** esercitata dalle correnti marine, garantendo **durabilità e stabilità nel tempo**.



#### CIRCULARITÀ

Il prodotto è realizzato con un biocomposito derivato **Posidonia spiaggiata**, questa struttura replica le banquettes naturali, restituendo la biomassa al mare in un ciclo circolare.



#### MODULABILITÀ

Il prodotto adotta forme che permettono **strutture modificabili e adattabili** ai diversi contesti che caratterizzano **l'ambiente marino**.

### 5.2.8 CASI STUDIO

**Le barriere coralline artificiali** sono **strutture costiere** progettate con il fine di apportare benefici ecologici nel sito in cui sono posizionati. Sono interpretazioni dei convenzionali muri di contenimento marini. Svolgono un ruolo di **protezione dall'erosione e dalle mareggiate, favoriscono la biodiversità** offrendo riparo a flora e fauna e **rigenerano gli ecosistemi marini danneggiati**.

**Dall'analisi dei casi studio**, sono emerse diverse **forme e configurazioni** progettate per rispondere a specifiche esigenze ecologiche e di design. Le **superfici biomimetiche** si ispirano a elementi naturali per fornire rifugi agli organismi marini, massimizzando la capacità di integrazione con l'ambiente.

I **materiali** utilizzati combinano, nella maggiorparte dei casi, **cemento ecologico con elementi naturali riciclati** per creare **superfici porose e bio-compatibili**, consentendo l'adesione di alghe, molluschi e altre forme di vita marina. Le proprietà dei materiali sono:

- **Resistenza** all'erosione e alla corrosione salina;
- **Porosità** per favorire la colonizzazione biologica;
- **Stabilità strutturale** per resistere alle forze delle onde e delle correnti;
- **Compatibilità ecologica** per evitare rilascio di sostanze tossiche.

Le barriere coralline artificiali possono essere applicate in **diversi contesti**, tra cui:

- **Porti e infrastrutture urbane costiere;**
- **Barriere frangiflutti;**
- **Zone di ripristino ambientale.**

## EROSION MITIGATION UNITS [182]

**Designer:** Alex Goad e Reef Design Lab  
**Luogo di produzione:** Australia  
**Anno:** 2022  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Calcestruzzo e gusci di ostriche  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE

Porosità



Durabilità



Sostenibile



Eco-compatibile



Struttura  
modulare



### IL PROGETTO

Serie di **moduli conici frangiflutti**, in grado di rompere le onde, **ridurre l'erosione costiera** e **ristabilire ecosistemi** sani per la vita acquatica. Una volta immersi nell'acqua, le forme organiche ondulate offrono piccole grotte, tunnel e nascondigli per molluschi, polpi, spugne, coralli e altre creature.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il team di progettazione ha utilizzato **tecniche tradizionali di colata** per produrre gli **stampi riutilizzabili** nel suo studio di Melbourne. Secondo uno studio, questa scelta ha permesso di **risparmiare una notevole quantità di cemento** rispetto all'utilizzo della stampa 3D del calcestruzzo.

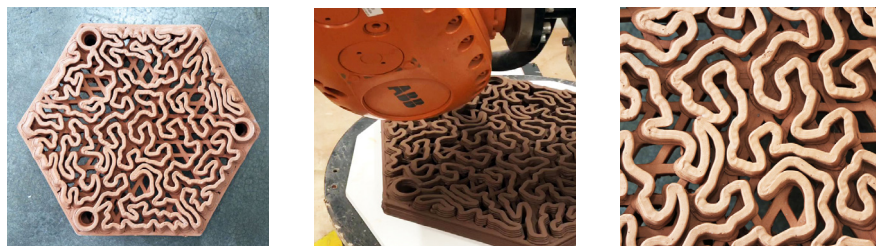
### MODALITÀ DI FINE VITA

Le strutture, larghe due metri, sono fatte di **calcestruzzo e gusci di ostriche** riciclati stratificati in stampi. *Reef Design Lab*, insieme al designer, hanno optato per una forma organica per **ridurre al minimo l'uso di materiali** e mantenere **l'integrità strutturale**, creando rifugi e colonie per la vita oceanica.

[182] Erosion Mitigation Units (EMU) | REEF DESIGN LAB. (s.d.). REEF DESIGN LAB. <https://www.reefdesignlab.com/emu>

## REEF TILES [183]

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** Archireef  
**Luogo di produzione:** Hong Kong, Cina  
**Anno:** 2023  
**Stato:** Sul mercato  
**Materiale:** Terracotta  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Le *Reef Tiles* sono piastrelle per il **ripristino delle barriere coralline** degradate interamente **personalizzabili** e rispettose dell'ambiente, **facili da assemblare** e soprattutto, con un **ciclo vita più lungo** rispetto ad altre strutture in ambito marino. La struttura è formata da una base che **impedisce l'affondamento** della struttura nel fondale marino e uno strato superiore che sfrutta i principi della biomimesi, **imitando le forme del corallo *Platygyra***. Con un tasso di sopravvivenza dei coralli del 95%, queste piastrelle superano in modo significativo i metodi tradizionali.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Le *Reef Tiles* sono le prime piastrelle **stampate in 3D al mondo**, realizzate con la terracotta. La stampa 3D della terracotta permette la **personalizzazione** delle forme, consentendo la realizzazione di **conformazioni complesse**. Inoltre permette al materiale di mantenere la sua **porosità**, contribuendo alla salvaguardia dell'ambiente marino.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Le *Reef Tiles* sono fatte di **terracotta**, materiale **non tossico ed ecologico** che non ha un impatto negativo sull'oceano e sulla sua vita marina.

[183] Home - archireef. (s.d.). Archireef. <https://archireef.co/>

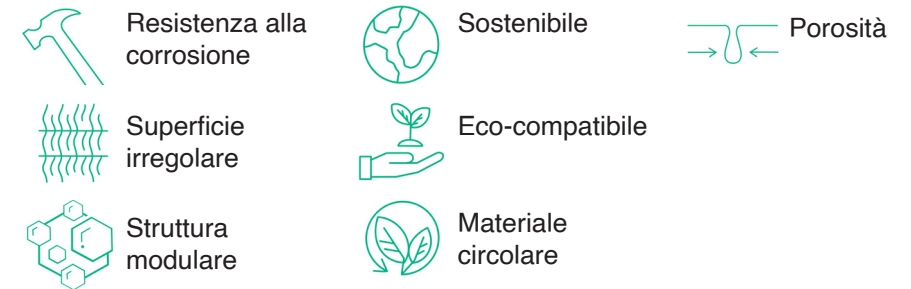


## VOLVO SEAWALL [184]

**Designer:** Reef Design Lab  
**Azienda produttrice:** Volvo Car Australia  
**Luogo di produzione:** Australia  
**Anno:** 2019  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Calcestruzzo e fibre di plastica riciclata  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Progettato per imitare la struttura delle **radici di alberi di mangrovie** autoctone, il *Volvo Living Seawall* aggiunge complessità alla **struttura del molo esistente** e fornisce un **habitat per la vita marina**. Ciò favorisce la biodiversità e attrae organismi filtratori che assorbono e **filtrano gli inquinanti**, come le particelle e i metalli pesanti, mantenendo l'acqua pulita.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il *Volvo Living Seawall* è composto da **50 piastrelle** progettate per imitare la struttura delle radici degli alberi di mangrovia. Ogni piastrella è realizzata in **calcestruzzo biocompatibile rinforzato con fibre di plastica riciclate**. I modelli sono progettati con **software CAD** per ottenere superfici complesse e irregolari, per poi essere **stampati in stampi tridimensionali**.

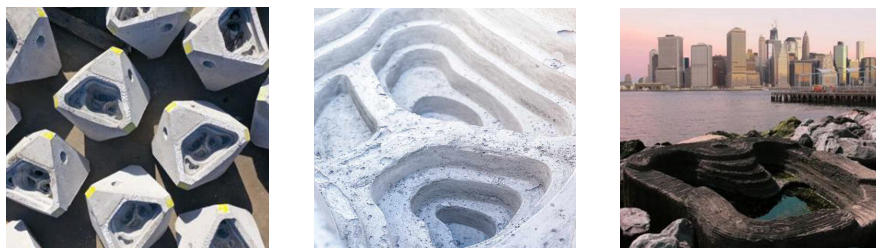
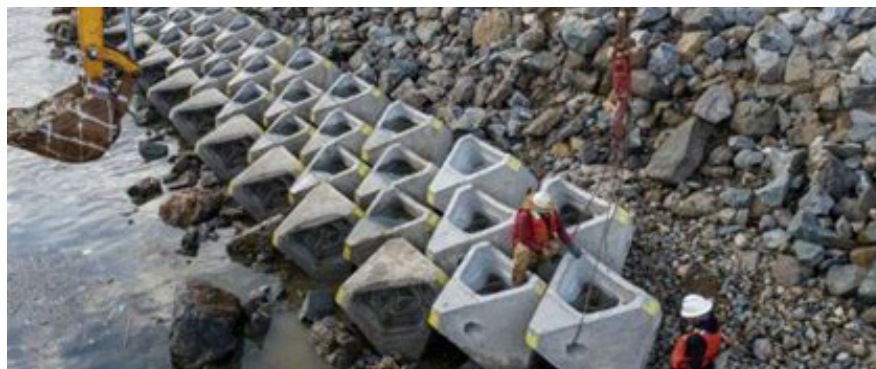
### MODALITÀ DI FINE VITA

Le barriere sono pensate per essere **mantenute in loco per lunghi periodi di tempo**. Infatti, il calcestruzzo biocompatibile è duraturo e non si erode con il passare del tempo. Se necessario, le strutture possono essere smantellate e il materiale può essere **utilizzato nuovamente** in nuove applicazioni.

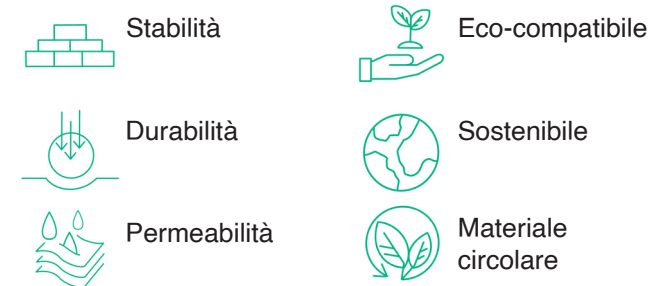
[184] Yalcinkaya, G. (2019, 31 gennaio). Volvo creates Living Seawall to combat pollution and promote biodiversity. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/01/31/volvo-living-seawall-pollution-biodiversity-design/>

# COASTALOCK [185]

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** EConcreteTECH  
**Luogo di produzione:** Stati Uniti  
**Anno:** 2012  
**Stato:** Pordotto sul mercato  
**Materiale:** EcoConcrete  
**Prezzo:** / €



## PROPRIETÀ DEL MATERIALE



## IL PROGETTO

*Coastalock* è una struttura durevole e sostenibile da impiegare nei pressi dei litorali per mitigare l'**erosione costiera**. Attualmente viene utilizzato nel porto di San Diego per costruire un sistema di **protezione costiera, resiliente e a basso impatto ambientale**.

## TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il design degli **stampi e inserti** impiegati per la realizzazione dei Coastalock permette la creazione di **nicchie ecologiche**. Queste sostengono il miglioramento ecologico delle infrastrutture e forniscono una maggiore bioprotezione, fornendo maggiore resistenza e durata alla struttura. Inoltre, l'impiego di **agenti modificatori di muffa, rivestimenti e additivi**, creano complesse trame superficiali su cui è possibile la crescita, consentendo lo sviluppo di una ricca e diversificata vita marina.

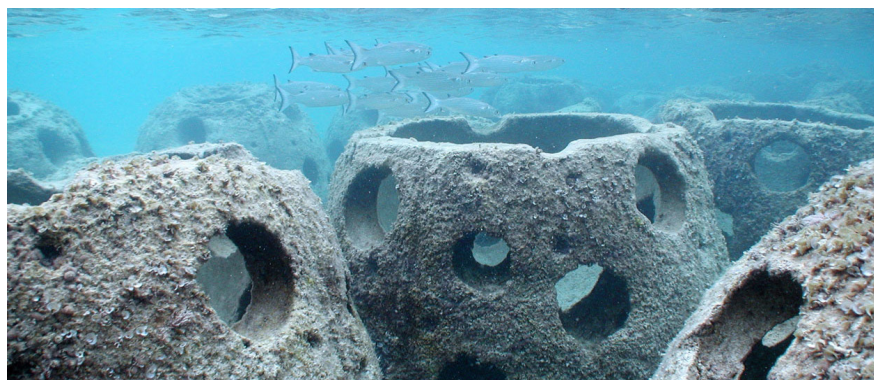
## MODALITÀ DI FINE VITA

*EConcrete* è una tecnologia brevettata dall'azienda EConcreteTECH. Si tratta di un materiale durevole che **emula le caratteristiche fisiche e meccaniche del cemento** e che consente la **costruzione consapevole** di strutture in ambiente marino. La **composizione chimica** del materiale **favorisce la crescita di organismi** come ostriche, coralli o molluschi, che agiscono da **colla biologica**, migliorando la resistenza e la durata delle strutture, aggiungendo **stabilità e longevità**.

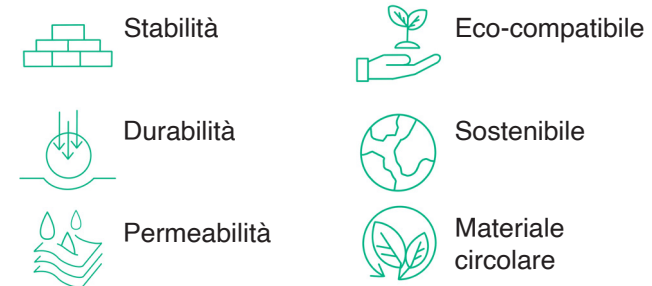
[185] EConcrete - we bring concrete to life. (s.d.). EConcrete. <https://econcretetech.com/>

## REEF BALL [186]

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** Reef Ball Italia  
**Luogo di produzione:** Italia  
**Anno:** 1993  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Calcestruzzo  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Barriere frangiflutti artificiali, campaniformi ed ecocompatibili, costruiti senza ferro, con una **durata stimata di oltre 500 anni**. I Reef Balls sfruttano l'energia delle onde incidenti la struttura per la **protezione delle coste**. La forma e i fori nella struttura consentono una maggiore idrodinamicità.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Processi di **colata in stampi** per creare superfici ruvide e porose che simulano l'aspetto delle rocce naturali marine. Gli **stampi** possono essere realizzati in acciaio, plastica o legno, e possono avere **conformazioni complesse e includere inserti** per la creazione di superfici porose e per favorire la **colonizzazione** da organismi marini. Infatti, Le diverse **tessiture superficiali** sono ottenute per facilitare la colonizzazione del modulo così da integrarsi perfettamente nell'ecosistema marino.

