



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAMERINO

School of Advanced Studies

DOCTORAL COURSE IN

Architecture, Design, Planning

XXXVII cycle

**Design and Biocomposite Materials.
A Model for Environmentally and Socially
conscious Local Supply Chains of Natural Fibres**

PhD Student

Marco Manfra

Supervisor

Prof.ssa Lucia Pietroni

INDICE

Abstract	4
INTRODUZIONE	
1	FRAMEWORK LOGICO
1.1	Introduzione e inquadramento della tematica 7
1.2	Domande della ricerca e obiettivi 11
1.3	Temi, settori e problema scientifico 13
1.4	Destinatari della ricerca 17
1.5	Fasi e metodi 19
1.6	Risultati attesi 23
1.7	Contesto della ricerca 25
PARTE PRIMA	
MATERIALI BIOCOMPOSITI E DESIGN	
2	QUADRO CULTURALE DI RIFERIMENTO
2.1	Gli approcci disciplinari allo studio dei materiali tra tècnhe e humanitas 29
2.2	Design, nuovi materiali e ricerca progettuale: un rapporto in costante evoluzione 39
2.3	I neomateriali nell'epoca dell'economia rigenerativa: uno sguardo d'insieme 55
3	I MATERIALI BIOCOMPOSITI NEL DESIGN DI PRODOTTO
3.1	I materiali compositi: da materiale a comportamento 65
3.2	Il ruolo delle fibre tra proprietà e applicazioni 77
3.3	Il ruolo delle matrici tra proprietà e applicazioni 115
3.4	I biocompositi: una rilettura nel design contemporaneo 127
PARTE SECONDA	
LA PREFERIBILITÀ AMBIENTALE E SOCIALE DEI MATERIALI BIOCOMPOSITI NELLE SOCIETÀ INDUSTRIALI MATURE	
4	I BIOCOMPOSITI E IL RAPPORTO CON LA SOSTENIBILITÀ: OPPORTUNITÀ, LIMITI E SVILUPPI FUTURI
4.1	I biocompositi e il rapporto con l'economia circolare e rigenerativa: uno stato dell'arte aggiornato 149
4.2	Le attuali possibilità sul riciclo 159
4.3	Limiti, scenari futuri e sfide di sistema per l'adozione e la circolarità dei materiali biocompositi 171
4.4	Dalla preservazione dell'integrità del prodotto alla valorizzazione delle fibre naturali endogene: il contributo del design 179

PARTE TERZA
 MATERIALI BIOCOMPOSITI E DESIGN COME STIMOLO PER
 L'ATTUAZIONE DI NUOVI MODELLI DI SVILUPPO TERRITORIALE LOCALE

5	NUOVI PARADIGMI DI SVILUPPO LOCALE TRA DESIGN, MATERIE PRIME NATURALI E TERRITORI	
5.1	La rinascita del locale: una nuova cultura agro-ecologica e il ruolo del design	197
5.2	Design per e con i territori: definizioni e approcci	209
6	LE FIBRE NATURALI VEGETALI COME SISTEMI ECONOMICI, AMBIENTALI, SOCIALI E CULTURALI COMPLESSI	
6.1	Premessa e criteri di scelta dei casi studio	221
6.2	Approccio metodologico: multicriteri costitutivi per la scheda d'indagine qualitativa	225
6.3	Indagine qualitativa dei casi studio	
	6.3.1 Il sughero nell'Alentejo: Corticeira Amorim	235
	6.3.2 Il lino in Normandia e Alta Francia: Terre de Lin	261
	6.3.3 La canapa in Occitania: Virgocoop	285
6.4	Elaborazione dati: analisi comparativa dei casi studio tra limiti e punti di forza	
	6.4.1 Caratteristiche principali delle fibre naturali	305
	6.4.2 Catena del valore e innovazione	311
	6.4.3 Dinamiche della filiera produttiva	317
	6.4.4 Materiali naturali locali al centro del progetto	323
	6.4.5 Connessione con il territorio e il tessuto sociale	329
7	UN MODELLO TEORICO DI FILIERA AMBIENTALMENTE E SOCIALMENTE PREFERIBILE PER MATERIALI BIOCOMPOSITI FIBRORINFORZATI	
7.1	Nuovi criteri ambientali e sociali per la definizione di materiali biocompositi fibrorinforzati rigenerativi e a base locale	335
7.2	Sintesi, commento e prospettive future del modello teorico elaborato	349

CONCLUSIONI

8.	ESITI E CONCLUSIONI	
8.1	Risultati ottenuti	355
8.2	Risposte alle domande iniziali	357
8.3	Prospettive future della ricerca	359

Riferimenti bibliografici e sitografici	362
---	-----

Abstract breve italiano

La ricerca dottorale esplora il ruolo del design e dei materiali biocompositi nella promozione di modelli di filiera locale, ambientalmente e socialmente preferibili. I biocompositi, ottenuti dalla combinazione di fibre naturali vegetali e matrici polimeriche, emergono – pur con alcuni riconosciuti limiti – come un’opportunità per il design contemporaneo. Non si distinguono solo per le loro proprietà tecniche, ma anche per il potenziale di valorizzare risorse territoriali e dinamiche comunitarie. La tesi adotta un approccio sistemico che integra prospettive culturali, tecniche e sociali, orientato alla sostenibilità. Dopo un inquadramento teorico sui materiali e il design, nonché il loro legame con la transizione ecologica, l’elaborato affronta tre principali domande: cosa sono i biocompositi nel design, come si relazionano alla sostenibilità nelle società industriali mature e in che modo le filiere di fibre naturali possano stimolare nuovi modelli di sviluppo locale. Mediante una metodologia che combina analisi teorica, casi studio e un’indagine qualitativa, la ricerca identifica esempi virtuosi come Corticeira Amorim (sughero), Terre de Lin (lino) e Virgocoop (canapa). Queste realtà dimostrano come il design possa coniugare innovazione tecnica e consapevolezza sociale, promuovendo economie rigenerative radicate nei territori.

L’elaborato propone, come output conclusivo, un modello teorico per filiere di biocompositi fibrorinforzati, con un’enfasi su tracciabilità, biodiversità e valorizzazione degli aspetti comunitari. Le conclusioni sottolineano che una transizione ecologica autentica richiede una progettazione capace di riconnettere materia, ambiente e cultura, valorizzando le specificità locali e promuovendo pratiche di economia rigenerativa. La tesi rappresenta un contributo alla riflessione interdisciplinare sul ruolo dei materiali e del design come strumenti di trasformazione sociale e ambientale.

Short abstract english

The doctoral research explores the role of design and biocomposite materials in promoting local supply chain models that are environmentally and socially preferable. Biocomposites, obtained by combining natural plant fibers with polymer matrices, emerge – despite some acknowledged limitations – as an opportunity for contemporary design. They stand out not only for their technical properties but also for their potential to enhance territorial resources and community dynamics. The thesis adopts a systemic approach, integrating cultural, technical, and social perspectives, oriented toward sustainability. Following a theoretical framework on materials, design, and their connection to the ecological transition, the study addresses three main questions: what biocomposites are in design, how they relate to sustainability in mature industrial societies, and how natural fiber supply chains can stimulate new models of local development. Through a methodology that combines theoretical analysis, case studies, and qualitative research, the study identifies exemplary cases such as Corticeira Amorim (cork), Terre de Lin (flax), and Virgocoop (hemp). These cases demonstrate how design can merge technical innovation with social awareness, fostering regenerative economies rooted in local contexts.

As a concluding output, the thesis proposes a theoretical model for fiber-reinforced biocomposite supply chains, emphasizing traceability, biodiversity, and the enhancement of community aspects. The conclusions highlight that an authentic ecological transition requires a design approach capable of reconnecting material, environment, and culture, leveraging local specificities and promoting regenerative economic practices. The thesis represents a significant contribution to interdisciplinary reflections on the role of materials and design as tools for social and environmental transformation.

1. Framework logico

1.1 Introduzione e inquadramento della tematica

Questo elaborato pone l'accento sulla necessità di ripensare il rapporto tra l'uomo e la materia in un'epoca segnata da quella che molti studiosi identificano come una rivoluzione dei materiali. Siffatto cambiamento non riguarda unicamente le prestazioni, siano esse tecniche o estetiche, né si limita alle proprietà fisiche intrinseche delle materie prime, ma investe anche il loro significato sociale, culturale e politico. I materiali, in questa prospettiva, si configurano come elementi cruciali di una riflessione più ampia, articolata e profondamente transdisciplinare, capace di connettere ambiti scientifici, tecnologici, economici e antropologici, e di ridefinire il ruolo stesso della materia all'interno dei processi progettuali e produttivi. Lungi dall'essere semplici supporti funzionali, i materiali si configurano come sistemi complessi, in grado di ingenerare significati e relazioni che vanno ben oltre il loro utilizzo immediato.

La transizione ecologica, sempre più presente nei programmi governativi e nella letteratura accademica, esige, al contempo, un ripensamento sistemico delle modalità di produzione e consumo, ponendo nuove sfide e responsabilità ai progettisti, alle imprese e alle comunità. È in questo quadro che i materiali biocompositi, oggetto d'indagine di questa tesi dottorale, si configurano come un caso paradigmatico di innovazione "responsabile" e, sebbene entro forti limiti che saranno descritti e argomentati nell'elaborato, si presentano come una "possibilità ambientalmente e socialmente preferibile" per alcuni prodotti industriali. Generalmente ottenuti dall'impiego di fibre naturali di origine vegetale, questi materiali non si limitano a soddisfare requisiti prestazionali di natura tecnica, ma si configurano come portatori di una complessità intrinseca che integra dimensioni sociali e culturali. Tale complessità non solo ne amplifica il potenziale innovativo, ma li rende strumenti capaci di generare valore a più livelli, operando come catalizzatori, stimolando così una trasformazione sistemica. Per loro stessa natura, infatti, i biocompositi rimandano a un approccio profondamente radicato nei contesti territoriali e comunitari, promuovendo la valorizzazione delle risorse rinnovabili autoctone e, se ben pensati, il rafforzamento delle economie di prossimità. Essi rappresentano, quindi, non solo una risposta tecnica alle esigenze contemporanee, ma anche una manifestazione tangibile di un paradigma progettuale che intreccia ambiente, rigenerazione sociale e riconoscimento delle peculiarità bio-regionali. La rivoluzione dei materiali in corso segna allora un momento storico di innovazione tecnica e materica, accom-

pagnato da un cambiamento nell'uso e nel valore dei materiali tradizionali. Questa trasformazione non riguarda solo gli ambiti tecnico-scientifici, legati alle prestazioni e ai processi produttivi "ambientalmente preferibili", ma si estende a una dimensione sociale e culturale, coinvolgendo economia, antropologia, ingegneria dei materiali e design. Essa influenza non solo la produzione, ma anche la società civile, aprendo riflessioni sui significati e valori attribuiti ai materiali nel loro contesto d'uso. Con l'innovazione o la riscoperta di alcuni materiali, cresce la consapevolezza delle loro dimensioni "sovrastrutturali" – politiche, etiche, comunitarie e pubbliche. Nella disciplina del design, ciò implica che il nuovo "materialismo" non vede più la materia come inerte da consumare, ma come entità capace di auto-organizzarsi e generare significati, movimenti e connessioni, anche di carattere antropologico e sociale.

In questo scenario, il design continua a configurarsi come una disciplina centrale, dove i materiali non sono più semplici a priori del progetto, ma diventano essi stessi oggetto di progettazione. Questo spostamento epistemologico consente di considerare i materiali non solo per le loro caratteristiche intrinseche, ma come elementi vivi e attivi, capaci di generare valore e significato nei contesti in cui vengono utilizzati. Nel caso dei biocompositi, questa prospettiva permette di superare l'idea di un materiale definito unicamente dalle sue prestazioni tecniche, abbracciando invece una visione più ampia che include le sue implicazioni sociali.

Questo approccio rivela una sfida significativa nel contesto della ricerca contemporanea: sebbene l'indagine sui materiali si concentri con profitto sul miglioramento delle caratteristiche come la durabilità, la riciclabilità e l'efficienza delle prestazioni, tale orientamento rischia di trascurare un elemento fondamentale, ovvero la necessità di esplorare il profondo legame tra i materiali stessi e le dinamiche sociali, culturali e territoriali che li circondano. Il gap della ricerca, dunque, risiede proprio nella tensione intrinseca tra la dimensione tecnica e quella sociale, che continua a segnare un divario spesso non colmato nelle pratiche di studio sui materiali.

Questa tesi dottorale intende, pertanto, mettere in evidenza come i materiali biocompositi possano diventare autentici stimoli di trasformazione sociale e valorizzazione territoriale. In tal senso, la tesi proposta si articola attorno alla promozione di pratiche di economia circolare e rigenerativa, le quali, però, non possono prescindere da un radicale cambiamento di para-

digma, il quale, senza rinunciare alle competenze tecniche più avanzate, integri pienamente una comprensione delle realtà locali e delle dinamiche comunitarie, dove il sociale e il culturale non sono meri contesti di applicazione, ma principi fondanti dell'innovazione stessa.

Nella fattispecie, l'utilizzo di fibre naturali, come ad esempio del lino, della canapa o del sughero, non deve essere inteso esclusivamente come una scelta orientata all'efficienza produttiva o all'ottimizzazione dei processi industriali nel settore dei biocompositi, bensì come un atto che implica e promuove la valorizzazione delle tradizioni locali, una connessione profonda con le economie rurali e, soprattutto, una riflessione sul ruolo simbolico e culturale che questi materiali possiedono. Essi, di fatto, non sono semplici risorse da sfruttare, ma componenti essenziali di un sistema complesso che intreccia relazioni economiche, sociali e simboliche, in cui il recupero della memoria storica e il rafforzamento delle comunità locali si fondano con la progettazione di soluzioni innovative che guardano al futuro del design di prodotto.

I casi studio analizzati in questa ricerca – dalla lavorazione del sughero nell'Alentejo alla coltivazione del lino in Normandia e Alta Francia, fino alla riscoperta della canapa in Occitania – dimostrano come i materiali biocompositi possano stimolare lo sviluppo di strategie integrate che combinano innovazione tecnologica e consapevolezza sociale, promuovendo un dialogo tra diverse discipline e approcci metodologici. La ricerca esplora di fatto come il design possa ripensare il ruolo dei materiali biocompositi in una chiave sistemica, integrando aspetti tecnici e sociali. L'obiettivo di massima è quello di delineare modelli di filiera ambientalmente e socialmente preferibili, orientando scelte strategiche verso modelli produttivi responsabili, supportando i policy maker nella definizione di normative per la transizione ecologica, nel rispetto dei criteri di tracciabilità, cooperazione e salvaguardia della biodiversità.

1.2 Domande della ricerca e obiettivi

La ricerca dottorale si sviluppa attorno a tre domande principali che, in sequenza, mirano, da un lato, a comprendere e valorizzare il ruolo dei materiali biocompositi nel design contemporaneo, esplorando la loro relazione con le questioni ambientali, sociali ed economiche, e, dall'altro, a capire come questi materiali possano stimolare l'adozione di nuovi modelli di sviluppo territoriale locale. Le risposte a queste domande si intrecciano con obiettivi altrettanto fondamentali, che includono la sistematizzazione dei materiali biocompositi, l'esplorazione delle loro potenzialità e dei limiti all'interno delle dinamiche industriali e delle politiche di economia circolare attuali, e, infine, la proposta di azioni concrete per migliorare le filiere di fibre naturali esistenti.

Le domande di ricerca e gli obiettivi associati sono riassunti di seguito:

D1. Nel design, cosa sono e come si presentano, di fatto, i materiali biocompositi?

D2. Come, oggi, questi materiali a genesi combinatoria si relazionano con la sostenibilità ambientale e sociale nelle società industriali mature?

D3. In che modo le filiere produttive di fibre naturali – materia prima alla base dei biocompositi fibrorinforzati – possono diventare stimolo per attuare nuovi modelli alternativi di sviluppo locale?

O1. Definire e sistematizzare i materiali biocompositi nel contesto del design di prodotto contemporaneo, evidenziando le caratteristiche distintive di questi materiali;

O2. Esplorare e delineare le potenzialità e i limiti attuali dei materiali biocompositi all'interno delle dinamiche industriali e nelle politiche di economia circolare;

O3. Individuare e proporre delle azioni caratterizzanti utili al miglioramento - o alla generazione ex-novo - di filiere produttive di fibre naturali "rigenerative" dal punto di vista non solo ambientale ed economico, ma anche sociale e culturale.

1.3 Temi, settori e problema scientifico

Come parzialmente anticipato, il problema scientifico che guida questa ricerca dottorale si lega in maniera diretta alla crescente attenzione verso la sostenibilità di sistema, che ha trasformato i biocompositi in un campo di studio emergente. Questi materiali, costituiti da una combinazione di fibre naturali e matrici polimeriche, rappresentano una risposta potenziale alla crescente domanda di soluzioni progettuali che, per certi versi, riducano l'impatto ambientale dei prodotti industriali, promuovendo al contempo una migliore gestione delle risorse naturali. Eppure, nonostante l'interesse crescente, il settore dei biocompositi presenta ancora sfide significative, tanto nella definizione delle sue caratteristiche fisico-chimiche quanto nelle sue applicazioni pratiche di economia circolare nei vari settori industriali, tra cui l'arredamento, l'automotive e la moda. Nella sua articolazione, la ricerca intende affrontare tre filoni principali che ne definiscono il perimetro di indagine:

1. I materiali biocompositi nel design di prodotto.

Il primo filone si concentra sulla definizione, classificazione e valorizzazione dei materiali biocompositi, con particolare attenzione alle fibre naturali come componenti chiave. I biocompositi rappresentano un'opportunità unica per il design contemporaneo, grazie alla loro capacità di coniugare prestazioni tecniche, impatti ambientali ridotti e potenzialità estetiche. La ricerca esplorerà come il design possa sfruttare le proprietà intrinseche di questi materiali, integrandoli nei sistemi produttivi e progettuali per rispondere a esigenze di durabilità, adattabilità e preferibilità ambientale. Saranno altresì analizzate le applicazioni nei settori industriali più rilevanti, considerando le dinamiche delle politiche di economia circolare e le strategie per massimizzare l'efficienza e il valore aggiunto dei prodotti.

2. Innovazione e sostenibilità nelle filiere di biocompositi.

Questo secondo filone affronta il ruolo delle innovazioni e delle strategie di economia circolare nel contesto delle filiere dei biocompositi nelle società industriali mature, con un focus sull'ottimizzazione dei cicli di vita dei materiali e dei prodotti. La ricerca esplora come i biocompositi possano essere progettati e utilizzati per massimizzare la loro riciclabilità, ridurre gli scarti e prolungare la vita utile dei prodotti, adottando approcci che favoriscano la riparazione, il riutilizzo e il recupero dei materiali. Particolare attenzione è dedicata alla necessità di integrare fin dalle prime fasi del design i principi di circolarità, garantendo

do che ogni fase del ciclo produttivo, dall'approvvigionamento delle risorse alla fine vita, contribuisca alla rigenerazione delle risorse naturali. L'obiettivo è dimostrare come queste strategie possano coniugare la preferibilità ambientale con la generazione di valore economico, trasformando i biocompositi in una leva per l'innovazione sistemica e responsabile.

3. Le filiere produttive di fibre naturali come stimolo di sviluppo territoriale locale.

L'ultimo filone si concentra invece sull'analisi di alcune filiere produttive di fibre naturali esistenti, come lino, canapa e sughero, evidenziando il loro legame con i territori di origine. Tali filiere, spesso radicate in tradizioni locali, rappresentano un'opportunità per lo sviluppo socioeconomico di comunità rurali e periferiche. La ricerca indagherà allora come modelli cooperativi, pratiche agricole rigenerative e approcci di economia circolare possano potenziare queste filiere, trasformandole in stimolo di cambiamento e innovazione territoriale. Sarà inoltre analizzato il contributo delle filiere locali alla valorizzazione delle risorse naturali autoctone, alla creazione di sinergie industriali e alla promozione di nuove dinamiche sociali, culturali e ambientali.

Il problema scientifico alla base di questa ricerca risiede nella necessità di colmare le lacune conoscitive dei designer e dei ricercatori in merito ai biocompositi, un ambito ancora privo di una definizione univoca e condivisa. Il design contemporaneo si confronta con la sfida di integrare questi materiali in un contesto industriale complesso, dove è fondamentale bilanciare prestazioni tecniche, estetica e impatto ambientale, affrontando al contempo questioni di natura sociale e culturale.

I biocompositi rappresentano un'opportunità non solo per sviluppare prodotti che, in determinate circostanze, possano essere considerati "ambientalmente preferibili", ma anche per stimolare un ripensamento dei modelli di produzione e consumo in ottica circolare e rigenerativa, contribuendo a ridefinire il rapporto tra uomo, materia e ambiente.

In estrema sintesi la ricerca dottorale è così classificabile:

- *CATEGORIE DELLA RICERCA SECONDO FRAYLING 1993: Research through Design; Research for Design.*

- *CLASSIFICAZIONE SECONDO L'ERC (Panel structure 2024 calls):*

PE8_10 Manufacturing engineering and industrial design

PE8_11 Environmental engineering, e.g. sustainable design, waste and water treatment, recycling, regeneration or recovery of compounds, carbon capture & storage

PE11_5 Engineering of composites and hybrid materials

SH7_5 Sustainability sciences, environment and resources, ecosystem services

SH7_6 Environmental and climate change, societal impact and policy

SH8_6 Architecture, design, craft, creative industries

- *APPROCCI DELLA RICERCA: Systemic Design, Cross-cultural research, Action-research, Basic research.*

I principali argomenti che definiscono i confini di questa ricerca dottorale sono:

- Materiali per il design
- Innovazione nei materiali naturali e biocompositi
- Circular design e design sistemico
- Transdisciplinarietà nel design
- Economia rigenerativa guidata dal design
- Filiere corte e sostenibili
- Design per lo sviluppo locale e rurale

1.4 Destinatari della ricerca

I destinatari principali di questa ricerca sono i professionisti del design, in particolare i progettisti e i ricercatori che operano nel campo dei biocompositi e dei materiali naturali. La ricerca si propone di rispondere alle sfide del design contemporaneo, integrando l'analisi approfondita dei biocompositi con i principi della progettazione ambientalmente e socialmente preferibile. L'obiettivo è divulgare soluzioni progettuali in grado di promuovere filiere produttive rigenerative, supportando la transizione verso modelli produttivi più responsabili e consapevoli. In questo contesto, i progettisti che già utilizzano o sono interessati a materiali naturali possono beneficiare di uno strumento analitico per una selezione consapevole dei biocompositi, comprendendo le loro caratteristiche prestazionali e applicative. L'intenzione è rendere i progettisti autonomi nell'utilizzo di questi materiali, facendo comprendere le loro potenzialità, ma anche i limiti e i rischi, con un focus su un design che rispetti l'ambiente e promuova la circolarità.

In seconda istanza, i destinatari sono le industrie, nonché gli attori politici e decisionali, della filiera produttiva, comprese le aziende che trasformano materiali naturali e quelle impegnate nell'ingegnerizzazione di prodotti. Per queste imprese, la ricerca offre la possibilità di esplorare nuovi approcci alla produzione, promuovendo l'adozione di materiali preferibili sia dal punto di vista ambientale che sociale, e incentivando l'uso efficiente e rigenerativo – largamente inteso – delle fibre naturali. Le realtà produttive coinvolte nella trasformazione dei materiali naturali hanno un ruolo cruciale nell'implementare le soluzioni progettuali sviluppate, favorendo la diffusione di pratiche circolari a livello di produzione, a partire dalla gestione della materia prima. Inoltre, la ricerca si rivolge anche ai policy maker, poiché l'intento è quello di stimolare l'integrazione di politiche pubbliche orientate a favorire modelli produttivi che siano ambientalmente e socialmente preferibili.

In estrema sintesi, la ricerca, come output principale, fornisce ambiti di intervento e azioni caratterizzanti adatte a promuovere una cultura del design orientata all'ambiente e alle dinamiche sociali positive, rivolti a progettisti, produttori, policy maker e attori della filiera produttiva. L'obiettivo è stimolare l'adozione di pratiche circolari, l'uso responsabile delle risorse naturali e la rigenerazione dei contesti locali, attraverso soluzioni progettuali che favoriscano la preferibilità ambientale e l'inclusività sociale.

1.5 Fasi e metodi

La ricerca dottorale, si articola intorno a tre domande chiave e interconnesse (D1, D2, D3), precedentemente descritte, che orientano il percorso di analisi teorica. L'obiettivo è indagare il ruolo dei materiali biocompositi nel design contemporaneo, il loro rapporto con la sostenibilità ambientale e sociale, e il loro potenziale nel promuovere nuovi modelli di sviluppo locale. La metodologia adottata integra ricerca desk e field con un'analisi qualitativa basata su casi studio selezionati, i cui dettagli e approcci saranno trattati in modo approfondito nel corpo della tesi.

Fase 1: Definizione e contestualizzazione (D1)

Domanda: Nel design, cosa sono e come si presentano, di fatto, i materiali biocompositi?

La prima fase si concentra sulla ricostruzione del quadro culturale e concettuale relativo ai materiali biocompositi nel design. Attraverso un'analisi teorica e una literature review:

- Viene costituito un framework culturale di riferimento;
- Viene definito il concetto di "biocomposito" all'interno della disciplina del design;
- Si propone una nuova caratterizzazione di questi materiali, contestualizzandoli nel panorama del design contemporaneo.

Questo passaggio fornisce le basi per comprendere come i biocompositi siano intesi non solo come materiali tecnici, ma come elementi chiave per un design integrato, sistemico e ambientalmente preferibile.

Fase 2: Analisi sulla sostenibilità dei biocompositi e contributo del design (D2)

Domanda: Come, oggi, questi materiali a genesi combinatoria si relazionano con la sostenibilità ambientale e sociale nelle società industriali mature?

In questa fase, invece, la ricerca esplora la relazione tra biocompositi e sostenibilità, considerando sia l'impatto ambientale che sociale, attraverso literature review, interviste e visite in azienda:

- Viene ricostruito lo stato dell'arte sulle connessioni tra biocompositi, sostenibilità e design circolare;
- Vengono identificate delle direttrici principali attraverso cui il design può contribuire a migliorare la sostenibilità di questi materiali.

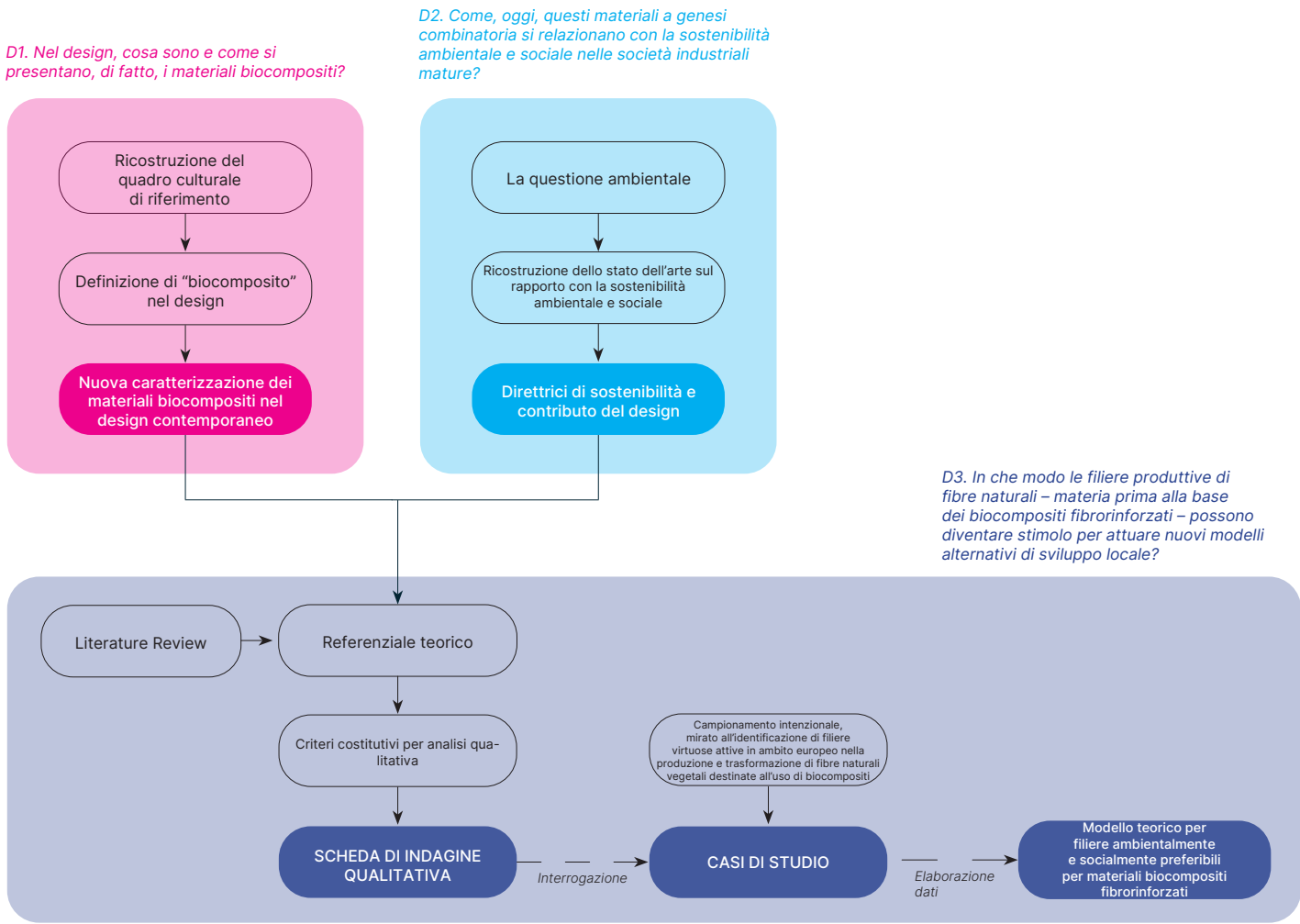
Fase 3: Studio delle filiere produttive e proposta di un modello teorico per assicurare una preferibilità ambientale e sociale nelle filiere di materiali biocompositi (D3)

Domanda: In che modo le filiere produttive di fibre naturali – materia prima alla base dei biocompositi fibrorinforzati – possono diventare stimolo per attuare nuovi modelli alternativi di sviluppo locale?

Infine, la terza fase esplora il potenziale delle filiere di fibre naturali nel promuovere modelli preferibili di sviluppo locale, dove il design è al centro. Tra analisi "on desk" e "on field", attraverso un campionamento mirato:

- Vengono identificate filiere virtuose in Europa per la produzione e trasformazione di fibre vegetali destinate ai biocompositi;
- Viene costituita e poi applicata una scheda di indagine qualitativa per analizzare i casi studio selezionati, approfondendo sostenibilità e valore territoriale;
- Viene analizzato il legame tra filiere, innovazione, territorio e tessuto sociale, valorizzando peculiarità locali e coinvolgimento comunitario;
- Viene elaborato un modello teorico basato sui dati qualitativi raccolti, per identificare caratteristiche essenziali di filiere ambientalmente e socialmente preferibili.