### MODALITÀ DI FINE VITA

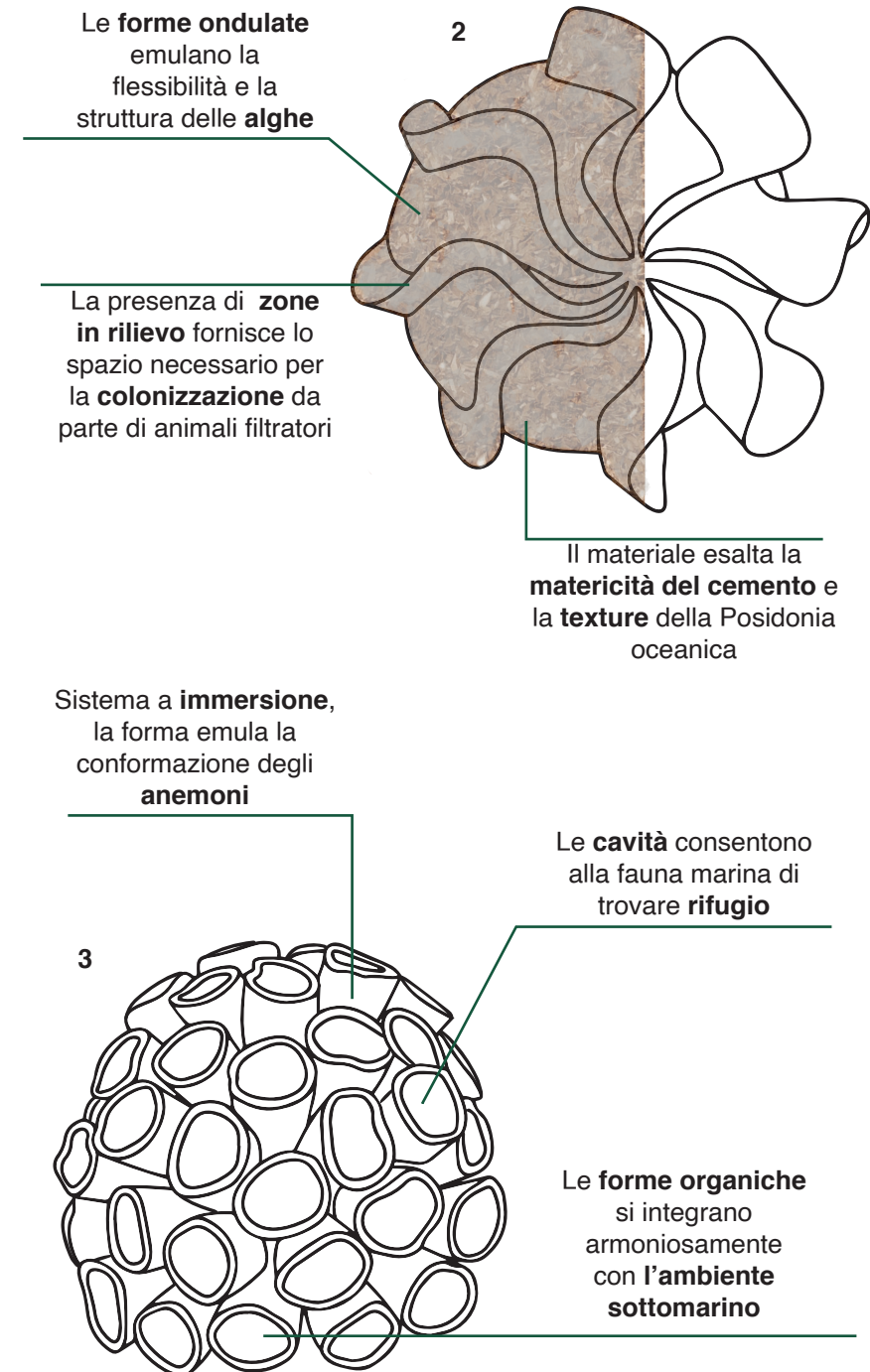
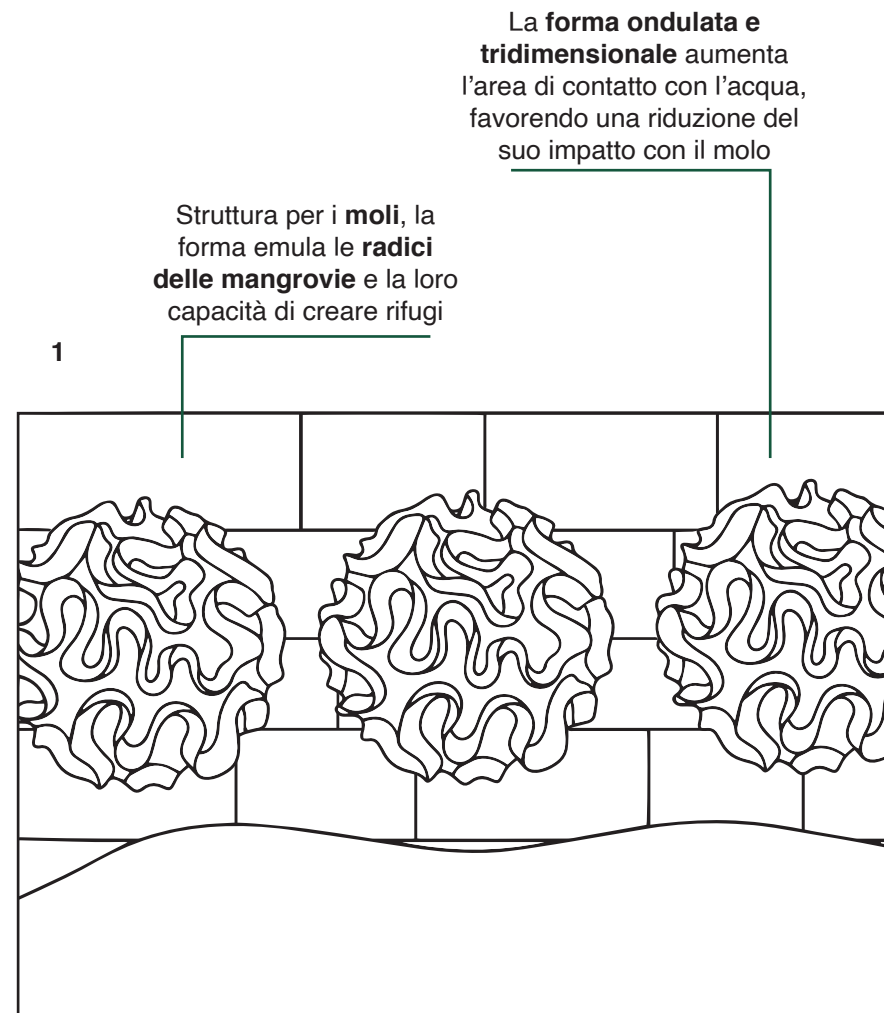
Costruiti con **calcestruzzo seafriendly** ad elevata compatibilità biologica, con un PH prossimo a quello del mare. Se necessario rimuoverle, il calcestruzzo di cui è composta la barriera può essere **riciclato** e impiegato nella costruzione di nuove barriere marine artificiali o nella costruzione di opere portuali.

[186] Strutture sommerse a protezione del mare e della spiaggia. (s.d.). Reef Ball Italia. <http://www.reefballitalia.it/>

5.2.9 SCHIZZI

I seguenti **schizzi** sono stati pensati in seguito alle analisi condotte sulle barriere coralline artificiali. Gli schizzi rappresentano 3 tipologie di barriera, ognuna pensata per un'area di intervento differente.

- 1: MOLI
- 2: SCOGLI
- 3: SPIAGGE



## 5.3 proposta metaprogettuale: PANNELLI ECOLOGICI

### 5.3.1 DESCRIZIONE METAPROGETTUALE

I pannelli ecologici rappresentano una **soluzione sostenibile** per quanto riguarda l'**impiallacciatura e il rivestimento di superfici**, oltre a essere elementi decorativi versatili. Grazie alla loro **resistenza agli agenti atmosferici** questi pannelli possono essere utilizzati sia in ambienti interni che esterni, migliorando l'estetica e la funzionalità di varie strutture ricettive.

### 5.3.2 REFERENCE PROGETTUALI



Pannelli ecologici utilizzabili come rivestimenti e impiallaccature e come elementi decorativi.



L'obiettivo è quello di **coniugare eleganza e sostenibilità** attraverso lavorazioni artigianali.



Mantiene una **filiera sostenibile che sfrutta le risorse** del bioma mediterraneo attraverso una **ricollocazione materiale**.



Si tratta di un materiale **personalizzabile, a seconda delle esigenze del cliente**, in quanto la disposizione delle foglie varia.

### 5.3.3 AREE DI INTERVENTO

I pannelli ecologici rappresentano una **soluzione sostenibile e versatile per interni ed esterni, con un'ulteriore applicazione nell'arredamento**, che abbraccia entrambi gli ambiti. Offrono un design organico e durevole.

#### INTERNI



#### REQUISITI

Deve **migliorare la qualità dell'aria** e il comfort abitativo.

Deve avere una **bella estetica** aggiungendo texture naturali e raffinate.

Deve assicurare un **buon isolamento**, riducendo la dispersione termica.

#### ESTERNI



#### REQUISITI

Deve **resistere agli agenti atmosferici** attraverso qualità materiali durevoli che sopportano pioggia, sole e sbalzi termici.

Deve **utilizzare risorse ecologiche** e processi a basso impatto ambientale.

Devono esserci **superfici facili da pulire e resistenti** all'usura nel tempo.

#### ARREDAMENTO



#### REQUISITI

Devono essere **soluzioni innovative** che uniscono estetica e tecnologia.

Devono avere materiali e forme studiati per comfort e usabilità.

Deve **adattarsi facilmente e integrarsi in diversi contesti d'arredo**.

### 5.3.4 MATERIALE

#### POSIDONIA OCEANICA + RESINA VEGETALE

La resina vegetale, **derivata da fonti naturali** come piante e alberi, viene **combinata** con la **Posidonia** per garantire la **solidità** e la **durabilità** del prodotto. La resina vegetale offre **protezione ai pannelli**, rendendoli **resistenti all'umidità**, ai batteri e agli agenti esterni, senza compromettere l'ecosostenibilità del materiale. La Posidonia Oceanica è una pianta marina che cresce lungo le coste mediterranee, famosa per le sue proprietà ecologiche, tra cui la **capacità di purificare l'acqua e prevenire l'erosione costiera**.

Questo processo permette di ottenere **pannelli altamente performanti, leggeri, ma allo stesso tempo robusti e biodegradabili**, contribuendo così alla creazione di ambienti sani e sostenibili. L'**unione** di Posidonia e resina vegetale non solo **riduce l'impatto ambientale**, ma valorizza anche risorse naturali locali, creando soluzioni di design che rispettano la natura.

#### RESINA VEGETALE



- Derivata da **fonti naturali**, è **biodegradabile** e a **basso impatto ambientale**;
- Offre un'ottima **protezione contro l'umidità, e gli agenti atmosferici**;
- Ha **proprietà antistatiche**, che aiutano a ridurre l'accumulo di polvere;
- **Offre un'ottima capacità di adesione**;
- **Non contiene sostanze nocive**, rendendola adatta anche per ambienti interni.

#### POSIDONIA OCEANICA



- **Facilmente lavorabile e miscibile** con altri materiali anche per la sua **leggerezza**;
- **Proprietà antimicrobiche, isolanti, nutrienti**;
- **Mitigazione dell'acidificazione marina** grazie all'elevato contenuto di carbonato di calcio;
- **Durabilità e resistenza agli agenti marini** grazie alla sua composizione ricca di silice e lignina.

### 5.3.5 TECNICA DI PRODUZIONE

Per la realizzazione di pannelli ecologici in Posidonia oceanica e resina vegetale, si ipotizza l'uso di **RTM (Resin Transfer Molding)** e **stampaggio a compressione**.

L'**RTM** assicura una maggiore impregnazione delle fibre, garantendo pannelli più **resistenti, compatti** e con **superfici lisce**, riducendo la necessità di post-lavorazione. Tuttavia, richiede attrezzature specifiche, ha costi più elevati e tempi di produzione più lunghi. Lo **stampaggio a compressione** è più **semplice ed economico**, permettendo una lavorazione veloce e adatta a materiali naturali. Tuttavia, offre un **minore controllo sulla distribuzione della resina**, con possibili disomogeneità e difetti superficiali.

Entrambi i metodi riducono gli sprechi e sono compatibili con materiali sostenibili. La scelta dipende dall'applicazione finale: RTM per resistenza e compattezza, stampaggio a compressione per velocità e versatilità.



RTM



S. A COMPRESSIONE



S. A COMPRESSIONE



RTM

### 5.2.6 STAKEHOLDER MATRIX

La Stakeholder Matrix è uno strumento strategico utile per comprendere chi sono gli **attori e i destinatari** di un prodotto, sistema o servizio. Nel caso specifico delle barriere coralline artificiali sono stati individuati 6 attori principali ovvero: **architetti, designer di interni, costruttori, studi di progettazione sostenibili, imprese di costruzione ecologica, hotel e ristoranti.**

**Architetti:** contribuiscono alla progettazione estetica e funzionale degli ambienti.

**Designer di interni:** valorizzano l'uso dei materiali sostenibili enfatizzando l'estetica biomimetica e il comfort.

**Costruttori:** garantiscono che i materiali e le tecniche costruttive rispettino gli standard di durabilità e sicurezza.

**Studi di progettazione sostenibili:** promuovono soluzioni a basso impatto ambientale, integrando i progetti di edilizia green e design circolare.

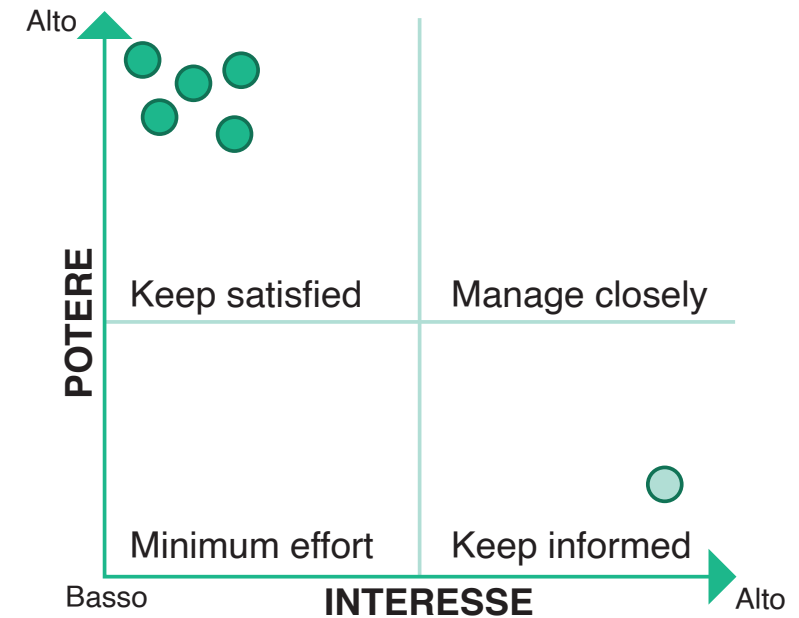
**Hotel e ristoranti:** possono integrare questi elementi d'arredo per migliorare l'identità eco-sostenibile dei loro spazi, attirando clienti sensibili al design e alla sostenibilità.