Nella pagina successiva è presentata una sintesi visiva delle principali fasi della ricerca, che sarà riproposta in dettaglio all'inizio di ogni paragrafo di tesi per guidare il lettore (tab. 01).



tab. 01
Fasi e metodi della tesi dottorale

1.6 Risultati attesi

La ricerca mira a produrre una serie di risultati distintivi che riflettano le domande e gli obiettivi prefissati, delineando così un contributo significativo al campo del design dei materiali biocompositi e delle filiere produttive sostenibili.

R1. Una nuova caratterizzazione dei materiali biocompositi nel design di prodotto.

Si prevede di fornire una definizione aggiornata e sistematica dei materiali biocompositi, evidenziando le loro caratteristiche distintive e le potenzialità applicative nel design di prodotto contemporaneo. Questo risultato intende colmare lacune di conoscenza, favorendo una comprensione più chiara delle tipologie di biocompositi disponibili e dei contesti progettuali in cui possono essere utilizzati con successo.

R2. Nuove direttrici per materiali biocompositi contemporanei e il contributo del design.

La ricerca intende tracciare nuove traiettorie per l'utilizzo dei materiali biocompositi, focalizzandosi sul contributo del design nella promozione di pratiche produttive ambientalmente e socialmente preferibili. Verranno individuate direttrici progettuali che stimolino un approccio innovativo e circolare, capace di massimizzare il valore aggiunto dei materiali biocompositi nel rispetto delle risorse naturali e delle dinamiche sociali locali.

R3. Un modello teorico comprensivo di ambiti di intervento e azioni caratterizzanti per filiere ambientalmente e socialmente preferibili.

La proposta è quella di sviluppare un modello teorico che integri conoscenze scientifiche e approcci progettuali, fornendo strumenti pratici per migliorare o generare filiere produttive di materiali biocompositi fibrorinforzati. Questo modello comprenderà ambiti di intervento e azioni caratterizzanti per supportare il passaggio verso sistemi produttivi in grado di rispondere non solo alle esigenze ambientali ed economiche, ma anche alle istanze sociali e culturali dei contesti locali.

Questi risultati attesi, nel loro insieme, tenderanno di offrire un contributo significativo al dibattito sul ruolo del design come leva per l'adozione di pratiche più responsabili e consapevoli, rafforzando la posizione dei materiali biocompositi come risorsa cruciale per uno sviluppo più equilibrato e inclusivo.

1.7 Contesto della ricerca

Questa ricerca dottorale si inserisce all'interno di un contesto interdisciplinare che coinvolge il design, l'ingegneria dei materiali e la sostenibilità. È afferente al settore del design e si sviluppa in collaborazione con il Polo dei Materiali Compositi, una rete di imprese situata tra le Marche e l'Abruzzo, nata per valorizzare e innovare la filiera produttiva dei materiali compositi locali. Questo polo rappresenta un ecosistema industriale, costituito da aziende leader a livello internazionale e impegnate nella ricerca avanzata su materiali compositi di origine sia tradizionale che rinnovabile.

Il Polo dei Materiali Compositi, istituito nel 2018 su iniziativa di HP Composites S.p.A., azienda specializzata in materiali compositi per l'industria automobilistica, collabora con partner internazionali del settore, quali Dallara, Ferrari e Lamborghini. Questa rete ha permesso di sviluppare una piattaforma di ricerca avanzata, la Next Generation Composite Materials, coordinata dal laboratorio MARLIC (Marche Applied Research Laboratory for Innovative Composites). Tale piattaforma si concentra sull'accelerazione della ricerca applicata per la manifattura sostenibile e circolare, con particolare attenzione alla progettazione e al de-manufacturing di materiali compositi rinnovabili di origine naturale.

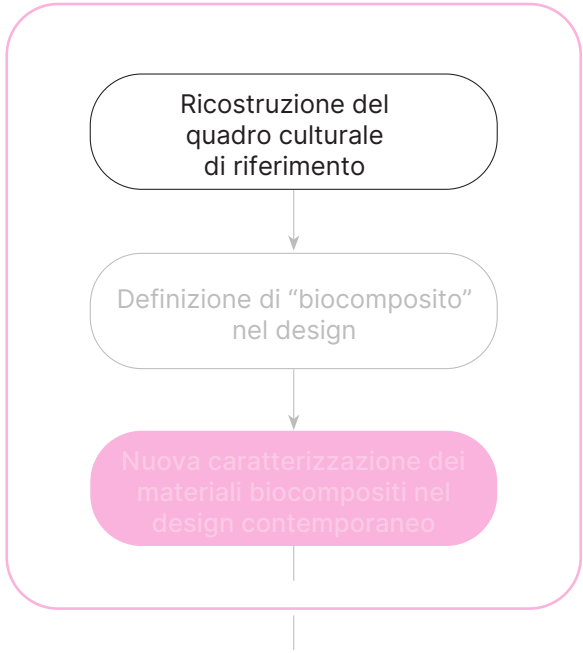
La collaborazione con le imprese locali apre prospettive future di grande rilevanza per la ricerca, offrendo la possibilità di instaurare un dialogo diretto con gli attori del territorio e di favorire, in un secondo momento, una concreta trasferibilità dei risultati.

Questo contesto rappresenta, infine, una framework ideale per esplorare il potenziale del design nella generazione di modelli di produzione e consumo responsabili, capaci di coniugare innovazione, preferibilità ambientale e sociale, nella valorizzazione delle risorse locali.

parte I

MATERIALI BIOCOMPOSITI E DESIGN

D1. Nel design, cosa sono e come si presentano, di fatto, i materiali biocompositi?



Sintesi e schema di lettura del capitolo

2. Quadro culturale di riferimento

2.1 Gli approcci disciplinari allo studio dei materiali tra tècnhe e humanitas

Come sostengono gli studiosi Adam Drazin e Susanne Küchler, ci troviamo nel mezzo di una rivoluzione dei materiali, ovvero un momento storico caratterizzato – tra l’altro – da una forte innovazione materica e, al contempo, da un mutamento, sia nell’uso, sia nel significato degli infiniti materiali che ci circondano¹. Campi professionali e accademici come la scienza o l’ingegneria dei materiali, così come il design o l’economia, ne subiscono gli impatti, mutando come discipline. La rivoluzione dei materiali non è soltanto una rivoluzione scientifica, correlata alle singole prestazioni materiche e ai relativi processi produttivi, ma anche una rivoluzione di tipo sociale e culturale²: man mano che essi vengono utilizzati, si prende vieppiù consapevolezza circa l’importanza delle molteplici dimensioni sovrastrutturali ad esse connaturate, come quella politica, etica e della sfera pubblica in generale³. Esemplificativa a tal proposito è la realtà che ruota intorno alla sostanza “iridio”, componente oggi cruciale delle più moderne tecnologie elettroniche esposte alle alte temperature, molto limitato nel mondo, raro, e proveniente da pochi siti di estrazione specifici. Spesso questi siti di estrazione sono collocati in zone di instabilità politica ed economica, che vivono quotidianamente il rischio di guerre o di rivoluzioni; oppure basti pensare ai rischi dell’estrazione delle cosiddette “materie prime critiche”, o, ancora, delle risorse idriche⁴. Ne emerge che la dipendenza del mondo contemporaneo di alcuni materiali, come è accaduto e continua ad accadere per il petrolio, può portare a crisi e conflitti. L’uso dei materiali, dunque, non è politicamente, socialmente e culturalmente neutrale. E ancora, di converso, allontanandosi dalla visuale delle aziende private, i materiali sono anche diventati oggetto di attenzione per movimenti sociali e alcuni gruppi di persone, i quali, con cognizione di causa verso la nozione di “sostenibilità”, risultano più attente sulle questioni ambientali, culturali e sociali interrelate ai materiali. Pertanto, nell’alveo del design, l’innovazione dei materiali dovrà tentare di rivelare e di mettere in discussione criticamente anche i più ampi aspetti culturali, sociali e relazionali, ancora esclusi dalle imprescindibili e comunque utili mappature o tassonomie per la selezione del materiale, tra prestazione e “soft qualities”⁵.

Nelle discipline dei materiali, come sostiene Jane Bennett nel celebre *Materia vibrante. Un’ecologia politica delle cose*, permane sovente un divario tra la studio e la concezione di un materiale dato, esistente come “roba grezza”, a sé stante, presente in natura oppure prodotto in laboratorio, e il momento

1. Drazin, A. (2015). Material transformations. In A. Drazin & S. Küchler (Eds.), *The Social Life of Materials: Studies in Materials and Society* (pp. 23-42). Routledge.
2. Carullo, R., Cecchini, C., Ferrara, M., Langella, C., & Lucibello, S. (2017). From science to design: The Design4Materials virtuous cycle. *The Design Journal*, 20(sup1), S1794-S1806.
3. Hudson, R. (2011). Critical political economy and material transformation. *Global Society*, 25(3), 373-397.
4. EconomiaCircolare.com. (ultima consultazione 2024, 14 febbraio). Materie prime critiche: L’impatto sull’acqua. Recuperato da: <https://economiecircolare.com/materie-prime-critiche-impatto-acqua/>
5. Rognoli, V., & Levi, M. (2013). *Il senso dei materiali per il design*. FrancoAngeli.

6. Bennett, J. (2023). *Materia vibrante: Un'ecologia politica delle cose*. Timeo.

7. Ball, P. (2008). *Elementi: Di cosa è fatto il mondo in cui viviamo*. Mimesis.

8. Escobar, A. (2018). *Designs for the Pluriverse: Radical Interdependence, Autonomy, and the Making of Worlds*. Duke University Press.

9. Manzini, E. (1986). *La materia dell'invenzione*. Arcadia Edizioni.

10. Miodownik, M., & Tempelman, E. (2014). *Light Touch Matters: The product is the interface*. Light.Touch. Matters.

11. Wilkes, S., Wongsriruksa, S., Howes, P., Gamester, R., Witchel, H., Conreen, M., Laughlin, Z., & Miodownik, M. (2015). Design tools for interdisciplinary translation of material experiences. *Journal of Materials & Design*, 85, 451-461.

12. Raimondo, C. (2006). Design dei materiali. In E. Manzini, & P. Bertola (Eds.), *Design Multiverso* (pp. 165-178). Edizioni POLI.design.

13. Drazin, A. (2015). Material transformations. In A. Drazin & S. Küchler (Eds.), *The Social Life of Materials: Studies in Materials and Society* (pp. 23-42). Routledge.

14. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2019). *Scienza ed ingegneria dei materiali*. EdiSES.

in cui entra a far parte della vita quotidiana come qualcosa di “vitale”, “vibrante”⁶, capace di generare effetti e relazioni di carattere sociale su vari livelli, tra struttura e, soprattutto, sovrastruttura, dal processo di approvvigionamento al processo di lavorazione, dall'utilizzo al riutilizzo⁷. È in questo senso che intorno ai materiali, “vecchi” e “nuovi”, “noti” e “inusuali”, “futuri” o “futuribili”, si sta concentrando un fiorente dibattito che vede tuttavia, da un lato, un procedere delle logiche “monoculturali” di riproduzione degli stessi, dall'altro, una interessante coalizione di gruppi diversi che celebrano la diversità, o “pluralità”⁸, dei materiali attraverso la scienza, l'arte, l'artigianato, il design, la riscoperta storica, il neo-localismo o semplicemente – parafrasando Ezio Manzini – una messa in atto dei “giochi del possibile”⁹.

Di fatto, è per la stessa sopravvivenza del pianeta, e per la tutela delle proprie risorse, che occorre con urgenza ricollocare tutti i materiali entro un linguaggio che sia anche di tipo sociale e culturale, transcendendo così la sola osservazione dalla visuale delle inevitabili proprietà intrinseche, o degli aspetti estetico-percettivi, aprendo così un ventaglio di nuove riflessioni, idee e approcci all'interno dell'attuale ecosistema accademico: è importante chiedersi che cosa fanno effettivamente i materiali¹⁰, cosa producono al di là del prodotto industriale¹¹, anche, e soprattutto, nella disciplina del design.

Sono diverse e storicizzate le discipline che hanno risposto alla prospettiva di una rivoluzione dei materiali delineando approcci più mirati a ciò che sono e a ciò che fanno¹². Questi molteplici approcci possiedono peculiarità originali e mostrano la varietà di modi in cui i materiali possono essere studiati e discussi epistemologicamente. La letteratura concorda che i quattro principali approcci al materiale¹³ possono essere sintetizzati con l'approccio ingegneristico, quello del design, quello filosofico e quello antropologico, che si tenterà adesso di enucleare, seppur non nella loro esaustività.

La scienza e l'ingegneria dei materiali sono un settore chiave, in cui l'analisi scientifica delle proprietà dei materiali è prevalente e ben sviluppata, e particolarmente efficace alla risoluzione specifica di un “problema progettuale”¹⁴. In tale direzione, a Cambridge, ad esempio, un approccio di sintesi, relativamente recente e assai influente, è quello fornito dal gruppo di lavoro di Mike Ashby, divulgato e diffuso anche attraverso l'ausilio di particolari software come il *GRANTA EduPack*, per la selezione dei materiali. È chiaro, e noto, ai più, che all'interno dell'inge-

gneria dei materiali esiste una particolare attenzione alla loro composizione chimica e alla struttura a diversi livelli, come quello atomico, nano o cristallino, oppure, con uno zoom-out di scala, ai processi produttivi¹⁵. La scienza dei materiali spesso raggruppa i materiali per categorie. È nell'approccio chimico che esiste la capacità di definire e misurare le proprietà dei materiali e di mappare e localizzare i materiali in base alle proprietà fisiche, meccaniche, termiche, elettriche, acustiche, tattili, ottiche, ambientali e di processo. Secondo questa logica, tutto ciò che è quantitativamente misurabile viene considerato una proprietà. Di converso, sempre dal punto di vista ingegneristico, e di “reverse engineering”, è possibile analizzare qualsiasi prodotto industriale, osservarlo e, applicando il metodo scientifico, ridurlo alle minime “parti” per dare una lettura dei materiali che lo compongono e arrivare così, a ritroso, alle loro proprietà. Le categorie possono in un certo senso sovrapporsi o essere suddivise in macro e micro-categorie, “idealizzate”, e dunque estrapolate e lontane da un contesto d'uso specifico e reale. Utili per la scelta di utilizzo, si possono quindi categorizzare “minerali”, “schiume”, “metalli”, “ceramiche”, “plastiche” e, nel caso in cui risulti difficile distinguere materiali come il sughero, l'ambra o la conchiglia, oppure i tessuti in fibra naturale o i materiali biocompositi – quest'ultimi oggetto di questa ricerca dottorale –, si possono anche considerare raggruppamenti più astratti con cluster come, ad esempio, “materiali naturali”. Questa tale difficoltà di categorizzazione mette ancor più in evidenza le “zone grigie” dell'approccio ingegneristico, in cui è necessaria e urgente una maggiore flessibilità per una rinnovata classificazione dei materiali che prenda in considerazione anche aspetti altri, più percettivi. Una flessibilità che, per certi versi, risolve e raccomanda Ashby nel libro *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*. Secondo Ashby e Johnson, l'ingegneria non deve tralasciare quei metodi di selezione del materiale relativi alla “sintesi”, alla “somialianza” e all'“ispirazione”, più tipici, invece, di un approccio ai materiali dalla visuale del design¹⁶. Nello specifico, la selezione o lo studio per sintesi, tipica di un ragionamento di tipo induttivo, attinge con elasticità a esperienze pregresse per individuare punti di contatto tra caratteristiche desiderate, intenzioni, percezioni e persino estetica; la selezione o lo studio per somialianza, invece ricerca materiali le cui caratteristiche sono state scelte perché si avvicinano a quelle di un materiale esistente, senza tuttavia essere in un primo momen-

15. Ashby, M., & Johnson, K. (2009). *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*. Butterworth-Heinemann.

16. Ibidem.

¹⁷. Miodownik, M. (2015). *La sostanza delle cose: Storie incredibili dei materiali meravigliosi di cui è fatto il mondo*. Bollati Boringhieri.

¹⁸. Baldo, G. L., Marino, M., & Rossi, S. (2005). *Analisi del ciclo di vita (LCA): Materiali, prodotti e processi*. Edizioni Ambiente.

¹⁹. Klöpfer, W., & Grahl, B. (2014). *Life cycle assessment (LCA): A guide to best practice (3a ed.)*. Wiley.

to a conoscenza del loro valore intrinseco e delle singole proprietà; la selezione o lo studio per ispirazione, ricerca, infine, idee, dando un’occhiata per certi versi randomica a immagini di prodotti o di materiali stessi, girando liberamente, osservando il mondo, finché non salta all’occhio la soluzione del problema. Con questo i due autori intendono avvalorare quell’idea che ha espresso in tempi più recenti anche Mark Miodownik in *La sostanza delle cose. Storie incredibili dei materiali meravigliosi di cui è fatto il mondo*, ovvero, quel bisogno, nel campo dei materiali, di confrontare i materiali, ma anche di contrastare, sperimentare artisticamente e giocare con gli stessi, come parte della loro esplorazione, per difendere la pluralità degli stessi¹⁷. Certamente, gli approcci ingegneristici tradizionali, allo stato di fatto, hanno anche fornito modi particolarmente efficaci per modellare la sostenibilità dei materiali e dei prodotti industriali ad essi connaturati. Non a caso sono state sviluppate negli ultimi decenni applicazioni per la valutazione del ciclo di vita del prodotto industriale (Life Cycle Assessment), utili all’analisi delle implicazioni energetiche calcolate se un particolare prodotto viene progettato in un determinato modo. Un’analisi delle implicazioni energetiche dell’uso di un materiale deve tenere conto, tra l’altro, del trasporto, della durata di vita, dell’origine della materia prima e della produzione¹⁸. Questo approccio universale alle implicazioni energetiche di un materiale è eccezionalmente potente e rappresenta oggi uno strumento importante per rispettare i valori di sostenibilità economica e ambientale¹⁹.

Nell’ambito del design, campo tanto vario, che spazia dal design industriale al design dei servizi, alle nuove forme di artigianato, al design grafico, si applicano una serie di approcci paradigmatici allo studio dei materiali, complementari rispetto a quelli ingegneristici, che calcano maggiormente gli aspetti percettivi ed estetici, iniziando a “complessificare” maggiormente il dibattito attorno all’utilizzo dei materiali. In Italia, a titolo esemplificativo, l’apprezzamento delle proprietà estetiche dei materiali, e i relativi studi, arrivano in particolare già dagli anni Settanta del Novecento per opera della “Moltefibre” della Montedison che ha condotto ricerche riguardanti i semilavorati e ha prodotto manuali tematici del “design primario” per progettare colori, luci, superfici, e, poi, negli anni Ottanta, nelle riflessioni elaborate da Antonio Petrillo, Andrea Branzi e Clino Trini Castelli all’interno della Domus Academy. L’attenzione si sposta, in questo caso, sulle qualità “soft” dei prodotti, che in-

teressano i materiali, le superfici con cui il nostro corpo entra in contatto, la percezione e la fruizione dello spazio e dell’ambiente²⁰. Esse, permettono di aumentare la carica espressiva, aggiungendo alle prestazioni funzionali, prestazioni affettive, simboliche e letterarie. In questo approccio al materiale, tipico del design, il progetto viene inteso come catalizzatore di relazioni, idoneo a prendere in considerazione la ricaduta di tutti quei fenomeni intangibili e soft, legati alla percezione fisica, distinguendoli da quelli hard, appartenenti alla struttura. Operare in tale dimensione – intesa come “primaria” – rende non totalmente sufficienti tutti quegli strumenti tradizionali di selezione materica, tipici ingegneristici – come, ad esempio, il già citato *GRANTA EduPack* –, e richiede l’applicazione di nuove sensibilità più estese alla scelta del materiale. In tale direzione, si è arrivati a “quantificare” le caratteristiche soft, attraverso una serie di codici simbolici, coefficienti e matrici all’interno di metodologie progettuali come quella del *Material Driven Design (MDD)*, metodologia utile ad agevolare il processo di riversamento dell’“esperienza sui materiali” dai laboratori scientifici agli studi di Industrial Design. È nel contributo *Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences* che Karana, insieme a Bahar Barati, Valentina Rognoli, Anouk Zeeuw van der Laan, presenta un nuovo metodo per sviluppare il processo creativo di progettazione e suggerire il materiale come punto di partenza, quindi ribaltando il consolidato paradigma dei “prodotti industriali in cerca di soluzioni materiali –” a “materiali in cerca di prodotti industriali”. MDD rappresenta il primo tentativo di facilitare i progetti in cui il “materiale” è il punto di partenza esplicito nel processo e l’intera “esperienza” è il risultato atteso²¹. La progettazione con un materiale implica quindi, secondo Karana, una conoscenza approfondita dello stesso, al fine di scoprire le sue qualità ed i vincoli unici rispetto ad altri materiali. Questo può essere ottenuto esclusivamente attraverso un “armeggiare con il materiale”, in una sorta di processo esplorativo di creazione e valutazione tecnico-percettiva, a partire dal primo incontro con il materiale, fino alla sua incarnazione finale nel prodotto alla fine del processo²².

Parallelamente al gruppo di ricerca di Karana e Rognoli, è Neri Oxman, ricercatrice al Media Lab del MIT di Boston, a pubblicare metodi per la generazione di relazioni verificate tra forma, materia, struttura e ambiente, attraverso scale e domini applicativi, coniando così la “Material Ecology”²³, che vede: “Il ruolo della scienza è quello di spiegare e prevedere il mondo

²⁰. Trini Castelli, C., & Petrillo, A. (1986). *Il lingotto primario: Progetti di design primario alla Domus Academy*. Arcadia.

²¹. Karana, E., Barati, B., Rognoli, V., & Zeeuw van der Laan, A. (2015). Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences. *International Journal of Design*, 9(sup2), 35-54.

²². Ibidem.

²³. Oxman, N. (2010). *Material-based design computation* (Tesi di dottorato, Massachusetts Institute of Technology).

²⁴. Oxman, N. (2016). Age of Entanglement. *Journal of Design and Science*. <https://doi.org/10.21428/7e0583ad>

²⁵. Dal Palù, D., & Lerma, B. (2023). How natural are the “natural” materials? Proposal for a quali-quantitative measurement index of naturalness in the environmental sustainability context. *Sustainability*, 15(5), 4349.

²⁶. Tilley, C., Keane, W., Küchler-Fogden, S., Rowlands, M., & Spyer, P. (Eds.). (2006). *Handbook of material culture*. SAGE Publications Ltd.

che ci circonda; “converte” le informazioni in conoscenza. Il ruolo dell'ingegneria è applicare la conoscenza scientifica allo sviluppo di soluzioni per problemi empirici; “converte” la conoscenza in utilità. Il ruolo del design è quello di produrre soluzioni che massimizzino la funzione e aumentino l'esperienza umana; “converte” l'utilità in comportamento. Il ruolo dell'arte è quello di mettere in discussione il comportamento umano e creare consapevolezza del mondo che ci circonda; “converte” il comportamento in nuove percezioni dell'informazione” ²⁴ (Trad. It. dell'autore). All'intersezione di queste relazioni e approcci interdisciplinari descrive quindi il ruolo dei materiali. Infine, appare chiaro che l'approccio ai materiali dalla visuale del design, si preoccupa anche dell'esperienza finale degli utenti che usano e lavorano con i prodotti progettati. Mentre un ingegnere può approcciarsi al materiale sulla base delle proprietà, classificandoli e distinguendoli atomicamente, nell'approccio del design, invece, tale distinzione può essere molto meno chiara, poiché sempre più materiali, oggi, hanno un comportamento “a genesi combinatoria”, di fatto un comportamento “composito”. Ciò vuol significare, che dai materiali più semplici come i tessuti, il cartone ondulato, i legni stratificati, oppure tutti quei materiali con comportamenti, ad esempio, auxetici, o i cosiddetti “smart materials”, si manifesta la fallacia dell'idea di adoperarsi verso una distinzione completa tra “forma” e “sostanza”. Dimostrando la totale convergenza e inscindibilità tra le due, seppur ancora all'interno di un ragionamento funzionalista e utilitarista del materiale, ancora lontano da approcci antropologici o sociali, che verranno descritti tra breve. Il design tenta allora di catalogare e di classificare i materiali – e quindi in generale approcciarsi – in due modi distinti: da un lato, si occupa di alcune macrocategorie di materiali, che non sono definitive, ma piuttosto sono modi di considerare alcune questioni significative in modo contestato, e allora si può parlare di “materiali naturali”, “materiali biologici”, “materiali intelligenti”, “materiali innovativi”, “materiali sostenibili”, “materiali circolari”, oppure “materiali freddi”, “materiali caldi”, e altro²⁵. In questo caso, ad esempio, i tropi persistenti di naturalezza, artificialità e intelligenza, seppur tra immaginario e rappresentazione ideale, possono aiutare a trasporre le implicazioni dell'incipiente rivoluzione dei materiali in termini culturali suggestivi per il design. Trasformati in metafore, i materiali diventano non solo modi di fare, ma anche modi di pensare e di capire, diventando parte dell'architettura di ontologie e cosmolo-

gie²⁶; dall'altro, continua a guardare al rapporto tra processo produttivo e caratteristiche di forma, come già Ezio Manzini mise in risalto nel 1986 nel celebre *La Materia dell'Invenzione*, attraverso i suoi “giochi del possibile”. Egli, discutendo su polimeri, nuove tecnologie e materiali “zelig” – quei materiali, come i compositi, che cambiano di aspetto e di personalità a seconda delle circostanze –, opera una lettura inusuale e inedita degli stessi, classificandoli secondo la loro “agentività”²⁷ e quindi secondo categorie formali ed espressive come “il fare leggero”, “il fare elastico”, “il fare trasparente”, e altre, aprendo così a un importante mutamento epistemologico: non ci si approccia più al materiale nella logica del “che cos'è”, tipico del sapere tecnico specialistico, ma nella logica del “che cosa mi serve e a cosa mi serve”, facendo apparire la materia come un continuum di possibilità²⁸.

Come l'ingegneria e il design, anche la disciplina della filosofia si sta recentemente approcciando alle implicazioni della presunta rivoluzione dei materiali. L'esperienza dei materiali sta cambiando a livello ontologico. In passato, in un mondo in cui i materiali venivano inventati o scoperti solo di rado, in cui molti di essi erano reperiti localmente e le possibilità di reinventarli erano anch'esse relativamente lente, esisteva la certezza di “prevedere” i comportamenti dei materiali. Questa prevedibilità li ha resi, in un certo senso, reattivi e, le loro proprietà – definite da Gottfried Wilhelm Leibniz come “passive”²⁹ – erano subordinate all'azione umana. Secondo alcuni filosofi contemporanei, come la già citata Jane Bennett, oggi non possiamo più fare affidamento sulla prevedibilità dei materiali, e occorre cambiare la concezione dei materiali da “reattivi” ad “attivi” nelle situazioni sociali ed epistemologiche.

Già Coole e Frost, esplorano la gamma di argomentazioni filosofiche di questo fenomeno, che costituisce una delle sfide contemporanee alla nozione di “soggetto kantiano”³⁰: se i materiali possono contribuire a costruire la “soggettività”, allora è possibile ribaltare alcuni dei presupposti filosofici degli ultimi due secoli. I materiali diventano attivi ontologicamente e nella partecipazione politica³¹. Poiché tutti questi tre principali approcci – ingegneria, design e filosofia – sono strettamente dipendenti dalle sperimentazioni, dal lavoro in laboratorio o dal lavoro in accademia, spesso si mostrano disinteressati o carenti verso osservazioni empiriche e etnografiche capaci di approfondire e studiare i comportamenti dei materiali “per” e “nelle” situazioni umane quotidiane specifiche.

²⁷. Ingold, T. (2019). *Making. Antropologia, archeologia, arte e architettura*. Raffaello Cortina Editore.

²⁸. Manzini, E. (1986). *La materia dell'invenzione*. Arcadia Edizioni.

²⁹. Bennett, J., Bühlmann, V., Harman, G., Weizman, I., & Witt, A. (2013). *Add metaphysics: Essays and assignments*. Aalto University Digital Design Laboratory.

³⁰. Coole, D., & Frost, S. (Eds.). (2010). *New materialisms: Ontology, agency, and politics*. Duke University Press.

³¹. Poe, A. (2011). Review essay: Things-beyond-objects. *Journal of French and Francophone Philosophy*, 19(1), 53-64.

³². Appadurai, A. (Ed.). (1986). *The social life of things: Commodities in cultural perspective*. Cambridge University Press.

³³. Leroi-Gourhan, A. (1943). *Évolution et techniques I: L'homme et la matière*. Albin Michel.

³⁴. Lemmonier, P. (2012). *Mundane objects: Materiality and non-verbal communication*. Routledge.

³⁵. Clarke, A. J. (Ed.). (2017). *Design anthropology: Object cultures in transition*. Bloomsbury Academic.

³⁶. Gunn, W., Otto, T., & Smith, R. C. (Eds.). (2013). *Design anthropology: Theory and practice*. Bloomsbury USA Academic.

³⁷. Ingold, T. (2012). Toward an ecology of materials. *Annual Review of Anthropology*, 41, 427-442.

Per una lettura completa di questo quadro, certamente non esaustiva, ma sufficiente per possedere una visione generale d'insieme, si tenterà di accennare e ricostruire brevemente il dibattito attorno a un approccio sui materiali molto meno percorso e conosciuto nell'area del design, quello "antropologico", utile, a questo punto, alla ridefinizione di uno sguardo olistico ai materiali. Da letteratura, l'antropologia dei materiali si pone, oggi, come fenomeno completamente diverso dall'antropologia delle "cose" e degli "oggetti", arrivando, tramite osservazione empirica, a interpretare le implicazioni sociali e culturali di quei momenti in cui si manifesta una trasformazione tra "forma" e "sostanza"³². In tale direzione, e basato su una tradizione di lungo corso, un approccio contemporaneo molto significativo è quello relativo all'osservazione della loro "vita sociale"³³: a ciò che fanno e a come producono effetti, ma anche a come hanno significato, a come sono conosciuti e a quali forme sociali e culturali si verificano attraverso e intorno a essi³⁴. Oltre a presentare studi etnografici sui materiali, l'intero lavoro di Pierre Lemmonier, ad esempio, ha posto l'accento sul ruolo dei materiali nella comprensione dell'azione sociale, delle tecniche e delle competenze. I materiali diventano parte intrinseca del modello di azione e punti focali dell'attività antropologica ed etnografica per percepire la cultura stessa, come pure soggetti che modellano una visione in cui le proprietà dei materiali e le ontologie si intersecano negli effetti sociali³⁵. L'approccio antropologico suggerisce come negli altri approcci si corra il rischio, ad esempio, di essere elusivi sulla provenienza dei materiali, oppure superficiali su quali siano i loro percorsi sociali e relazionali, ma anche su cosa accade prima o dopo le loro trasformazioni, al contrario, quando antropologicamente ci si concentra sui materiali prima ancora che sugli oggetti, possono emergere preoccupazioni, tensioni e problematiche diverse³⁶. Infine, è Tim Ingold forse più di tutti a riportare i materiali come soggetti di indagine in sé per le scienze sociali, risvegliando la sensibilità relativa al fatto che texture, colori e proprietà sono incorporati in una vera e propria coscienza dei materiali: in due dei suoi più importanti articoli scientifici, elaborati nel 2007 e nel 2012, egli sostiene che lo studio dei materiali in antropologia riequilibrerà l'enfasi posta in passato dalla disciplina sulle sole forme discrete degli oggetti materiali³⁷.

In conclusione, come emerge da questo puntuale affondo, la scelta di approcci intellettuali e pratici, per confrontarsi con i materiali, risultano essere molteplici. Possono essere dunque

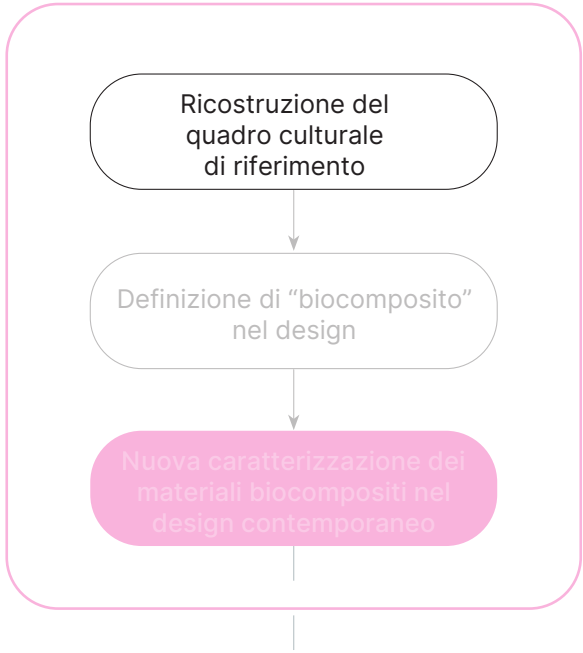
considerate le tecniche, spesso con l'implicazione di un'enfasi sui processi produttivi; si possono considerare le "metafore materiali", i sensi, l'estetica³⁸; oppure si può discutere sul materiale come fenomeno sociale e culturale, comprendendo come le proprietà dei materiali si interconnettono, per così dire, con i fenomeni sociali e le proprietà "intellettuali" che vengono, nel tempo, trasmesse³⁹. Tuttavia, in un mondo in cui tutto è potenzialmente una risorsa limitata, e dove ogni logica di sostenibilità deve diventare normale prassi quotidiana, avvicinarsi ai materiali con fare olistico, come atto "problematizzante", e non solo come atto "di risoluzione", a carattere "depositario", permette di indagare le reti, le strutture e le sovrastrutture che possono sorgere intorno a uno o più materiali; in altre parole, questo sostrato culturale, sommatoria degli approcci descritti, permette di osservare i materiali non più solo come "prodotti" che assurgono a una funzione prestazionale, ma sempre più come "sistemi complessi"⁴⁰ che danno valore a contesti e territori, e ai più ampi aspetti culturali e sociali.

³⁸. Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V. (Eds.). (2013). *Materials experience: Fundamentals of materials and design*. Butterworth-Heinemann.

³⁹. Küchler, S. (2015). Materials: The story of use. In A. Drazin & S. Küchler (Eds.), *The social life of materials: Studies in materials and society* (pp. 200-212). Routledge.

⁴⁰. Earley, R., & Hornbuckle, R. (Eds.). (2023). *Design materials and making for social change: From materials we explore to materials we wear*. Routledge.

D1. Nel design, cosa sono e come si presentano, di fatto, i materiali biocompositi?



Sintesi e schema di lettura del capitolo

2.2 Design, nuovi materiali e ricerca progettuale: un rapporto in costante evoluzione

Intrinsecamente, i materiali racchiudono una storia mutevole, in quanto soggetti a cicli di moda, declino o trasformazione nel corso del tempo. Essi non soltanto caratterizzano le epoche e gli stili culturali, bensì delineano le peculiarità di intere civiltà: dall'impiego del mattone alla predominanza del ferro, del cemento armato o della plastica, ognuno riflette una cultura materiale distintiva. Queste scelte materiche permeano sia il tessuto collettivo che quello individuale, influenzando l'immaginario e il gusto estetico¹. Inoltre, i materiali fungono da specchio delle competenze tecniche e del grado di sviluppo tecnologico di una società, nonché dei suoi valori fondamentali; la loro selezione e impiego richiedono dunque competenze e conoscenze specifiche, che, sovente, si evolvono parallelamente alle innovazioni tecnologiche. Fin dai tempi antichi, ogni atto creativo manifesta una meticolosa cura nella scelta e nell'impiego dei materiali e delle tecniche disponibili, riflettendo così una raffinata sensibilità artistica e tecnico-funzionale².

Il rapporto dell'umanità con la materia ha sempre scandito la narrazione storica delle diverse epoche, eppure, è solamente nel corso del Novecento che tale interazione è stata identificata e riconosciuta come argomento cardine nel dibattito scientifico e culturale accademico. Questo riconoscimento è stato messo in luce dalla trasformazione sostanziale del modo in cui l'uomo interagisce con la materia, resa possibile, nella contemporaneità, da conoscenze scientifiche sempre più avanzate. In passato, i materiali venivano concepiti sempre come elementi preordinati al processo progettuale, oggi, all'opposto, essi sono sempre più soggetti a un processo progettuale in sé. In altre parole, l'umanità, in un primo momento, ha prodotto strumenti e tecniche per manipolare la materia al fine di realizzare manufatti e strutture che rispondessero alle proprie esigenze e ai primi bisogni, e, poi, con un'impennata nel corso dell'ultimo secolo, le stesse tecniche sono diventate sempre più raffinate e sofisticate. Pertanto, prima, erano proprio le caratteristiche intrinseche dei materiali a guidare in modo limitato e guidato il processo progettuale, in una fase che, Ezio Manzini, definisce "a complessità subita"³.

Al contrario, con l'avvento della "tecnologia avanzata"⁴ e con le moderne scoperte scientifiche, l'uomo moderno, non solo continua a utilizzare la materia, ma la manipola, la "controlla", per produrre materiali su misura che soddisfino specifiche esigenze progettuali. Questo nuovo paradigma progettuale, in cui la materia partecipa attivamente al processo creativo, segna un

1. Bachelard, G. (1948). *La terre et les rêves de la volonté*. Librairie José Corti.

2. Fiorani, E. (2000). *Leggere i materiali: Con l'antropologia, con la semiotica*. Lupetti.

3. Manzini, E. (1986). *La materia dell'invenzione*. Arcadia Edizioni.

4. Branzi, A. (2008). La tecnologia avanzata. In A. Branzi (Eds.), *Il design italiano 1964-2000* (314-325). Mondadori Electa.

5. Manzini, E. (1986). Ibidem.

6. Ibidem.

7. Ibidem.

8. Bever, M. (Ed.). (1994). *The encyclopedia of advanced materials*. Elsevier.

punto di svolta significativo nel rapporto tra l'umanità e il mondo delle cose. Un approccio così dinamico alla materia, infatti, non solo ha permesso un maggiore controllo sulla realizzazione di manufatti e strutture, ma ha anche aperto la strada a nuove possibilità di innovazione e sperimentazione, plasmando così la materia stessa per “dare forma a idee e nuove aspirazioni”⁵. È già a partire dalla rivoluzione industriale, con l'integrazione della scienza tra i fattori produttivi, che sono stati sviluppati strumenti di trasformazione e di conoscenza che hanno mutato la materia in quella che, sempre Manzini, definisce “a complessità controllata”⁶. Questo vuol significare che si è cercato di produrre materiali che fossero il più possibile perfetti, eliminando impurità e anisotropie. L'avvento di nuovi materiali, come le plastiche, le leghe metalliche e alcuni tipi di vetro, certamente prevedibili in fatto di comportamenti fisico-chimici, quindi uniformi, e adatti a una vasta gamma di applicazioni, ha in effetti rivoluzionato anche i linguaggi formali del design e dell'architettura moderna e contemporanea, ad esempio introducendo il concetto di leggerezza, come un ideale da perseguire. Ulteriore stadio evolutivo di questa “rivoluzione silenziosa dei materiali”¹¹ è una materia “a complessità gestita”⁷, la quale può essere manipolata fino al suo livello molecolare, e, al contempo, distaccarsi totalmente dalla concezione tradizionale di materia inerte, cioè che è “resistente” alle trasformazioni. È in questo terzo scenario che la progettazione dei materiali abbraccia un modello diverso, basato su una consapevolezza rinnovata, ove persino le anisotropie e le impurità possono essere considerate un valore aggiunto, e, infine, essere utilizzate e valorizzate laddove sussiste una esigenza progettuale specifica. Il nuovo paradigma progettuale relativo ai materiali “a complessità gestita” riflette una comprensione più profonda della relazione tra materia, uomo e ambiente, rendendoli di fatto preziosi, in contesti produttivi e commerciali, ad esempio, in cui la velocità dei cambiamenti e l'adattamento ad essi sono cruciali.

Come sottolinea, infatti, Michael Bever nel testo *The Encyclopedia of Advanced Materials*, essi hanno come caratteristica predominante la capacità di poter essere sintetizzati e gestiti per ottenere un insieme preciso di proprietà su misura, adatte a specifiche applicazioni su richiesta⁸. Appare chiaro come la progettazione, anche in tempi recenti, continua a implicare un rapporto dialogico, nonché un'esplorazione, tra materia e forma, costantemente orientato alla tangibilità dell'oggetto.

Questa esplorazione, come sostenuto da Ezio Manzini, si evidenzia quando la questione dei materiali viene esplicitamente considerata, e il progettista riconosce l'autonomia dei materiali. Si manifesta persino quando il progettista, per varie ragioni, considera la materia solo semplicemente come un supporto neutro, capace di trasmettere messaggi senza possedere una propria capacità o necessità di comunicare un valore⁹.

Per comprendere appieno tali aspetti – certamente utili alla configurazione di questi dibattiti introduttivi alla tesi dottorale – è indispensabile esaminare in dettaglio alcuni specifici contesti storici, come ad esempio il panorama del design italiano tra gli anni Ottanta e gli anni Novanta, in cui emergono spesso discussioni interessanti riguardo all'idea di una materia altamente plasmabile e “gestibile”¹⁰. In questo periodo, in effetti, si è iniziato a evidenziare, per la prima volta, il cambiamento che stavano coinvolgendo i processi produttivi e i prodotti stessi, avviando una riflessione significativa sulla trasformazione della materialità degli artefatti. Un fenomeno storico che, solo allora, tecnici e filosofi iniziavano a comprendere appieno nelle sue implicazioni. Come infatti restituisce Andrea Branzi nell'opera *Il design italiano 1964 – 2000*, nel saggio *La tecnologia avanzata*, è durante gli anni Ottanta che l'economia conobbe una crescita imperiosa idonea a riaccendere l'ottimismo per il futuro dopo la crisi petrolifera del 1973¹¹. La risoluzione della lunga crisi energetica sbloccò il mercato delle plastiche, introducendo nuovi materiali estremamente leggeri e robusti, come le fibre di carbonio, che, insieme alle nuove tecnologie, produttive divennero oggetto di riflessioni dirompenti¹².

Nelle ultime due decadi del Novecento, divenne chiaro quanto i materiali, i prodotti e i metodi di produzione avessero subito cambiamenti significativi nei decenni immediatamente precedenti, e come questo processo di trasformazione stesse continuando a evolversi. Gli avanzamenti scientifici e tecnologici, insieme alla crescente pressione economica per ottimizzare i costi e aumentare la flessibilità produttiva, hanno dunque ridefinito il panorama dei materiali.

Questa trasformazione ha innescato una competizione così intensa che ha catalizzato l'innovazione in diversi settori, spaziando dal silicio cristallino per l'elettronica, ai più ampi – come si approfondirà più avanti – aspetti di “dematerializzazione”. Con i mercati ormai saturi di merci, si sono aperti ampi spazi per prodotti essenziali ad alto contenuto tecnico, ma anche con un forte impatto visivo. Si inizia a diffondere una sorta di stile

9. Paoletti, I. (2021). *Siate materialisti!*. Einaudi.

10. Manzini, E. (2008). Nuovi materiali e ricerca progettuale. In A. Branzi (Eds.), *Il design italiano 1964-2000* (325-333). Mondadori Electa.

11. Branzi, A. (2008). op cit.

12. De Fusco, R. (2009). *Storia del design*. Editori Laterza.

¹³. Ferrara, M., & Bianco, B. (2023). Italia, anni venti-novanta: Le plastiche nell'ambito del design. Dalla sostenibilità economica alla sostenibilità ambientale. *AIS Design Journal*, 10(19), 96-119.

¹⁴. Branzi, A. (2008). op. cit.

¹⁵. Ibidem.

¹⁶. Manzini, E. (1986). op cit.

¹⁷. Santachiara, D. (1985). *La neomerce: Il design dell'invenzione e dell'estasi artificiale*. Electa.

“high tech”, della “performance” che ottenne un certo successo, basato sull'utilizzo della tecnologia come elemento distintivo del prodotto¹³. In un contesto dove le trasformazioni sociali e culturali degli anni precedenti avevano generato un senso di smarrimento, il rigore costruttivo dello stile “high tech” rappresentava un punto di riferimento stabile. Eppure, nel tempo, le nuove tecnologie hanno generato questioni molto diverse: a differenza delle tecnologie tradizionali, non offrivano risposte definitive, bensì sollevavano nuovi enigmi e problemi¹⁴. La loro ampia disponibilità d'uso, l'ambiguità delle prestazioni – come nel caso di alcune materie plastiche o del fine vita dei materiali compositi –, e la capacità di produrre materiali su misura per le esigenze progettuali, hanno aperto una nuova era nel rapporto tra progetto e materiali. La dinamica degli anni Ottanta – continuando a prendere a prestito dalle riflessioni di Branzi – ha persino ridiscusso il ruolo della tecnologia. Quest'ultima, non più vista semplicemente come un “qualcosa” per valutare la fattibilità di un progetto, dunque un mezzo, ma come motore stesso del progetto, dunque un fine, influenza costantemente l'evoluzione di sé stessa, ampliando così i limiti dei materiali attraverso i suoi input¹⁵.

In questo contesto, il design italiano, notoriamente orientato a privilegiare l'importanza strategica del progetto rispetto ai vincoli tecnici e industriali, si è trovato a sperimentare un nuovo terreno di azione. Il libro *La materia dell'invenzione* di Ezio Manzini, pubblicato nel 1986, che più volte verrà citato e utilizzato in questa prima parte di tesi dottorale, in effetti, delinea un quadro dettagliato di questo scenario progettuale in rapida mutazione, che, per l'appunto, non si basava più su tradizionali categorie di materiali, ma, piuttosto, su categorie formali ed espressive¹⁶.

In tale direzione, protagonista di rilievo, coevo, è Denis Santachiara, noto per essere stato un pioniere nell'esplorazione delle possibilità offerte dalle nuove tecnologie. Anche lui, parallelamente a Manzini, comprese che l'ottimizzazione dell'impiego dei materiali nel contesto del design potesse essere non solo funzionale, dal punto di vista strutturale, bensì espressivo e prestazionale in modo più ampio. È nell'introduzione al catalogo della mostra *La Neomerce* del 1985 alla Triennale di Milano, che Santachiara, infatti, delinea un nuovo approccio all'attività creativa, distante dalle tradizionali correnti “umanistiche”, e caratterizzato da un terreno intermedio di libero scambio di idee e sperimentazioni¹⁷. Nell'ambito dell'innovazione tecnolo-

gica, si è pertanto arrivati a sviluppare una forma di creatività che non si limita a seguire le regole predefinite della natura, ma genera una sua realtà autonoma.

Questa "creatività totale" non solo inventa il gioco, ma anche le sue regole¹⁸. Negli stessi anni, Alberto Meda sperimentava altresì l'uso delle fibre di carbonio e dei tecnopolimeri in oggetti di uso quotidiano, come nelle sedute *Light-Light* (1987) o *Softlight* (1988) per Alias, oltre a collaborare con Paolo Rizzato per la creazione di lampade innovative come *Berenice* e *Lola*, o la famosa *Titania* (1989) per Luceplan¹⁹. Clino Trini Castelli, invece, utilizzava macchine a controllo numerico per lavorare il legno, ad esempio, ottenendo superfici finemente lavorate per oggetti prodotti da Cappellini; si sono così sperimentati trasferimenti tecnologici, applicando materiali specializzati e processi industriali già consolidati, in altre aree merceologiche, lontane dal mondo ingegneristico, viepiù vicine al mondo del design e degli oggetti d'uso quotidiano²⁰. Altri esempi emblematici sono i tavoli in cristallo di Marco Zanuso per Zanotta, i quali utilizzavano i collanti collaudati e impiegati nel settore automobilistico; oppure, la serie di contenitori in fogli di metacrilato di Makio Hasuike per la MH Way o il lavandino di Morozzi e Lauda per Formica, realizzato in un materiale sintetico a base di poliestere nel 1989. Essi, sono esempi eloquenti di innovazione “tecnico-materica” nel design industriale²¹.

Nel mondo dei compositi, altrettanto significativa è la bicicletta superleggera e aerodinamica in fibra di carbonio, la *Kronotech*, prodotta nel 1986 da Monfrini, che dimostra l'applicazione avanzata di materiali e tecnologie. Abet Laminati, invece, introduceva un nuovo materiale composito, il Diafos, caratterizzato dalla versatilità di applicazioni²².

Questo laminato, con una superficie opaca e traslucida, permetteva decorazioni morbide e tridimensionali, oltre a un filtraggio luminoso trasparente. Nonostante fosse sviluppato senza una domanda di mercato specifica, richiedeva ai progettisti di conferirgli un senso e uno scopo²³. È durante gli anni Ottanta, quindi, che si assistette a una profonda ricerca atta a vagliare le nuove possibilità tecniche per generare prodotti formalmente e matericamente innovativi.

Come sostiene, in tempi recenti, Marinella Ferrara, queste sperimentazioni sembrano confermare un concetto distintamente italiano di scambio equo tra nuovi materiali e tecnica²⁴. Quest'ondata di progetti basati su tecnologie innovative, dove l'aspetto tecnologico era utilizzato come elemento espressivo,

¹⁸. Manzini, E. (1986). op cit.

¹⁹. Dardi, D. (2005). *Il design di Alberto Meda: Una concreta leggerezza*. Electa.

²⁰. Trini Castelli, C. (1999). *Transitive design: A design language for the zeroes. Eine Designsprache für die Jahre Null*. Electa.

²¹. Cecchini, C. (2005). *Plastiche: I materiali del possibile. Polimeri e composti tra design e architettura*. Alinea.

²². Lecce, C. (2014). Abet Laminati: Il design delle superfici. *AIS Design Journal*, 2(4), 151-193.

²³. Manzini, E. (2008). op. cit.

²⁴. Ferrara, M. (2005). *Materiali e innovazione nel design*. Gangemi Editore.

²⁵. Trini Castelli, C., & Petrillo, A. (1986). *Il lingotto primario: Progetti di design primario alla Domus Academy*. Arcadia.

²⁶. Lyotard, J. F. (Ed.). (1985). *Les immatériaux: Album et inventaire*. Centre Pompidou.

²⁷. Fiorani, E. (2000). op cit.

come fine, estendendo i materiali a nuovi ambiti grazie a nuovi progettisti, portò il design italiano, alla fine degli anni Ottanta, a superare completamente la dicotomia tra razionalismo e sperimentalismo, emergendo come un unico laboratorio rinnovato, impegnato ad affrontare le sfide del mercato e della produzione post-industriale, dove al centro del progetto restava, comunque, il materiale²⁵.

Le implicazioni della trasformazione dei materiali sono state così profonde, fino a riflettere sulla dematerializzazione, nonché sul cambiamento del rapporto tra individui e ambiente circostante. Jean-François Lyotard ha introdotto il concetto dei “materiali immateriali”²⁶, materiali che non solo sono nuovi, ma fungono anche da ponte verso la complessità dell'universo, dal livello molecolare a quello cosmico. Questo concetto è di fatto presentato nel 1985, nella mostra *Lex Immatériaux*, tenutasi al Centre Georges Pompidou di Parigi, con l'obiettivo di promuovere una visione filosofica della condizione postmoderna e dei materiali che li caratterizzano. Secondo Eleonora Fiorani, *Les Immatériaux* rappresentò un punto di svolta anche in Italia, in quanto fu un segnale "globale" di presa di coscienza collettiva, indicando che la cultura aveva intuito un cambiamento nella materialità del mondo. I nuovi materiali non erano solo nuovi oggetti, ma portavano con sé un cambiamento nel rapporto tra individui e ambiente artificiale, sottolineando una questione non solo tecnica, ma soprattutto filosofica²⁷.

La mostra presentava, tra l'altro, le più recenti ricerche su superleghe metalliche, materiali compositi e polimeri conduttori. Questi materiali artificiali e tecnologici, prodotti dalla capacità di intervenire nella struttura della materia e modificarla, hanno aperto nuovi territori della materialità in cui le proprietà convenzionali della materia vengono spesso superate o trasgredite. Ad esempio, era esposto il tungsteno di zirconio che si comportava in modo anomalo rispetto agli altri metalli: alle alte temperature si contraeva anziché dilatarsi. Il tungsteno è notoriamente difficile da gestire a causa del suo altissimo punto di fusione, che rende praticamente impossibile trovare un contenitore in grado di contenerlo prima che il contenitore stesso si sciogliesse. Per superare questa sfida, il tungsteno veniva ridotto in minuscole particelle e unite insieme utilizzando una sorta di "colla" di bronzo. In questo modo, il tungsteno poteva essere utilizzato per rendere estremamente duro e praticamente indeformabile l'acciaio speciale impiegato nella produzione dei tubi di scarico dei veicoli spaziali, che dovevano resistere a condizio-

ni estreme. Un altro esempio in esposizione era il nichel-titanio, che sembrava possedere una sorta di “memoria” e poteva tornare alla sua forma originaria annullando una deformazione fino al 8%. Le alte temperature potevano comportare comportamenti inaspettati sugli elementi, rivelando proprietà uniche. Ad esempio, il carbonio oltre i 2000 gradi poteva formare una struttura cristallina in cui gli atomi erano strettamente legati²⁷. Eppure, è sempre Manzini a riconoscere anche un limite evidente della mostra, ovvero il fatto che essa si concentrava principalmente su materiali considerati, al tempo, “esotici”, cioè quelli con proprietà all'epoca considerate insolite, derivanti dalle ricerche d'avanguardia, come quelle aerospaziali, optoelettroniche e biotecnologiche²⁸. Questi materiali, essendo ancora poco diffusi nella vita quotidiana, potevano sembrare portatori di trasformazioni future ancora da sperimentare. Tuttavia, la trasformazione del rapporto quotidiano con gli oggetti era già in corso da tempo, basata su cambiamenti diffusi che avvenivano giorno dopo giorno, forse in modo quasi impercettibile, ma comunque significativi nel lungo termine²⁹. Manzini ripropone che la vera proprietà inedita della materia, dunque, non risiede tanto nelle prestazioni avanzate dei materiali più recenti, quanto nella loro capacità di essere plasmabili su misura e conformabili in molteplici modi, trasmettendo qualsiasi immagine senza possedere un'immagine propria. Manzini li definisce “materiali zelig”³⁰, capaci di assumere qualsiasi aspetto deciso dal progettista.

Questa caratteristica rappresenta una “materia dell'invenzione”. I nuovi materiali consentono di creare la conformazione mentre si sviluppano le strutture interne, offrendo al design contemporaneo la possibilità di scegliere la forma più adatta a rappresentare un'identità, dando loro una nuova esistenza e reinterpretazioni significative. Questa capacità di creare forme autonome rispetto ai materiali sottostanti ha portato all'idea di una materia ultraplasmabile, aprendo a un utilizzo innovativo dei materiali stessi.

Dopo questa mostra, altre iniziative hanno dato impulso rilevante allo sviluppo della ricerca sul design e sui materiali. In particolare, merita menzione il Progetto Cultura della Montedison – soltanto citato nel paragrafo precedente –, che in quegli anni ha promosso un programma di attività mirate a diffondere una nuova consapevolezza sulla dimensione culturale delle trasformazioni tecnico-scientifiche in corso³¹.

Negli anni in questione, il mondo della cultura del progetto si

²⁷. Gallo, F. (2015). Modelli audiovisivi e prefigurazioni digitali nelle sperimentazioni sul medium esposizione: *Les Immatériaux* di Jean-François Lyotard. *Ricerche di S/Confine*, 6(1), 184–193.

²⁸. Manzini, E. (2008). op. cit.

²⁹. Ibidem.

³⁰. Manzini, E. (1986). op cit.

³¹. Ceppi, G. (2014). Il design dei materiali in Italia: Il contributo del Centro Ricerche Domus Academy 1990-1998. *AIS Design Journal*, 2(4), 194–220.

³². Manzini, E., & Petrillo, E. (1991). *Neolite: Metamorfosi delle plastiche*. Edizioni Domus Academy.

³³. Manzini, E. (1990). *Artefatti: Verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale*. Arcadia.

³⁴. De Fusco, R. (2009). op cit.

³⁵. Branzi, A. (2015). *Introduzione al design italiano: Una modernità incompleta*. Baldini Castoldi Editori.

³⁶. Falabrino, G. L. (2007). *Il design parla italiano: Vent'anni di Domus Academy*. Libri Scheiwiller.

³⁷. Manzini, E. (2008). op cit.

rese conto che gli ingegneri, immersi nella sfida di ottenere di più con meno risorse, avevano spinto i confini della ricerca così oltre, che, l'obiettivo iniziale di aumento quantitativo, aveva trasformato radicalmente la natura stessa delle cose, soprattutto sul piano delle qualità intrinseche³².

Si comprese che la miniaturizzazione dei componenti non si limitava a creare oggetti più compatti e leggeri, ma stava dando vita a vere e proprie estensioni del corpo umano, introducendo nuovi modelli di utilizzo e comportamento. L'integrazione delle funzioni e la loro combinazione, oltre un certo punto, non portavano soltanto a prodotti multifunzionali, ma apriva la strada a un'interazione senza precedenti tra individui e oggetti³³.

La flessibilità dei sistemi produttivi, consentendo la produzione economica di una vasta gamma di prodotti diversificati, stava mettendo in discussione i tradizionali concetti di standardizzazione e diversificazione. La riduzione dei costi e dei tempi di produzione, spinta all'estremo, non comportava solo la disponibilità di prodotti più economici sul mercato, ma portava anche alla diffusione di oggetti complessi, una volta considerati durevoli nel tempo, diventando invece beni "usa e getta"³⁴. La ricerca si orientò verso nuove direzioni, capitalizzando esperienze pregresse e indirizzandosi verso nuovi ambiti di indagine. Uno di questi fu quello dei nuovi materiali, che attirò l'attenzione di diversi designer. Tra figure consolidate come Gaetano Pesce, Anna Castelli Ferrieri e Clino Trini Castelli, insieme a nuovi progettisti come Alberto Meda, Denis Santachiara e Antonio Petrillo, tutti condividevano la convinzione che i materiali non fossero meri supporti passivi, ma potessero esprimere un significato intrinseco³⁵.

Non è un caso che, molte di queste figure, hanno avuto esperienze di collaborazione presso la Domus Academy, punto di incontro importante nel campo del design dei materiali sin dalla sua fondazione nel 1983. Il tema dei "nuovi materiali e domesticità"³⁶, ad esempio, è stato centrale alla Domus Academy, guidando diversi progetti e attività di ricerca. Questa ricerca progettuale sui nuovi materiali ha richiesto una stretta collaborazione con l'industria, coinvolgendo sia aziende tradizionalmente interessate al design dei materiali come Kartell, sia nuovi partner nel settore delle materie prime e dei semilavorati³⁷. La relazione tra il mondo del design e l'industria chimica è stata particolarmente significativa, aprendo la strada a una collaborazione più ampia che comprendeva lo sviluppo dei materiali stessi, come emerse nel Progetto Cultura e nel

Centro Sviluppo settori d'impiego della Montedison, fornendo importanti punti di riferimento per i designer interessati a esplorare le potenzialità dei nuovi materiali³⁸.

È in questo quadro culturale che sono, sempre secondo Manzini, emersi due approcci principali riguardo la valorizzazione dell'espressività dei materiali: il primo approccio si fondava sull'idea che alcuni materiali possedessero una naturale espressione intrinseca, spingendo i designer a cercare nuovi materiali innovativi da introdurre nell'ambiente domestico e reinterpretarli in contesti nuovi; il secondo approccio, invece, considerava i materiali come privi di una propria identità, demandando al designer il compito di attribuirgliene una, progettandone l'essenza e l'identità stessa³⁹.

Sebbene il primo approccio possa sembrare in linea con la tradizione moderna e la ricerca di autenticità del materiale, questa continuità è solo parziale, poiché è chiaro che la "verità del materiale" non emerge necessariamente – o solamente – da vincoli tecnici, ma piuttosto dalla scelta estetica di utilizzare materiali con caratteristiche sorprendenti, capaci di definire l'aspetto distintivo del prodotto. Per esempio, la celebre sedia *Light-Light* in fibra di carbonio, dal peso di 1 Kg, progettata da Alberto Meda per Alias, rappresenta un esempio eloquente di come il materiale stesso possa assumere un ruolo determinante e distintivo nella progettazione. Nella progettazione di questa sedia, il materiale – fibra di carbonio – si rivela determinante, evidenziando un intricato compromesso tra esigenze strutturali, e i limiti, insiti nei processi di lavorazione convenzionali di altri materiali. Nella seduta, la superficie e le finiture artigianali, lontane dall'essere mero ornamento, risultano funzionali all'integrità stessa del prodotto, in altre parole alla sua staticità e leggerezza⁴⁰. Ezio Manzini, si chiede, ad esempio, se questo dipenda da una necessità tecnica intrinseca. La risposta – sostiene – potrebbe sembrare affermativa solo se viene ignorato il fatto che, in origine, sia stata fatta la scelta di progettare una sedia così leggera⁴¹. Data questa restrizione, l'uso di un materiale composito avanzato diventa tecnicamente, in questo caso specifico, indispensabile. Anche le caratteristiche dell'orditura dei tessuti, la disposizione delle giunzioni e le forme zoomorfe diventano tecnicamente giustificate. In questo senso, è la tecnologia, insieme all'obiettivo finale – la leggerezza – che determina e legittima queste scelte progettuali. Sebbene l'entusiasmo e la determinazione con cui si è intrapresa questa strada abbiano portato a risultati che possono

³⁸. Ceppi, G. (2014). op cit.

³⁹. Manzini, E. (2008). op cit.

⁴⁰. Ibidem.

⁴¹. Ibidem.

⁴². Manzini, E. (2008). op cit.

⁴³. Ibidem.

⁴⁴. Ibidem.

⁴⁵. Manzini, E., & Petrillo, E. (1991). op cit.

⁴⁶. Manzini, E. (1986). op cit.

⁴⁷. Manzini, E. (2008). op cit.

⁴⁸. Santachiara, D. (1991). Design e materiali compositi. *Interni*, 407, 74–75.