#### TABELLA STAKEHOLDER

|   |   | STRATEGIA DI GESTIONE  |
|---|---|--|
| ● | <b>Architetti</b>                         | Coinvolgimento attivo e collaborazione                                 |
|   | <b>Designer di interni</b>                | Coinvolgimento e supporto continuo                                     |
|   | <b>Costruttori</b>                        | Fornitura di supporto tecnico e vantaggi economici                     |
|   | <b>Studi di progettazione sostenibile</b> | Collaborazione strategica e co-creazione                               |
|   | <b>Imprese di costruzione ecologica</b>   | Partnership a lungo termine e supporto alla certificazione             |
| ○ | <b>Hotel e ristoranti</b>                 | Sensibilizzazione e presentazione dei benefici estetici e di benessere |

[Tab. 5.3] I 6 attori individuati **sono coinvolti e interagiscono** con il prodotto in maniere differenti a seconda della loro funzione e della loro posizione nella Stakeholder Matrix. Le **strategie di gestione** rappresentano la modalità attraverso cui i diversi stakeholder esercitano la loro influenza o il loro interesse sul dato prodotto.

### MATRICE DEGLI STAKEHOLDER



[Fig. 5.4] La matrice degli Stakeholder si divide in quattro quadranti e **a seconda della posizione** i ruoli di **potere o interesse sul prodotto cambiano**. Gli attori in alto a destra esercitano alto interesse e alto potere, in alto a sinistra alto potere e basso interesse e in basso a destra basso potere e basso interesse.

### 5.3.7 LINEE GUIDA

Le seguenti linee guida sono state sviluppate per fornire un **quadro chiaro e dettagliato** sulla **progettazione, realizzazione e gestione** dei pannelli ecologici.



#### MATERIALI ECOLOGICI

I pannelli devono essere realizzati utilizzando **materiali ecologici, a basso impatto ambientale**, e provenienti da fonti sostenibili.



#### VERSATILITÀ

I pannelli devono essere **facilmente adattabili a vari contesti**, dai rivestimenti di pareti, all'arredamento e alle facciate esterne.



#### INSTALLAZIONE

I pannelli devono essere **facili da installare**, con sistemi di montaggio intuitivi che riducano i tempi di posa. Devono richiedere una **manutenzione minima**, senza necessità di trattamenti frequenti.



#### SICUREZZA

I materiali devono essere **sicuri** per la salute, **senza rilasciare sostanze nocive** nell'ambiente. La resina vegetale, deve essere certificata come priva di composti organici volatili e altre sostanze dannose.



#### ROBUSTEZZA

I pannelli devono **resistere agli agenti atmosferici, all'umidità e all'usura**, mantenendo la loro funzionalità nel tempo.

### 5.3.8 CASI STUDIO

I pannelli ecologici sono elementi innovativi per l'arredo e la costruzione sostenibile, progettati per **coniugare estetica, funzionalità e basso impatto ambientale**. Sono un'**alternativa ai materiali tradizionali**, offrendo vantaggi sia in termini di design che di sostenibilità.

Dall'analisi dei casi studio, emergono diverse configurazioni e texture progettate per rispondere a specifiche esigenze di utilizzo e integrazione negli spazi interni ed esterni. Le superfici biomimetiche si ispirano a forme naturali per valorizzare il materiale e migliorarne le proprietà acustiche e termiche.

I materiali utilizzati combinano resina vegetale e materiale organico, creando superfici durevoli e versatili. Le loro caratteristiche principali includono:

- **Sostenibilità;**
- **Isolamento termico e acustico;**
- **Resistenza all'umidità;**
- **Versatilità estetica.**

I pannelli ecologici possono essere applicati in diversi contesti, tra cui:

- **Arredo e design di interni:** rivestimenti per pareti, elementi decorativi e superfici di mobili;
- **Settore dell'ospitalità e del retail:** soluzioni per hotel, ristoranti e negozi attenti alla sostenibilità;
- **Edilizia ecologica:** utilizzo in progetti di bioarchitettura per migliorare l'efficienza energetica e il benessere abitativo.



## ZOOSTERA ZOOOL [187]

**Designer:** Carolin Pertsch

**Azienda produttrice:** /

**Luogo di produzione:** Germania

**Anno:** 2015

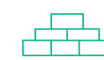
**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** Zoostera marina e bioresina prodotta a partire da olio vegetale

**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Stabilità



Eco-compatibile



Durabilità



Sostenibile



Permeabilità



Materiale circolare

### IL PROGETTO

Lo sgabello Zosteria è dotato di una seduta realizzata in Zoostera marina, una pianta marina abbondante nel Mediterraneo e recuperata sulle spiagge del Mare del Nord. La Zoostera marina viene **considerata una pianta infestante**, in quanto si accumula sulle spiagge diventando biomassa spiaggiata. La designer ha deciso di **reimpiegare questa biomassa per realizzare delle sedute dalle forme semplici e minimali**, in questo modo la texture unica delle alghe risulta, dando carattere agli spazi.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

La biomassa spiaggiata di Zoostera è stata trasformata in un nuovo **eco-materiale** impiegando le fibre di questa risorsa e una bio resina creata a partire da oli vegetali. Si tratta di una **eco-plastica leggera** ma stabile allo stesso tempo ed evidenzia l'estetica naturale dell'alga. Inoltre, la conformazione finale del materiale **assomiglia al sughero**. Inoltre, a seconda della sfumatura della risorsa vegetale è possibile la realizzazione di sgabelli dalle diverse colorazioni.

### MODALITÀ DI FINE VITA

L'eco-plastica realizzata a partire da Zoostera marina essiccata e bioresina proveniente da olio vegetale è **compostabile** grazie alla sua composizione completamente naturale.

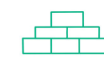
[187] Zosteria stool. (2015, 23 dicembre). DOMUS: Scopri la Storica Rivista di Architettura, Design e Arte. [https://www.domusweb.it/it/notizie/2015/12/23/carolin\\_pertsch\\_zosteria\\_stool](https://www.domusweb.it/it/notizie/2015/12/23/carolin_pertsch_zosteria_stool).

## TERROIR PROJECT [188]

**Designer:** Jonas Edvard, Nikolaj Steenfatt  
**Azienda produttrice:** /  
**Luogo di produzione:** Danimarca  
**Anno:** 2015  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Fucus, alghe marroni e carta  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Stabilità



Eco-compatibile



Durabilità



Sostenibile



Permeabilità



Materiale circolare

### IL PROGETTO

Terroir Project è una **collezione di pezzi di arredamento realizzati con il fucus, un'alga comune** che si trova sulle coste rocciose di tutto il mondo. La sedia ha gambe in legno di frassino, e le lampade sono disponibili con un diametro di 18 o 25 centimetri. Il design delle lampade e della sedia Terroir hanno una **forma** e una silhouette **semplice**, in questo modo la **texture granulosa** dell'alga viene **messa in risalto**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

**Le alghe vengono lavorate per ricavarne una colla**, sfruttando l'effetto viscoso e adesivo dell'alginato, un polimero naturale presente nelle alghe brune. **La colla di alghe e carta si unisce per ottenere un materiale resistente e durevole simile al sughero**, che viene poi modellato nei prodotti della collezione Terroir Project. Il colore del materiale è determinato dalle diverse specie di alghe, che vanno dal marrone scuro al verde chiaro. Le alghe contengono grandi quantità di sale, che agisce come conservante e naturale ritardante di fiamma.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Il materiale **può essere scomposto e riutilizzato o riciclato** come fertilizzante naturale, in quanto contiene grandi quantità di azoto, iodio, magnesio e calcio.

[188] Treggiden, K. (2015, 11 gennaio). Seaweed and paper combine to create furniture. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2015/01/11/algae-glue-seaweed-paper-furniture-jonas-edvard-nikolaj-steenfatt/>

## HEMP HUSK PANEL [189]

**Designer:** /

**Azienda produttrice:** Aotta

**Luogo di produzione:** Russia

**Anno:** 2018

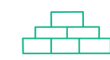
**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** Guscio di canapa

**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Stabilità



Eco-compatibile



Durabilità



Sostenibile



Permeabilità



Materiale circolare

### IL PROGETTO

I pannelli di Aotta sono fatti di **scaglie di canapa che di solito vengono smaltite** come uno spreco inutile. I progettisti conservano la forma della materia prima naturale originale, creando una superficie unica con un effetto visivo e tattile. Il materiale, dalla **consistenza ruvida e porosa**, viene utilizzato come pannello per gli interni organico leggero e fonoassorbente.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il composto formato dai gusci di canapa viene legato insieme attraverso l'uso di resine di natura generale. **Il composto viene poi inserito dentro a degli stampi e sottoposto a pressione** per ottenere le forme desiderate.

### MODALITÀ DI FINE VITA

**Le bucce, formate dalla pelatura di semi interi, sono una risorsa biodegradabile ed economica.** La composizione del legante fornisce il 100% biodegradabilità dei pannelli, ma è sufficientemente stabile per l'uso a lungo termine negli interni. I pannelli sono non infiammabili e hanno proprietà antifungine.

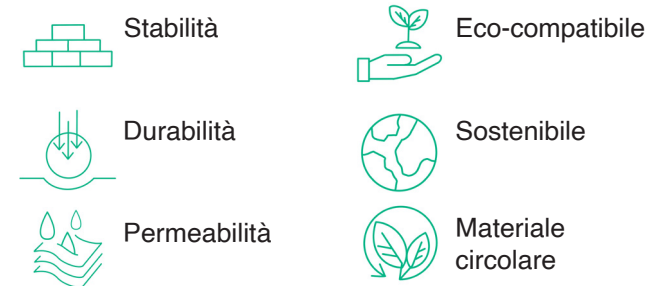
[189] Erman, M. (2018, 1 ottobre). Eco-friendly sound-absorbing panels made of hemp husks, by aotta. designboom | architecture & design magazine. <https://www.designboom.com/design/aotta-sound-absorbing-hemp-husks-panels-10-01-2018/>

## PINE NEEDLE COMPOSITE [190]

**Designer:** Gaurav Wali  
**Azienda produttrice:** Cheer Project  
**Luogo di produzione:** India  
**Anno:** 2020  
**Stato:** Prototipo  
**Materiale:** Aghi di pino  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Cheer Project **affronta l'accumulo di aghi di pino secchi** in Himachal Pradesh, **che aumenta il rischio di incendi e squilibri ecologici**. Il progetto trasforma questi residui in un biocomposito innovativo e sostenibile, creando opportunità economiche per le comunità locali e valorizzando una risorsa naturale trascurata.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Gli **aghi di pino vengono raccolti dalle comunità locali e trasformati in fibre tramite macchinari a basso costo**. Mescolati con leganti organici, danno vita a un biocomposito **resistente, ignifugo e idrorepellente**, offrendo un'alternativa ecologica ai materiali convenzionali e riducendo sprechi e inquinamento.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Il biocomposito del Cheer Project è **biodegradabile, compostabile e riciclabile**. Una volta smesso, si reintegra nel suolo senza impatti negativi, contribuendo al ripristino dell'ecosistema e favorendo l'economia circolare.

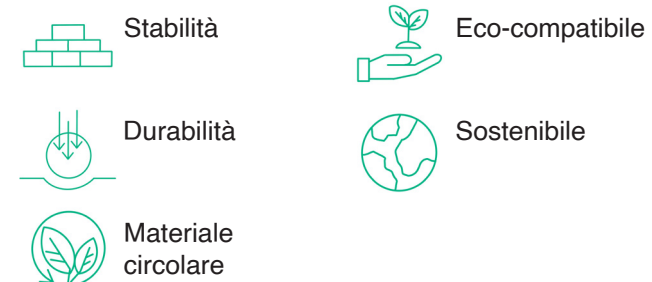
[190] Pine needle by Gaurav MK Wali – Future Materials Bank. (s.d.). Da <https://www.futurematerialsbank.com/material/pine-needle/>

## FOREST BANK [191]

**Designer:** Yuma Kano  
**Azienda produttrice:** Studio Yumakano  
**Luogo di produzione:** Giappone  
**Anno:** 2022  
**Stato:** Prodotto sul mercato  
**Materiale:** Scarti di legno e jesmonite  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

ForestBank™ supera il concetto tradizionale di legname, esplorando il valore dell'intera foresta. **Utilizza alberi di piccole dimensioni, fogliame, corteccia, semi e persino terreno, solitamente scartati, per creare un materiale innovativo.** Oltre a valorizzare risorse trascurate, il progetto riduce l'impatto ambientale e amplia le possibilità di utilizzo del legno in diversi settori.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il materiale nasce dalla combinazione di elementi forestali con una **base minerale reattiva e resina acrilica a base d'acqua**. Il risultato è un composto lavorabile con **tecniche tradizionali** del legno, ma con pattern unici che cambiano a seconda dell'angolo e della profondità del taglio, oltre che delle condizioni stagionali e territoriali. Il materiale può essere prodotto anche con potature urbane e scarti di falegnameria, offrendo un'estetica e una storia sempre diverse.

### MODALITÀ DI FINE VITA

ForestBank™ è un materiale sostenibile che condensa l'intero ecosistema forestale. **Realizzato senza solventi organici o composti volatili, può essere riciclato o reintegrato nella natura senza impatti nocivi.** La sua durabilità e le variazioni estetiche naturali ne prolungano la vita utile, riducendo sprechi e promuovendo un'economia circolare.

[191] ForestBankMaterial. (s.d.). studio yumakano, <https://yumakano.com/projects/forestbank%EF%B8%8F/>

5.3.9 SCHIZZI

I seguenti **schizzi** sono stati pensati in seguito alle analisi condotte sui pannelli ecologici. Gli schizzi rappresentano 2 tipologie di pannelli ecologici ognuna pensata per un'area di intervento differente.