⁴⁹. Maldonado, T. (1988). Che cosa c'è di vero nella dematerializzazione? In AA.VV. (Ed.), *Metamorfosi delle materie (Suppl. a Alfa bis, 2, p. III)*. Alfabeta.

essere considerati come un manifesto delle nuove meraviglie della materia, secondo lo stesso Manzini, questa direzione non è riuscita nell'intento di arrivare a vere e proprie innovazioni radicali di prodotto⁴². Gli artefatti realizzati, anche se dotati di un alto valore simbolico, spesso presentavano una bassa fattibilità produttiva, alto costo o difficile replicabilità. In definitiva, se l'obiettivo era quello di integrare le nuove tecnologie nell'ambiente domestico e negli oggetti d'uso quotidiano, per certi versi “for all”, questa linea di ricerca ha dimostrato che erano necessari altri approcci e mezzi per raggiungere tale scopo⁴³. Il secondo approccio, certamente meno appariscente ma più sostanziale del primo, di converso, pare sia stato più incisivo nella realtà quotidiana. In questa seconda strada, il tema dei materiali non era solo importante, ma diventava il fulcro stesso del progetto. Facendo riferimento alla proprietà peculiare dei nuovi materiali, ovvero la loro progettualità su misura, come citato poc'anzi, appunto, costituivano la base per un approccio progettuale che doveva tener conto non solo delle proprietà tecniche, ma anche delle loro qualità percettive ed estetiche⁴⁴. La ricerca sui nuovi materiali, effettivamente, ha incrociato il “design primario” con le opere di Clino Trini Castelli e Antonio Petrillo. Da questa sinergia sono scaturiti strumenti per gestire le qualità sensoriali dei materiali, dando vita al “design dei materiali”⁴⁵. Questo secondo approccio al materiale ha ampliato la cultura e la pratica del design, delineando un nuovo territorio. Eppure, per Manzini, c'è un altro aspetto assai cruciale da sottolineare, ovvero che la ricerca su una nuova costruzione dell'identità dei materiali ha messo persino in luce la necessità, da un lato, di limitare le opzioni tecniche per rendere i materiali riconoscibili e significativi, riflettendo sulla varietà e sulla significatività delle differenze⁴⁶. Questa riflessione ha portato a considerare che l'eccesso di segnali può generare rumore semiotico; pertanto, è emersa la necessità di ridurre le varianti non significative, concentrarsi sulla stabilizzazione dei codici interpretativi⁴⁷. Ciò, ha portato a un nuovo modo di vedere le cose: se tutto era tecnicamente fattibile, non tutto doveva essere conseguentemente realizzato. L'idea di “standard” è stata rivalutata non solo per motivi tecnici ed economici, ma anche per stabilizzare i significati trasmessi dai materiali e dai prodotti⁴⁸. Nello scenario descritto, l'uso diffuso della plastica ha rappresentato un aspetto della “dematerializzazione”⁴⁹, indicando una sorta di emancipazione dalle restrizioni della materia e dei materiali convenzionali. Non

solo le plastiche, ma anche i materiali tradizionali, continuano a subire trasformazioni radicali per adattarsi a nuove prestazioni, forme e applicazioni innovative. Iniziano ad emergere sempre di più nuovi compositi, che combinano sia materiali tradizionali che plastiche, creando un ambiente artificiale. Questa nuova materialità era – e continua ad esse – caratterizzata, in genere, da leggerezza e occupa poco spazio, portando a una completa riorganizzazione dell'ambiente costruito. Nonostante la tendenza verso l'“immaterialità”, nel mondo moderno, i materiali stessi diventano, per esempio, sempre più sottili e trasparenti, diventano “schermi”⁵⁰. Eppure, Tomás Maldonado mette in guardia: osserva, già a fine anni Ottanta, che il mondo è – e sarà – in realtà sempre più pervaso da “cose”, nonostante la continua ricerca sulla “dematerializzazione” e sugli avanzamenti dei “materiali immateriali”⁵¹. Si continua a osservare una diffusa predominanza di prodotti industriali che influenzano profondamente la quotidianità. Nondimeno, la profondità fisica e culturale di queste cose sembra diminuire, suscitando domande e dubbi sul rapporto con l'ambiente costruito. In tale direzione, Maldonado nel suo libro *Reale e virtuale* esamina il ruolo e l'impatto dei nuovi materiali avanzati nell'industria contemporanea: questi materiali sono spesso esaltati da campagne promozionali delle industrie e dai media, ma gli esperti in scienza e ingegneria dei materiali sono cauti e critici verso un eccessivo ottimismo. Egli discute se la leggerezza e le nuove caratteristiche superficiali dei materiali avanzati portino realmente a una dematerializzazione o se, piuttosto, favoriscano una produzione ad “alta intensità di materiali leggeri”⁵². Nell'analizzare le sue parole, la virtualizzazione dei materiali sembra più complessa di quanto possa apparire superficialmente, poiché, secondo Maldonado, anche i materiali “immateriali”, più leggeri, mantengono una forte materialità e impatto⁵³. La tendenza attuale, e del futuro, aggiunge, potrebbe non essere verso una produzione a bassa intensità di materiali, ma piuttosto verso una produzione ad alta intensità di materiali leggeri, con un impatto significativo sull'industria e indubbiamente sull'ambiente⁵⁴. Anche secondo Maldonado, la progettazione delle caratteristiche tecniche ed estetiche dei materiali ha generato un mondo dalle “qualità mutevoli”⁵⁵ dove la costituzione materiale in effetti è sempre meno riconoscibile. I linguaggi formali, dagli anni Ottanta ad oggi, sono diventati autonomi, con una predominanza della bidimensionalità delle

⁵⁰. Maldonado, T. (1988). op cit.

⁵¹. Fiorani, E. (2000). op cit.

⁵². Maldonado, T. (2015). *Reale e virtuale*. Feltrinelli.

⁵³. Maldonado, T. (1970). La speranza progettuale. Ambiente e società. Einaudi.

⁵⁴. Ibidem.

⁵⁵. Maldonado, T. (2015). op cit.

⁵⁶. Maldonado, T. (1988). op cit.

⁵⁷. Manzini, E. (1986). op cit.

⁵⁸. Pietroni, L. (2001). Il dibattito italiano su design e ambiente. In *Op. Cit. 112*, 36-59.

⁵⁹. Morozzi, C. (1995). Ecologia come creazione. *Modo*, 166, 14-15.

⁶⁰. Manzini, E. (1994). Un'economia sostenibile tra qualità e quantità e qualità sociale. In S. Omodeo Salè (Ed.), *Architettura & Natura. Cose e luoghi per abitare il pianeta* (pp. 28-32). Mazzotta.

superfici e dei messaggi che possono trasmettere. Le superfici delle cose sono diventate schermi su cui proiettare immagini senza legittimità naturale, come colori, decorazioni e texture. Le superfici hanno altresì acquisito una loro autonomia, mentre i materiali sono diventati supporti neutri senza voce propria⁵⁶. La forma si è emancipata dai vincoli della materia, con materiali infinitamente manipolabili che perdono la loro identità culturale. Il tutto comunque mentre la ricerca nel design si è concentrata nel far parlare nuovamente i materiali, utilizzando proprietà sorprendenti per legittimare le forme dei progetti e sfruttando la capacità dei nuovi materiali di essere progettati su misura sia tecnicamente che esteticamente⁵⁷.

Il concetto della dematerializzazione, con le sue implicazioni ambientali e il legame con la materialità degli artefatti, rimane ancora oggetto di dibattito. Si continua a discutere tra coloro che, seguendo l'ottica di Manzini, vedono nella transizione verso una società dell'informazione grandi possibilità di dematerializzazione accompagnate da una crescente e nuova richiesta di design, e chi, come Maldonado, è più scettico riguardo alle potenzialità della rivoluzione informatica nel promuovere una dematerializzazione radicale. Parallelamente a queste considerazioni, sempre a partire dagli anni Ottanta, ma con un'accelerazione nella seconda metà del decennio, il design italiano cominciò dunque ad affrontare la questione ambientale ed ecologica⁵⁸. Senza entrare nei dettagli dell'argomento, tuttavia vale la pena notare che in Italia, in un primo momento, ci si è focalizzati principalmente su aspetti culturali e sull'indagine di una nuova "estetica ecologica"⁵⁹.

Questo interesse ha portato a una rinnovata attenzione per i materiali e si è manifestato in una serie di sperimentazioni legati all'estetica del riciclo. La crescente sensibilità ambientale ha profondamente influenzato i criteri di valutazione dei materiali nel corso del decennio. Se all'inizio degli anni Ottanta si apprezzava la multi-materialità e la complessità dei materiali, dagli anni duemila gradualmente maggiore è stata l'attenzione data ai materiali omogenei e ai prodotti monomaterici⁶⁰; così, si passò dalla fascinazione per l'artificialità, con le sue luminosità, trasparenze e forme geometriche o ottiche intricate, alla ricerca di una sorta di "naturalità" in alcuni materiali riciclati come plastica, vetro e carta proveniente da rifiuti non selezionati. In queste materie, la loro composizione, relativamente casuale, veniva interpreta-

ta come un valore, un'espressione autentica di una possibile estetica ecologica: nacque dunque l'estetica del riciclato⁶¹. Esperienze significative in questo campo sono state portate avanti, ad esempio, dalle ricerche condotte dalla Domus Academy, che successivamente hanno dato vita alla mostra *Neolite* presso la Triennale di Milano nel 1991⁶². Queste iniziative e ricerche hanno messo in luce le potenzialità, ma anche i limiti, dell'estetica del riciclato. Se è vero che alcuni materiali riciclati misti possono ancora conservare tracce dei loro materiali originali, conferendo loro una forte connotazione semantica, è altrettanto vero che questa espressione visiva riflette, in questo momento, la loro debolezza tecnica⁶³.

I materiali riciclati misti, quella cosiddetti della "prima generazione", infatti, presentavano prestazioni tecniche inferiori e vengono utilizzati come soluzione di ripiego quando non ci sono alternative migliori. Pertanto, sempre secondo Manzini, la loro apparenza "quasi-naturale" è, alla fine, un segno visibile di un insuccesso: il risultato di una mancata selezione preliminare che avrebbe potuto conferire loro un maggiore valore. L'idea, anche se semplificata, di basare un'estetica ecologica sull'aspetto "quasi-naturale" dei materiali riciclati, ha dimostrato la sua limitatezza non solo dal punto di vista operativo, ma anche culturale. La vera sfida nel gestire i rifiuti richiedeva invece la produzione di materiali di alta qualità tecnica⁶⁴. Il tema di un'estetica ecologica, o meglio, di un'estetica della sostenibilità ambientale, rimane quindi aperto e irrisolto. Non solo perché i sistemi di riciclaggio sono diventati così efficienti da rendere i materiali riciclati indistinguibili dagli altri, ma anche perché la ricerca di una nuova estetica, in linea con la crescente sensibilità ecologica, non può essere confinata entro i limiti ancora dominanti in quegli anni. Secondo Lucia Pietroni, la mostra *Neolite*, nel tentativo di coniugare gli aspetti tecnici e culturali legati alle questioni ambientali, resta comunque un emblema di un grande cambiamento, di cui oggi percepiamo i primi segnali: la società sta uscendo dall'era dello sviluppo quantitativo per entrare in quella dello sviluppo qualitativo⁶⁵. Le riflessioni emerse attorno alla seconda vita dei materiali e alla loro identità culturale ed estetica, generate da questa mostra, hanno avviato un ampio dibattito sulla necessità di sviluppare una nuova cultura del progetto. Questa cultura dovrebbe essere in grado di trasformare i limiti ambientali in opportunità di innovazione, certamente sostenibile. Così, il vero cambiamento di paradigma, anche nella ricerca

⁶¹. Branzi, A. (1995). Per un'estetica sostenibile. In E. Manzini & M. Susani (Eds.), *The solid side* (pp. 132-134). The Solid Side.

⁶². Manzini, E. (2008). op cit.

⁶³. Ibidem.

⁶⁴. Ibidem.

⁶⁵. Pietroni, L. (2001). op cit.

⁶⁶. Ceruti, M., & Laszlo, E. (Eds.). (1988). *Physis: Abitare la terra*. Feltrinelli.

⁶⁷. Chiapponi, M. (1989). *Ambiente: Gestione e strategia. Un contributo alla teoria della progettazione ambientale*. Feltrinelli.

⁶⁸. Vattimo, G. (1985). *La fine della modernità*. Garzanti.

⁶⁹. Doveil, F. (1993). Verso un progetto post-ecologico. *Modo*, 149, 28.

⁷⁰. Ferrara, M., & Bianco, B. (2023). Italia, anni venti-novanta. Le plastiche nell'ambito del design: Dalla sostenibilità economica alla sostenibilità ambientale. *AIS/Design. Storia e Ricerche*, 10(19).

dei materiali, ebbe inizio all'alba del nuovo decennio, quando le società industrializzate mature iniziarono a fronteggiare sfide economiche, tra cui crescente disoccupazione e povertà, insieme a problematiche sociali, politiche e ambientali globali sempre più gravi⁶⁶. Questi “repentini” cambiamenti obbligarono a ridefinire radicalmente i modelli di interpretazione della realtà e, di conseguenza, gli obiettivi⁶⁷. Per la cultura del design, ciò comportò l'emergere di nuove sensibilità e orientamenti di ricerca – relativamente al dibattito sui materiali, verrà brevemente illustrato nel paragrafo successivo –. Divenne chiaro che la domanda e l'offerta non potevano rimanere immutate e che la qualità non doveva limitarsi alla semplice evoluzione dei prodotti esistenti, ma piuttosto alla ridefinizione dei sistemi⁶⁸. Nel caso dei nuovi materiali, si capì che le loro caratteristiche innovative potevano essere sfruttate per proporre soluzioni socialmente utili, ambientalmente preferibili e culturalmente profonde rispetto al passato⁶⁹.

A partire dal noto caso Novamont, infatti, la questione ambientale e sistemica ha visto emergere in Italia una nuova direzione nella ricerca sui materiali riciclati, con particolare attenzione verso soluzioni che potessero contrastare l'inquinamento legato ai rifiuti plastici⁷⁰. Novamont, fondata nel 1989 da Raul Gardini e sviluppata sotto la guida di Catia Bastioli, è diventata una realtà pioniera nel settore delle bioplastiche, introducendo innovazioni capaci di ridurre significativamente l'impatto ambientale della plastica tradizionale. La bioplastica Mater-Bi, realizzata da Novamont, ha rappresentato un primo passo concreto verso un materiale compostabile e biodegradabile, prodotto da fonti rinnovabili come l'amido di mais. Questa bioplastica ha aperto una nuova strada per la gestione dei rifiuti, integrando i criteri di economia circolare e sostenibilità lungo tutto il ciclo di vita del prodotto. Con Mater-Bi, Novamont ha mirato non solo a rispondere alla crescente domanda di sostenibilità, ma anche a promuovere una cultura dell'uso responsabile e consapevole delle risorse, includendo sia consumatori sia filiere produttive in questo cambiamento. Attraverso l'integrazione del settore agricolo con quello chimico, Novamont ha introdotto il concetto di bioraffineria integrata nel territorio, capace di valorizzare gli scarti agricoli e produrre nuovi materiali bio. Questo modello ha permesso a Novamont di operare in un contesto di economia circolare, sostenendo non solo la riduzione dei rifiuti, ma anche la rivitalizzazione di aree rurali spesso marginalizzate, creando nuo-

ve opportunità occupazionali. Tale visione ha contribuito ad aprire un ampio dibattito sulla necessità di ripensare il design e la produzione industriale in chiave sostenibile, un tema che diventa oggi imprescindibile in qualsiasi trattazione sull'ecodesign e sui materiali del futuro

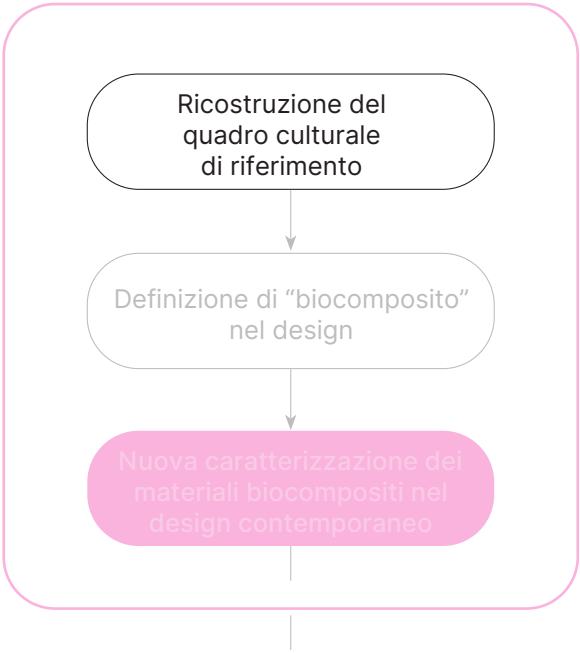
Negli ultimi trent'anni, allora, il lungo percorso di ricerca nel campo dei materiali ha portato a risultati positivi concretizzati in processi progettuali e pratiche ecologiche sempre più diffuse. È il caso, prettamente a titolo esemplificativo, di tutti quei materiali avanzati bioispirati, realizzati grazie all'avanzamento e al rafforzamento delle ricerche sulla biomimesi di Janine Benyus, cui ispira progetti di strutture e processi basati sui principi della natura⁷¹. Così come, della sempre più diffusa e consolidata adozione di sistemi circolari sostenibili, dove artefatti e rifiuti sono trattati come risorse preziose lungo l'intera filiera progettuale, produttiva e di riciclo⁷². Le persone e le comunità stanno acquisendo, oggi, una maggiore consapevolezza ambientale, mentre la cultura del design contemporaneo riconosce da tempo l'importanza dell'"ecodesign", fondamentale per agire su scala multidimensionale e trasversale, abbandonando definitivamente l'ottica antropocentrica a favore di una prospettiva ecocentrica, o, quantomeno di preferibilità ambientale.

Progettare in questo contesto d'azione dei materiali richiede un cambiamento radicale e convinto nel pensiero e nell'approccio del designer, il quale, riflettendo sui principi e sulle dinamiche ambientali e sociali, tra micro e macro, dovrà contribuire in modo sempre più sensibile e convinto alla trasformazione di alcune logiche insostenibili ancora largamente ricorrenti.

⁷¹. Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. Mariner Books.

⁷². Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.

D1. Nel design, cosa sono e come si presentano, di fatto, i materiali biocompositi?



Sintesi e schema di lettura del capitolo

2.3 I neomateriali nell’epoca dell’economia rigenerativa: uno sguardo d’insieme

In continuità con quanto precedentemente enucleato, è nell’odierno scenario delle materie prime, necessarie per la produzione industriale, che si assiste a una trasformazione di vasta portata. Le tipologie di materiali stanno mutando in sintonia con le dinamiche economiche, aprendo la strada a un rapido cambiamento nei rapporti con le risorse primarie e l’ambiente naturale¹. In letteratura, due sono le direzioni fondamentali di questa trasformazione, ovvero, da un lato, il recupero e l’ottimizzazione dell’utilizzo o del riutilizzo di materiali conosciuti e consolidati, perlopiù di origine vegetale, animale o minerale, dall’altro, invece, la sperimentazione e l’introduzione di nuovi materiali, definiti, sempre in letteratura, come “intelligenti”, “innovativi” e “circolari”². Il seguente paragrafo vuole fungere da sostrato culturale e, al contempo, da raccordo con il grande tema della sostenibilità nei materiali biocompositi, che verrà – non senza dibattito critico – approfondito nel capitolo 4. Pertanto, si pone l’obiettivo di delineare e ricostruire una panoramica sul mondo delle nuove materie prime “circolari” che, prodotte con minor impatto sulle risorse naturali esauribili, offrono, oggi, proprietà e caratteristiche sempre più vicine, e, forse, in taluni casi migliori, rispetto ai materiali considerati “più tradizionali”³.

La consapevolezza della limitatezza delle risorse ha sempre caratterizzato l’umanità e lo sviluppo delle civiltà: in periodi di crisi, la ricerca di materie prime alternative, per gli alimenti, per la manifattura e persino per l’approvvigionamento energetico, ha giocato un ruolo cruciale nelle politiche, ma anche nei conflitti e nel commercio dei beni tangibili tra gli individui. Eppure, se in passato, e in tempi di crisi, questa consapevolezza si manifestava principalmente a livello locale e immediato, per via di momentanee carestie, siccità, guerre, oppure per la scarsità di materie prime dovuta a fattori geografici o economici, oggi, nel XXI secolo, essa assume contorni più duraturi, complessi e sfumati, certamente globali⁴. Dopo la Rivoluzione industriale, e soprattutto a partire dal secondo dopoguerra, lo straordinario progresso tecnologico dell’Occidente ha portato a una percezione improvvisa di ricchezza e disponibilità pressoché infinita di prodotti e materiali. Questo fenomeno è stato alimentato da diversi fattori come il boom economico e l’emergere della “società dei consumi”⁵, l’uso diffuso della plastica come materiale versatile derivante da una materia prima abbondante ed economica come il petrolio, e, infine, lo sviluppo dei trasporti, il quale, ha permesso il rapido spostamento di materiali e

1. Rahm, P. (2023). *Le style anthropocène*. HEAD Publishing.

2. Genovesi, E., & Pellizzari, A. (2021). *Neomateriali 2.0 nell’economia circolare*. Edizioni Ambiente.

3. Lerma, B., De Giorgi, C., & Allione, C. (2011). *Design e materiali. Sensorialità, sostenibilità, progetto*. Franco Angeli.

4. Sacchetti, V., & Wang, E. (2023). *Driving the Human: Seven Prototypes for Eco-social Renewal*. Mousse Publishing.

5. Papanek, V. (1971). *Design for the real world*. Pantheon Books.

6. Nurra, N. (2022). *Plasticene. L'epoca che riscrive la nostra storia sulla Terra*. Il Saggiatore.

7. Latouche, S. (2009). *Usa e getta. Le follie dell'obsolescenza programmata*. Bollati Boringhieri.

8. Bonneuil, C., & Fressoz, J. B. (2016). *The Shock of the Anthropocene: The Earth, History and Us*. Verso Books.

9. Ibidem.

10. Ellen MacArthur Foundation. (2021). *How the circular economy tackles climate change*. Ellen MacArthur Foundation.

11. Ellen MacArthur Foundation. (2023). *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation.

merci in tutto il mondo, attivando quel processo di eterodirezione di mercato, noto ai più come "globalizzazione"⁶. Questa percezione illusoria di possedere un'infinità di risorse è stata sia causa che effetto dello sviluppo di un modello di produzione e consumo definito "lineare", ancora ampiamente adottato nell'industria globale, ovvero quell'approccio “take-make-waste”, che continua a basarsi sulla linearità di produzione, utilizzo e smaltimento dei beni, perennemente tenuto in vita da politiche, più o meno consapevoli, di obsolescenza programmata, sia di tipo funzionale, sia di tipo semantico⁷.

È ampiamente riconosciuto che l'attuale utilizzo frenetico e compulsivo delle risorse, combinato con una crescente pressione antropica sul pianeta e un poco efficace consumo delle risorse planetarie, non sia più sostenibile⁸. Numerosi studi scientifici contemporanei dimostrano che l'era delle risorse “abbondanti”, certe e convenienti, è ormai finita, sia per i materiali fossili che per i metalli, le riserve ittiche, il legname, l'acqua, il terreno fertile, l'aria pulita e la biomassa⁹. Le previsioni non sono ottimistiche, poiché, dati a confronto, si prevede, ad esempio, un aumento della domanda di materie prime alimentari fino al 70% entro il 2050, mentre almeno il 60% degli ecosistemi mondiali da cui derivano queste risorse è già degradato o eccessivamente depauperato¹⁰.

In questo quadro, operando in un sistema sempre più interdipendente e complesso, le imprese si trovano – oggi più di ieri – a dover affrontare i rischi della scarsità delle materie prime e della volatilità dei prezzi correlati alla loro estrazione, con effetti che si ripercuotono sia sull'economia globale, sia su interi territori e distretti produttivi locali e peculiari. A validare ciò, in ottica macroeconomica, è il “Commodity Price Index” sviluppato dai ricercatori del McKinsey Global Institute, il quale, in rapporto alla crescita della domanda globale di risorse e forniture, mostra un'impennata verticale dei prezzi delle materie prime a partire dall'anno 2005, con valori osservati solo in corrispondenza della Prima guerra mondiale. Va peraltro sottolineato che tale tendenza rischia di non ridimensionarsi in maniera significativa nel prossimo futuro¹¹. Le crescenti preoccupazioni ambientali, congiunte dunque alle odierne recessioni economiche e alle cogenti questioni di sperequazione sociale, stanno di fatto re-direzionando i mercati, le imprese e gli enti di ricerca verso l'individuazione di percorsi alternativi, che scorgono, ad esempio, e come accennato, nei materiali “circolari” un fondamento concreto della nuova economia rigenerati-

va e redistributiva, capace di mutare gli andamenti dominanti. La transizione verso un'economia circolare non significa quindi solo portare aggiustamenti volti a ridurre gli impatti negativi dell'economia lineare, ma impone un cambiamento sistemico che generi opportunità economiche e commerciali, ma anche ambientali e sociali a lungo termine¹². Un'economia rigenerativa, infatti, è un tipo di economia in cui le comunità partecipano a pieno titolo alla rigenerazione dei cicli vitali della Terra affinché tutti possano prosperare all'interno dei confini planetari. In tale direzione, tenta di muoversi la nuova economia circolare, che mira a superare il modello lineare menzionato in precedenza attraverso la cosiddetta “chiusura dei cerchi”¹³. Pur essendo un sostanziale accordo su cos'è l'economia circolare nella sua definizione teorica e nei suoi obiettivi, la sua implementazione nei processi industriali è tuttavia ancora un tema aperto e da esplorare, specie nel settore dei materiali e del design per i materiali. L'idea di economia circolare comprende infatti pratiche diverse, che possono essere, ad esempio, ricondotte a strategie per la programmazione del flusso di materia che scorre da un sistema a un altro, l'estensione della vita utile di un prodotto, lo sviluppo di piattaforme di sharing, ma anche il passaggio da “prodotti” a “servizi”¹⁴. Ad esempio, promuovere la riparazione di elettrodomestici facilitando l'intervento da parte dei produttori rientra nell'ambito dell'economia circolare. Allo stesso modo, l'utilizzo responsabile delle risorse naturali, come piantare alberi per compensare il legname utilizzato per la produzione di mobili, rappresenta un approccio circolare. Pertanto, l'obiettivo fondamentale è integrare queste pratiche all'interno di politiche unificate che mirano a minimizzare gli impatti ambientali, riducendo gli sprechi e massimizzando il riutilizzo delle risorse disponibili¹⁵.

Rispetto a questo scenario, il “materiale”, inteso come “protagonista fisico” della produzione industriale, assume grande centralità e, come tale, ne porta il peso tangibile in chiave di consumo di risorse e impatti socio-ambientali¹⁶. È proprio in quest'accezione che il “materiale”, se rinnovato o rinnovabile, può essere definito “circolare”¹⁷. È nel 2014, infatti, che l'espressione “circular materials” inizia ad affermarsi: la prima conferenza internazionale sul tema, dal titolo “Future Circular Materials Conference”, tenutasi a Gothenburg – in Svezia –, ha di fatto rappresentato un punto di incontro per la discussione su definizioni, modelli, buone pratiche e visioni sulla circolarità della materia. Questo evento è stato cruciale per la

12. Barbero, S. (2017). *Systemic design method guide for policymaking: A circular Europe on the way*. Allemandi.

13. Bompan, E., & Brambilla, I. N. (2021). *Che cos'è l'economia circolare*. Edizioni Ambiente.

14. Vezzoli, C. (Eds.) (2022). *System design for sustainability in practice: Methods, tools and guidelines to design Sustainable Product-Service Systems applied to Distributed Economies*. Maggioli editore.

15. Lacy, P., Long, J., Spindler, W., & Orneli, S. (2021). *Il manuale della circular economy*. Egea.

16. Franklin, K., & Till, C. (2019). *Radical Matter: Rethinking Materials for a Sustainable Future*. Thames & Hudson.

17. Genovesi, E., Pellizzari, A. (2021). op cit.

18. Pauli, G. (2020). *Blue Economy 3.0*. Edizioni Ambiente.

19. Genovesi, E., Pellizzari, A. (2021). op cit.

20. Calcagnini, L., Magarò, A., & Mariani, M. (2018). Biopolimeri dagli scarti della filiera agroalimentare. Bioplastiche e biopolimeri come alternative ai materiali tradizionali: Stato dell'arte e prospettive future della ricerca. *Officina*, 21, 22-27.

21. Coraglia, V. (2018). Natura 4.0, avanguardie bio-ispirate per il design del futuro. Imitazione, collaborazione, ingegnerizzazione, manipolazione: Nuovi metodi produttivi basati su sistemi viventi. *Officina*, 21, 28-37.

22. Corsini F., Gusmerotti N.M., & Frey M. (2020), Consumer's Circular Behaviors in Relation to the Purchase, Extension of Life, and End of Life Management of Electrical and Electronic Products: A Review. *Sustainability*, 12(24), Article 10443.

23. Esposito B., Sessa M.R., Sica D., & Malandrino O. (2020). Towards Circular Economy in the Agri-Food Sector. A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 12(18), Article 7401.

24. Frassine, R. (2021). *Tecnologie e proprietà dei materiali compositi*. Amazon.



fig. 01 Bioplastica costituita da cellulosa e chitina che potrebbe sostituire i convenzionali imballaggi in plastica flessibile

discussione di modelli e buone pratiche sulla circolarità della materia, coinvolgendo personalità significative come Gunter Pauli, pioniere della "blue economy"¹⁸, capace di promuovere la crescita economica basandosi sulla conservazione degli ecosistemi marini e sulla sostenibilità ambientale. Secondo la letteratura più aggiornata, i "neomateriali circolari" vengono definiti come materiali "rinnovati e rinnovabili"¹⁹ che provengono o da risorse che sono per loro stessa natura rinnovabili, poiché di coltura, oppure da materia "rientrata" nel ciclo produttivo, sia essa proveniente da filiera omogenea o diversa. Nella fattispecie, secondo Pellizzari e Genovesi, possono essere ripartiti in tre grandi gruppi: materiali bio-based, materiali neoclassici, materiali ex-novo. Nella prima famiglia rientrano tutti quei materiali di origine biologica in grado di sostituire efficacemente, in tutto o in parte, i corrispondenti a base fossile non rinnovabile. Tra questi materiali oggi assumono crescente importanza i biopolimeri (fig. 01) che sostituiscono, con prestazioni sempre più elevate, i tradizionali materiali plastici da fonte fossile²⁰, nonché quelli "coltivati" a partire da batteri o miceli, in cui ai vantaggi della componente organica si aggiunge la sensibile riduzione dell'energia – grigia – impiegata per la loro trasformazione²¹. La seconda famiglia di materiali proviene invece dalle "urban mining". Si tratta di materiali che si inseriscono nelle filiere classiche e già ampiamente consolidate del riciclo, come carta, vetro, alluminio, acciaio, legno e, più recentemente, plastiche, gomma e rifiuti elettronici²². A questi si aggiunge la terza famiglia che, di fatto, comprende tutti quei materiali derivati da rifiuti urbani, industriali e edili, esclusi fino ad oggi dalle filiere classiche del riciclo, per motivi economici o di processo, e destinati inesorabilmente all'incenerimento e alla discarica. Ne sono esempio gli scarti dell'industria alimentare e cosmetica, ma anche terre di spazzamento strade, pneumatici, polveri da inceneritore e reflui liquidi e gassosi²³. Tra questi rientrano, a vario titolo, anche i materiali compositi, che, come si approfondirà nel paragrafo 4, rinnovano oggi l'attenzione ai materiali di origine naturale, agli scarti di filiera, considerando nuove prassi di riparazione, riuso e aumento della vita utile²⁴. La "sostenibilità" inizia così a delinearsi, come vedremo nella seconda parte della tesi dottorale, anche nei compositi, dove, si anticipa che, da un lato, si lavora alla sostituzione delle resine sintetiche, rinforzate con fibre di vetro o di carbonio, con una o più "fasi" di origine biologica, dall'altro, si cerca di attuare logiche di upcycling e demanufacturing con

gli sfridi di tessuto secco o pre-impregnato (fig. 02), e logiche di riciclo a fine vita per il recupero della fibra²⁸. In uno scenario aperto e costantemente in evoluzione, dunque, si manifestano molte opportunità tecnologiche, produttive e creative, dove il materiale continua ad assumere un ruolo centrale nel design. Il materiale, come detto, diventa e resta il fulcro fisico della produzione industriale, sia come input primario che come risultato finale dei prodotti di design, mentre la materia, torna ad essere finalmente riletta e approcciata come parte di un sistema complesso e interconnesso.