- 1: SETTORE IMMOBILIARE INTERNO
- 2: SETTORE IMMOBILIARE ESTERNO

1

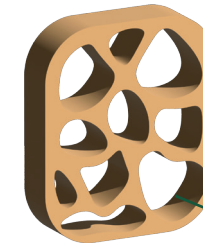
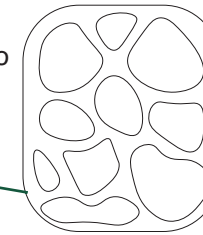
Pannello in posidonia e resina vegetale, in grado di **resistere all'umidità.**



Lo strato di resina garantisce una **texture liscia e funzionale alla pulizia.**

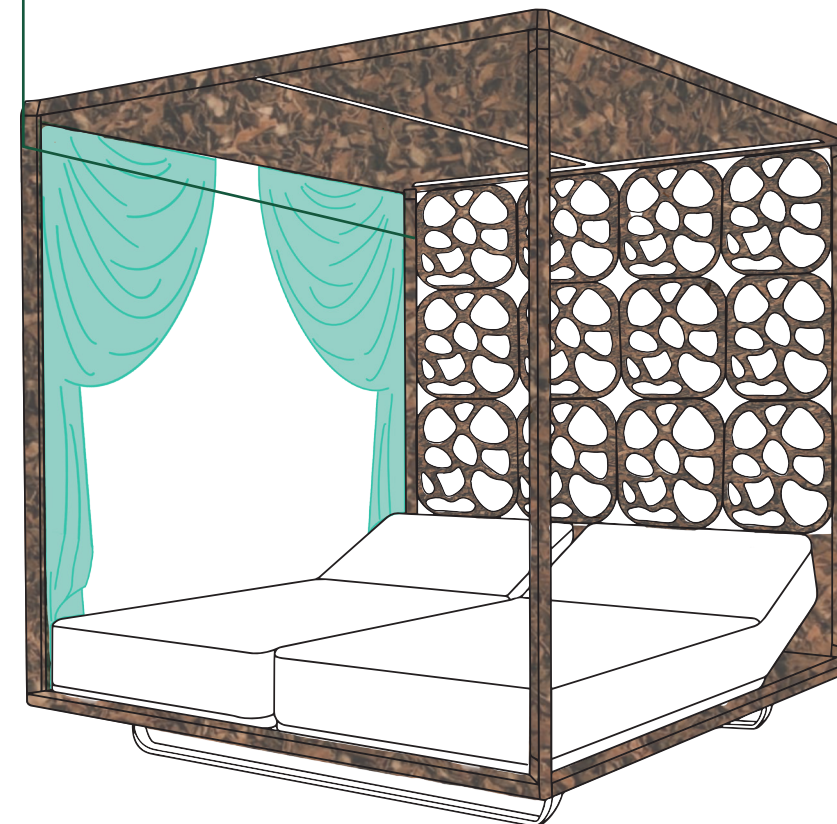
2

Le **linee morbide ed organiche** richiamano il contesto in cui viene inserita.



La **tridimensionalità** permette al pannello di assolvere ad una funzione **porta oggetti.**

Il gazebo permette di ottenere **privacy** nonostante sia **garantito il passaggio di aria e luce.**



## 5.4 Proposta metaprogettuale: PACKAGING

### 5.4.1 DESCRIZIONE METAPROGETTUALE

Il packaging di carta e Posidonia oceanica è una **soluzione ecologica e innovativa** nel settore degli imballaggi, che unisce la sostenibilità della carta con le fibra naturali provenienti dalla Posidonia oceanica. Questo materiale è pensato per **ridurre l'uso di plastica** e per rispondere alle esigenze di un mercato sempre più attento alla **sostenibilità ambientale**.

### 5.4.2 REFERENCE PROGETTUALI



Garantire la **sicurezza** e la **protezione** del prodotto durante il trasporto e lo stoccaggio.



Facile da usare per il consumatore, quindi progettato per una maneggevolezza ottimale.



Deve essere **esteticamente accattivante** e **riflettere il valore ecologico del prodotto**.



Deve **rispettare le normative** del settore, garantendo la sicurezza per contatto e la conformità agli standard di igiene e salute.

### 5.4.3 AREE DI INTERVENTO

Un packaging ecosostenibile realizzato con carta, Posidonia oceanica e resina vegetale può essere una soluzione innovativa per diversi settori.

#### SETTORE ALIMENTARE



#### REQUISITI

**Idoneità al contatto alimentare:** deve rispettare i regolamenti europei sulle buone pratiche di fabbricazione dei materiali.

**Barriera contro umidità e oli:** il packaging deve avere un rivestimento di limitare l'assorbimento di umidità e oli.

**Resistenza meccanica:** necessita una buona rigidità e resistenza allo strappo.

#### SETTORE COSMETICO



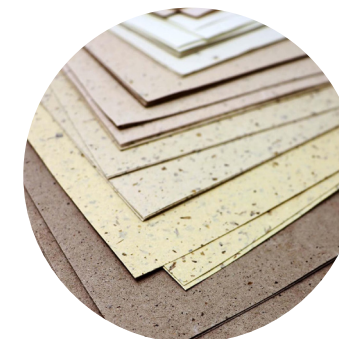
#### REQUISITI

**Certificazioni di sicurezza:** non deve rilasciare sostanze nocive che potrebbero contaminare i prodotti cosmetici.

**Aspetto estetico e qualità della stampa:** la superficie del packaging deve permettere una buona resa dei colori.

**Rigidità:** alcuni prodotti necessitano di un packaging che mantenga la forma.

#### SETTORE CARTOLERIA



#### REQUISITI

**Stampabilità e lavorabilità:** il materiale deve garantire un'ottima adesione dell'inchiostro.

**Resistenza agli urti:** scatole e astucci devono proteggere il contenuto da eventuali danni durante il trasporto.

**Texture:** il materiale deve essere piacevole al tatto e visivamente gradevole.

#### 5.4.4 MATERIALE

##### POSIDONIA OCEANICA + CARTA

Il materiale del packaging è costituito da due componenti principali:

**Carta Riciclata o Carta Certificata FSC:** La carta riciclata (o certificata FSC per garantire la provenienza sostenibile) **fornisce** la **solidità** e la **rigidità** necessarie. La carta è trattata in modo da essere **compatibile con i processi di stampa ecologica** e rifinita per **esaltare la texture naturale delle fibre di Posidonia**.

**Fibra di Posidonia Oceanica:** Le fibre di Posidonia oceanica vengono inserite nella carta in **diverse proporzioni**, arricchendo la composizione con le sue caratteristiche naturali. Le fibre di Posidonia non solo sono **ecologiche**, ma offrono anche un **effetto visivo distintivo**, creando un aspetto naturale con una leggera **irregolarità nelle texture**.

##### CARTA RICICLATA



- **Sostenibile**, prodotta utilizzando materiali riciclati, riducendo l'impatto ambientale;
- Può **decomporsi facilmente** senza danneggiare l'ambiente;
- **Sufficientemente robusta** per contenere prodotti di vario tipo, offrendo una protezione durante il trasporto;
- Può essere **facilmente stampata**, gofrata o lavorata per creare packaging su misura.

##### POSIDONIA OCEANICA



- **Facilmente lavorabile e miscibile** con altri materiali anche per la sua **leggerezza**;
- **Proprietà antimicrobiche, isolanti, nutrienti**;
- **Mitigazione dell'acidificazione marina** grazie all'elevato contenuto di carbonato di calcio;
- **Durabilità e resistenza agli agenti marini** grazie alla sua composizione ricca di silice e lignina.

#### 5.4.5 TECNICA DI PRODUZIONE

Per la realizzazione di un packaging in carta riciclata e posidonia oceanica si ipotizza l'uso di tecniche di **stampaggio a compressione e termoformatura**.

Il **primo metodo** produce imballaggi **più spessi, rigidi e con texture irregolare**, mentre il **secondo** consente di ottenere **prodotti più sottili, leggeri e lisci**. Entrambi garantiscono sostenibilità e adattabilità nelle forme. Lo **stampaggio a compressione** offre **maggiore resistenza e stabilità**, ma ha tempi e costi più elevati. La **termoformatura**, invece, è **più veloce ed economica**, ma meno resistente e più soggetta a deformazioni.



S. A COMPRESSIONE



TERMOFORMATURA



S. A COMPRESSIONE



TERMOFORMATURA



### 5.4.6 STAKEHOLDER MATRIX

La Stakeholder Matrix è uno strumento utile per comprendere chi sono gli **attori e i destinatari** di un prodotto, sistema o servizio. Nel caso specifico dei packaging sono stati individuati 6 attori principali ovvero: **Aziende alimentari, Brand di cosmesi, E-commerce e logistica, Settore farmaceutico, Settore moda e lusso, Settore cartoleria e cancelleria.**

**Aziende alimentari:** focalizzate su packaging che preservi freschezza, sicurezza e sostenibilità.

**Brand di cosmesi:** utilizzano confezioni eleganti e protettive, che riflettono l'identità del brand.

**E-commerce e logistica:** richiedono imballaggi resistenti e ottimizzati per spedizioni sicure ed efficienti.

**Settore farmaceutico:** necessitano di packaging sicuro e conforme alle normative per garantire l'integrità dei prodotti.

**Settore moda e lusso:** puntano su packaging esclusivo per enfatizzare il valore e l'esperienza del consumatore.

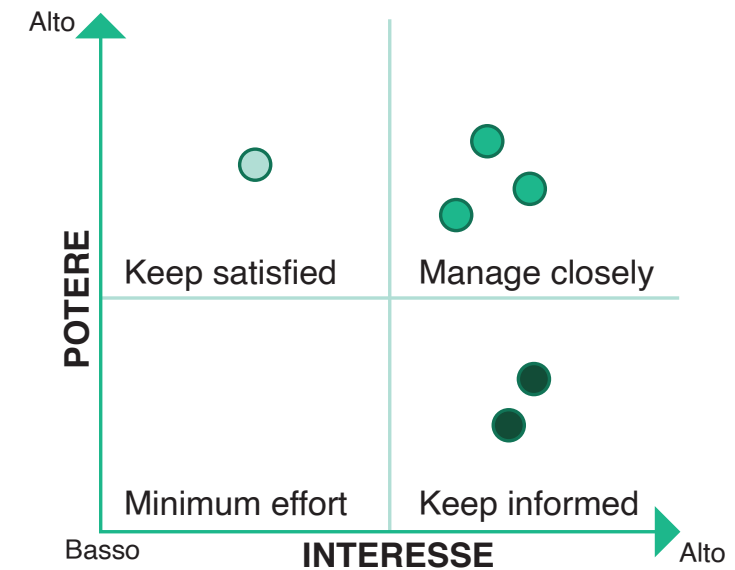
**Settore cartoleria e cancelleria:** offrono soluzioni pratiche e sostenibili per proteggere e presentare i prodotti.

### TABELLA STAKEHOLDER

|   |   | STRATEGIA DI GESTIONE                       |
|---|---|---|
| ● | Comuni e amministrazioni                            | Coinvolgimento diretto e negoziazione       |
|   | Università e centri di ricerca                      | Condivisione di dati per analisi e ricerche |
|   | Agenzie per l'ambiente (ISPRA, UE, ecc.)            | Comunicazione trasparente e reportistica    |
| ● | Associazioni ambientaliste (WWF, Legambiente, ecc.) | Supporto comunicativo e advocacy            |
|   | Residenti e cittadini                               | Sensibilizzazione e partecipazione          |
| ○ | Settore turistico e balneare                        | Coinvolgimento per valorizzazione           |

[Tab. 5.5] I 6 attori individuati **sono coinvolti e interagiscono** con il prodotto in maniere differenti a seconda della loro funzione e della loro posizione nella Stakeholder Matrix. Le **strategie di gestione** rappresentano la modalità attraverso cui i diversi stakeholder esercitano la loro influenza o il loro interesse sul dato prodotto.

### MATRICE DEGLI STAKEHOLDER



[Fig. 5.6] La matrice degli Stakeholder si divide in quattro quadranti e a seconda della **posizione** i ruoli di **potere o interesse sul prodotto cambiano**. Gli attori in alto a destra esercitano alto interesse e alto potere, in alto a sinistra alto potere e basso interesse e in basso a destra basso potere e basso interesse.

### 5.4.7 LINEE GUIDA

Le seguenti linee guida sono state sviluppate per fornire un **quadro chiaro e dettagliato** sulla **progettazione, realizzazione e gestione** dei packaging sostenibili e biodegradabili.



#### SOSTENIBILITÀ

Il prodotto deve essere **completamente biodegradabile, compostabile e facilmente riciclabile**. I materiali devono essere scelti in base alla loro bassa impronta ecologica.



#### ASPETTO ESTETICO

L'aspetto delle fibre di Posidonia oceanica e della carta offre una **texture naturale** che trasmette sostenibilità e autenticità. **Può essere arricchito** con inchiostri e vernici ecologiche.



#### STABILITÀ E DURABILITÀ

Il packaging deve possedere caratteristiche di **durabilità e resistenza**. La fibra di Posidonia oceanica conferisce una resistenza naturale, ma può essere **combinata con resine naturali** per migliorarne ulteriormente la durata.



#### LAVORAZIONE

Le tecniche di produzione per il packaging devono essere compatibili con le caratteristiche naturali dei materiali, mantenendo sempre l'**attenzione sulla riduzione dell'uso di energia e risorse**.



#### COMPATIBILITÀ CON NORMATIVE

Deve garantire **sicurezza e conformità**. Per l'alimentare, deve essere idoneo al contatto con cibi e certificato come **EN 13432** per la compostabilità. Nel cosmetico e farmaceutico, deve soddisfare requisiti di **igiene e resistenza all'umidità** senza rilasciare sostanze nocive.

### 5.4.8 CASI STUDIO

I **packaging sostenibili e biodegradabili** sono soluzioni progettate per **ridurre l'impatto ambientale** dei materiali utilizzati nel confezionamento dei prodotti. Rappresentano un'**alternativa ecologica** ai tradizionali imballaggi in plastica, contribuendo alla riduzione dei rifiuti e alla tutela dell'ecosistema. Svolgono un ruolo fondamentale nella protezione del contenuto, garantendo al contempo la biodegradabilità e il minor impatto possibile sull'ambiente.

Dall'**analisi dei casi studio**, sono emerse diverse **tipologie e configurazioni** di packaging sviluppate per rispondere a **specifiche esigenze di sostenibilità e funzionalità**. I design biomimetici si ispirano a elementi naturali per migliorare l'integrazione con l'ambiente e ottimizzare le prestazioni, riducendo l'uso di materiali non riciclabili.

I **materiali** utilizzati combinano, nella maggior parte dei casi, **fibre naturali, carta riciclata e bioplastiche derivate da fonti rinnovabili**, creando soluzioni compostabili e a basso impatto ambientale. Le proprietà dei materiali sono:

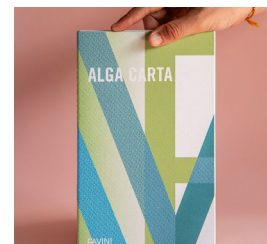
- **Biodegradabilità** per garantire il naturale degrado senza lasciare residui inquinanti;
- **Resistenza meccanica** per proteggere il prodotto senza compromettere la sostenibilità;
- **Leggerezza** per ridurre i consumi energetici nel trasporto e nella produzione;
- **Compatibilità ecologica** per evitare il rilascio di microplastiche o sostanze tossiche.

I packaging sostenibili e biodegradabili possono essere applicati in **diversi settori**, tra cui:

- **Industria alimentare**
- **Cosmesi e cura della persona**
- **Settore cancelleria**

## ALGACARTA [192]

**Designer:** Felix Pöttinger  
**Azienda produttrice:**  
**Luogo di produzione:** Germania  
**Anno:** 2000  
**Stato:** In produzione  
**Materiale:** 10% di alghe in esubero;  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Atossicità



Biodegradabilità



Circolarità del materiale



Leggerezza



Flessibilità



Sostenibilità

### IL PROGETTO

**ALGACARTA** di Favini è una **carta ecologica** prodotta utilizzando alghe in eccesso provenienti dalla Laguna di Venezia, integrata con fibra di cellulosa sostenibili. Questo materiale innovativo nasce con l'**obiettivo di ridurre l'impatto ambientale e valorizzare risorse naturali altrimenti inutilizzate.**

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Una volta prelevate attraverso una **raccolta sostenibile**, le alghe, vengono **essiccate e macinate** fino a ottenere una polvere fine, che viene poi miscelata con cellulosa proveniente da fonti certificate FSC. Questa **miscela** viene **trasformata in pasta di carta** e distribuita su apposite tele per la formazione dei **fogli**, che successivamente vengono **pressati ed essiccati.**

### MODALITÀ DI FINE VITA

Essendo composta da elementi naturali, Alga carta è **completamente riciclabile e biodegradabile.** Può essere smaltito attraverso il normale processo di riciclo della carta, ma è anche **adatto al compostaggio**, decomponendosi **senza rilasciare sostanze nocive nell'ambiente.**

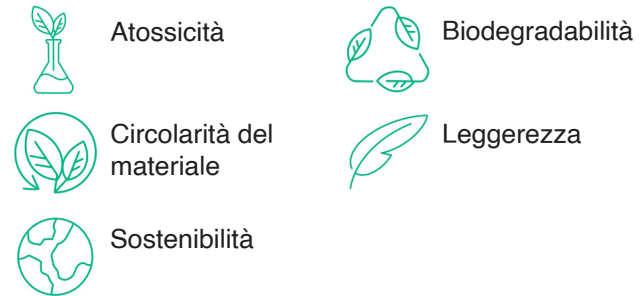
[192] Alga Carta. (s.d.). Specialità grafiche. Recuperato 5 febbraio 2025, da <https://www.favini.com/gs/products/alga-carta/>

## RECOU <sup>[193]</sup>

**Designer:** /  
**Azienda produttrice:** Prosevation  
**Luogo di produzione:** Germania  
**Anno:** 2023  
**Stato:** in produzione  
**Materiale:** buccia di grano  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Recou è un **materiale da imballaggio innovativo** sviluppato da Prosevation, progettato per sostituire il polistirolo con una **soluzione ecologica e biodegradabile**. Questo materiale viene realizzato utilizzando la **buccia del grano**, un sottoprodotto agricolo spesso scartato, e trasformato in un **imballaggio modellato resistente agli urti**.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il processo di produzione è articolato in **diverse fasi**. Si parte dalla **raccolta** della buccia del grano, che viene poi **trattata e legata** utilizzando un legante biologico proprietario. Questo permette di creare un **materiale solido e versatile**, che può essere modellato in diverse forme a seconda delle esigenze di imballaggio. La produzione di ogni pezzo richiede un tempo compreso **tra le sei e le otto ore**. Una volta ottenuta la forma desiderata, il materiale viene sottoposto a un **processo di asciugatura** per garantirne la stabilità e la resistenza agli urti.

### MODALITÀ DI FINE VITA

Una volta terminato il suo utilizzo, può essere **facilmente smaltito** attraverso il **compostaggio**, contribuendo alla produzione di fertilizzante organico. Inoltre, è progettato per **resistere all'umidità** fino a una settimana in ambienti con un tasso di umidità del 70%. Tuttavia, se esposto a un'umidità elevata per lunghi periodi, inizia naturalmente a decomporsi e può formare della muffa.

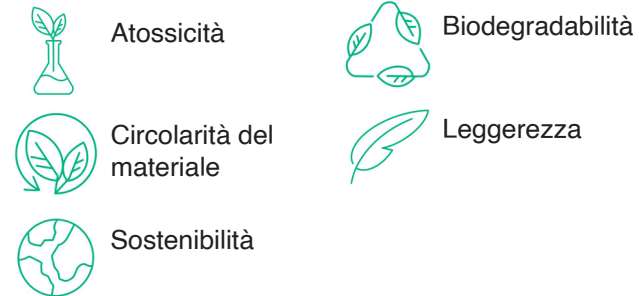
[193] Australian Bush Medicine Products Marketing, S. P. I. (2023, gennaio 10). Australian Bush Medicine Products. Sustainable Packaging Industries. <https://s-packaging.com/spotlight/medicinal-products/>

## SHIRO ALGA CARTA [194]

**Designer:** Dorigo Sempere  
**Azienda produttrice:** Favini  
**Luogo di produzione:** Italia  
**Anno:** 1992  
**Stato:** in produzione  
**Materiale:** 30% di alghe; 70% carta riciclata  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



### IL PROGETTO

Nasce come soluzione per gestire l'eccesso di alghe nei canali veneziani, che stava danneggiando l'ecosistema marino, trasformandole in **francobolli di carta ecologica**. Oltre a risolvere un problema ambientale, questa innovazione permette di produrre carta senza abbattere alberi. La **carta Shiro Alga** offre prestazioni simili a quelle della carta tradizionale, ma con un **aspetto leggermente polveroso e una colorazione naturale**, testimoni della sua origine organica.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Le alghe vengono estratte dalla laguna, **essiccate** e poi **macinate** in un mulino speciale. Successivamente, la polvere ottenuta viene **mescolata con fibre di cellulosa** per creare la pasta di carta. Questo composto viene poi **versato in un telaio a rete metallica** che ne determina la forma. Dopo la formatura, la carta viene lasciata **essicare sotto una pressa per 48 ore**, assumendo diverse tonalità di colore in base alla quantità e alla granulometria della polvere di alghe utilizzata.

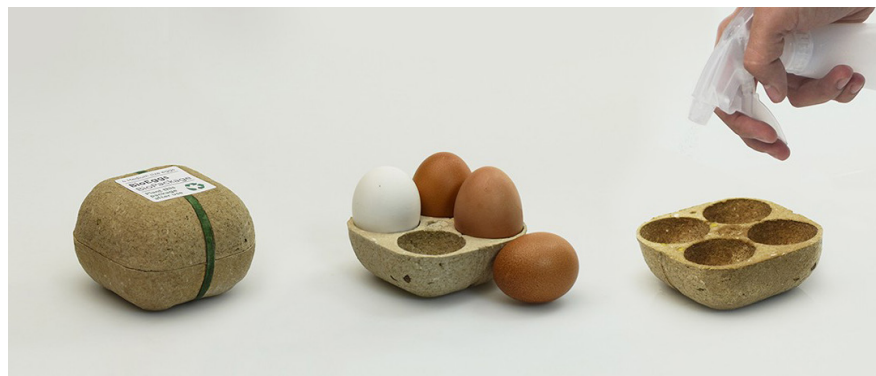
### MODALITÀ DI FINE VITA

I francobolli Favini fatti con alghe sono **biodegradabili** e possono essere **smaltiti in modo ecologico**. Possono essere **compostati, smaltiti nei rifiuti organici** o, se la parte non biodegradabile è minima, **riciclati**. In generale, hanno un **impatto ambientale ridotto** rispetto ai francobolli tradizionali, ma è importante fare attenzione ai materiali aggiunti, come inchiostri o adesivi.

[194] Pablo Dorigo Sempere turns algae from Venice canals into postage stamps. (2020, marzo 19). Dezeen. <https://www.dezeen.com/2020/03/19/venice-lagoon-canals-algae-stamps-pablo-dorigo-sempere/>

## BIOPACK [195] [196]

**Designer:** George Bosnas  
**Azienda produttrice:** /  
**Luogo di produzione:** Salonicco, Grecia  
**Anno:** 2019  
**Stato:** Concept  
**Materiale:** Uova; Polpa di carta e semi di legumi  
**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Atossicità



Biodegradabilità



Circolarità del materiale



Leggerezza



Sostenibilità

### IL PROGETTO

L'imballaggio ecologico che si distingue per l'**uso di materiali naturali** e la **promozione di un ciclo di vita completamente verde**. La scatola, piccola e paffuta, è realizzata con **polpa di carta riciclata, farina, amido e semi biologici**, elementi che la rendono ecologicamente responsabile sin dalla sua creazione.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il processo di produzione del biopack sfrutta l'**innovazione nella lavorazione di materiali riciclati e naturali**. La **polpa di carta**, che è il componente principale, viene **mescolata con amido e farina** per formare una **base solida e resistente**, capace di contenere al suo interno quattro uova in modo sicuro. I **semi di legumi**, che fanno parte della struttura stessa della scatola, vengono **incorporati durante la produzione**, rendendo la scatola non solo un contenitore, ma un piccolo ecosistema pronto a dare vita a nuove piante.

### MODALITÀ DI FINE VITA

L'imballaggio **non richiede alcun tipo di riciclo tradizionale**, ma che, anzi, può contribuire a migliorare l'ambiente. Una volta che le uova sono state consumate, l'utente viene invitato a **piantare la scatola nel terreno e ad annaffiarla**. I semi di legumi, che si trovano all'interno del materiale della scatola, inizieranno a **germogliare in circa 30 giorni**.

[195] Biopack – Packaging Of The World. (s.d.). Recuperato 5 febbraio 2025, da <https://packagingoftheworld.com/2019/06/biopack.html>

[196] «biopack» by george bosnas is packaging made from seeds that grow when planted bosnas. (2019, giugno 17). «biopack» by george bosnas is packaging made from seeds that grow when planted. designboom | architecture & design magazine. <https://www.designboom.com/design/george-bosnas-biopack-sustainable-packaging-06-14-2019/>

## GREENKRAFT [197]

**Designer:** /

**Azienda produttrice:** Sustainable Packaging Industries (SPI)

**Luogo di produzione:**

**Anno:** 2023

**Stato:** Prodotto sul mercato

**Materiale:** carta riciclata, scarti di cartone e fibre naturali

**Prezzo:** / €



### PROPRIETÀ DEL MATERIALE



Atossicità



Biodegradabilità



Circolarità del materiale



Leggerezza



Sostenibilità

### IL PROGETTO

Imballaggi in **cellulosa modellata** con un **forte orientamento alla sostenibilità**. Questi prodotti, **interamente di origine biologica e privi di plastica, candeggina, coloranti e colla**, vengono realizzati utilizzando **cartone riciclato**. L'obiettivo è offrire un'**alternativa ecologica alla plastica**, contribuendo a ridurre gli sprechi e l'impatto ambientale. La linea **GreenKraft** comprende contenitori a conchiglia in diverse forme e dimensioni, facilmente personalizzabili per adattarsi alle esigenze di vari settori. Inoltre, sono disponibili soluzioni su misura per progetti specifici.

### TECNICHE DI LAVORAZIONE

Il processo produttivo inizia con la **raccolta e la preparazione delle materie prime**, che vengono trasformate in una **sospensione fibrosa**. Successivamente, **la polpa viene modellata in stampi tridimensionali, pressata e asciugata con calore** per garantire una struttura solida e resistente. Infine, gli imballaggi vengono **rifiniti con tecniche di stampaggio e goffatura** per assicurare estetica e funzionalità.

### MODALITÀ DI FINE VITA

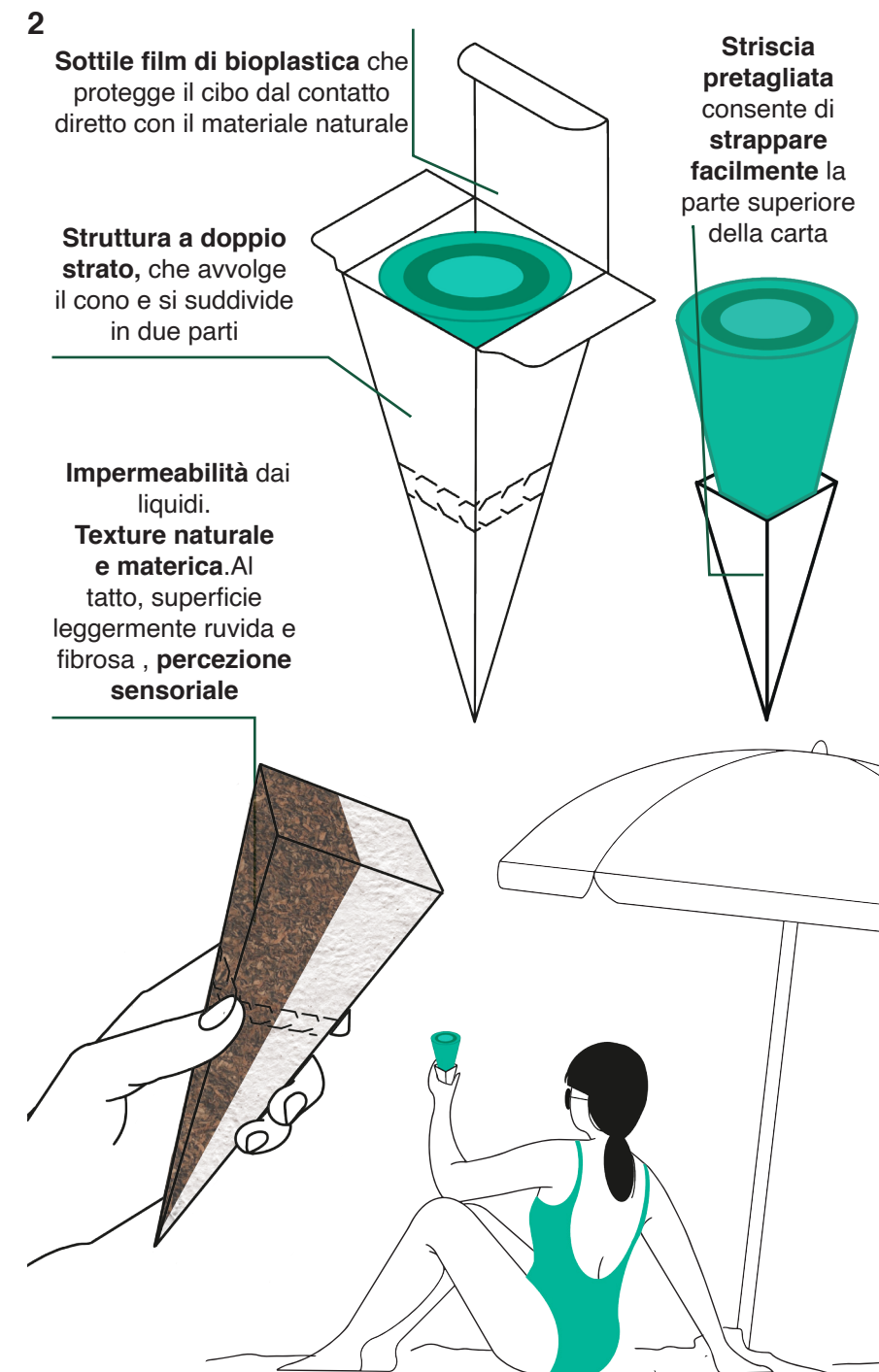
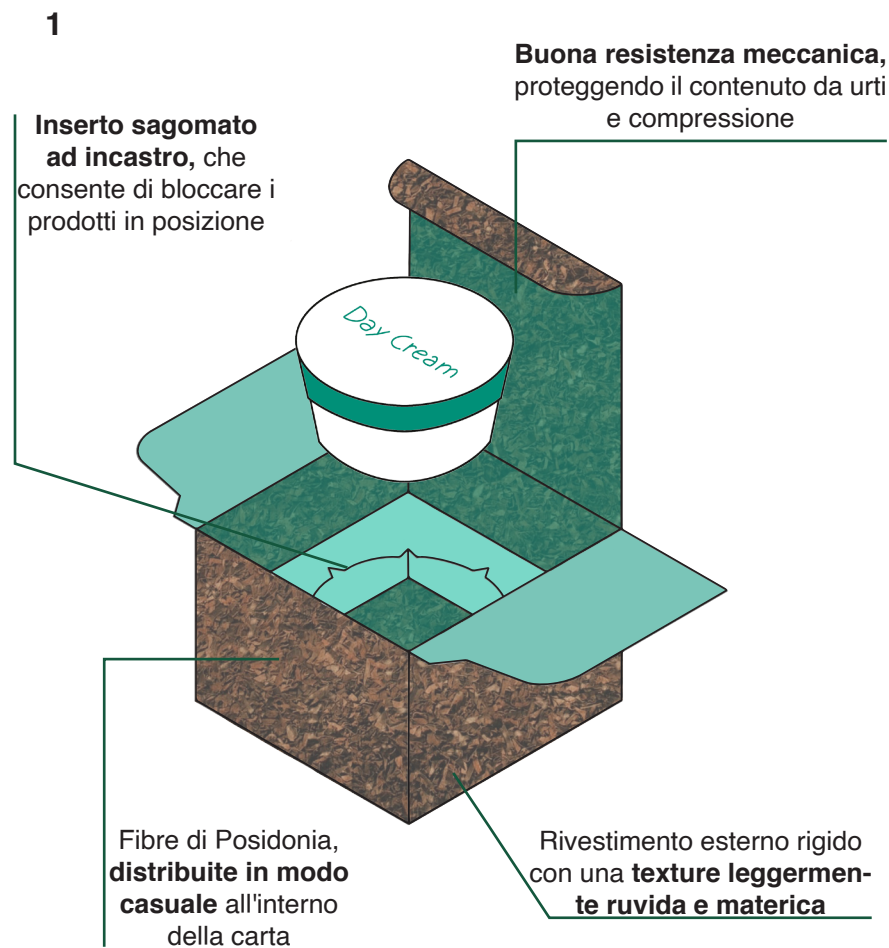
Questi imballaggi sono progettati per avere un **impatto ambientale minimo**. Essendo realizzati con **materiali naturali**, si **decompongono facilmente in ambienti di compostaggio domestico e industriale**. Possono essere **riciclati e reintegrati nel ciclo della carta**. In caso di dispersione nell'ambiente, **si biodegradano senza lasciare residui nocivi**.