Se è vero che le pratiche di riutilizzo e re-immissione hanno radici antiche, è soltanto nella contemporaneità che hanno acquisito dimensioni industriali e ottimizzazioni produttive che le rendono competitive in termini economici e prestazionali. Ad esempio, i biomateriali non vengono più utilizzati solo per scopi decomponibili, ma per produrre, ad esempio, scarponi da sci (fig. 03), cover di cellulari, imballaggi di qualità senza compromettere le prestazioni²⁶. Oppure, i polimeri riciclati sono impiegati in prodotti di alta qualità, e la carta, raccolta post-consumo, viene utilizzata per materiali resistenti e durevoli. Questi "nuovi" paradigmi non nascono dall'oggi al domani ma sono il frutto di un lungo percorso che ha portato a una nuova consapevolezza sul valore della materia, ma anche alla ricerca di soluzioni ambientalmente preferibili per ridurre l'impatto ambientale e la dipendenza dalle risorse naturali.

Nel periodo preindustriale, infatti, l'utilizzo dei materiali naturali era caratterizzato da un'efficienza massima: le risorse di origine vegetale, animale o fossile venivano utilizzate integralmente. I prodotti, ad essi connaturati, una volta giunti al termine del loro ciclo di vita, venivano reintrodotti nei processi produttivi e i loro componenti riutilizzati altrove fino a completa consunzione. Questo concetto di "circolarità" dei materiali si manifestava soprattutto attraverso il riuso, che era applicato in maniera sistematica in tutti i settori e a tutti i tipi di materiali, sia quelli meno pregiati e deperibili come le fibre vegetali, sia quelli più duraturi come le pietre. Questo approccio simboleggia una pratica ciclica di conservazione del valore dei materiali per il più lungo tempo possibile, con un ciclo a spirale che, alla fine, riportava i materiali al loro stato naturale, riassorbiti nuovamente nella terra²⁷. Anche la gestione pianificata delle risorse naturali ha una storia di lungo corso, e si riscontra nel contributo pionieristico di Hans Carl von Carlowitz, specificamente nel suo libro *Sylvicultura Oeconomica*, del 1713, nel



fig. 02 Raimante: materiale che riusa gli sfridi della laminazione dei compositi



fig. 03 Scarpone da sci in una bioplastica ricavata dai semi della pianta del ricino

25. Borjan D., Knez Ž., & Maša K. (2021). Recycling of Carbon Fiber-Reinforced Composites-Difficulties and Future Perspectives. *Materials (Basel)*, 14(15), Article 4191.

26. Genovesi, E., Pellizzari, A. (2021). op cit.

27. Scodeller, D. (2023). *Design, community e limiti delle risorse. Dalla civiltà contadina alla società digitale*. Media MD.

28. Rau, T., & Oberhuber, S. (2022). *Material Matters: Developing Business for a Circular Economy*. Routledge.
29. Ellen MacArthur Foundation. (2023). op cit.
30. Raworth, K. (2017). *Doughnut Economics*. Random House Business.



fig. 04 Sylvicultura Oeconomica, 1713, scritta da Von Carlowitz

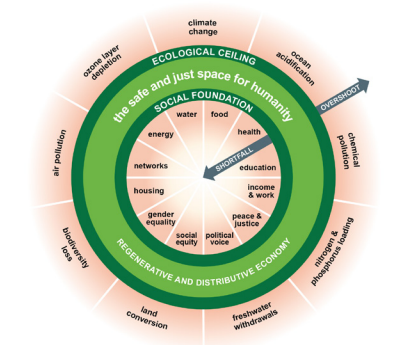


fig. 05 Doughnut Economics, 2017, tratta da Doughnut Economics di K. Raworth

quale, il nobile tedesco introdusse il concetto di gestione forestale sostenibile, nato dall'osservazione diretta delle pratiche di disboscamento e degrado ambientale. Egli, ha anzitempo sottolineato l'importanza di bilanciare la produzione di legname con la conservazione degli ecosistemi forestali, riconoscendo le foreste come risorse rinnovabili soggette a una gestione corretta. Le sue idee, rivoluzionarie per l'epoca, sono alla base della moderna silvicoltura sostenibile, promuovendo pratiche come il rimboschimento, la selezione oculata degli alberi da abbattere, e periodi di riposo, per consentire la rigenerazione forestale. Von Carlowitz anticipò i principi di sostenibilità ambientale, riconoscendo la necessità di proteggere e utilizzare in modo sostenibile le risorse forestali per garantire un equilibrio ecologico duraturo (fig. 04). Già nell'antichità, dunque e ad esempio, i boschi erano considerati “miniere verdi” da proteggere e regolare²⁸. Un ulteriore caso degno di nota è riscontrabile nella Repubblica di Venezia, che, negli stessi anni, impose vincoli severi sui propri boschi di querce, queste vitali per la costruzione di città, galee e manufatti. Oggi, invece, sono l'Agenda ONU 2030 e il Green Deal europeo, perlopiù, a costituire importanti punti di riferimento e motivazioni per attività politiche ed economiche volte ad affrontare le sfide legate ai cambiamenti climatici e al degrado ambientale. Questi programmi promuovono l'adozione di strategie per un uso efficiente delle risorse e per lo sviluppo di un'economia circolare, favorendo il raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050, come auspicato dall'Unione Europea²⁹. In questo quadro, il design, sempre più legato ai temi della sostenibilità, riveste un ruolo fondamentale nell'esplorare le molteplici possibilità di interazione con l'ambiente, al fine di passare da una realtà attuale a una migliore, dove il valore rimane in circolo, rigenerandosi continuamente e creando nuove opportunità economiche. Le sfide sociali ed ecologiche del XXI secolo richiedono un approccio di ricerca nel design che contribuisca a sviluppare soluzioni economiche praticabili, concorde il più possibile, ad esempio, al modello proposto da Kate Raworth in *Doughnut Economics*, che individua la soluzione "migliore", quella collocata nello spazio intermedio della “ciambella” (fig. 05), tra ciò che è giusto a livello umano e ciò che è equilibrato per il pianeta Terra³⁰. Nell'uso e nel progetto, giocano un livello strategico per la ridefinizione di nuovi paradigmi: la smaterializzazione, la condivisione dei beni e la digitalizzazione delle esperienze per lo

sviluppo di servizi come frutto di un processo olistico e partecipativo, persino nell'alveo dei materiali. In questi termini il design è visto come “strumento fondamentale di riparazione”, avendo la possibilità di plasmare comportamenti che si ripercuotono sulla vita, in tutte le sue forme³¹. Fa eco in tal senso considerare che, come sostiene Morelli, “il design può svolgere un ruolo nel generare elementi di cambiamento che hanno il potenziale di innescare cambiamenti sistemici più grandi, per esempio, ridimensionando le iniziative locali, lavorando così da una scala inferiore [...] a contesti più ampi [...]”. La creazione di servizi come infrastruttura significa che i servizi sono organizzati come un sostegno aperto al processo di creazione di valore³². Sulla scorta di ciò, la letteratura riconosce che il valore della materia prima non è più limitato al suo solo utilizzo funzionale, durante la produzione o l'uso del prodotto, ma si estende anche oltre, acquisendo un valore intrinseco. Questo ha portato a una rivoluzione nel modo di concepire il materiale lungo tutta la catena produttiva³³. Riprendendo il discorso sui materiali, lo sviluppo di essi entro le logiche circolari, è stato reso possibile grazie a tre condizioni fondamentali: l'innovazione tecnologica, la capacità di organizzazione – ma anche riconversione – industriale delle filiere e la conseguente convenienza economica delle materie prime così ottenute³⁴. Questa triade virtuosa ha permesso applicazioni innovative, dimostrando una “performance” dei materiali precedentemente inimmaginabile, come pure una maggiore scalabilità industriale, consentendone produzione e diffusione. Ne deriva, che, in una filosofia “source local, act global”³⁵, la materia “circolare” può vivere solo in un ambito di filiera virtuosa, efficiente e organizzata, che tende a limare gli sprechi o eliminarli del tutto. Per raggiungere questo obiettivo a tutti gli effetti olistico, è fondamentale continuare ad organizzare i metodi di approvvigionamento e trasformazione a livello locale, migliorando l'efficienza della “logistica inversa”³⁶, nonchè riducendo le dipendenze dalle lunghe catene di approvvigionamento. Inoltre, la promozione della “simbiosi industriale”³⁷ è essenziale: attraverso questa pratica, i sottoprodotti di un settore diventano risorse utili per un altro settore, contribuendo così a ridurre gli sprechi e massimizzare l'utilizzo delle risorse disponibili (fig. 06). Anche nel campo del design, dunque, le prospettive su cui si gioca il futuro dei materiali “circolari”, in termini di innovazione tecnologica “disruptiva”³⁸, prestazionale e di processo,

31. Antonelli, P. (2019). *Broken Nature: Design Takes on Human Survival*. The Museum of Modern Art.
32. Morelli, N., De Götzen, A., & Simeone, L. (2020). *Service Design Capabilities*. Springer. p. 45.
33. Bak-Andersen, M. (2021). *Reintroducing Materials for Sustainable Design. Design Process and Educational Practice*. Routledge.
34. Genovesi, E., Pellizzari, A. (2021). op cit.
35. Bistagnino, L. (2017). *MicroMacro: Micro relazioni come rete vitale del sistema produttivo*. Slow Food Editore.
36. Lerma, B., & Bruno, E. V. (2021). Industrial reconversion in productive clusters. Design and active preservation of local know-how. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 9, 194–203.
37. Salomone, R. (2020). *Industrial Symbiosis for the Circular Economy: Operational Experiences, Best Practices and Obstacles to a Collaborative Business Approach*. Springer.
38. Lacy, P., Long, J., Spindler, W., & Orneli, S. (2021). op. cit.

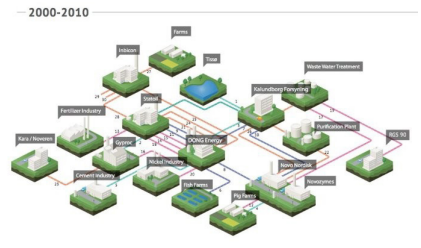


fig. 06 Kalundborg symbiosis: primo caso di simbiosi industriale mondiale

³⁹. Genovesi, E., Pellizzari, A. (2021). op cit.

⁴⁰. Earley, R., & Hornbuckle, R. (2023). *Design Materials and Making for Social Change. From Materials We Explore to Materials We Wear*. Routledge.

⁴¹. Buchanan, R. (1992). Wicked Problems in Design Thinking. *Design Issues*, 8(2), 5-21.

⁴². Wahl, D. C., & Baxter, S. (2008). The Designer's Role in Facilitating Sustainable Solutions. *Journal of Cleaner Production*, 16(12), 1216-1223.



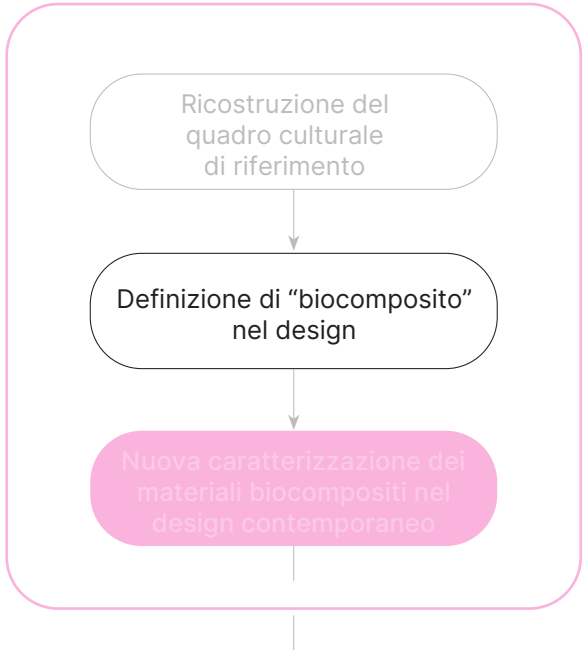
fig. 07 La filiera del sughero richiede un pensiero che si confronta con i tempi lunghi del susseguirsi delle generazioni

sono quindi rivolte a tre ambiti principali, ovvero il miglioramento dell'efficienza dei processi di trasformazione, e quindi la riduzione dell'impatto del materiale in fase produttiva; la capacità di adattare rapidamente o sviluppare nuovi processi per la trasformazione di nuove materie prime rinnovabili che si presentano di volta in volta come disponibili; il miglioramento qualitativo delle materie che si ottengono attraverso questi processi e la riduzione del decadimento a cui le materie sono sottoposte a seguito di diversi passaggi nei cicli produttivi. È in tale direzione che occorre aumentare il valore dei materiali attraverso processi cosiddetti di "re-upcycling"³⁹.

Questa visione ambiziosa è sì orientata a massimizzare l'efficienza e la sostenibilità dei materiali nell'economia circolare e rigenerativa emergente, ma anche a rivalutare e ridefinire il ruolo sociale dei materiali⁴⁰. Appare chiaro, dunque, come la ricerca di design che si concentra sui materiali e sul fare offre oggi una prospettiva unica sul cambiamento. Tuttavia, come trattato in apertura di capitolo, è essenziale riconoscere che questo processo non può trascendere dalla dimensione sociale. Infatti, come evidenzia anzitempo Buchanan, i progettisti che affrontano le pressanti sfide legate alla materialità "danzano" inevitabilmente attraverso vari sistemi e livelli gerarchici, spaziando dal micro al macro. Essi navigano tra valori simbolici, oggetti materiali, servizi e ambienti complessi⁴¹.

Questa "danza creativa e iterativa"⁴² richiede una consapevolezza costante delle interazioni sociali e delle implicazioni etiche che accompagnano l'innovazione materiale (fig. 07). In ultima istanza, un approccio al design, idoneo a contemplare il sociale nei materiali può portare a soluzioni ancor più significative e sostenibili, rispecchiando così la complessità e l'interconnessione dei problemi contemporanei.

D1. Nel design, cosa sono e come si presentano, di fatto, i materiali biocompositi?



Sintesi e schema di lettura del capitolo

3. I Materiali biocompositi nel design di prodotto

3.1 I materiali compositi: da materiale a comportamento

La diversa sommatoria, nei tempi e nei modi, della singola materia, avente caratteristiche proprie, produce un “materiale unico” che fornisce una o più “prestazioni emergenti”. I materiali compositi, così definiti, ovvero come sistemi multifase che combinano le proprietà delle loro componenti per ottenere prestazioni superiori – in un’ottica di 1+1=3 – ha radici antiche che risalgono ai primi stadi dell'umanità. Tuttavia, è stata la moderna ingegneria a definire in modo più puntuale questa nozione. Il celebre manuale del Novecento di ingegneria dei materiali, *Materials Science and Engineering: An Introduction* di Callister, introduce la nozione di “azione combinatoria”¹ tra materiali diversi, mentre le osservazioni di Mayer nel 1974 sui “materiali rinforzati”² hanno contribuito a dimostrare nella comunità scientifica l'utilità della combinazione di più materiali. Questo approccio ha portato alla progettazione di materiali compositi con caratteristiche uniche, idonei alla risoluzione di problemi progettuali complessi. In tale direzione, è utile notare che l'utilizzo dei compositi risale a tempi antichi, come dimostrano evidenze storiche e recenti studi scientifici³. Un classico esempio è l'adobe, un composito utilizzato sin dall'antichità come materiale da costruzione. Composto da terra e fibre organiche come la paglia, l'adobe ha dimostrato di offrire solidità strutturale e isolamento termico, confermando l'efficacia dei principi dei materiali compositi nel corso della storia umana (fig. 01). La nozione di "materiale composito" si riferisce, dunque, in qualsiasi contesto, alla combinazione sinergica di diverse componenti, ciascuna con proprietà distintive, al fine di ottenere un prodotto finale caratterizzato da prestazioni superiori. Il “composito”, sempre costituito da varie fasi, si articola principalmente in tre componenti fondamentali: la matrice, che costituisce la struttura primaria del materiale; il rinforzo, costituito da fibre o particelle inserite nella matrice per migliorarne le proprietà; e gli additivi, sostanze che possono influire su diversi aspetti, come l'adesione tra matrice e rinforzo o la stabilità dimensionale, contribuendo così alla complessiva efficacia del composito (fig. 02). Il ruolo delle fibre e delle matrici, e le loro proprietà, verranno ampiamente discusse e indagate, con specifico affondo sulla disciplina del design industriale, nei due successivi paragrafi. In ingegneria, i compositi vengono generalmente classificati proprio sulla base delle peculiarità della fase rinforzante o della matrice che la contiene. Nel primo caso si distinguono tra compositi a particelle, a fibra corta o fibra lunga. Le particelle disperse nella matrice possono es-

1. Callister, W. D. (1984). *Materials science and engineering: An introduction*. John Wiley & Sons, p. 389.

2. Mayer, N. J. (1974). *Engineering applications of composites*. Academic Press.

3. Hardy, B. L., Moncel, M. H., Kerfant, C., Lebon, M., Bellot-Gurlet, L., Mélard, N., & Navarro, N. (2020). Direct evidence of Neanderthal fibre technology and its cognitive and behavioral implications. *Scientific Reports*, 10(1), 4889.



fig. 01 Adobe: mattone terra e paglia



fig. 02 Componente in fibra di carbonio

4. Schniewind, A. P. (1989). *Concise encyclopedia of wood and wood-based material*. Pergamon Press.

5. Kapsali, V. (2021). *Biomimetics for designers: Applying nature's processes & materials in the real world*. Thames & Hudson.

6. Lin, A., & Meyers, M. A. (2005). Growth and structure in abalone shell. *Materials Science and Engineering: A*, 390(1-2), 27-41.

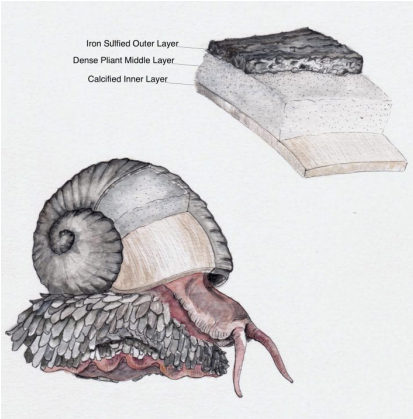


fig. 03 Chrysomallon squamiferum

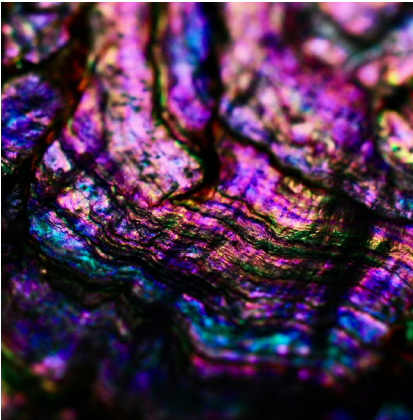


fig. 04 Madreperla, ingrandimento fotografico

sere più o meno grandi e di varia natura. Nei compositi a fibra corta, queste ultime sono disperse in modo casuale all'interno della matrice e il materiale risultante è nel complesso isotropo. Nei compositi a fibra lunga, invece, queste ultime sono disposte in modo ordinato e orientato in una direzione all'interno della matrice. Il materiale risulta quindi anisotropo. Le matrici, di converso, possono essere principalmente polimeriche, metalliche o ceramiche.

Nel tentativo di tracciare alcuni esempi e cenni storici, non esaustivi ma certamente utili per la ricostruzione di un dibattito sulla questione definitoria, è importante riconoscere che i compositi non rappresentano una esecuzione esclusiva dell'ingegno umano. La natura stessa, infatti, offre esempi significativi di materiali compositi, come nel caso del legno, dove seppur considerato come un materiale omogeneo, è la lignina ad agire da matrice e le fibre di cellulosa da rinforzo⁴. Anche nel regno animale si riscontrano esempi simili, come nell'architettura delle vongole, dove il legamento che unisce le valve è costituito da un "polimero" naturale flessibile disperso con cristalli di carbonato di calcio, conferendo al tessuto una notevole resistenza alla compressione, come spiega Kapsali⁵. Ulteriore esempio di materiale composito di origine animale sono le ossa, dove l'idrossiapatite funge da matrice rigida e resistente alla compressione, mentre il collagene agisce da rinforzo, conferendo flessibilità e tenacità al tessuto osseo. Questa combinazione consente alle ossa di presentare un'elevata resistenza meccanica, adattandosi alle diverse sollecitazioni a cui sono sottoposte, e, ovviamente, estrema leggerezza. La chitina, che si riscontra in varie strutture biologiche, è un altro esempio notevole di fase ad uso composito presente in natura, con eccezionali proprietà. La chitina, il secondo polisaccaride più diffuso dopo la cellulosa, si trova nei gusci di crostacei, nella cuticola degli insetti, nelle pareti dei funghi, nei becchi dei cefalopodi come i calamari e nella radula e nella madreperla dei molluschi (fig. 03). Solitamente, essa è combinata con altri materiali naturali per creare compositi estremamente resistenti. Ad esempio, nella madreperla del guscio di abalone, lo scheletro di chitina trattiene gel proteici che subiscono un processo di mineralizzazione, emergendo come un materiale composito naturale di straordinaria resistenza, superiore a molte ceramiche di produzione umana⁶ (fig. 04).

Infine, anche nel mondo "inorganico", alcuni esempi di rocce, come i conglomerati, possono essere considerati materiali

compositi, poiché costituiti da ciottoli e brecce cementati insieme. Andando oltre le logiche autogenerantesi della natura, l'ingegno umano, semplicemente ispirandosi ad essa, in una logica forse più biofilica, utilizza da sempre materiali compositi per affrontare sfide e necessità specifiche. È già in epoca antica, addirittura nelle antiche descrizioni bibliche, che emerge la pratica di rinforzare mattoni di argilla mediante l'aggiunta di paglia. Tale accorgimento, attestato anche nella tecnica costruttiva diffusa nelle civiltà preelleniche e preromaniche, risultava essenziale per incrementare la resistenza dei mattoni, particolarmente vulnerabili alle sollecitazioni di trazione.

Sempre in epoca antica nacque ad esempio il torchis⁷, un antico metodo di costruzione consolidato, cui prevede l'impiego di materiali naturali come argilla, paglia e sabbia, combinati per formare una massa coesa (fig. 05). Questa miscela viene applicata su una struttura portante, solitamente in legno o pietra, e modellata a mano per creare pareti solide e isolanti. Grazie alla sua semplicità e alla disponibilità dei materiali, il torchis è stato ampiamente utilizzato in varie culture nel corso dei secoli, dimostrando la sua efficacia come metodo di costruzione composito versatile e durevole. Persistente nel tempo, è pervenuta fino ai giorni nostri in alcune aree dell'Europa post-bellica e continua ad essere utilizzata da comunità africane e dell'America Centrale. Allo stesso modo, le ziqqurat⁸, le imponenti opere architettoniche della civiltà sumerica, rappresentano un esempio significativo di questa pratica. Esse, caratterizzate da gradoni sovrapposti e dotate di una maestosa scalinata esterna, venivano costruite con mattoni di argilla e paglia (fig. 06). Tra gli strati di mattoni, era consuetudine inserire opportunamente porzioni di paglia direzionate in modo ordinato al fine di garantire maggiore coesione e stabilità strutturale al complesso edilizio.

Durante la storia, l'impiego di materiali compositi e tecniche avanzate è stato ampiamente documentato prevalentemente nell'ambito dell'architettura, ma anche nella cultura materiale. Nell'antica Mesopotamia, si trovano in effetti già evidenze dell'utilizzo del compensato, ottenuto incollando tra loro strati di legno con fibre disposte in direzioni diverse per migliorarne le proprietà rispetto al legno naturale⁹. In maniera simile, ma con finalità distinte, è durante il primo periodo intermedio dell'Antico Egitto, che strati di lino o papiro venivano impregnati di gesso per la realizzazione di maschere funerarie, evidenziando con ciò l'uso precoce di materiali

7. Corrado, M. (2020). *Architetture del dopo. Costruire con le piante. Salice, canna, bambù, paglia, terra*. DeriveApprodi.

8. Ibidem.

9. Kirkham, P., & Weber, S. (Eds.). (2013). *History of design: Decorative arts and material culture, 1400-2000*. Yale University Press.



fig. 05 Torchis, sistema costruttivo



fig. 06 Mattoni argilla e paglia

10. Kirkham, P., Weber, S. (2013). op cit.

11. Mingotto, L. (Eds.) (1999). *Marco Vitruvio Pollione. De architectura*. Einaudi.

12. Selby, S. (2003). *Archery traditions of Asia*. Honk Kong University press.



fig. 07 Vassoio orientale in cartapesta, XVI secolo



fig. 08 Arco composito turco, 1500 ca.

compositi anche in ambito funerario. In Cina, invece, è la carta pesta a storicizzarsi: i Cinesi, intorno al 200 a.C, sembrano produrre oggetti vari utilizzando carta e colla (fig. 07). Questa tecnica si diffuse successivamente in Medio ed Estremo Oriente e in Europa, specialmente nel XVI secolo, con ulteriore diffusione in Gran Bretagna nel XVIII secolo¹⁰.

L'apporto dei Romani alle tecniche edilizie include invece il betunium, un antico precursore del calcestruzzo. Questo materiale era composto da un conglomerato di materiali inerti come sabbia, ghiaia e pezzi di mattone, legati inizialmente con una malta di calce ottenuta dalla calcinazione di rocce calcaree. Successivamente, alla calce veniva aggiunta cenere vulcanica per migliorare la resistenza del composto e renderlo estremamente durevole e "attivo", denominata pozzolana. Nel suo trattato *De Architectura*, Vitruvio fornisce dettagliate istruzioni per la preparazione dell'opus caementitium, ampiamente utilizzato dai Romani. Opere significative come la cupola del Pantheon sono esempi notevoli di queste tecniche. La cupola è costruita con vari tipi di calcestruzzo, diventando progressivamente più leggera man mano che si sale in altezza. Ad esempio, negli strati inferiori sono stati impiegati scaglie di mattoni nel calcestruzzo, mentre negli strati superiori si ritrovano scaglie di tufo¹¹. In altre civiltà, esempio significativo dell'uso di più materiali combinati, per migliorarne le prestazioni, è il cosiddetto arco composito, appunto, o arco riflesso¹², in cui il legno costituiva la struttura portante centrale. Questo particolare arco primitivo, da caccia, risalente all'età del bronzo, fu prodigio della tecnica e del progresso antropico, unendo con sapienza materiali eterogenei come legno, corno e tendini (fig. 08). La sua costruzione artigianale comprende l'uso di colla animale e rinforzi di tendini, seta o rattan. Questo metodo conferisce all'arco una struttura distintiva, consentendo forme sagomate come la curva a "C". Accelerando sulla linea temporale, nel passaggio tra la fine dell'Ottocento e le prime decadi del Novecento, si è verificata una significativa rivoluzione nell'ambito dei materiali compositi. Da un lato, nell'edilizia, il calcestruzzo armato ha iniziato a diffondersi già verso la fine del XIX secolo, portando a un cambiamento sostanziale nella costruzione degli edifici. Dall'altro, nel campo degli artefatti, la nascita e lo sviluppo delle materie plastiche sintetiche hanno contribuito in modo significativo a un progresso sia nella concezione di materiali compositi per applicazioni avanzate, sia nella realizzazione di oggetti di vario genere nelle merci di consumo.

Un primo importante sviluppo è stato il lavoro del chimico statunitense Arthur Dehon Little, che nel 1935 presso la Owens Corning Company, realizza la prima vetroresina rinforzata con bachelite, aprendo così la strada alla produzione su larga scala dei materiali compositi avanzati. A beneficiare di tali materiali, e dunque di tali comportamenti e prestazioni, è certamente stata l'industria aerospaziale, sia in ambito militare che civile (fig. 09). Rispetto alle tradizionali alternative, i compositi consentivano notevoli riduzioni di peso, con conseguenti impatti significativi sul consumo di carburante. Un altro settore che vide una crescita significativa nella ricerca e sviluppo dei materiali compositi fu quello dell'automobilismo agonistico. Emblematica la realizzazione negli anni Ottanta dei primi telai per monoposto interamente composti da tali materiali, nei quali la fibra di carbonio trovò ampio impiego come rinforzo. Le scocche realizzate con questa fibra garantivano contemporaneamente maggiore rigidità torsionale e un miglior assetto, contribuendo a prestazioni superiori del veicolo (fig. 10).

Anche nell'ambito nautico, l'utilizzo dei materiali compositi ha avuto un impatto significativo, soprattutto nel settore agonistico. Un esempio emblematico è l'imbarcazione britannica *Eclipse*, costruita da Jeremy Rogers, vincitrice dell'Admiral's Cup nel 1979 (fig. 11). Questa imbarcazione presentava uno scafo realizzato con un composto misto di fibra di vetro e fibra aramidica. Oggi, la maggior parte delle imbarcazioni da regata impiega materiali compositi per gran parte della loro struttura, inclusi scafo, coperta e alberi, così come scotte, cime e altri accessori di piccole dimensioni. Anche nella nautica da diporto, i materiali compositi sono diventati molto diffusi. Infine, oltre al settore nautico, i materiali compositi sono stati ampiamente adottati in molte altre discipline sportive.

È ormai comune trovare in commercio racchette da tennis, sci, canoe, canne da pesca, mazze da golf e da hockey, archi e frecce, giavellotti, attrezzature per il salto in alto, telai e ruote per biciclette, nonché bob, realizzati in gran parte con materiali compositi (fig. 12). Oltre allo sport, i materiali compositi hanno trovato un vasto impiego persino nel campo medico, specialmente nel settore protesico (fig. 13).