[197] Sheth, S. buccia di grano riciclata invece che con polistirolo espanso – Y. D. (2024, gennaio 24). Il tuo prossimo pacco potrebbe essere imbottito con buccia di grano riciclata invece che con polistirolo espanso – Yanko Design. <https://www.yankodesign.com/2024/01/24/your-next-package-might-be-cushioned-by-upcycled-grain-husk-instead-of-plastic-styrofoam/>

5.4.9 SCHIZZI

I seguenti **schizzi** sono stati pensati in seguito alle analisi condotte sui packaging sostenibili e biodegradabili. Gli schizzi rappresentano 2 tipologie di packaging, ognuna pensata per un'area di intervento differente.

- 1: SETTORE DELLA COSMETICO
- 2: SETTORE ALIMENTARE







## 5.5 Lettura critica

In conclusione, questo capitolo ha presentato **tre potenziali applicazioni della Posidonia oceanica come biomateriale**, mettendo in evidenza il suo potenziale come biomateriale. Le tre proposte progettuali evidenziano **contesti di utilizzo differenti**, dimostrando la **versatilità** di questa risorsa non solo in termini di destinazioni d'uso, ma anche rispetto alle **funzionalità e ai materiali** con cui può essere combinata.

Ciò che accomuna le tre applicazioni è il ruolo centrale della Posidonia oceanica, che, grazie alle sue proprietà fisiche e chimiche, è in grado di conferire **nuove caratteristiche** ai prodotti finali, migliorandoli sotto diversi aspetti. La sua **struttura fibrosa e la sua resistenza** ne fanno un biomateriale adatto a **soluzioni durature**, mentre la sua **leggerezza e biodegradabilità** la rendono un'opzione **ecologica e biocompatibile**. L'integrazione della Posidonia oceanica nei processi produttivi consente inoltre di ridurre l'impatto ambientale, promuovendo un **approccio circolare e rigenerativo degli ecosistemi naturali**.

Inoltre, un altro aspetto distintivo dei materiali a base di Posidonia oceanica, è la **matericità** che è in grado di aggiungere ai prodotti, facendo emergere un nuovo **valore narrativo e identitario**. Ogni applicazione diventa così un modo per comunicare un nuovo rapporto tra **natura e Design**. Questo approccio ribalta la percezione comune della Posidonia oceanica come rifiuto da smaltire, trasformandola in una **risorsa preziosa** che, se opportunamente gestita, può contribuire a una **progettazione più responsabile e consapevole**.



# CONCLUSIONE

Questa tesi ha esaminato il significato della **Posidonia oceanica** e delle alghe marine nel campo del Bidesign e dell'economia circolare, valutando le possibilità di queste risorse naturali per una progettazione sostenibile. La ricerca ha trattato l'argomento iniziando da **un'analisi ecologica e scientifica**, per poi elaborare tre proposte progettuali.

Nei primi capitoli, il testo si è concentrato sulla **biologia e l'ecologia della Posidonia oceanica e delle alghe marine**, sottolineando il loro apporto alla biodiversità e la loro funzione negli ecosistemi marini. Inoltre, è stata esaminata anche l'influenza dell'azione umana, causata dall'inquinamento, dal riscaldamento delle acque e dalla pesca intensiva, sul deterioramento di questi habitat naturali.

In seguito, la tesi ha analizzato le questioni relative alla **gestione degli accumuli di biomassa arenata**, focalizzandosi soprattutto sulle normative vigenti. Qui si è manifestata una **differenza tra teoria e pratica**: sebbene le norme europee e italiane favoriscano una gestione sostenibile, la mancanza di un **quadro normativo omogeneo** consente interpretazioni locali che frequentemente prediligono la rimozione anziché la valorizzazione della Posidonia oceanica. In aggiunta, è stata sottolineata la maniera in cui l'attuale visione della **biomassa spiaggiata come scarto** rappresenta un impedimento alla sua **valorizzazione come risorsa**.

Successivamente la ricerca ha esplorato il **potenziale delle piante e delle alghe marittime come biomateriali**. Questo capitolo ha dimostrato come queste risorse possano essere utilizzate in varie applicazioni, dall'architettura all'arredamento, fino al confezionamento. È stato sottolineato il valore ecologico ed economico della Posidonia oceanica e delle alghe come alternativa ai materiali convenzionali, promuovendo soluzioni integrate con i principi dell'economia circolare.

Dall'analisi teorica è nata la volontà di proporre **soluzioni concrete per la valorizzazione della Posidonia oceanica e delle alghe marine**, sviluppando tre proposte progettuali:

- **Rigenerazione costiera**: un progetto basato sulla creazione di **barriere coralline artificiali** attraverso l'utilizzo della Posidonia spiaggiata. L'idea si propone di contrastare gli effetti negativi della rimozione della biomassa, **reintegrandola nel ciclo naturale**.

- **Pannelli ecologici**: questa proposta riguarda lo **sviluppo di materiali da rivestimento e arredamento** a partire dalla Posidonia oceanica, combinandola con altre risorse naturali per ottenere soluzioni durevoli e sostenibili. Il progetto si colloca in un'ottica di economia circolare e riduzione dell'impatto ambientale.
- **Packaging sostenibile**: il terzo metaprogetto esplora l'utilizzo delle alghe e della Posidonia oceanica come biomateriali per la **creazione di imballaggi biodegradabili**, alternativa ecologica alla plastica monouso. Questa soluzione mira a ridurre i rifiuti e promuovere una filiera produttiva più sostenibile.

L'analisi condotta ha messo in luce sia le **prospettive che le problematiche nella gestione e valorizzazione** della Posidonia oceanica. Da un lato, l'inclusione di questa risorsa nei processi produttivi sostenibili apre nuove opportunità nel Design e nell'innovazione; dall'altro, **persistono difficoltà dovute all'assenza di norme chiare e alla percezione sbagliata della Posidonia oceanica come uno scarto**.

In uno scenario futuro, è essenziale:

- **rivedere il quadro normativo** per promuovere pratiche di economia circolare e di gestione sostenibile della biomassa arenata;
- **promuovere iniziative di sensibilizzazione** per cambiare la visione della Posidonia da elemento di degrado a risorsa.
- **condurre ulteriori studi e prove per estendere le applicazioni** della Posidonia e delle alghe come biomateriali all'avanguardia.

In conclusione, questa indagine costituisce un contributo alla **rivalutazione del legame tra umanità, Design e ambiente marino**, evidenziando che le soluzioni di progettazione possono avere un ruolo cruciale nel facilitare una gestione più sostenibile delle risorse naturali.

# BIBLIOGRAFIA

Andréen, D., & Goidea, A. (2022b). Principles of biological design as a model for biodesign and biofabrication in architecture. *Architecture, Structures and Construction*. <https://doi.org/10.1007/s44150-022-00049-6>

Angela, P., & Pinna, L. (1991). *L'atmosfera: Istruzioni per l'uso*. Arnoldo Mondadori editore

ARPAT. (2024, 10 aprile). *Posidonia oceanica: Polo di biodiversità*. Issuu. <https://issuu.com/arpatoscana/docs/arpat-posidonia-oceanica>

Augyte, S., Sims, N. A., Martin, K., Van Wychen, S., Panczak, B., Alt, H., Nelson, R., & Laurens, L. M. L. (2023). Tropical red macroalgae cultivation with a focus on compositional analysis. *Plants*, 12(20), 3524. <https://doi.org/10.3390/plants12203524>

Benito-González, López-Rubio, Martínez-Abad, Ballester, Falcó, González-Candelas, Sánchez, Lozano-Sánchez, Borrás-Linares, Segura-Carretero & Martínez-Sanz. (2019). In-Depth characterization of bioactive extracts from *Posidonia oceanica* waste biomass. *Marine Drugs*, 17(7), 409. <https://doi.org/10.3390/md17070409>

Bertolucci, G., Collodi, R., & Contarini, M. G. (A cura di). (2020). *Bioarchitettura. Appunti per una città sostenibile*. Nardini editore

Beynus, J. (2002). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. Mariner Books

Bukhari, N. T. M., Rawi, N. F. M., Hassan, N. A. A., Saharudin, N. I., & Kassim, M. H. M. (2023). Seaweed polysaccharide nanocomposite films: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125486. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125486>

Bulegato, S. (s.d.). -Struttura dei rizomi nelle fanerogame marine. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/figure/Struttura-dei-rizomi-nelle-fanerogame-marine-biologiamarinaeu\\_fig1\\_332120009](https://www.researchgate.net/figure/Struttura-dei-rizomi-nelle-fanerogame-marine-biologiamarinaeu_fig1_332120009)

Ciarrapica, J.C. (2022). B. Stiegler - L'assoluta necessità. *rivista Antonianum*, 97, 469–473

Cocozza, C., Parente, A., Zaccone, C., Mininni, C., Santamaria, P., & Miano, T. (2011). Chemical, physical and spectroscopic characterization of *Posidonia oceanica* (L.) Del. residues and their possible recycle. *Biomass and Bioenergy*, 35(2), 799–807. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.033>

D. J. Metcalfe. (2015) *Multispecies Design*, University of the Arts London, Falmouth University. Tesi di Dottorato. [https://www.researchgate.net/publication/368350770\\_MULTISPECIES\\_DESIGN](https://www.researchgate.net/publication/368350770_MULTISPECIES_DESIGN)

De Paola, D., Chimienti, G., Degryse, B., Vendramin, G. G., Bagnoli, F., & de Virgilio, M. (2024). *Posidonia oceanica* meadows of the Italian southern Adriatic Sea display different genetic structure. *Journal for Nature Conservation*, 126585. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126585>

Dellapiana, E., & Montanari, G. (2021). *Una storia dell'architettura contemporanea* (2a ed.). UTET Università

ERM. (2015). *Misure di compensazione per la minimizzazione degli impatti sulle fanerogame marine* (Rapporto dell'ERM n. IAL00-ERM-643-Y-TAE-1036)

FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO. (2024). *The state of food security and nutrition in the world 2024* (Rapporto della FAO). <https://doi.org/10.4060/cd1254en>

Gatto, G., & McCardle, J. R. (2019). Multispecies Design and Ethnographic Practice: Following Other-Than-Humans as a Mode of Exploring Environmental Issues. *Sustainability*, 11(18), 5032. <https://doi.org/10.3390/su11185032>

Giraud, A. (2019). *Storie straordinarie delle materie prime*. Add editore.

Grobman, Y. J., Weisser, W., Shwartz, A., Ludwig, F., Kozlovsky, R., Ferdman, A., Perini, K., Hauck, T. E., Selvan, S. U., Saroglou, S. (., Barath, S., Schloter, M., & Windorfer, L. (2023). Architectural multispecies building design: concepts, challenges, and design process. *Sustainability*, 15(21), 15480. <https://doi.org/10.3390/su152115480>

Grushkin, D. (2021). What Is Biodesign? *Issues in Science and Technology*

Hashmi, Z., Bilad, M. R., Fahrurrozi, Zaini, J., Lim, J. W., & Wibisono, Y. (2023). Recent Progress in Microalgae-Based Technologies for Industrial Wastewater Treatment. 311

Hernandez-Santin, C., Amati, M., Bekessy, S., & Desha, C. (2022). A review of existing ecological design frameworks enabling biodiversity inclusive design. *Urban Science*, 6(4), 95. <https://doi.org/10.3390/urbansci6040095>  
<https://doi.org/10.3390/su13116174>

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2010). *Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili* (Manuali e linee guida 55/2010). Tipolitografia CSR

Lagopati, N., Pippa, N., Gatou, M.-A., Papadopoulou-Fermeli, N., Gorgoulis, V. G., Gazouli, M., & Pavlatou, E. A. (2023). Marine-Originated materials and their potential use in biomedicine. *Applied Sciences*, 13(16), 9172. <https://doi.org/10.3390/app13169172>

Lindsey White, W., & Wilson, P. (2015). World seaweed utilization. In *Seaweed Sustainability* (pp. 7–25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418697-2.00002-7>

Litsi-Mizan, V., Efthymiadis, P. T., Gerakaris, V., Serrano, O., Tsapakis, M., & Apostolaki, E. T. (2023). Decline of seagrass (*Posidonia oceanica*) production over two decades in the face of warming of the Eastern Mediterranean Sea. *New Phytologist*. <https://doi.org/10.1111/nph.19084>

Matyjaszewski, K., & Möller, M. (A cura di). (2012). *Polymer science: A comprehensive reference*. Elsevier Science

Meyers W., (2012), *BIODESIGN: nature, science, creativity*, Thames & Hudson Ltd

Michalak, I., & Chojnacka, K. (2015). Algae as production systems of bioactive compounds. *Eng. Life*, 15(160-176)

Nakhate, P., & van der Meer, Y. (2021). A systematic review on seaweed functionality: A sustainable bio-based material. *Sustainability*, 13(11), 6174

Nakhate, P., & van der Meer, Y. (2021). A systematic review on seaweed functionality: A sustainable bio-based material. *Sustainability*, 13(11), 6174. <https://doi.org/10.3390/su13116174>

Nienhuis, P. H. (2002). Global seagrass research methods. *Aquaculture*, 212(1-4), 405–407. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00307-1](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00307-1)

Pagano, P. (2004). Antropocentrismo, biocentrismo, ecocentrismo: una panoramica di filosofia ambientale. ENEA

Reis, R. L. (2020). 2nd Consensus conference on definitions on biomaterials science. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 14(4), 561–562. <https://doi.org/10.1002/term.3016>

Roy, A., Gogoi, N., Yasmin, F., & Farooq, M. (2022). The use of algae for environmental sustainability: Trends and future prospects. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19636-7>

Samways, D. (2022). Anthropocentrism, Ecocentrism and Hunter-Gatherer Societies: A Strong Structurationalist Approach to Values and Environmental Change. *Environmental Values*. <https://doi.org/10.3197/096327122x16491521047062>

Santana, I., Felix, M., & Bengoechea, C. (2024). Seaweed as basis of eco-sustainable plastic materials: Focus on alginate. *Polymers*, 16(12), 1662. <https://doi.org/10.3390/polym16121662>

Silvestrini, G. (2015). 2C Innovazioni radicali per vincere la sfida del clima e trasformare l'economia. Edizioni Ambiente

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2023). Buone pratiche per la gestione ecosostenibile degli accumuli di Posidonia oceanica e altre biomasse vegetali marine spiaggiate (Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 07/07/2023. Doc. n.210/bis23)

Stiegler, B., & Collettivo Internation. (2020). L'assoluta necessità. in risposta ad antonio gutierrez e greta thunberg. Meltemi Linee

Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, et al. (2015). Seagrass meadows (Posidonia oceanica) distribution and trajectories of change. *Scientific Reports*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/srep12505>

Thackara J., (2004), In The Bubble: design per un futuro sostenibile, Umberto Allemandi & Co. Publishing

Thermal insulation role and possible exploitation of Posidonia oceanica detritus in the Mediterranean area. (2018). *Flora Mediterranea*, 28. <https://doi.org/10.7320/flmedit28.279>

Tonelli, E. (2020). Biodesign. Progettare secondo la natura per salvare il pianeta. *Agorà Magazine*, 6

Vasari, M., De Biasi, A. M., Barletta, E., Pretti, C., & Degl'Innocenti, D. (2021). An overview of new insights into the benefits of the seagrass posidonia oceanica for human health. *Marine Drugs*, 19(9), 476. <https://doi.org/10.3390/md19090476>

Volstad, N. L. (2008). Biomimicry – a useful tool for the industrial designer? [Tesi di laurea pubblicata]. Norwegian University of Science and Technology

Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, et al. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30), 12377–12381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>

Wen, L., Weaver, J. C., & Lauder, G. V. (2014). Biomimetic shark skin: Design, fabrication and hydrodynamic function. *Journal of Experimental Biology*, 217(10), 1656–1666. <https://doi.org/10.1242/jeb.097097>

Yiru Zhao, Nathalie Bourgougnon, Jean-Louis Lanoisellé, Thomas Lendormi. Biofuel Production from Seaweeds: A Comprehensive Review. *Energies*, 2022, 15 (24), pp.9395. [10.3390/en15249395](https://doi.org/10.3390/en15249395). hal-04104374

Zhang, L., Liao, W., Huang, Y., Wen, Y., Chu, Y., & Zhao, C. (2022). Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00103-2>

# SITOGRAFIA

«biopack» by george bosnas is packaging made from seeds that grow when planted bosnas. (2019, giugno 17). «biopack» by george bosnas is packaging made from seeds that grow when planted. designboom | architecture & design magazine. <https://www.designboom.com/design/george-bosnas-biopack-sustainable-packaging-06-14-2019/>

1987: Rapporto Brundtland. (2021, 20 gennaio). Bundesamt für Raumentwicklung ARE. <https://www.are.admin.ch/are/it/home/media-e-pubblicazioni/pubblicazioni/sviluppo-sostenibile/brundtland-report.html>

ADI - associazione per il disegno industriale. (s.d.). ADI - Associazione per il Disegno Industriale. <https://www.adi-design.org/ambiti-tematici.html>

Adriatico, U. (2023, 3 settembre). Alghe e biocarburanti: Facciamo un po' di chiarezza. algaUlisse. <https://www.algaUlisse.it/post/macroalghe-e-biocarburanti-facciamo-un-po-di-chiarezza>

Al Busaidi, R. (2021, 19 agosto). What is integrated aquaculture and how can it help feed the world? weforum. <https://www.weforum.org/stories/2021/08/integrated-aquaculture/>

Alga Carta. (s.d.). Specialità grafiche. Recuperato 5 febbraio 2025, da <https://www.favini.com/gs/products/alga-carta/>

Algae by randa kherba – future materials bank. (s.d.). Future Materials Bank. <https://www.futurematerialsbank.com/material/algae-2/>

Algae by tahiya hossain – future materials bank. (s.d.). Future Materials Bank. <https://www.futurematerialsbank.com/material/algae-3/>

Algaerium bioprinter by marin sawa digitally yields health food. (s.d.). designboom | architecture & design magazine. <https://www.designboom.com/technology/algaerium-bioprinter-by-marin-sawa-digitally-yields-health-food/>

Algaink™ | algaeing. (s.d.). Algaeing. <https://www.algaeing.com/algaink>

Alghe—Enciclopedia. (s.d.). Treccani. Recuperato 25 ottobre 2024, da [https://www.treccani.it/enciclopedia/alghe\\_\(Enciclopedia-dei-ragazzi\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/alghe_(Enciclopedia-dei-ragazzi)/)

Amandolese, D. (2024, 16 ottobre). I biomateriali e la nuova frontiera dei materiali viventi: Le alghe | Salone del Mobile. Salone del Mobile Milano. <https://www.salonemilano.it/it/articoli/i-biomateriali-e-la-nuova-frontiera-dei-materiali-viventi-le-alghe>

Amber, A. (2022, 26 settembre). Rex Skov Arkitekter tops Chart Art Fair pavilion with seaweed roof. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2022/08/26/biosack-pavilion-chart-art-fair-seaweed/>

An Exclusive Collaboration by Hermès and MycoWorks The new material Sylvania, a hybrid of nature and biotechn. (s.d.). MycoWorks. <https://www.mycoworks.com/introducing-sylvania-by-hermes>

ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 25 ottobre 2024, da <https://www.arp.atoscana.it/>

ARPAT. (s.d.). Indice ESCA — ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. <https://www.arp.atoscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/biodiversita-marina/coralligeno/indice-esca>

ARPAT. (s.d.). Indice TRIX — ARPAT. ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. <https://www.arp.atoscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/stato-trofico-indice-trix/indice-trix>

Ascophillum nodosum Bioki, estratto naturale. (s.d.). Recuperato 10 dicembre 2024, da <https://www.bioki.it/negozio/alghe-in-agricoltura>

Australian Bush Medicine Products Marketing, S. P. I. (2023, gennaio 10). Australian Bush Medicine Products. Sustainable Packaging Industries. <https://s-packaging.com/spotlight/medicinal-products/>

Biocarburanti dalle alghe. (s.d.). Ecoage: scienza e tecnologia. <https://www.ecoage.it/biocarburanti-dalle-alghe.htm>

Bioenergy Technologies Office. (2015, 2 ottobre). Algenol announces commercial algal ethanol fuel partnership. Energy.gov. <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/algenol-announces-commercial-algal-ethanol-fuel-partnership>

Biogas e compostaggio dalla Posidonia. (s.d.). Icmea.

Biologically living chandelier formed within petri dishes. (s.d.). My Modern Met. <https://mymodernmet.com/madlab-bacterioptica/>

Biomimicry 3.8 - innovation inspired by nature. (s.d.). Biomimicry 3.8. <https://biomimicry.net/>

Biomimicry design frameworks for nature-inspired innovation. (s.d.). Learn Biomimicry. <https://www.learnbiomimicry.com/blog/biomimicry-design-frameworks>

Biomimicry pin - yanko design. (s.d.). Yanko Design - Modern Industrial Design News. <https://www.yankodesign.com/2012/03/28/biomimicry-pin/>

Biomimicry. (s.d.). David Oakey Designs. <https://davidookeydesigns.com/biomimicry/>

Biopack – Packaging Of The World. (s.d.). Recuperato 5 febbraio 2025, da <https://packagingoftheworld.com/2019/06/biopack.html>

BIQ house by Arup | Apartment blocks. (2013, 11 giugno). Architonic. <https://www.architonic.com/en/project/arup-biq-house/5101636>

Boudouresque and Meinesz, 1982, Structure of Posidonia oceanica on mat [disegno]. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-Posidonia-oceanica-on-matte-from-Boudouresque-and-Meinesz-1982-modified\\_fig1\\_363579423](https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-Posidonia-oceanica-on-matte-from-Boudouresque-and-Meinesz-1982-modified_fig1_363579423)

Canadelli, E. (s.d.). Un caso di estetica della natura Le Kunstformen der Natur Di Ernst Haeckel. Unimi. [http://www.lettere.unimi.it/Spazio\\_Filosofico/imago/haeckel/elenacanadelli](http://www.lettere.unimi.it/Spazio_Filosofico/imago/haeckel/elenacanadelli)

Carlson, C. (2022, 19 gennaio). Natural Material Studio and Frama showcasealgae and terracotta fabrics. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2022/01/19/natural-material-studio-frama-algae-terracotta-fabrics/>

Chiaromonte, V. (2021). Mies van der Rohe: dalla sua storia alle opere più significative. Architetti Freelance. <https://architettifreelance.it/mies-van-der-rohe/u>

Cipolla, L. (2023, 1 marzo). Pistocchi (Università di Bologna): “Le fanerogame marine sono indice di un mare in salute”. interris. <https://www.interris.it/la-voce-degli-ultimi/pistocchi>

Circular seaweed packaging by sway. (s.d.). swaythefuture.com. <https://swaythefuture.com/compostable-seaweed-polybags>

Commercial seaweed market size, share, trends report, 2030. (s.d.). Market Research Reports & Consulting | Grand View Research, Inc. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/commercial-seaweed-market>

Company | phee. (s.d.). Phee. <https://phee.gr/company/>

CORDIS | European Commission. <https://cordis.europa.eu/article/id/449950-algae-innovation-sustainable-alternatives-emerging-from-european-seas-and-waters/it>

Cowley, L. (2020, novembre 13). What is Seaweed Fabric? Fabric from the Ocean | Eco World. <https://ecoworldonline.com/what-is-seaweed-fabric-fabric-from-the-ocean/>

DECRETO LEGISLATIVO 29 aprile 2010, n. 75 - normattiva. (s.d.). Normattiva. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2010;075>

DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152 - normattiva. (s.d.). Normattiva il portale della legge vigente. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2006;152~art183!vig=>

DECRETO LEGISLATIVO 3 dicembre 2010, n. 205 - normattiva. (s.d.). Normattiva. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2010;205>

Direttiva 2000/60/CE | ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica. (s.d.). | Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. <https://www.mase.gov.it/pagina/direttiva-200060ce>

Dongo, D., & Pietrollini, G. (2023, 18 gennaio). Alghe e microalghe. Carbon farming e upcycling di CO2 | Gift. Gift | GIFT – Informazione indipendente su cibo e dintorni. <https://www.greatitalianfoodtrade.it/progresso/alghe-e-microalghe-carbon-farming-e-upcycling-di-co2/>

ECONcrete - we bring concrete to life. (s.d.). ECONcrete. <https://econcretetech.com/>

Ecovative's EcoCradle® Mushroom™. (s.d.). Packaging Gateway. <https://www.packaging-gateway.com/projects/ecovatives-ecocradle-mushroom-packaging-plant-new-york/>  
Edimare: L'isolante per la bioedilizia fatto di lana e posidonia spiaggiata | greenews.info. (s.d.). Greenews. <https://www.greenews.info/comunicati-stampa/edimare-lisolante-fatto-di-lana-e-posidonia-premiato-al-salone-del-gusto-20141031/>

Eelgrass by kathryn larsen – future materials bank. (s.d.). Future Materials Bank. <https://www.futurematerialsbank.com/material/prefabricated-seaweed-thatch-panels/>

Energia: ENEA presenta il primo impianto algovoltaiico in Italia. (s.d.). Media ENEA. <https://www.media.enea.it/comunicati-e-news/archivio-anni/anno-2023/energia-enea-presenta-il-primo-impianto-algovoltaiico-in-italia.html>

Environment Program. (s.d.). Global distribution of seagrasses. UNEP - UN Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/publication/global-distribution-seagrasses>

Erman, M. (2018, 1 ottobre). Eco-friendly sound-absorbing panels made of hemp husks, by aotta. designboom | architecture & design magazine. <https://www.designboom.com/design/aotta-sound-absorbing-hemp-husks-panels-10-01-2018/>

Erosion Mitigation Units (EMU) | REEF DESIGN LAB. (s.d.). REEF DESIGN LAB. <https://www.reefdesignlab.com/emu>

Espinosa, A. (2020, 3 settembre). Algae: The muse of violaine buet's textiles | luxiders magazine. Luxiders Magazine. <https://luxiders.com/violaine-buet/>

European Environment Agency. (2024).[infografica]. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/distribution-of-the-marine-angiosperm-posidonia-oceanica-and-zostera-sp-in-the-mediterranean?activeTab=a7caf3b5-7254-4a24-8919-693d4115158b>

Fitoplancton—ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 25 ottobre 2024, da <https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/fitoplancton>

Fitoterapia: La terapia delle piante medicinali. (s.d.). Recuperato 25 ottobre 2024, da <https://www.my-personaltrainer.it/benessere/fitoterapia.html>

Floating mycelium plant pot for swimming pond plants. (s.d.). GROWN bio. <https://www.grown.bio/product/floating-plant-pot/>

ForestBankMaterial. (s.d.). studio yumakano, <https://yumakano.com/projects/forestbank%EF%B8%8F/>

Francone, M. V. (2024, gennaio 10). Alga come futuro del packaging: Una rivoluzione sostenibile nell'industria alimentare. GREENAD. <https://greenad.it/10-01-24-alga-come-futuro-del-packaging/>

Glossary of terms - biomimicry toolbox. (s.d.). Biomimicry Toolbox. <https://toolbox.biomimicry.org/references/glossary/>

Hitti, N. (2019, 18 gennaio). Margarita Talep develops algae-based alternative to single-use plastic packaging. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/01/18/margarita-talep-algae-bioplastic-packaging-design/>

Hitti, N. (2019b, 28 agosto). Vollebak's plant and algae T-shirt becomes “worm food” in 12 weeks. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/08/28/vollebak-plant-and-algae-t-shirt-sustainable-biodegradable-fashion/>