Nel vasto panorama della produzione di materiali compositi, si impiegano diverse tecniche, ognuna con specifiche applicazioni e vantaggi distinti. Una tecnica manuale comune è conosciuta come Hand Lay-Up (HLU)¹³. Le fibre di rinforzo vengono posizionate manualmente all'interno di uno stampo e succes-

13. Frassine, R., Marano, C., & Rink Sugar, M. E. (2015). Tecnologie dei materiali polimerici e dei materiali compositi. In B. Del Curto, C. Marano, & M. Pedeferra (Eds.), *Materiali per il design: Introduzione ai materiali e alle loro proprietà* (pp. 297-325). Casa Editrice Ambrosiana.



fig. 09 Gossamer Condor, monoplano ultraleggero 1977

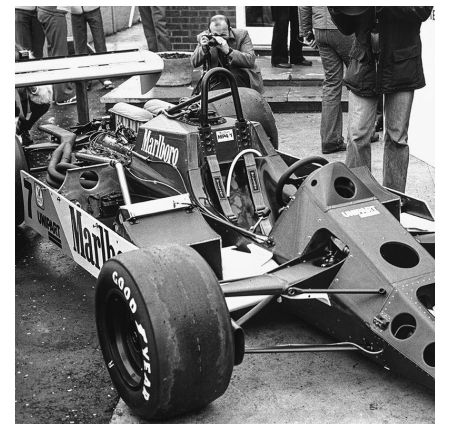


fig. 10 1° telaio monoscocca in fibra di carbonio in F1, 1981



fig. 11 Eclipse, 1979

14. Frassine, R., Marano, C., & Rink Sugar, M. E. (2015). op cit.

15. Fuso, S. (2021). *Il segreto delle cose. Storie di uomini e materiali*. Carrocci.

16. Frassine, R., Marano, C., & Rink Sugar, M. E. (2015). op cit.

17. Ibidem.



fig. 12 Sci in fibra di carbonio



fig. 13 Protesi in fibra di carbonio

sivamente ricoperte di resina, consolidando il tutto mediante l'uso di rulli metallici o di plastica. Il successivo indurimento può avvenire sia a freddo che a caldo. Questo metodo viene utilizzato per la realizzazione di superfici estese, come ad esempio le pareti delle piscine e gli scafi delle imbarcazioni. Un'altra variante è lo Spray Lay-Up (SLU)¹⁴, dove sia la resina nebulizzata che le fibre, precedentemente tagliate in piccoli pezzi, vengono spruzzate sulla superficie interna dello stampo. Questo processo può essere eseguito manualmente, utilizzando pistole ad aria compressa, oppure in modo automatizzato. È importante notare che questo metodo è adatto esclusivamente per compositi con fibre corte o a particelle. Importante tipologia di lavorazione, generata e migliorata appositamente per lo sviluppo di oggetti in materiale composito è certamente la pultrusione. Il termine pultrusione deriva dall'inglese "pulled extrusion" e letteralmente significa "estrusione per trazione". Questo processo fu brevettato nel 1951 dall'ingegnere statunitense W. Brandt Goldsworthy (1915-2003)¹⁵, considerato un pioniere nel campo dei compositi e dei polimeri.

La pultrusione è un processo continuo che permette di produrre profilati di compositi con matrice polimerica¹⁶. Durante la pultrusione, le fibre di rinforzo vengono immerse in un bagno di resina polimerica e poi fatte passare a freddo attraverso una prima filiera in acciaio che le schiaccia e compatta, dando una forma approssimativa. Successivamente, le fibre passano attraverso una seconda filiera riscaldata che induce la polimerizzazione della matrice e conferisce la forma definitiva al profilo, che viene poi tagliato alle dimensioni desiderate. Siffatto metodo offre diversi vantaggi, tra cui la possibilità di automatizzare il processo, una buona velocità di produzione con conseguente riduzione dei costi, la flessibilità nella lunghezza dei pezzi e la capacità di ottenere una vasta gamma di forme. La pultrusione è particolarmente adatta per l'uso di fibre di vetro, carbonio e aramidiche, e per matrici polimeriche termoidurenti (come resine poliestere, resine epossidiche, resine acriliche, vinilestere, ecc.) e termoplastiche (come PVC, alcuni poliuretani, polietilene, Nylon 6, ecc.). Una tecnica alternativa alla pultrusione è il "filament winding"¹⁷, ovvero l'"avvolgimento di fibra". In questo processo, la fibra di rinforzo viene immersa nel bagno di resina e poi avvolta su un rocchetto rotante (fig. 14). Una volta raggiunto il numero desiderato di strati di fibra, il rocchetto viene introdotto in un forno e, una volta polimerizzata la resina, il profilo viene staccato dal rocchetto. Questo

metodo è adatto per la produzione di oggetti con simmetria rotazionale, come tubi, mazze da golf, membrane per alloggiamenti, remi, forcelle per biciclette, cerchioni per biciclette, pali, bombole, fusoliere di aeromobili e alberi per yacht. Anche in questo caso possono essere utilizzate fibre di vetro, carbonio, aramidiche e resine polimeriche di diversi tipi.

Un altro processo produttivo significativo è il Resin Transfer Moulding (RTM)¹⁸, noto anche come "formatura per infusione di resina". Questo processo coinvolge l'utilizzo di uno stampo composto da due parti che creano una cavità per formare le due facce dell'oggetto desiderato (fig. 15). La parte inferiore dello stampo è rigida, mentre quella superiore può essere rigida o flessibile. Le fibre di rinforzo vengono posizionate all'interno della cavità, dopodiché lo stampo viene chiuso e il materiale della matrice viene iniettato. Questa operazione può avvenire sia a temperatura ambiente che a caldo, e l'iniezione della matrice può essere eseguita in diversi modi. Questa tecnica è comunemente utilizzata con matrici a base di polimeri termoidurenti, come alcuni poliuretani o resine epossidiche. Le fibre di rinforzo impiegate sono principalmente fibre di carbonio o aramidiche (come il Kevlar), e, sempre di più, fibre organiche, come la canapa o il lino.

Per la produzione di "lastre" di grandi dimensioni di materiali compositi, viene impiegata la tecnica della laminazione¹⁹. Questo processo prevede la creazione di un "tappeto" di fibre che viene posizionato sul fondo di uno stampo, successivamente viene versata la resina (tipicamente poliestere o vinilestere). Il tutto viene quindi passato attraverso rulli che agevolano l'adesione delle fibre alla matrice e consentono di ottenere lo spessore desiderato. L'indurimento avviene generalmente a temperatura ambiente. Nella laminazione in autoclave, l'indurimento avviene invece a una temperatura e pressione controllate. Questo metodo è ampiamente utilizzato per lavorare con fibre di carbonio o Kevlar.

È possibile, dunque, generare compositi laminati strutturali sovrapponendo strati di materiali fibrorinforzati con orientazioni diverse, aumentando così la resistenza del materiale finale e rendendola omogenea in tutte le direzioni. Dallo sguardo della produzione, un esempio di questo concetto è rappresentato dal legno compensato. Inoltre, esistono pannelli a sandwich, formati da due lamine esterne (pelli) sovrapposte a un'anima interna con struttura a nido d'ape²⁰. Questi pannelli finiti presentano una buona resistenza e ottime capacità di isolamen-

18. Crivelli Visconti, I., Caprino, G., & Langella, A. (2009). *Materiali compositi: Tecnologie, progettazione, applicazioni*. Hoepli.

19. Ibidem.

20. Frassine, R., Marano, C., & Rink Sugar, M. E. (2015). Pannelli multistrato e sandwich. In B. Del Curto, C. Marano, & M. Pedeferrì (Eds.), *Materiali per il design: Introduzione ai materiali e alle loro proprietà* (pp. 326-354). Casa Editrice Ambrosiana.

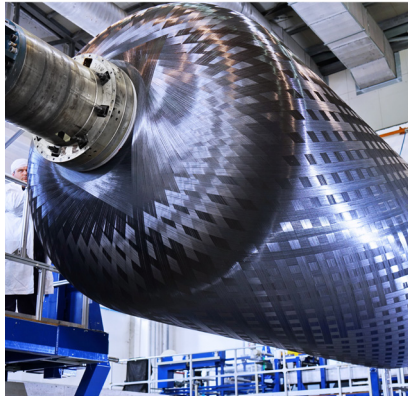


fig. 14 Serbatoio in fibra di carbonio



fig. 15 Telaio bici ottenuto per RTM

22. Doveil, F. (2021). *Legno, potremo ancora chiamarlo così?* Recuperato da: <https://www.lifegate.it/legno-architettura-design-futuro> (ultima consultazione 24 marzo, 2024).

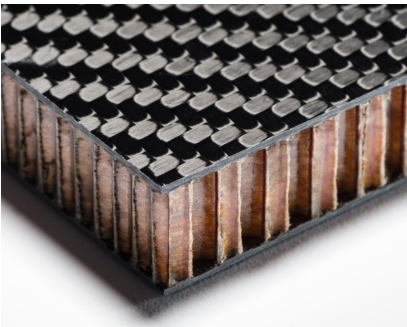


fig. 16 Pannello sandwich alveolare



fig. 17 Foglio di vetroresina



fig. 18 Cerchione ultraleggero per BDC

to termico e acustico, trovando impiego nel campo edile per coperture, pavimenti, murature e, nell'ambito aeronautico, per la realizzazione di parti di ali, fusoliere, stabilizzatori, ecc (fig. 16).

Se è vero che la riflessione sull'impiego dei materiali compositi resta tema centrale ma consolidato nell'ambito delle discipline ingegneristiche, allora è nell'alveo del design che continua, di converso, a emergere un dibattito culturale intrigante rispetto alla definizione di questi particolari materiali. Mentre l'ingegneria osserva i "compositi" solo come materiali "avanzati", il design, già nel 1986 con Ezio Manzini, li osserva vieppiù come "comportamenti", con il fine ultimo di riconoscere nei compositi una profonda integrazione tra processo produttivo e forma degli artefatti finiti. Manzini sostiene che nel mondo dei materiali, l'innovazione è spesso associata a veri e propri "comportamenti compositi", "al loro fare, sia derivanti dall'evoluzione delle plastiche o di altri materiali, sia dai nuovi sviluppi dei materiali tradizionali (fig. 17). Ragion per cui, seppur il termine "composito" può oggi avere diverse interpretazioni, quella più calzante continua a riferirsi a soluzioni – non importa se considerate "avanzate" o meno – che combinano matrici e fibre di diversi materiali per ottenere risultati eccezionali in termini di prestazioni come, ad esempio, può essere la leggerezza di un prodotto (fig. 18). Esistono, ovviamente, definizioni ancora più ampie, le quali, allargano il concetto includendo a "composito" qualsiasi materiale con disomogeneità e anisotropie nella macrostruttura, come ad esempio lo stesso legno, eppure questa definizione, seppur speculativamente corretta, rischia di essere troppo ampia e ambigua per avere un fine operativo nella progettazione²².

Il termine "composito", in questa tesi dottorale, si riferisce allora a materiali prodotti integrando componenti diversi durante il processo produttivo, ottenendo così prestazioni superiori rispetto ai materiali singoli, nell'attenzione della forma finale dell'oggetto. Questa definizione è maggiormente adatta a enfatizzare l'aspetto produttivo, e colloca i compositi come tema centrale e rilevante anche nella disciplina del design. Progettare e produrre compositi oggi comporta sfide sia a livello microstrutturale, riguardanti la compatibilità dei materiali e la sinergia tra di essi, compito dell'ingegneria, sia a livello macrostrutturale, riguardante la forma complessiva del prodotto, compito dunque dei designer. Queste sfide richiedono un approccio integrato che si avvicina più alla produzione dei ma-

teriali che al semplice assemblaggio dei componenti. È bene ribadire che siffatto approccio non riguarda solo il contesto tecnico-produttivo, ma coinvolge anche l'ambito filosofico e percettivo, come pure l'ambito culturale e sociale²³. Le rivoluzioni tecniche – come sostiene Paola Antonelli – accompagnate dalla scoperta o dall'invenzione di nuovi materiali, ingenerano infatti modifiche sociali e culturali significative²⁴.

Progettare un composito implica la selezione accurata dei materiali, nella giusta proporzione e posizione: è essenziale scegliere i materiali con le caratteristiche più adatte e disporli in una geometria appropriata all'interno della struttura macroscopica risultante (fig. 19). Nella pratica, si cerca sempre di raggiungere il miglior compromesso tra l'ottimizzazione teorica e la fattibilità produttiva.

Nel campo del design industriale, è sempre Manzini a introdurre una prospettiva innovativa che si discosta dalle tradizionali categorie ingegneristiche concentrate esclusivamente sulla composizione materica. Questo nuovo approccio ai materiali compositi, come sarà illustrato a breve, si differenzia notevolmente, ad esempio, dalla classificazione proposta per il settore aerospaziale dal già citato Mayer nel 1974, il quale suddivide i compositi in base alla loro struttura complessiva e ai rinforzi impiegati. Secondo Mayer, i compositi sono classificati in cinque diverse tipologie: "compositi laminati", costituiti da fogli accoppiati, come nel caso dell'*Explorer 9*, un satellite composto da una sfera gonfiata con azoto e strutturata tramite fogli alternati di alluminio e strati di poliestere Mylar (fig. 20); "compositi rinforzati con particolato", presenti nei materiali avanzati progettati per gli ugelli dei razzi, realizzati con resine fenoliche che incorporano rinforzi pulviscolari in grafite; "compositi rinforzati con fibre lunghe o corte", come nel caso dei serbatoi a pressione che includono filamenti di rinforzo in un guscio metallico; "compositi rinforzati con scaglie", impiegati per creare gusci di plastica variati; infine, "compositi con riempimento", utilizzati per i pannelli di schermatura termica, i quali vengono riempiti con materiali a nido d'ape, dei "core", per produrre camere d'aria interne che conferiscono isolamento termico, rigidità e spessore. Manzini, andando oltre questa classificazione convenzionale, che analizza i materiali come "dati" oggettivi, propone invece una categorizzazione basata non più sul "che cos'è" dei materiali, tipico del sapere tecnico specialistico, ma sul "a che cosa mi serve e perché mi serve"²⁶. Questo approccio, più attinente alla pratica dei de-

23. Flichy, P. (1996). *L'innovazione tecnologica. Le teorie dell'innovazione di fronte alla rivoluzione digitale*. Feltrinelli.

24. Antonelli, P. (Eds.) (1995). *Mutant materials in contemporary design*. The Museum of Modern Art.

25. Mayer, N. J. (1974). op cit.

26. Manzini, E. (1986). *La materia dell'invenzione*. Arcadia Edizioni.



fig. 19 Dettaglio "pelle" in fibra di carbonio



fig. 20 Poliestere tipo Mylar

27. Manzini, E. (1986). op cit.

28. Ibidem.

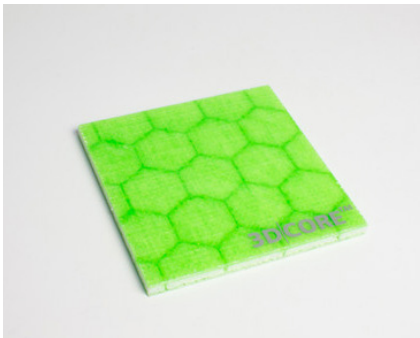


fig. 21 Pannello isolante e ultraleggero

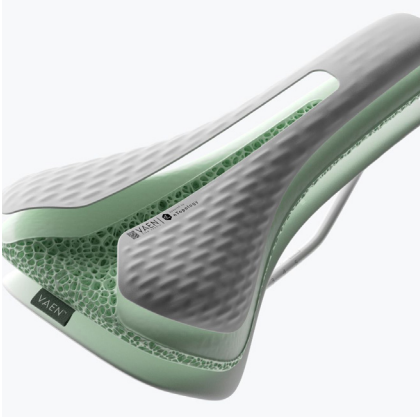


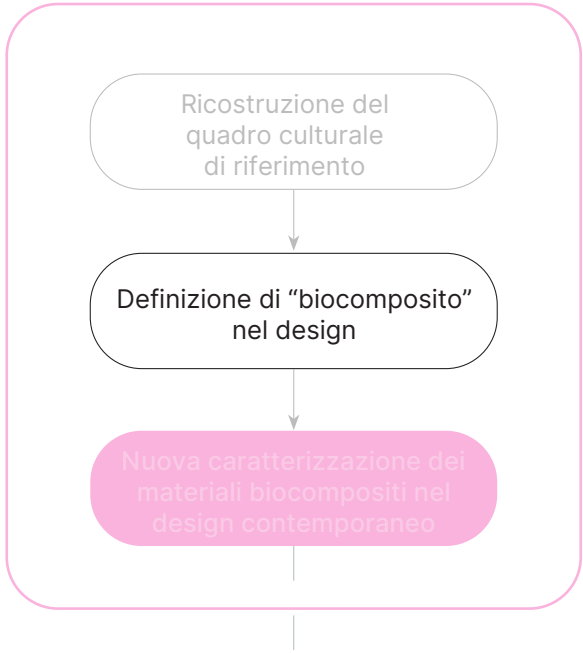
fig. 22 Sellino by VAEN



fig. 23 Elementi coestrusi

signer industriali, considera non solo le caratteristiche intrinseche dei materiali, ma anche il contesto specifico, le finalità dell'impiego di tali materiali nei progetti di design, ma soprattutto si concentra sul processo produttivo e sulle caratteristiche di forma. Partendo, dunque, da una definizione operativa del materiale come qualcosa che, in determinate condizioni, si comporta in un modo specifico – veri e propri materiali “zelig”²⁷ –, per Manzini tutti i materiali compositi, nel design, sono ascrivibili in: quelli composti da una matrice e un rinforzo fibroso, quelli a “sandwich”, quelli ad aspetto “quasi organico”, in cui si possono individuare un “osso”, una “carne” e una “pelle”, infine, i coestrusi e i sovrastampati²⁸. Nel primo caso, rientrano tutti quei materiali o oggetti che presentano una combinazione intricata e ben studiata di una matrice e un rinforzo fibroso. Quest'ultimo può essere frammentato, disposto in fili, intessuto in modo casuale per ottenere un materiale isotropo, o orientata e ordinata secondo le direzioni degli sforzi. Nella seconda configurazione, fogli sottili e robusti sono mantenuti separati tramite un materiale leggero che funge da distanziatore (fig. 21). Questa morfologia permette di ottenere componenti bidimensionali con un'elevata resistenza e leggerezza, adattabili a una vasta gamma di applicazioni, dall'edilizia alle sofisticate tecnologie spaziali. La terza configurazione produce componenti che somigliano a strutture organiche, con un chiaro distinguo tra “osso”, “carne” e “pelle”, offrendo altrettanto una vasta gamma di combinazioni tra le più disparate (fig. 22). La quarta configurazione vede il composito presentarsi in forme di film, lastre o profilati, ottenuti attraverso la stratificazione di materiali diversi mediante coestrusione (fig. 23). Infine, la quinta, riguarda la tecnica del sovrastampaggio, dove due o più materiali sono saldati insieme nello stesso stampo. Oggi, i materiali compositi, viepiù visti come “comportamenti”, che ricercano prestazioni progettate, continuano a guadagnare terreno, con un numero crescente di oggetti concepiti come risultato dell'integrazione di materiali diversi, indicando un'evidente evoluzione nell'approccio alla progettazione e alla produzione degli artefatti.

D1. Nel design, cosa sono e come si presentano, di fatto, i materiali biocompositi?



Sintesi e schema di lettura del capitolo

3.2 Il ruolo delle fibre tra proprietà e applicazioni

Analizzando la definizione di fibra, estrapolata dalla Treccani, intesa come quel “prodotto filamentoso che si presta a essere filato e poi tessuto”¹, emerge con immediatezza come la caratteristica principale delle fibre è insita nella loro sezione trasversale, che è minima rispetto alla loro lunghezza, a conferma di un loro evidente orientamento direzionale. Mentre i materiali fibrosi naturali, come ad esempio la lana, presentano questa caratteristica già come data, i materiali sintetici o tecnici, le cosiddette “tecnofibre”, richiedono un processo di lavorazione specifico per acquisire questa forma. Grazie alla loro flessibilità e all’elevata resistenza meccanica, le fibre hanno una storia di lungo corso per l’utilizzo, ovviamente, nella produzione di prodotti tessili. Le fibre vengono generalmente categorizzate come inorganiche (principalmente a base di vetro o carbonio), polimeriche (fibre plastiche), metalliche e, infine, naturali². È importante chiarire che, nel gergo scientifico, tutte le fibre di produzione artificiale (fig. 01), sviluppate dunque nel Novecento, sono comunemente denominate fibre chimiche o sintetiche. Nell’alveo del design di prodotto, l’utilizzo di fibre sintetiche, come quella di vetro o di carbonio, immersa in una matrice termoplastica o termoindurente, è ormai ampiamente consolidato. Questo perché solo esse offrono la necessaria resistenza meccanica e una durabilità generale sufficiente e adeguata alla realizzazione di artefatti di lunga durata³, dal cordame fino ad applicazioni composite come in una seduta o una fusoliera di un aeroplano, ma anche in prodotti altamente tecnici per l’ambito sportivo o medicale. Tutte le fibre sintetiche, tranne quelle di carbonio, sono ottenute da materiali compatti attraverso processi di fusione e stiratura⁴.

Per quanto concerne invece le fibre naturali, oltre all’ampia applicazione nel settore dell’abbigliamento, emerge uno spaccato, ormai anch’esso ampiamente storicizzato, circa la loro applicazione nel design di prodotto, tra artigianato, proto-industria e industria.

Come illustra Dario Scodeller nel saggio *Design tra agricoltura e industria*, è fin dall’età neolitica, che l’agricoltura e l’allevamento forniscono materie prime fibrose di origine animale e vegetale per la produzione di manufatti o artefatti⁵. Queste fibre, come lana, seta, lino e canapa, tra le tante, sono state utilizzate per filare, tessere, intrecciare o modellare (fig. 02)⁶. Nonostante ciclici momenti di declino, seguiti da fasi di popolarità, come è accaduto nel periodo autarchico⁷, l’utilizzo di questi materiali persiste in molti oggetti d’uso quotidiano. Basti

1. Istituto della Enciclopedia Italiana. (n.d.). *Fibra*. In Treccani.it.
2. Corbman, B. P. (1990). *Manuale delle fibre tessili*. Tecniche Nuove.
3. Ibidem.
4. Chung, D. D. L. (1994). *Carbon Fiber Composites*. Butterworth-Heinemann.
5. Scodeller, D. (2023). Design tra agricoltura e industria. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 24-41). Media MD.
6. Ibidem.
7. Finessi, B. (2014). *Il design italiano oltre le crisi. Autarchia, austerità, autoproduzione*. Corraini.



fig. 01 Tessuto in fibra di carbonio

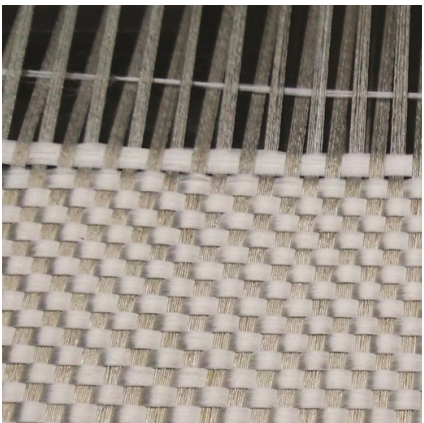


fig. 02 Tessuto in fibra di bambù

8. Tola, A. (2012). *Innovazione tecnologica, ecosostenibilità e sviluppo competitivo nel settore del sughero*. Franco Angeli.

9. Venkatesh, N., Mohan, K., & Kaup, V. (2022). A review on natural fiber composite material in automotive applications. *Engineered Science*, 18, 1-10.

10. European Commission. (2022). *Ecodesign for Sustainable Products Regulation*. Publications Office of the European Union.

11. Oxman. (n.d). *Silk Pavilion I*. Recuperato da: <https://oxman.com/projects/silk-pavilion-i> (ultima consultazione 19 ottobre 2024).



fig. 03 Crine di cavallo nell'archetto per violino

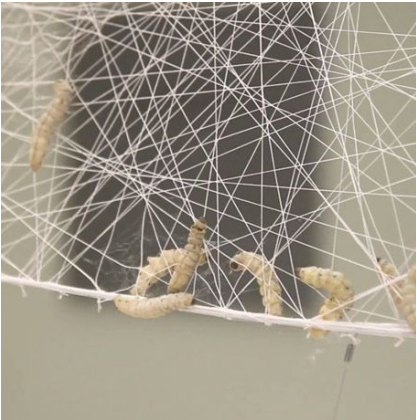


fig. 04 Dettaglio del Silk Pavilion, 2013

pensare a arredi, pennelli di setole naturali, agli imbottiti di piume, alle spugne, agli archetti dei violini in crine di cavallo (fig. 03), ai tappeti e alle stuoie in cocco, o, più in generale a tutti quegli oggetti basic di uso quotidiano ormai appartenenti alla cultura materiale di un luogo. La canapa, ad esempio, continua a trovare impiego nelle giunzioni idrauliche, in alternativa al più industriale ma meno efficace teflon, mentre è il sughero a persistere nei tappi delle bottiglie di vino, resistendo alla sostituzione da parte di materiali polimerici, a testimonianza della sua irrinunciabile versatilità⁸.

In un prosieguo tecnologico della celebre *Hemp Car* di Henry Ford del 1941, primo prototipo di carrozzeria composto da un polimero bio-derivato dalla lavorazione di soia, canapa e lino, le attuali conoscenze scientifiche, congiunte ai moderni processi industriali, consentono l'uso delle fibre naturali come rinforzo in compositi, ad esempio, nell'automotive, raggiungendo prestazioni paragonabili alle fibre sintetiche⁹. Questo è particolarmente rilevante considerando le nuove normative europee in fase di approvazione, che richiedono il rispetto di parametri specifici secondo la *Ecodesign for Sustainable Products Regulation ESPR*¹⁰. Infine, seppur in un utilizzo prettamente speculativo, ma certamente emblematico per visioni futuribili, è bene citare e ricordare il celebre *Silk Pavilion*, sperimentato dal MIT Media Lab di Boston nel 2013. Questo visionario progetto sfrutta le capacità di tessitura del baco da seta, capace di produrre fili lunghi fino a un chilometro (fig. 04). Basato sulla connessione tra fabbricazione digitale e biologia, il *Silk Pavilion* utilizza una macchina CNC per creare una struttura primaria composta da pannelli poligonali, su cui 6.500 bachi agiscono come una "stampante biologica"¹¹, generando una struttura setosa secondaria.

Nel paragrafo che segue verranno enucleate e riorganizzate le principali nozioni e informazioni di carattere tecnico-scientifico circa le più comuni fibre, tra quelle sintetiche e naturali, sovente utilizzate nel prodotto industriale, offrendo pertanto una panoramica utile all'inquadramento e allo sviluppo della presente tesi dottorale. Nella restituzione di questo compendio divulgativo, verranno tuttavia escluse le fibre metalliche, in quanto poco utili e avulse al tema di studio specifico. Nella fattispecie, si discuterà soprattutto della struttura e delle proprietà.

Struttura delle fibre

Ad eccezione delle fibre di vetro e di metallo, la maggior parte delle fibre, in particolare quelle polimeriche, presentano una struttura microscopica composta da un insieme di fasci di fibre più piccole. I diametri delle fibre sintetiche variano generalmente tra 5 e 24 micron, risultando relativamente sottili rispetto, ad esempio, ai capelli umani che hanno un diametro di 120 micron. La quantità di fibre per unità di lunghezza è espressa in Tex, dove 1 Tex corrisponde a 1 g/10 km. Al fine di agevolare la lavorazione, le singole fibre, troppo sottili per essere elaborate singolarmente, vengono aggregate subito dopo la produzione in fasci di dimensioni superiori (fig. 05). I fasci di fibre parallele sono noti come "roving", mentre i fili, invece, sono composti da fasci di fibre ritorti. Il numero di fibre per roving o filo è indicato in Kilo (equivalente a 1000 pezzi o 1 K). I roving costituiscono il materiale primario per la produzione di materiali compositi fibrorinforzati, specialmente in processi industriali automatizzati. D'altra parte, i fili sono impiegati nella produzione di tessuti tradizionali o multiassiali, sfruttando il loro intreccio per agevolare la lavorazione e migliorare la resistenza meccanica del fascio di fibre (fig. 06). La produzione e la lavorazione delle diverse fibre presentano notevoli differenze, si tenterà quindi di descrivere le fasi di processo separatamente all'interno delle prossime sezioni dedicate a ciascun tipo di fibra. In tutti questi processi, dopo la produzione, le singole fibre sono trattate con un "bagno" per creare uno strato protettivo (noto come imbozzimatura o avvivaggio), che migliora la resistenza alla pressofusione e favorisce l'adesione tra le fibre o, nel caso di materiali compositi, tra le fibre e la matrice plastica¹⁷. L'imbozzimatura tessile viene applicata alle fibre destinate a diventare prodotti tessili, mentre nel caso delle fibre destinate alla produzione di prodotti di plastica, l'imbozzimatura mira a potenziare l'adesività. La scelta del materiale per questo strato protettivo dipenderà dunque dal tipo specifico di fibra utilizzato¹².

Proprietà meccaniche

Come riportano a più riprese i copiosi manuali di tecnologia dei materiali, come, tra i tanti, *Materiali compositi: tecnologie, progettazione, applicazioni*¹³, così come l'*Atlante delle materie plastiche*¹⁴ — da cui sono prese a prestito la maggior parte delle

12. Veit, D. (2023). *Fibers: History, Production, Properties, Market*. Springer.

13. Crivelli Visconti, I., Caprino, G., & Langella, A. (2009). *Materiali compositi: Tecnologie, progettazione, applicazioni*. Hoepli.

14. Knippers, C., & Gabler, L. (2011). *Atlante delle materie plastiche*. UTET.

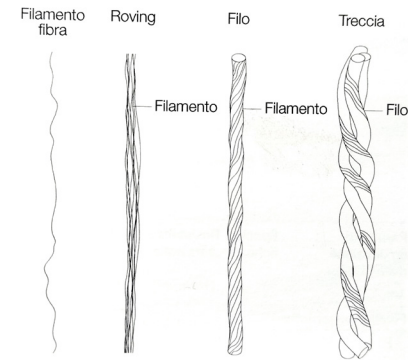


fig. 05 Dal filamento alla treccia

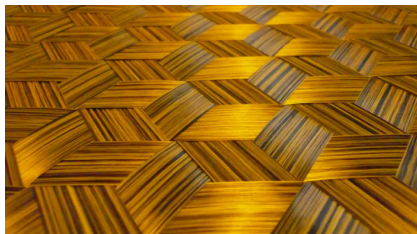


fig. 06 Tessuto triassiale in fibra di carbonio

15. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.