Home - ALGIECEL. (s.d.). ALGIECEL. <https://www.algiecel.com/>

Home - archireef. (s.d.). Archireef. <https://archireef.co/>

Home - metis-seagrass.com. (s.d.). metis-seagrass.com. <https://metis-seagrass.com/>

How to clean seaweed from beaches: Dry it and use the biomass for energy. (s.d.). ScienceDaily. Recuperato 10 dicembre 2024, da <https://www.sciencedaily.com/releases/2013/05/130503094138.htm>  
<https://www.icmea.it/2021/05/19/biogas-e-compostaggio-dalla-posidonia/>

HYDROGENASE - vincent callebaut architectures. (2010). Vincent callebaut architectures. [https://vincent.callebaut.org/object/100505\\_hydrogenase/hydrogenase/projects](https://vincent.callebaut.org/object/100505_hydrogenase/hydrogenase/projects)

Hyunseok An designs a sustainable algae micro-farm for the home. (s.d.). Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/07/04/hyunseok-an-algae-the-coral-micro-farm/>

I biomateriali e la nuova frontiera dei materiali viventi: Le alghe I Salone del Mobile. (s.d.). Recuperato 1 dicembre 2024, da <https://www.salonemilano.it/it/articoli/i-biomateriali-e-la-nuova-frontiera-dei-materiali-viventi-le-alghe>

il cambiamento climatico provoca alterazioni nelle popolazioni di fanerogame marine. (s.d.). scienceaq. <https://it.scienceap.com/Biology/1002091002.html>

In-Depth characterization of bioactive extracts from posidonia oceanica waste biomass. (s.d.). MedCrave online. [https://medcraveonline.com/BBIJ/biovalorization-of-posidonia-oceanica-waste-biomass-as-a-green-approach-toward-a-sustainable-bioeconomy.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://medcraveonline.com/BBIJ/biovalorization-of-posidonia-oceanica-waste-biomass-as-a-green-approach-toward-a-sustainable-bioeconomy.html?utm_source=chatgpt.com)

Indice CARLIT — ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 5 dicembre 2024, da <https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/macrofite/indice-carlit>

Indice di Biomassa Fitoplanctonica—ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 5 dicembre 2024, da <https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/fitoplancton/indice-di-biomassa-fitoplanctonica>

Indice M-AMBI — ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 5 dicembre 2024, da <https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acque-marine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/macroinvertebrati-bentonici/indice-m-ambi>

Indus 1.0 / 2.0 I studio biocene. (s.d.). Studio Biocene. <https://www.studiobiocene.com/project/indus>

ISPRA. (s.d.). ACQUE DI TRANSIZIONE – ELEMENTO DI QUALITA' BIOLOGICA MACROFITE MAQI-TW I Indicatori ambientali. Banca dati indicatori ambientali I Indicatori ambientali. <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/acque-marino-costiere-e-transizione/acque-di-transizione-elemento-di-qualita-biologica-macrofite-maqi-tw>

La direttiva europea sulla strategia marina I ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica. (s.d.). I Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. <https://www.mase.gov.it/pagina/la-direttiva-europea-sulla-strategia-marina>  
Le fanerogame marine. (s.d.). Recuperato 7 dicembre 2024, da <http://www.biologiamarina.eu/Fanerogame.html>

LEGGE 17 maggio 2022, n. 60 - normattiva. (s.d.). Normattiva. <https://www.normattiva.it/eli/id/2022/06/10/22G00069/ORIGINAL>

Life reusing posidonia: Architecture in search of meaning. (s.d.). The Sibarist. <https://thesibarist.com/en/magazine/life-reusing-posidonia-arquitectura-en-busca-de-sentido/>

Loop Living Cocoon™ - World's first living coffin. (s.d.). Loop Biotech. <https://loop-biotech.com/living-cocoon/>

Lugae — caro pacheco. (s.d.). caro pacheco. <https://www.caropacheco.work/lugae>

Macrofite—ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana. (s.d.). Recuperato 25 ottobre 2024, da <https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/acqua/acquemarine-e-costiere/qualita-delle-acque-marino-costiere/stato-ecologico/macrofite>

Markos Georgiou\_Ostra. (s.d.). wikifactory. <https://wikifactory.com/+othertodaystudio/oyster>

Microbes are “the factories of the future” says Suzanne Lee. (s.d.). Dezeen. <https://www.dezeen.com/2014/02/12/movie-biocouture-microbes-clothing-wearable-futures/>

Mobili di alghe e carta. (2014, 22 dicembre). DOMUS: Scopri la Storica Rivista di Architettura, Design e Arte. [https://www.domusweb.it/it/notizie/2014/12/22/terroir\\_mobili\\_dialgheecarta.html](https://www.domusweb.it/it/notizie/2014/12/22/terroir_mobili_dialgheecarta.html)

Mogu pluma panels // wall covering collection. (s.d.). mogu. <https://mogu.bio/pluma-panels-wall-covering-collection/>

Mycoknit: Exploring mycelium-based composites on knitted textiles for sustainable architectural structures. (s.d.). Architecture Lab. <https://www.architecturelab.net/mycelium-based-composites-on-knitted-textiles-for-architectural-structures/>

NeptuTherm - MaterialDistrict. (s.d.). MaterialDistrict. <https://materialdistrict.com/material/neptutherm/>

Nerino, V. (2022, dicembre 22). Le alghe. Microbiologia Italia. <https://www.microbiologiaitalia.it/didattica/le-alghe/>

Nerino, V. (s.d.). Le alghe. Microbiologia Italia. <https://www.microbiologiaitalia.it/didattica/le-alghe/>

Nifosi, G. (2021, 24 aprile). Il Romanticismo, il sublime e le nuove teorie estetiche. ArteSvelata. <https://www.artesvelata.it/romanticismo/>

NOTPLA pipettes - revolutionising the way oil is packaged. (s.d.). Notpla Packaging. <https://notpla.shop/products/notpla-pipettes?variant=41710166212777>

Notpla Seaweed Paper Remarkable zero-waste paper from a forest below the sea. (s.d.). Notpla.com. <https://www.notpla.com/paper>

Notpla seaweed-coated food containers. (s.d.). notpla.com. <https://www.notpla.com/food-containers>

Officina corpuscoli » de algarum natura. (s.d.). Officina Corpuscoli. <https://www.corpuscoli.com/projects/de-algarum-natura/>

ORNILUX® bird protection glass. (s.d.). Arnold Glas — Mehrscheiben-Isolierglas & Glasveredelung. <https://www.arnold-glas.de/en/products/pi-ornilux-bird-protection-glass-704924742>

Our solutions - Poseidona. (s.d.). Poseidona. <https://poseidona.eu/our-solutions/>

Pablo Dorigo Sempere turns algae from Venice canals into postage stamps. (2020, marzo 19). Dezeen. <https://www.dezeen.com/2020/03/19/venice-lagoon-canals-algae-stamps-pablo-dorigo-sempere/>



Pettorossi, E. (2018, 19 aprile). Biocarburanti dalle alghe: Un po' di chiarezza – Cittadini Ecologisti. Cittadini Ecologisti. <https://www.cittadiniecologisti.it/tecnologie-sostenibili/biocarburanti-alghe/>

Pine needle by Gaurav MK Wali – Future Materials Bank. (s.d.). Da <https://www.futurematerialsbank.com/material/pine-needle/>

Posidone I endèmica. (s.d.). francescocantini. <https://cantinifrancesco.wixsite.com/francescocantini/posidone>

Posidonia – giurati group. (s.d.). Giurati Group – Dal 1970 impegno, passione e qualità per il benessere. <https://giuriatigroup.com/prodotti/posidonia/>

Posidonia - marevivo. (2020, 3 aprile). Marevivo. <https://marevivo.it/tutela-della-biodiversita-profondimenti/posidonia/>

Posidonia by andrés ramírez – future materials bank. (s.d.). Future Materials Bank. <https://www.futurematerialsbank.com/material/posidonia/>

Posidonia oceanica spiaggiata: La gestione degli accumuli e la valorizzazione. (s.d.). ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/tema-mare/posidonia-oceanica-spiaggiata-la-gestione-degli-accumuli-e-la-valorizzazione>

Pownall, A. (2020, 24 gennaio). Julia Lohmann brings seaweed pavilion to Davos as climate change warning. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2020/01/24/seaweed-pavilion-julia-lohmann-hidaka-ohmu-architecture/>

Protista. (2024). Wikipedia. [https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Protista&oldid=140980128#cite\\_ref-1](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Protista&oldid=140980128#cite_ref-1)

PureBond -columbia forest products. (s.d.). Columbia Forest Products. <https://www.columbiaforestproducts.com/library/technical-documents/purebond/>

Raicaldo, P. (2022, 5 novembre). Produrre energia pulita dalla Posidonia spiaggiata. la Repubblica. [https://www.repubblica.it/green-and-blue/2022/11/05/news/energia\\_pulita\\_posidonia\\_cilento-369548986/](https://www.repubblica.it/green-and-blue/2022/11/05/news/energia_pulita_posidonia_cilento-369548986/)

Realizzato il primo velcro biodegradabile ispirato alle piante rampicanti - Talk iit. (s.d.). Talk iit. <https://opentalk.iit.it/realizzato-il-primo-velcro-biodegradabile-ispirato-alle-piante-rampicanti/>

redazione BioPills. (2018, 6 ottobre). Alghe: Caratteristiche generali e classificazione. BioPills. <https://www.biopills.net/alghe/>

Redazione INGENIO. (2023, 20 luglio). Alvar Aalto, maestro del Modernismo e pioniere dell'architettura organica europea. Ingenio. <https://www.ingenio-web.it/articoli/alvar-aalto-maestro-del-modernismo-e-pioniere-dell-architettura-organica-europea/>

Reef Rocket is a bio-cement reef grown from plant enzymes. (s.d.). Dezeen. <https://www.dezeen.com/2024/01/08/reef-rocket-bio-cement-reef/>

Rockweed by jeannet leendertse – future materials bank. (s.d.). Future Materials Bank. <https://www.futurematerialsbank.com/material/rockweed/>

Sagredo, R. (2019, 31 gennaio). Life reusing posidonia / IBAVI. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/910485/life-reusing-posidonia-ibavi-instituto-balear-de-la-vivienda>

Sapphire energy I harris group. (s.d.). Harris Group Multidisciplinary Engineering & Design Consultants USA. <https://www.harrisgroup.com/projects/sapphire-energy>  
SEA ME - COLLECTION - Studio Nienke Hoogvliet. (s.d.). Studio Nienke Hoogvliet. <https://www.nienkehoogvliet.nl/portfolio/sea-me-collection/>

SeaCell: Cosa rende questa fibra così speciale? (2021, 9 novembre). blog.calida. <https://blog.calida.com/it-IT/blog/SeaCell-cosa-rende-questa-fibra-cosi-speciale/>

Seagrass-watch. (s.d.). Seagrass-Watch I global seagrass observing network. Seagrass-Watch. <https://www.seagrasswatch.org/>

Seaweed windows. (s.d.). swaythefuture.com. <https://swaythefuture.com/windows>

Seghetti, E. (2017, giugno 6). Innovazione scientifica in edilizia: Alghe per isolare gli edifici. Green.it. <https://www.green.it/innovazione-scientifica-in-edilizia/>

Sertogu, K. (2021, 3 giugno). Scientists develop new high-strength, seaweed-based hydrogel for 3d printing. 3dprintingindustry. <https://3dprintingindustry.com/news/scientists-develop-new-high-strength-seaweed-based-hydrogel-for-3d-printing-190861/>

Sertogu, K. (2021a, 4 maggio). Delft researchers use 3d printing to create algae-based artificial leaves for space missions. 3dprintingindustry. <https://3dprintingindustry.com/news/delft-researchers-use-3d-printing-to-create-algae-based-artificial-leaves-for-space-missions-189478/>

Sheth, S. buccia di grano riciclata invece che con polistirolo espanso – Y. D. (2024, gennaio 24). Il tuo prossimo pacco potrebbe essere imbottito con buccia di grano riciclata invece che con polistirolo espanso – Yanko Design. <https://www.yankodesign.com/2024/01/24/your-next-package-might-be-cushioned-by-upcycled-grain-husk-instead-of-plastic-styrofoam/>  
Strutture sommerse a protezione del mare e della spiaggia. (s.d.). Reef Ball Italia. <http://www.reefballitalia.it/>

TED Talk. (2019, luglio). Why “biofabrication” is the next industrial revolution [Video]. TED Talk. [https://www.ted.com/talks/suzanne\\_lee\\_why\\_biofabrication\\_is\\_the\\_next\\_industrial\\_revolution?lng=it&geo=it&subtitle=en](https://www.ted.com/talks/suzanne_lee_why_biofabrication_is_the_next_industrial_revolution?lng=it&geo=it&subtitle=en)

Tethys side table. (s.d.). curiospace. <https://curio.space/products/tethys-side-table?variant=49235776635185>

The Biomimicry Institute. <https://biomimicry.org/>

The biomimicry process - biomimicry toolbox. (s.d.). Biomimicry Toolbox. <https://toolbox.biomimicry.org/methods/process/>

The Growing Pavillion. (s.d.). The growing pavilion. The Growing Pavilion. <https://thegrowingpavilion.com/>

The Nest Living I EXPO 2015\_URBAN ALGAE FOLLY. (s.d.). The Nest Living I Nature Symbiotic Architectural Design. [https://www.thenestliving.it/portfolio/expo-2015\\_urban-algae-folly/](https://www.thenestliving.it/portfolio/expo-2015_urban-algae-folly/)

TOTOMOXTLE CORN VENEER. (s.d.). Fernando Laposse. <https://www.fernandolaposse.com/cornveneer>

Treggiden, K. (2015, 11 gennaio). Seaweed and paper combine to create furniture. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2015/01/11/algae-glue-seaweed-paper-furniture-jonas-edvard->

nikolaj-steenfatt/

UNEP. (s.d.). Seagrass meadows. UNEP - UN Environment Programme. <https://www.unep.org/topics/ocean-seas-and-coasts/blue-ecosystems/seagrass-meadows>

universita-bologna-fanerogame-marine-indice-mare-in-salute/

Water quality — PAX scientific. (s.d.). PAX Scientific. <https://paxscientific.com/water-tech>

Yalcinkaya, G. (2019, 31 gennaio). Volvo creates Living Seawall to combat pollution and promote biodiversity. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/01/31/volvo-living-seawall-pollution-biodiversity-design/>

Zappa, G. (2020, 1 giugno). Chi sono i biodesigner e cosa fanno? Houzz. <https://www.houzz.it/magazine/chi-sono-i-biodesigner-e-cosa-fanno-stsetivw-vs~127122150>

Zostera stool. (2015, 23 dicembre). DOMUS: Scopri la Storica Rivista di Architettura, Design e Arte. [https://www.domusweb.it/it/notizie/2015/12/23/carolin\\_pertsch\\_zostera\\_stool](https://www.domusweb.it/it/notizie/2015/12/23/carolin_pertsch_zostera_stool).