16. Ibidem.

17. Al-Oqla, F. M., & Sapuan, S. M. (2017). *Materials Selection for Natural Fiber Composites*. Elsevier.

18. Crivelli Visconti, I., Caprino, G., & Langella, A. (2009). op cit.

19. Zhang, S., Hao, A., Nguyen, N., Oluwalowo, A., Liu, Z., Dessureault, Y., Park, J. G., & Liang, R. (2019). Carbon nanotube/carbon composite fiber with improved strength and electrical conductivity via interface engineering. *Composites Science and Technology*, 169, 137-143.



fig. 07 Light Light, Alberto Meda, 1987

nozioni tecniche contenute in questo paragrafo — la resistenza meccanica delle fibre si presenta notevolmente superiore rispetto alla materia di origine. Durante i procedimenti di fusione e stiratura impiegati nella produzione di fibre sintetiche, la struttura interna delle fibre è orientata in direzione longitudinale, contribuendo così a migliorare la resistenza meccanica complessiva del materiale. Questo processo consente anche la compressione delle eventuali bolle d'aria presenti, riducendo potenziali effetti negativi di tali punti deboli sulla resistenza meccanica nella direzione longitudinale della fibra. È importante notare che la resistenza meccanica delle fibre sintetiche aumenta al diminuire del loro diametro. Un maggiore orientamento longitudinale delle fibre può tuttavia compromettere le proprietà meccaniche nella direzione trasversale. Le fibre sono spesso suscettibili alla compressione trasversale, una caratteristica particolarmente evidente nelle fibre di carbonio. I requisiti specifici delle fibre, come la resistenza meccanica, la bassa sensibilità alla pressoflessione o il peso ridotto, variano in base all'applicazione desiderata¹⁵. Se ci si concentra sulla resistenza a trazione, le fibre di carbonio presentano i valori più elevati tra tutti i materiali praticamente disponibili, nonostante la loro relativa sensibilità alla pressoflessione¹⁶. L'allungamento a rottura di una fibra si rivela un indicatore significativo nella scelta del materiale¹⁷. Questo parametro rappresenta la lunghezza teorica che una fibra, appesa in verticale, potrebbe raggiungere prima di spezzarsi sotto il proprio peso specifico. Mentre il legno comune presenta un allungamento a rottura di poco più di 40 km, una fibra di polietilene (fibra di PE) raggiunge addirittura i 400 km, grazie al suo basso peso specifico¹⁸. Le fibre di nanotubi di carbonio, d'altra parte, mostrano un allungamento a rottura massimo¹⁹. La valutazione della resistenza meccanica, in rapporto al peso specifico, diviene cruciale per strutture, o oggetti con comportamento "composito", che richiedono leggerezza e capacità portante simultaneamente, come nella celebre *Light Light* di Alberto Meda, progettata nel 1987 (fig. 07). La sedia è il risultato di una ricerca sperimentale incentrata sulla tecnologia dei compositi, mirata a esplorare le possibilità di impiego di tali materiali negli oggetti d'uso domestico. Realizzata con un sandwich che presenta un nucleo a nido d'ape di Nomex, una particolare poliammide, e rivestimenti in tessuto unidirezionale di carbonio o Kevlar, materiali comunemente impiegati nell'ambito aerospaziale e automobilistico per creare manufatti robusti e leggeri. Come spiega Ezio

Manzini in *Domus* n.686, la sedia offre l'opportunità di mettere alla prova le prestazioni strutturali di questi materiali anisotropi, soggetti direttamente al peso dell'utilizzatore²⁰. Il progetto si propone di minimizzare il peso complessivo per mettere in evidenza le qualità strutturali, adottando un approccio scultoreo che tira all'osso le sezioni della struttura²¹. Questa concezione sfida l'idea consolidata di solidità e stabilità, derivante da una tradizione costruttiva basata su legno, metallo e plastica, evidenziando l'esilità della struttura della sedia. Il risultato formale non è vincolato da un linguaggio predefinito, ma piuttosto dall'obiettivo di esplorare i limiti del possibile. Nel contesto di questo progetto, le considerazioni economiche sono secondarie, consentendo di affrontare le sfide costruttive e strutturali senza restrizioni finanziarie. La capacità di disporre i tessuti nello stampo in modo controllato, distribuendo il materiale in base agli sforzi previsti, richiede notevole manualità o l'impiego di robot per automatizzare il taglio e la disposizione dei tessuti negli stampi. Nonostante l'impiego di tecnologie avanzate, il processo di lavorazione rimane entro una prassi largamente artigianale, come ricorda Domitilla Dardi²².

Le proprietà delle fibre, sia sintetiche che naturali, sono strettamente legate al materiale di base e al processo produttivo utilizzato, consentendo una variazione mirata della resistenza meccanica e del "modulo E" delle stesse. Il tipo di lavorazione e lo scopo dell'applicazione permettono di dedurre quali proprietà meccaniche delle fibre saranno ottimizzate²³. Come già enucleato nel precedente paragrafo, le fibre, con l'aggiunta di matrici plastiche, vengono trasformate in materiali compositi. Per questo utilizzo, specie nella progettazione di prodotto, si preferiscono fibre con una dilatazione minima e, di conseguenza, un elevato modulo E, mentre la resistenza a trazione gioca un ruolo secondario. Le fibre che vengono ampiamente utilizzate a tal scopo includono quelle di vetro e di carbonio, con alcune applicazioni anche per le fibre aramidiche e di PE. Al contrario, altre fibre polimeriche, risultano meno interessanti a causa del loro basso "modulo E", che potrebbe portare a deformazioni eccessive in un possibile prodotto industriale²⁴. Le fibre metalliche sono escluse in applicazioni composite, così intese e definite, a causa della loro superficie liscia, che ostacola la formazione di un legame sufficiente con la matrice plastica. Nel confronto tra le fibre di vetro e di carbonio, le resistenze a trazione delle fibre pure sono più o meno analoghe, mentre il "modulo E" delle fibre di carbonio risulta nettamente

20. Manzini, E. (1987). Alberto Meda. Le sedie Light Light per Alias. *Domus*, 686, 45-52.

21. Ibidem.

22. Dardi, D. (2005). *Il design di Alberto Meda: Una concreta leggerezza*. Corraini Edizioni.

23. Meda, A. (2023). *Tensione e leggerezza*. Electa.

24. Boppana, S. B., Ramachandra, C. G., Palani, K. K., & Ramesh, S. (Eds.). (2023). *Structural composite materials: Fabrication, properties, applications and challenges*. Springer.

25. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.

26. Gay, D., Hoa, S. V., & Tsai, S. W. (2003). *Composite Materials, Design and Application*. CRC Press.

superiore a quello delle fibre di vetro (tab. 01). A causa della limitata dilatazione della plastica circostante, la resistenza meccanica della plastica fibrorinforzata con fibre di carbonio (CFRP) è superiore rispetto a quella della plastica fibrorinforzata con fibre di vetro (GFRP)²⁵.

Reinforcements	Fiber Diameter d(μm)	Density ρ(kg/m ³)	Modulus of Elasticity E(Mpa)	Shear Modulus G(Mpa)	Poisson Ratio ν	Tensile Strength σ _{ts} (Mpa)	Elongation E(%)	Coefficient of Thermal Expansion α(°C ⁻¹)	Coefficient of Thermal Conductivity λ(W/M°C)	Heat Capacity c(J/kg°C)	Useful Temperature Limit T _{max} (°C)	Price 1993 (\$/kg)
R glass, high performance	10	2500	86,000		0.2	3200	4	0.3 × 10 ⁻⁵	1	800	700	14
E glass, common applications	16	2600	74,000	30,000	0.25	2500	3.5	0.5 × 10 ⁻⁵	1	800	700	2
Kevlar 49	12	1450	130,000	12,000	0.4	2900	2.3	-0.2 × 10 ⁻⁵	0.03	1400		70
HT graphite, high strength	7	1750	230,000	50,000	0.3	3200	1.3	0.02 × 10 ⁻⁵	200 (20°C) 60 (800°C)	800	>1500	70
HM graphite, high modulus	6.5	1800	390,000	20,000	0.35	2500	0.6	0.08 × 10 ⁻⁵	200 (20°C) 60 (800°C)	800	>1500	140
Boron	100	2600	400,000			3400	0.8	0.4 × 10 ⁻⁵			500	500
Aluminum	20	3700	380,000			1400	0.4		50 (20°C) 7 (800°C)	900	>1000	
Aluminum silicate	10	2600	200,000			3000	1.5					
Silicon carbide	14	2550	200,000			2800	1.3	0.5 × 10 ⁻⁵			1300	600
Polyethylene		960	100,000			3000					150	

tab. 01

Proprietà delle fibre.
Tratto da Gay, D. et al. (2003)

Campi di applicazione nel design di prodotto

Gli ingegneri Daniel Gay, Soung V. Hoa e Stephan W. Tsai, nel volume *Composite Materials, Design and Application* curato nel 2003, elencano una serie di oggetti quotidiani e applicazioni dove le fibre, perlopiù sintetiche, trovano largo e consolidato impiego²⁶. Si riporta il loro esaustivo elenco, suddiviso per cluster applicativi negli oggetti d'uso quotidiano: a) Applicazioni elettriche ed elettroniche: isolamento per costruzioni elettriche, supporti per interruttori automatici, supporti per circuiti stampati, armature, scatole, coperture, antenne, radome, sommità di torri televisive, guide cavi, turbine eoliche; b) Applicazioni per edilizia e opere pubbliche: celle abitative, camini, stampi per calcestruzzo, coperture varie (cupole, finestre, ecc.), piscine, pannelli per facciate, profili, divisori, porte, arredi, bagni; c) Applicazioni nei trasporti su strada: componenti della carrozzeria, carrozzeria completa, ruote, scudi, griglie per radiatori, alberi di trasmissione, molle di sospensione, serbatoi per gas di petrolio liquefatto, telai, bracci di sospensione, carenature, cabine, sedili, cisterne per autostrade, camion isotermitici, rimorchi; d) Applicazioni nei trasporti ferroviari: frontali delle motrici, vagoni, porte, sedili, pannelli interni, alloggiamenti per

ventilazione; e) Applicazioni nei trasporti marittimi: hovercraft, imbarcazioni di salvataggio, motovedette, pescherecci, carrelli d'atterraggio, barche da corsa, imbarcazioni da diporto, canoe; f) Applicazioni nei trasporti aerei: aeromobili passeggeri completamente in composito, alianti in composito, componenti di aerei, radome, bordi d'attacco, alettoni, stabilizzatori verticali, pale per elicotteri, eliche, alberi di trasmissione, dischi freno per aerei; g) Applicazioni nei trasporti spaziali: razzi propulsori, serbatoi, ugelli, scudi per il rientro atmosferico; h) Applicazioni meccaniche generali: ingranaggi, cuscinetti, alloggiamenti, carter, corpo martinetto, bracci robot, volani, aste per macchine tessili, tubazioni, componenti per tavoli da disegno, bombole per gas compresso, tubi per piattaforme offshore, componenti pneumatici per strutture radiali; i) Applicazioni nel design di mobili e elementi architettonici: sedie e altri arredi, facciate, isolamenti; l) Applicazioni per sport e tempo libero: racchette da tennis e squash, canne da pesca, sci, aste per salto, vele, tavole da surf, pattini a rotelle, archi e frecce, giavellotti, caschi protettivi, telai per biciclette, mazze da golf, remi (fig. 09). Seppur non è questa la sede adatta per un'accurata ricostruzione storica sull'utilizzo dei materiali compositi nel design, si vuol comunque citare, o quantomeno individuare e riconoscere, una qualche applicazione celebre tra le grandi "firme di design" del panorama italiano e internazionale. Per quanto concerne l'uso di fibre di carbonio, ad esempio, si può affermare che le quattro grandi figure, che più di tutte hanno apportato un avanzamento nella cultura dei materiali compositi fibrorinforzati, dando così corpo a sperimentazioni innovative sulle fibre sintetiche immerse in matrici plastiche, sono certamente il già citato Alberto Meda, ma anche Denis Santachiara, Ross Lovegrove²⁷ e Luigi Colani²⁸. Al di là di importanti sedute e arredi ampiamente commercializzati, emblematici sono stati anche i loro prototipi come, nel caso di Lovegrove, la *Biomega Biolove Carbon Bicycle* (fig. 10), oppure, nel caso di Colani, la *Supercar T600*, artefatti leggeri e robusti, entrambi accomunati da forme organiche, a dimostrazione di un linguaggio stilistico che è offerto dall'"affordance" del materiale stesso.

Non solo le "tecnofibre", ma, negli ultimi anni, anche le fibre naturali pare stiano vivendo nuovamente una rinascita, certamente con la complicità dei sempre più stringenti regolamenti in materia di sostenibilità ambientale. Grazie alla loro struttura cava, il peso specifico è limitato, consentendo la realizzazione di artefatti, ricercanti una particolare presta-

27. Lovegrove, R., & Brayer, M. A. (2017). *Convergence*: Ross Lovegrove. Buro Sieveking Gmbit.

28. Colani, L. (1979). *Luigi Colani: Designing tomorrow*. Car Styling.



fig. 08 Pagaia in fibra di carbonio, 2024



fig. 09 Racchetta da tennis in fibra di carbonio, 2023



fig. 10 Biolove, Ross Lovegrove, 1999

29. Buildnews. (s.d.). A Eindhoven il primo ponte fatto di materiali bio. Recuperato da: <https://www.buildnews.it/index.php/articolo/a-eindhoven-il-primo-ponte-fatto-di-materiali-bio> (ultima consultazione 19 ottobre 2024).

30. Islam, M. Z., Sarker, E., Rahman, M. M., Syduzzaman, M., Khan, M. A., Rahman, M., & Huq, T. (2022). Green composites from natural fibers and biopolymers: A review on processing, properties, and applications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 41, 5-23.



fig. 11 Sella bicicletta da corsa in fibra di lino, Bcomp, 2023



fig. 12 Eindhoven, ponte in composito fibrorinforzato con lino e canapa, 2016

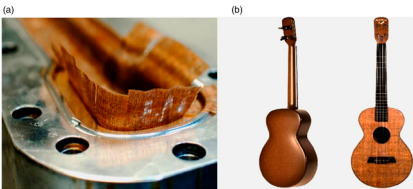


fig. 13 Produzione di una chitarra in fibra di lino in matrice termoplastica, 2016

zione, più leggeri di quelli realizzati in fibra di vetro (fig. 11). Tuttavia, il loro limite è ancora riscontrato nelle parti o in quei componenti “strutturali”, di oggetti o architetture, poiché le proprietà meccaniche delle fibre naturali sono spesso soggette a “instabilità” e modifiche, mostrando una tendenza, ad esempio, all’assorbimento dell’umidità. Eppure, anche in questa direzione, nelle strutture, continuano a emergere nuovi scenari di ricerca o di applicazione: è il caso del primo ponte con una campata di 14 metri in fibra trattate di lino e canapa, dal peso di soli 1.500 Kg²⁹. Oltre alla combinazione di lino e canapa, questa innovativa struttura è stata realizzata utilizzando una bioresina speciale ottenuta da scarti della produzione di biodiesel e bottiglie di plastica riciclate (PET). Il risultato è un materiale da costruzione iper-leggero, ma con proprietà di resistenza paragonabili all’alluminio e all’acciaio. Inoltre, il ponte è dotato di circa cento sensori integrati nella struttura, consentendo il monitoraggio in tempo reale del comportamento strutturale in diverse situazioni, come il passaggio a piedi o in bicicletta, la risposta agli eventi meteorologici e l’invecchiamento dei materiali. L’analisi dei dati dei sensori è affidata persino all’intelligenza artificiale (AI) (fig. 12). La realizzazione del ponte è frutto della collaborazione di un consorzio internazionale composto da 15 partner, coadiuvato dalla Eindhoven University of Technology, con la partecipazione di università, aziende private e i comuni dei luoghi interessati. Al contempo, sulla spinta delle ricorrenti tematiche ecologiche, si prevede che possano godere di una crescente popolarità nelle applicazioni non richiedenti una “sicurezza strutturale”³⁰. Le buone proprietà acustiche e tattili rendono le fibre naturali interessanti, oggi, ad esempio, per i rivestimenti, oppure, sempre in applicazioni “composite”, per strumenti musicali (fig. 13). Infatti, le fibre naturali possono essere utilizzate per modulare le caratteristiche di vibrazione del materiale: questo permette ai costruttori di chitarre, ad esempio, di adattare e “progettare” le proprietà acustiche del materiale in modo più preciso rispetto al legno, contribuendo a ottenere lo specifico suono desiderato; ma anche minore suscettibilità alle muffe: a differenza del legno, i compositi fibrorinforzati con fibre vegetali, una volta “curati”, possono essere più resistenti alla formazione delle muffe, contribuendo così a una maggiore durabilità nel tempo. Anche per le fibre naturali, perlopiù vegetali, è possibile individuare una loro applicazione nel design moderno o contemporaneo, spesso utilizzate e apprezzate allo stato “naturale”,

cioè senza l’applicazione di una resina che le rende, in un certo senso, “plastiche”. Dagli arredi della seconda metà dell’Ottocento, con le loro lunghe fibre di giunco, come la celebre “paglia di Vienna” di Thonet (fig. 15), alle elaborazioni di Bernard Rudofsky per le sedute in fibre autoctone brasiliane di metà Novecento. Come pure la loro adozione da parte dei designer razionalisti come Marcel Breuer e Mies Van der Rohe. In Italia, sempre a titolo prettamente esemplificativo, Giò Ponti le utilizzava nella *Leggera* e nella *Superleggera*, intrecciandole in modo simile alle sedie chiavarine, tessute, quest’ultime con fili di salice³¹.

L’impagliatura è stata impiegata anche da William Morris nel Sussex e da designer come Hans Wegner e Vico Magistretti. Quest’ultimo ha ideato negli anni Sessanta la *Carimate* per Cassina con impagliatura simile a quella delle sedute contadine³². Franco Albini e Franca Helg hanno altresì realizzato straordinari prodotti per Bonacina, ispirate alle canne, ai midollini e alle geometrie generative (fig. 16). In tempi più recenti, invece, negli stessi anni in cui veniva prodotta l’evoluzione della *Light Light* di Meda, ovvero la *Softlight*, sempre in fibra di carbonio, si può segnalare la *Documenta*, di Paolo Deganello per Vitra, seduta in vimini e metallo³³.

Le fibre “inorganiche”: vetro e carbonio

La definizione di “fibre inorganiche” comprende tutte le fibre sintetiche non basate sui composti di carbonio, inclusa la categoria delle fibre di carbonio, che è composta da carbonio puro e non da composti di carbonio³⁴. In buona sostanza, le proprietà delle fibre inorganiche si distinguono da quelle delle fibre polimeriche organiche. Le fibre inorganiche non manifestano problemi di scorrimento, mantenendo la loro dilatazione costante anche dopo una sollecitazione prolungata. Inoltre, presentano temperature di esercizio essenzialmente superiori e mostrano una maggiore rigidità rispetto alle fibre organiche. Utilizzate nel design di prodotto, le principali fibre inorganiche sono le fibre di vetro GFRP e le fibre di carbonio CFRP. Per produrre le fibre di vetro, il vetro viene fuso e poi stirato per formare fili sottili. Principalmente, le fibre cosiddette “standard” sono realizzate con vetro di tipo E, privo di alcali e sensibile agli ambienti basici. Nell’ambito dei prodotti per la nautica, la fibra di vetro, nota come vetroresina, è invece costituita da fibre di vetro alcalino-resistenti di tipo AR³⁵. In

31. Kish, B. (Eds.). (2019). *Gio Ponti*. Taschen.
32. Neri, G. (2021). *Vico Magistretti. Architetto milanese*. Electa.
33. Branzi, A. (2008). *Il design italiano 1964-2000*. Electa.
34. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.
35. Ibidem.

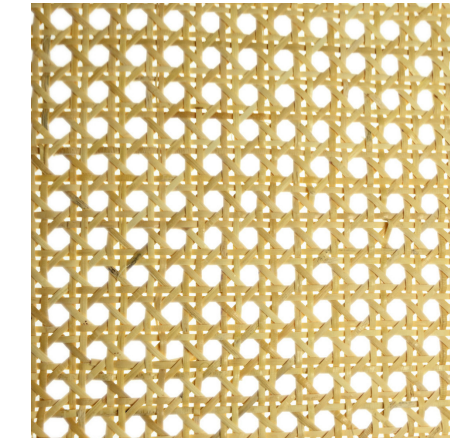


fig. 15 Paglia di Vienna



fig. 16 Poltrona Gala, Franco Albini, 1951

36. Schittich, C. (1999). *Atlante del vetro*. UTET.

37. Ibidem.

38. Ibidem.

39. Del Curto, B., Marano, C., & Pedferri, M. P. (2015). *Materiali per il design. Introduzione ai materiali e alle loro proprietà*. Hoepli.

40. Morgan, P. (2005). *Carbon fibers and their composites*. 1r.



fig. 17 Fibra di vetro di tipo E



fig. 18 Twill in fibra di vetro

applicazioni speciali, vengono utilizzati anche vetri di tipo C (corrosion), con buona resistenza chimica, o i più robusti vetri R ed S (resistance and strength), noti per la loro resistenza alle alte temperature e prestazioni meccaniche elevate. Il vetro E è composto da sabbia di quarzo e carbonato di calcio, e, a differenza del vetro float, contiene sali di boro e maggiori quantità di ossido di alluminio³⁶. Nel processo di fusione e filatura, queste materie prime sono fuse per giorni all'interno di un forno, poi depurate e fatte passare attraverso ugelli. I fili, inizialmente spessi circa 2 mm e viscosi, vengono stirati da uno svolgitore a rotazione rapida fino a 40.000 volte la lunghezza, portandoli al diametro desiderato, tra 9 e 24 micron³⁷. Per proteggere le fibre dai danni causati dagli urti, vengono sottoposte a un processo di imbozzimatura durante la produzione, o prima dell'uso per la "tessitura". La tipica struttura amorfa del vetro rende le fibre isotrope, con proprietà simili in direzione longitudinale e trasversale, e resistenza a trazione e compressione quasi identiche. Le fibre di vetro (fig. 17) si distinguono per la loro sezione uniforme e quasi rotonda, con comportamento meccanico di tipo lineare-elastico, tranne che per lo snervamento a rottura fragile³⁸.

Come tutte le fibre inorganiche, le fibre di vetro hanno bassa tendenza allo scorrimento e assorbono poca umidità, ma sono suscettibili alla corrosione in presenza di agenti atmosferici, richiedendo rivestimenti o immersione nella plastica. Tuttavia, il vantaggio delle fibre di vetro è la loro non infiammabilità. Possono resistere a sollecitazioni permanenti fino a 250 °C senza influire sulle loro proprietà meccaniche. Le fibre di vetro sono trasparenti con un caratteristico colore verdastro, visibile solo con l'aumentare dello spessore. Quando sono separate, appaiono bianco-opache a causa della riflessione della luce incidente sulla superficie (fig. 18). Se incorporate in una matrice plastica trasparente, questo riflesso superficiale può essere eliminato, rendendo il materiale composito traslucido. Le fibre di carbonio sono invece caratterizzate da un "modulo E" nettamente superiore rispetto ad altre fibre, consentendo una maggiore flessibilità nella variazione dei parametri meccanici rispetto alle fibre di vetro³⁹. Si possono dunque "progettare" diverse caratteristiche, come l'elevata resistenza a trazione del modulo standard (high tensile - HT), l'elevata rigidità del modulo elevato (high modulus - HM), o una combinazione di resistenza e rigidità media con il modulo intermedio (intermediate modulus - IM)⁴⁰. Le proprietà

delle fibre di carbonio dipendono dalla direzione trasversalmente alle fibre, la rigidità e soprattutto la resistenza meccanica sono inferiori rispetto alla direzione longitudinale delle fibre. Il coefficiente di dilatazione termica è negativo lungo le fibre e positivo trasversalmente, rendendo le fibre di carbonio suscettibili di accorciarsi durante il riscaldamento. La loro fragilità e sensibilità alla pressoflessione richiedono in ogni caso la protezione della superficie con una miscela di resine epossidiche⁴¹. Caratterizzate da buone proprietà dinamiche, basso peso specifico ed elevata resistenza alla corrosione, il carbonio, nelle sue varie forme, è nero e spesso opaco per la struttura cristallina (fig. 19). Nonostante le eccellenti proprietà meccaniche, il loro utilizzo è stato finora perlopiù limitato a settori di nicchia, come l'aeronautica e l'aerospazio, a causa dei costi elevati di produzione⁴². In edilizia, vengono utilizzate, ad esempio, per i cavi dei ponti soggetti a sollecitazioni elevate. Il processo di produzione delle fibre di carbonio può iniziare o da un materiale polimerico, generalmente il poliacrilonitrile (PAN), da cui vengono separati e rimossi tutti gli elementi tranne la massima quantità di carbonio attraverso un processo termico fino a 3.000 °C con contemporanea stiratura delle fibre, oppure dalla pece, comunque sempre all'interno di processi molto energivori⁴³.

Altri processi utilizzano invece catrame di carbon fossile o pece di petrolio, fusi per produrre fibre ad elevato orientamento assiale, seguiti da fasi di lavorazione simili a quelle delle fibre di PAN⁴⁴. La scelta della temperatura di processo determinerà in ogni caso le proprietà meccaniche desiderate, mentre è l'energia necessaria per il riscaldamento a contribuire all'alto costo delle fibre di carbonio⁴⁵.

Le più recenti innovazioni riguardano invece le cosiddette fibre di nanotubi di carbonio (CNT), le quali mostrano una resistenza a trazione notevolmente superiore a quella delle fibre di carbonio⁴⁶, ma la produzione in serie di filamenti più lunghi è ancora in fase di sviluppo, poiché finora si sono ottenuti e prodotti principalmente filamenti molto corti.

I nanotubi di carbonio, nello specifico, sono strutture cilindriche di carbonio con diametri dell'ordine dei nanometri. Noti per le loro straordinarie proprietà meccaniche, elettriche e termiche, che li rendono oggetto di intensa ricerca scientifica, sono incredibilmente forti e leggeri. Sul fronte delle proprietà elettriche, ad esempio, i nanotubi di carbonio sono eccellenti conduttori. Possono essere utilizzati in vari dispositivi elet-

41. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.

42. Gay, D. et al. (2003). op cit.

43. Chilton, J. (2002). *Atlante delle strutture reticolari*. UTET.

44. Crivelli Visconti, I., Caprino, G., & Langella, A. (2009). op cit.

45. Ibidem.

46. Hu, L., Hecht, D. S., & Grüner, G. (2010). Carbon nanotube thin films: Fabrication, properties, and applications. *Chemical Reviews*, 110(10), 5790-5844.

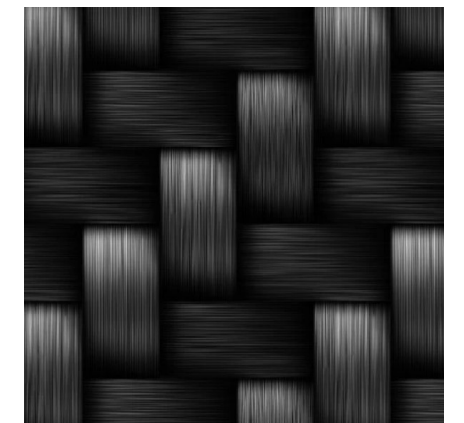


fig. 19 Twill in fibra di carbonio

47. Rutherglen, C., & Burke, P. (2009). Nanoelectromagnetics: Circuit and electromagnetic properties of carbon nanotubes. *Small*, 5(7), 796-804.

48. Corbman, B. P. (1967). *Textiles: Fiber to Fabric*. McGraw-Hill.

49. Ibidem.

tronici, come transistor e sensori, sfruttando la loro capacità di condurre l'elettricità in modo efficiente. La loro struttura tubolare consente un trasporto del carico energetico veloce e affidabile, rendendoli candidati promettenti per applicazioni nella nanoelettronica⁴⁷. Tuttavia, è importante sottolineare che, nonostante le loro promettenti proprietà, ci sono ancora sfide tecniche e costi associati alla produzione su larga scala che devono essere superati per sfruttare pienamente il loro potenziale in una vasta gamma di applicazioni industriali. La ricerca continua per affrontare tali sfide e per sviluppare nuove tecnologie che rendano i nanotubi di carbonio più accessibili e pratici per molteplici settori.

Le fibre polimeriche "organiche"

Come fa chiarezza Corbman nel popolare *Manuale delle fibre tessili*, le fibre polimeriche sono derivate dalla plastica e condividono le tipiche proprietà dei polimeri: sono dilatili, tendono allo scorrimento e perlopiù sono infiammabili. Tuttavia, il processo di produzione delle fibre consente di raggiungere proprietà meccaniche notevolmente superiori rispetto alla plastica di origine (fig. 20). Rispetto alle fibre inorganiche, le fibre polimeriche sono più leggere, generalmente più viscosse e caratterizzate da un "modulo E" inferiore. Le resistenze meccaniche sono solitamente inferiori a quelle delle altre fibre inorganiche⁴⁸. La struttura delle fibre polimeriche è fortemente anisotropa, con una maggiore resistenza meccanica e un "modulo E" superiore nella direzione longitudinale rispetto a quella trasversale⁴⁹. Spesso, queste fibre necessitano di una protezione superficiale aggiuntiva in quanto non sono resistenti agli agenti atmosferici e alla luce. Il processo comune per la produzione di fibre polimeriche è la fusione e filatura, dove la plastica fusa viene pressata attraverso orifizi e solidificata mediante raffreddamento all'aria. Nel processo di filatura a umido (wet spinning), la solidificazione avviene in un bagno liquido. Escludendo le fibre aramidiche e polietileniche, le fibre polimeriche sono di solito impiegate come materiale base per la creazione di tensostrutture, dove la flessibilità e l'elasticità del materiale sono fondamentali. Queste fibre possono essere ottenute da una vasta gamma di plastiche termoplastiche, compresi il polipropilene (PP), la poliimmide (PI) e il poliacrilonitrile (PAN). Per oggetti aventi caratteristiche di iperleggerezza, robustezza e durabilità nel tempo, tra le fibre polimeriche non infiam-

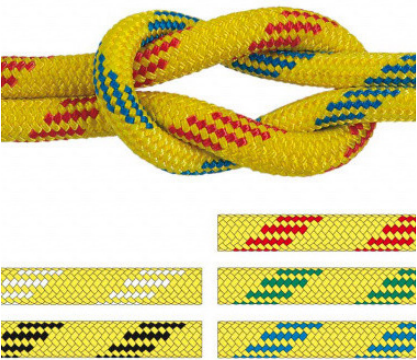


fig. 20 Corda da alpinismo in Vectran®

mabili, la più ricorrente e usata è quella aramidica. Presente in prodotti altamente tecnici, le fibre aramidiche sono ampiamente utilizzate in diverse applicazioni, come funi di trazione, plastiche rinforzate con fibre aramidiche, oppure caschi protettivi (fig. 21). Composte da poliammidi aromatici, queste fibre si distinguono per la loro estrema leggerezza. Tuttavia, come per molte fibre polimeriche, è bene evidenziare che le proprietà di resistenza meccanica sono fortemente anisotrope, con una resistenza a compressione generalmente inferiore rispetto a quella a trazione. Le fibre aramidiche sono ideali per i materiali compositi fibrorinforzati soggetti a trazione, ma meno adatte a situazioni di flessione o compressione. Presentano il vantaggio di essere leggere e resistenti agli urti, il che, come anticipato, le rende adatte per applicazioni come caschi o tute protettive (fig. 22). Inoltre, restano suscettibili all'assorbimento di umidità e hanno una resistenza limitata ai raggi UV e alle alte temperature, se non trattate. A differenza delle fibre di vetro e carbonio, i materiali compositi con fibre aramidiche sono difficili da lavorare a macchina a causa dell'usura elevata degli utensili provocata dalla natura semirigida di queste fibre⁵⁰. Talvolta, vengono combinate con fibre di carbonio per migliorare la tenacità o prevenire la diffusione di fessurazioni (fig. 23). Contrariamente ad altri polimeri, le fibre aramidiche non vengono prodotte mediante fusione e filatura, poiché il loro comportamento di fusione non è chiaro. Il poliammide aromatico viene scisso mediante acidi e trasformato in fibre, successivamente lavate e asciugate sotto trazione, risultando in un diametro di circa 12 micron⁵¹. Le fibre di polietilene (PE), invece, sono caratterizzate da un peso specifico estremamente basso, che lo rendono galleggiante sull'acqua. La loro struttura anisotropa, comune a tutte le fibre polimeriche, conferisce loro proprietà meccaniche notevoli in direzione longitudinale rispetto a quella perpendicolare. Con una dilatazione termica longitudinale negativa e una resistenza a compressione praticamente nulla, queste fibre sono ideali per applicazioni soggette a trazione, come funi. Presentano anche una notevole resistenza agli urti, ma richiedono rivestimenti speciali quando utilizzate nei materiali compositi. La produzione di fibre polietileniche ad alte prestazioni avviene attraverso un processo simile a quello delle fibre aramidiche, utilizzando solventi, per poi arrivare a filatura e stiramento.

Le fibre poliammidiche (PA), comunemente conosciute con il nome commerciale di Nylon®, si distinguono altresì per l'ele-

50. Ahmad, S., Ullah, T., & Ziauddin. (2020). Fibers for technical textiles. In S. Ahmad, A. Rasheed, & Y. Nawab (Eds.), *Fibers for technical textiles* (pp. 13-34). Springer.

51. Ibidem.



fig. 21 Cordino in kevlar



fig. 22 Divise per i Vigili del Fuoco realizzate con la fibra Nomex® dell'azienda DuPont™

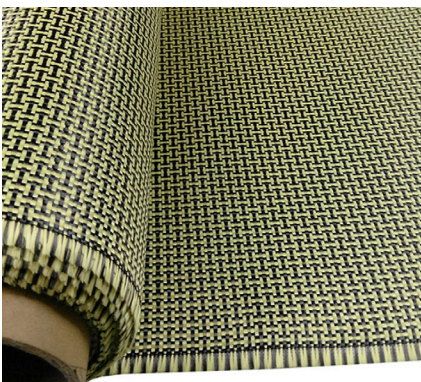


fig. 23 Twill in fibra di kevlar e carbonio

52. Thompson, R. (2012). *Il manuale per il design dei prodotti industriali*. Hoepli.

53. Ibidem.

54. Ibidem.

vata resistenza meccanica, la rigidità e la tenacità (fig. 24). La struttura cristallina e il contenuto idrico influenzano questi attributi. Utilizzate inizialmente per le tensostrutture, le fibre poliammidiche mostrano una considerevole dilatazione in presenza di umidità e retrazione in caso di forte riscaldamento. Resistono bene agli agenti chimici ma hanno una resistenza relativamente ridotta ai raggi UV. La flessibilità e la leggerezza delle fibre le rendono popolari nell'industria dell'abbigliamento, per la produzione di tende da campeggio, spinnaker, paracadute e parapendii. La produzione avviene attraverso fusione e filatura, con la possibilità di colorazione⁵².

Le fibre di polietilentereftalato (PET) svolgono un ruolo cruciale nella creazione di membrane tessili, particolarmente impiegate in applicazioni come tensostrutture. La struttura semicristallina di queste fibre sintetiche conferisce loro flessibilità e resistenza a compressione e trazione, ma presentano una limitata stabilità ai raggi UV. Pertanto, le membrane di poliestere sono comunemente rivestite con materiali come il PVC per migliorare la durabilità. La loro flessibilità e resistenza alla pressoflessione le rendono adatte per funi, cinture e fili da cucito, e trovano ampio impiego in tensostrutture come tessuti per strutture temporanee e trasformabili (fig. 25). Il processo di produzione coinvolge la fusione e filatura del polietilentereftalato, ottenendo un materiale bianco grezzo che può essere successivamente colorato con coloranti a dispersione⁵³.

Tra le fibre di PET, invece, spicca la fibra che detiene il nome commerciale di Vectran, nota per la sua elevata resistenza agli urti e il basso peso specifico. Questa fibra trova applicazioni specializzate, sovente in combinazione con le fibre di carbonio per la produzione di plastiche fibrorinforzate utilizzate in settori quali l'aeronautica, l'industria spaziale e l'ambito sportivo⁵⁴. Sono le fibre di politetrafluoroetilene (PTFE), che se confrontate con altre fibre polimeriche, a mostrare resistenze meccaniche inferiori. Tuttavia, i tessuti a base di PTFE presentano una resistenza allo strappo relativamente elevata, il che significa che è più facile arrestare lo strappo di una membrana di PTFE rispetto ad altri tipi di fibre. Quando sono sottoposte a un carico costante elevato, le fibre di PTFE tendono notevolmente allo scorrimento. Al contrario, la loro elevata flessibilità e resistenza alla pressoflessione sono considerati attributi positivi. Queste fibre sono resistenti agli agenti chimici nel tempo e classificate come difficilmente infiammabili. Grazie alla buona stabilità ai raggi UV e alla superficie autopulente,



fig. 24 Cinghia in fibra di Nylon®



fig. 25 Membrana in PET

poiché totalmente antiadesiva, i tessuti PTFE trovano impiego, ad esempio, nelle tensostrutture anche senza rivestimento. A causa della loro elevata viscosità alla fusione, non è possibile produrre le fibre di PTFE con il procedimento di fusione e filatura, per via della resistenza ai solventi risulta inadatto anche il procedimento di wet spinning. Si sono pertanto sviluppati speciali metodi di filatura a matrice e per estrusione, nei quali le fibre estruse raggiungono resistenze meccaniche superiori con un ritiro inferiore⁵⁵. Grazie alla loro versatilità, è possibile progettare forme complesse e ottimizzare la distribuzione dei materiali per adattarsi specificamente ai requisiti di ogni applicazione. Nel design industriale, ciò consente una personalizzazione avanzata dei prodotti, migliorando l'efficienza e la funzionalità dei componenti nel contesto industriale.

Le fibre di plastica, se utilizzate in modo monomaterico, possono contribuire altresì alla creazione di componenti più eco-compatibili, "ambientalmente preferibili"⁵⁶, riducendo l'impatto ambientale e promuovendo pratiche di produzione sostenibili, qualora siano esse totalmente, e perpetuamente, riciclabili (fig. 26).

Le fibre naturali

La maestosa bellezza della natura si manifesta attraverso la sua capacità di offrire materiali apparentemente semplici, ma eccezionalmente performanti già in modo "naturale".

È importante sottolineare che l'approfondimento non si focalizza nel dettaglio su chimica o biochimica delle fibre, ma mira a introdurre elementi chiave, più di carattere botanico o generale, delle fibre vegetali, per consentire ai product designer di sviluppare una comprensione critica del tema. La trattazione semplifica la descrizione delle fibre naturali all'interno di un contesto il più possibile vicino a quello dei materiali fibrorinforzati, superando in questa occasione il settore della moda e dell'abbigliamento, che, sebbene rilevanti e fortemente interconnessi, non costituiscono il focus principale di questa tesi dottorale.

Tuttavia, occorre in questa sezione quantomeno accennare all'importanza della prospettiva "micro" e quindi "chimica", ad esempio nel campo delle fibre vegetali, che si collega allo sviluppo crescente delle nanotecnologie, dove chimici, biologi ed ingegneri stanno lavorando alla disgregazione delle fibre plant-based a livelli molecolari, in particolare per la produzione

55. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.

56. Badalucco, L., & Chiapponi, M. (2009). *Energia e design. Innovazioni di prodotto per la sostenibilità energetica*. Carocci.

57. Pradhan, D., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2022). Emerging technologies for the production of nanocellulose from lignocellulosic biomass. *Carbohydrate Polymers*, 285, 119258.



fig. 26 Adidas and Parley, fibra di PET

58. Montagna, G., & Carvalho, C. (Eds.). (2020). *Textiles, identity and innovation: In touch: Proceedings of the 2nd International Textile Design Conference (D_TEX 2019), June 19-21, 2019, Lisbon, Portugal*. University of Minho.

di cristalli di cellulosa utilizzati in applicazioni industriali⁵⁷. La nanocellulosa, di fatto, è un materiale derivato dalla cellulosa, la componente principale delle pareti cellulari vegetali, avente dimensioni nanometriche, che offre proprietà eccezionali, tra cui leggerezza, resistenza e biodegradabilità. Le sue applicazioni, seppur in fase di produzioni di “nicchia”, spaziano dalla produzione di materiali compositi avanzati, cartone ecologico, rivestimenti anticorrosione, fino a dispositivi medicali e nanomedicina, evidenziando il suo potenziale trasformativo per settori diversificati.

Senza entrare troppo nel “micro”, l’obiettivo implicito della trattazione permane quindi quello di suscitare interesse e di incoraggiare a riscoprire la bellezza, la diversità e la complessità delle fibre naturali, promuovendo il loro utilizzo nei prodotti, anche mantenendoli nel loro “stato naturale” quando possibile (fig. 27). Questo approccio diventa evidente nel caso, ad esempio, della fibra proteica lana e delle sue numerose applicazioni tra abbigliamento, artefatti e edilizia. La lana, con le sue qualità uniche, non solo offre comfort e resistenza nei tessuti per l’abbigliamento, ma si estende anche a sfere artistiche e costruttive, contribuendo così a un connubio tra tradizione e innovazione⁵⁸. La sua preservazione nel suo stato naturale non solo esalta la sua bellezza intrinseca ma anche la sua sostenibilità, incoraggiando un approccio più consapevole verso le risorse naturali e il loro impiego nelle diverse sfaccettature della vita quotidiana.

Può risultare sorprendente che la fibra naturale, uno dei materiali più diffusi al mondo, non abbia una definizione armonizzata a livello internazionale.

La comprensione del concetto di “fibra” varia a seconda della disciplina coinvolta. Ad esempio, si potrebbe dibattere se un filo di legno o di farina di legno possa essere considerato una fibra naturale, o se le particelle di bambù rientrino in questa categoria. Questa mancanza di definizione chiara può generare complicazioni sia a livello commerciale che tecnico, e non è l’intento risolvere qui questa delicata questione.

È ragionevole riconoscere che non ogni parte di una pianta costituisce una fibra, né ogni materiale a base vegetale è automaticamente una fibra naturale. Ad esempio, la cellulosa rigenerata, nota come viscosa, non può essere definita come “fibra di bambù”. Nonostante sia possibile estrarre fibre da bambù, la produzione attuale è limitata. In generale, per scopi pratici, si potrebbe considerare una fibra vegetale naturale come un



fig. 27 Lana, fibra di origine animale

materiale fibroso a breve ciclo del carbonio, con un significativo rapporto lunghezza/diametro, e la possibilità di essere filato nella sua “forma” naturale.

Le fibre naturali, per via della considerevole dispersione delle proprietà meccaniche e della sensibilità all’umidità, hanno finora svolto un ruolo subordinato nel design di prodotto⁵⁹.

Le categorie principali comprendono fibre minerali (come il basalto⁶⁰ (fig. 28), oppure l’amianto, quest’ultimo ormai da tempo vietato in UE per via dei suoi comprovati effetti cancerogeni), fibre di origine animale, proteiche, (seta, lana) e fibre vegetali, a base di cellulosa (lino, canapa, altro) (fig. 29). Per quanto riguarda le fibre vegetali si possono ulteriormente suddividere in sottocategorie: Fibra da semi e frutti (ad esempio Kapok, Typha, Cocco, Asclepias syriaca, Palma da olio); Fibre liberiane (ad esempio, Lino, Canapa, Luppolo, Juta, Kenaf, Ortica, Ramie); Fibre dure o da foglie (ad esempio, Abaca, Figue, Pineapple, Banana, Sansevieria, Sisal); Fibre da fusto (ad esempio, Typha, Dattero, Asclepias syriaca, girasole); e, infine, Fibre da canne, erba e legno (ad esempio, cortecce varie, giacinto d’acqua, canne palustri, bambù, sughero). Si riporta di seguito una tabella riassuntiva (tab. 02) delle principali fibre vegetali utilizzate nell’ambito tessile e nel prodotto industriale, correttamente suddivise per tipologia di fibra.

PLANT-BASED FIBRES				
SEED & FRUIT FIBRES	BAST FIBRES	LEAF FIBRES	OTHER STRAW & STEM FIBRES	CANE, GRASS, REED, WOOD
EXAMPLES Cattail Coir Kapok Milkweed Oil Palm	EXAMPLES Flax Hemp Hop Jute Kenaf Nettle Ramie	EXAMPLES Abacá Figue Fruit Banana Henequen Pineapple Plantain & Cooking Banana Raffia Sansevieria Sisal	EXAMPLES Cattail Date Palm Milkweed Oil Palm Sunflower	EXAMPLES Barkcloth Giant Reed Switch Grass Water Hyacinth

tab. 02
Classificazione delle fibre vegetali.
Tratto da <https://fibral.org/> (2024)

Nel prodotto industriale, le più comuni e utilizzate sono certamente le fibre di canapa e di lino, ma anche l’abaca, il cocco, la iuta, il kenaf e il sisal, le quali, sebbene abbiano proprietà

59. Yıldızhan, Ş., Çalık, A., Özcanlı, M., & Serin, H. (2018). Bio-composite materials: A short review of recent trends, mechanical and chemical properties, and applications. *Composite Structures*, 202, 42-59.

60. Mancini, M. (2023). *Basalt Fiber: Material, Design, Art*. Springer.



fig. 28 Fibra di basalto. Origine minerale



fig. 29 Fibra di lino. Origine vegetale

61. Jefferson, A. J., & Dhakal, H. N. (2022). Sustainable biobased composites for advanced applications: Recent trends and future opportunities – A critical review. *Composites Part C: Open Access*, 7, 100220.

62. Hartung, D., Celevics, S., Hirsch, P., Jahn, I., Kneisel, L., Kölzig, K., Matthes, A., & Cebulla, H. (2023). Manufacturing and analysis of natural fiber-reinforced thermoplastic tapes using a novel process assembly. *Sustainability*, 15(7), 6250.

63. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.

64. Aisslinger. (n.d.). *Hemp Chair*. Recuperato da: <https://aisslinger.de/project/hemp-chair/> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

meccaniche inferiori alle fibre di vetro, mostrano maggiore resistenza alla flessione e tenacità. I compositi rinforzati con queste fibre sono meno inclini a creare schegge o spigoli taglienti durante la rottura, offrendo una maggiore sicurezza. La struttura cava delle fibre naturali contribuisce all'isolamento acustico, ma aumenta anche l'assorbimento idrico. Una gestione attenta dell'asciugatura è dunque cruciale per evitare punti deboli nel materiale⁶¹. Le fibre naturali, tuttavia, seppur durevoli nel tempo (vedi ad esempio il cordame marittimo) generalmente, se non trattate, o mantenute, non resistono bene agli agenti atmosferici e possono essere attaccate da microbi. La produzione e la lavorazione di componenti rinforzati con fibre naturali richiedono quantità minori di energia rispetto a prodotti analoghi in fibra di vetro⁶². Inoltre, le fibre vegetali risultano essere meno costose come prodotto finale. In base alla quantità di fibre naturali impiegate, i componenti rinforzati con esse possono essere smaltiti in modo neutro rispetto alle emissioni di CO². La sezione delle fibre naturali è variabile, osservata nella direzione della lunghezza della fibra, e può variare tra 20 e 500 micron, a seconda della fibra.

La superficie ruvida e increspata delle fibre consente un buon legame con la plastica circostante durante ulteriori processi di lavorazione⁶³. Non a caso, nel 2012, nasce la *Hemp Chair* (fig. 30), così denominata in riferimento al materiale predominante, la canapa comune, rappresenta un capolavoro di design concepito dal designer Werner Aisslinger.

Caratterizzata da un'unica struttura monoblocco, la sua realizzazione è resa possibile grazie a un particolare legante termoisolante, utilizzato in combinazione con un processo derivato dal settore automobilistico: l'originalità di questa innovativa sedia ha riscosso successo, al tempo, al Material Vision di Francoforte, un evento dedicato ai materiali per il design e l'architettura. Il materiale impiegato trova applicazione anche nell'industria automobilistica per la realizzazione di pannelli porta e cappelliere, apportando vantaggi ambientali grazie alla sua derivazione da risorse rinnovabili che non interferiscono neppure, in questo caso, con l'approvvigionamento alimentare. La canapa da tessile e il kenaf, due materie prime utilizzate, presentano elevate rese produttive e notevoli caratteristiche di resistenza meccanica e all'usura. La *Hemp Chair* si è distinta per leggerezza e robustezza, facilitando la gestione dello spazio quando non è in uso grazie alla possibilità di impilamento⁶⁴.



fig. 30 Hemp Chair, Werner Aisslinger per Moroso, 2012

Nella composizione utilizzata per questa applicazione, le fibre naturali costituiscono oltre il 75% del materiale, mentre il restante è composto da resina acrilica a base acqua Acrodur.

La termoformatura della seduta avviene mediante uno stampaggio a compressione, una tecnica efficiente dal punto di vista economico e in grado di garantire elevati volumi produttivi. Rispetto alle fibre sintetiche, le fibre naturali hanno una lunghezza finita e vengono trasformate in tessuto non tessuto, mat o fili che servono come base per la produzione di tessuti. Il consumo di utensili nella lavorazione a macchina è inferiore rispetto alle fibre di vetro. Tuttavia, la stabilità termica delle fibre naturali è più bassa rispetto alle fibre di vetro, con una perdita di resistenza meccanica che si verifica già a una sollecitazione termica duratura di 180 °C. Oltre i 200 °C e fino a 250 °C, le fibre naturali si disgregano⁶⁵. In caso di incendio, le fibre naturali generano un effetto stoppino, quindi è necessario aggiungere ritardanti di fiamma appropriati.

Le fibre vegetali nelle applicazioni composite

Le fibre vegetali, principalmente composte di cellulosa legata chimicamente con pectina, lignina (vero e proprio polimero naturale) e acqua, presentano una variazione percentuale nei singoli componenti a seconda del tipo di fibra. La cellulosa conferisce resistenza a trazione, mentre la lignina agisce come matrice resistente alla compressione, generando un comportamento "composito"⁶⁶. Un'elevata concentrazione di lignina determina una maggiore rigidità, ma anche una fragilità accresciuta della fibra. Le fibre liberiane, ad esempio, come canapa o lino, ottenute dalle pareti esterne degli steli delle piante, stabilizzano lo stelo vegetale e si distinguono per un'elevata resistenza meccanica e un limitato allungamento allo strappo. Rispetto alle fibre sintetiche, prodotte con processi controllabili e riproducibili, in lunghezza, in modo praticamente infinito, le fibre naturali, pur sempre limitate nella lunghezza, mostrano notevole diversità nelle proprietà. Preparate attraverso varie fasi di pulitura, laminazione, cardatura e disfacimento (che possono variare da fibra a fibra), con lunghezze definite dal processo di crescita, sono sensibili al calore, con una diminuzione delle proprietà meccaniche permanente a partire da 180 °C e disintegrazione oltre i 250 °C. La caratteristica igroscopica delle fibre naturali, ovvero l'assorbimento di vapore acqueo dall'ambiente, richiede un'asciugatura preventiva per evitare

65. Mather, R. R., & Wardman, R. H. (2023). *The Chemistry of Textile Fibres*. Royal Society of Chemistry.

66. Kapsali, V. (2021). *Biomimetics for Designers: Applying Nature's Processes & Materials in the Real World*. Thames & Hudson.

67. CELC. (2012). *Il lino Europeo. La fibra verde del futuro, creativa e innovativa*. CELC.

68. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.

69. Designboom. (n.d.). *Layered Coconut Fiber Chair by Jorrit Taekema*. Recuperato da: <https://www.designboom.com/design/jorrit-taekema-layered-coconut-fiber-chair/> (ultima consultazione 19 ottobre 2024).

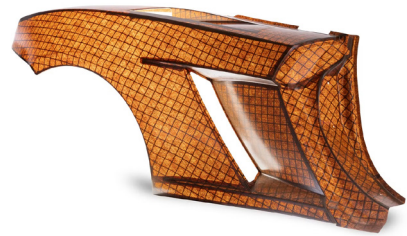


fig. 31 PowerRibs™ technology by Bcomp



fig. 32 Carrozzeria in fibra di canapa



fig. 33 Layer Chair, 2012

difetti nell'applicazioni composite. Nel settore automobilistico, il lino, ancor più della canapa, è ampiamente impiegato per i rinforzi a base di fibre naturali (fig. 31), specialmente da fibre prodotte prevalentemente nel Nord dell'Europa, come prodotto alternativo della produzione di fibre lunghe per l'industria tessile⁶⁷. L'abolizione delle restrizioni sulla coltivazione di canapa ha visto una rinascita di tali attività e prodotti, utilizzando le fibre di canapa in applicazioni tessili e nell'industria automobilistica (fig. 32), così come materiale cellulare speciale in materiali compositi fibrorinforzati e per l'isolamento dell'involucro edilizio⁶⁸. A titolo, in questa fase, ancora prettamente a carattere informativo, le principali fibre naturali esotiche includono, invece, le fibre di juta, prevalentemente provenienti da India e Bangladesh, le fibre di kenaf ricavate dagli steli di un'erba alta fino a 4 metri in Africa e Asia, e le fibre di sisal ottenute dalle foglie dell'agave coltivata in Africa e Sud America. Le fibre di cocco perlopiù provenienti dall'Asia meridionale trovano, ad esempio, impiego nei sedili delle automobili, oppure in arredi. Interessante è il caso della *Layer Chair* del designer olandese Jorrit Taekema, progetto del 2012. La scelta dei materiali nella *Layer Chair*⁶⁹ diventa un aspetto cruciale della sua speculazione. La decisione di Taekema di esplorare e incorporare tessuti in fibra di cocco, stratificandoli, e combinandoli con del lattice naturale, è certamente di ispirazione per l'ampia comunità di designer: sfida le nozioni tradizionali di produzione di mobili, incoraggiando una rivalutazione delle fibre naturali, ragionando, seppur in modo embrionale, sulle logiche di durata programmata e biodegradabilità del prodotto (fig. 33). Le fibre di abaca dalle Filippine, invece, sono impiegate sempre nell'industria automobilistica come rivestimento per la sottoscocca, soddisfacendo requisiti specifici di qualità per elementi della carrozzeria automobilistica, come resistenza ai colpi, agli agenti atmosferici e all'umidità. Per quanto concerne l'integrazione delle fibre naturali nell'elemento strutturale, ad esempio, gli elementi realizzati con plastiche rinforzate con fibre naturali sono principalmente prodotti a partire da tessuti non tessuti semilavorati (non-woven). Le fibre naturali e polimeriche di polipropilene, lunghe da 6 a 10 cm, vengono o miscelate, cardate e fissate meccanicamente, oppure accoppiate, formando "tessuti ibridi" (fig. 34). Il semilavorato viene pressato nello stampo per formare il pezzo sagomato. Questa applicazione potrebbe risultare interessante e vantaggiosa poiché elimina l'irroramento di una matrice liquida, per la "cura", o "polime-

rizzazione" dell'oggetto. Al contrario, in caso di utilizzo con un legante termoindurente o termoplastico (adeguatamente approfonditi nel paragrafo successivo), i tessuti non tessuti o i "mat" composti al 100% da fibre naturali vengono irrorati con resine e successivamente sagomati con un processo di stampaggio a compressione. Le resine, essendo liquide, non possono essere lavorate insieme al semilavorato di fibra, a meno che non vengano utilizzati pre-preg, cioè pre-impregnati di resina. Gli elementi di NFRP, ovvero Natural Fiber Reinforced Plastic Composites, sono prevalentemente prodotti con un processo di stampaggio. Altri processi di lavorazione, come lo stampaggio a iniezione o l'estrusione, consentono di ottenere geometrie ancora più complesse.

Breve compendio descrittivo delle principali colture da fibra utili per applicazioni nel prodotto industriale

Il compendio che segue è frutto di un'attenta ricerca "on desk" sulle fibre vegetali, globali, utili o potenzialmente utili, per applicazioni nel design di prodotto. Verranno descritte le principali caratteristiche delle cosiddette fibre J.A.C.K.S.⁷⁰ (juta, abaca, cocco, kenaf e sisal), coltivate in modo massivo nei paesi in via di sviluppo, e alcune fibre da coltura⁷¹, come lino, canapa, cotone, oppure fibre spontanee come bambù e harakeke, lavorate in paesi economicamente più sviluppati, come Cina, Francia, Belgio, Canada o Nuova Zelanda. Queste fibre vegetali condividono la caratteristica di poter beneficiare, oggi, dell'automazione dei processi produttivi, attualmente disponibile o comunque in continuo miglioramento. Pertanto, queste fibre vengono prodotte su vasta scala a livello internazionale, con processi produttivi pienamente operativi. A seguire, per completare in modo esaustivo questa necessaria panoramica, saranno introdotte alcune fibre, le quali, sebbene non dispongano ancora di processi produttivi ampiamente diffusi e operativi, al massimo ancora in fase prototipale, risultano comunque di grande interesse per scenari futuri.

Fibra di juta

La fibra di juta proviene dalla pianta di juta (*Corchorus*), una pianta a ciclo breve appartenente alla famiglia delle Malvaceae. La juta è ampiamente coltivata in regioni tropicali, principalmente in Bangladesh, India e Cina. Questa fibra naturale,

70. Tambyrajah, D. (2015). *Indulge & Explore Natural Fiber Composites. An invitation to product designers*. NFCdesign platform.

71. Mazzanti, V., & Mollica, F. (2023). Materiali compositi rinforzati con fibre naturali. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 110-119). Media MD.



fig. 34 Pannelli ibridi: fibra vegetale + PP

72. Sathish Kumar, T. P., Satheesh Kumar, S., & Rajesh Kumar, L. (2022). Jute fibers, their composites and applications. In S. M. Rangappa, J. Parameswaranpillai, S. Siengchin, T. Ozbakkaloglu, & H. Wang (Eds.), *Plant fibers, their composites, and applications* (pp. 253-282). Woodhead Publishing.



fig. 35 Fascio di fibre di juta



fig. 36 Tessuto in fibra di Juta in applicazione biocomposita e non

estratta dal fusto della pianta, è conosciuta per la sua resistenza e versatilità (fig. 35). A differenza di altre piante fibrose, la juta ha un processo di crescita relativamente veloce, raggiungendo la maturità in pochi mesi. Il suo ciclo di coltivazione, che dura circa 4-6 mesi, la rende una risorsa altamente sostenibile. Durante questo periodo, la pianta raggiunge altezze considerevoli, offrendo un'ampia quantità di fibre utilizzabili. La fibra di juta è ottenuta attraverso un processo di rilascio dei filamenti dai gambi della pianta. Questi filamenti vengono successivamente essiccati e tessuti per formare prodotti come sacchi, tappeti, borse, corde e materiali per l'imballaggio (fig. 36). La juta è particolarmente apprezzata per la sua resistenza alla tensione e alla trazione, rendendola ideale per applicazioni che richiedono robustezza e durabilità. Nei materiali compositi fibrorinforzati, la juta è spesso mescolata con altre fibre per ottenere tessuti ibridi con caratteristiche migliorate. Se non irrorate di resine, la sua natura biodegradabile la rende una scelta ecologica, adatta a settori che richiedono materiali sostenibili. La juta è anche utilizzata per la produzione di carta, contribuendo così a un approccio più sostenibile persino nella produzione di materiali cartacei. L'industria della juta è particolarmente sviluppata in India e Bangladesh, dove il clima favorevole e la tradizione millenaria di lavorazione della juta hanno consolidato il ruolo di questi paesi come principali produttori e esportatori mondiali di prodotti o materiali in fibra di juta. Recentemente, altri paesi tropicali stanno aumentando la loro produzione di juta, riconoscendone il valore ecologico e le molteplici applicazioni industriali⁷² (fig. 37).

Fibra di abaca

La fibra di abaca deriva dalla pianta di abaca (*Musa Textilis Nee*), originaria delle Filippine, comunemente nota anche come Canapa di Manila. È essenziale sottolineare che tale denominazione è inesatta, poiché la canapa rappresenta una fibra liberiana, mentre l'abaca appartiene alla famiglia delle fibre dure o da foglie. Questo errore di denominazione è stato perpetuato in parte dai colonizzatori delle Indie (fig. 38). La pianta di abaca presenta una somiglianza con la pianta di banana e, come molte colture tropicali, ha una storia botanica ed economica propria. Analogamente, oltre alle Filippine, è prodotta su scala commerciale anche in Ecuador. Con oltre l'80% della fornitura mondiale, le Filippine emergono però come il princi-

pale produttore globale di fibra di abaca. La raccolta dell'abaca è un processo laborioso. Ogni stelo deve essere tagliato in strisce, successivamente raschiate (solitamente a mano) per rimuovere la polpa. Le lunghe fibre bianche risultanti vengono successivamente lavate, asciugate e confezionate per il trasporto. Attualmente, sono in corso sforzi per meccanizzare il più possibile la produzione della fibra di abaca. La fibra di abaca, inoltre, è rinomata per la sua robustezza naturale (fig. 39). Viene utilizzata come materia prima per corde, manufatti artigianali e pasta di legno destinata alla produzione di prodotti cartacei speciali, come anche carta per banconote, bustine da tè, carte per sigarette, involucri per prodotti alimentari, tessuti non tessuti per applicazioni composite e altre carte da stampa sottili⁷³.

Fibra di cocco

La fibra di cocco rappresenta uno dei prodotti versatili derivati dalla palma da cocco (*Cocos Nucifera L.*), comunemente nota come l'Albero della Vita. Tipicamente, la palma da cocco ha una durata di circa 70 anni, ma può estendersi fino a 100 anni. In condizioni di crescita ottimali, ogni palma produce annualmente circa 100-160 noci di cocco. Questa palma, si configura come una fonte rinnovabile di materie prime, sia per prodotti alimentari che per quelli non alimentari. Questa caratteristica distintiva conferisce all'albero di cocco e al cocco stesso una notevole unicità. Per quanto concerne i prodotti non alimentari, vengono impiegate la resistente buccia di cocco e la fibrosa buccia esterna del cocco. Dal cocco si può ottenere sia la fibra di cocco che la torba di cocco, un eccellente substrato rinnovabile per la crescita delle piante. La fibra, solitamente, trova impiego nella realizzazione di tappeti, tappetini, geotessili, materassi, sedili per automobili, imballaggi e in una vasta gamma di spazzole, corde e filati, ma anche top da cucina e arredi vari. Le fibre possono essere estratte mediante diversi metodi, iniziando con il processo di rammollimento in acqua, tipicamente tra 21 e 90 giorni, o mediante il processo di inumidimento e ammollo in acqua, che può durare da 1 a 3 giorni. Dopo che le "bucce" si sono ammorbidite in soluzione acquosa, vengono estratte le fibre. Il processo tecnico di separazione delle fibre dalla buccia del cocco è chiamato "decorticazione". Questo processo prevede la rimozione della fibra dalla buccia esterna del frutto per ottenere la fibra di cocco utilizzata in va-

73. Delicano, J. A. (2018). A review on abaca fiber reinforced composites. *Composite Interfaces*, 25(12), 1039-1066.



fig. 37 Splashboard, in fibra di juta e resina epossidica, design by Joran Briand, 2013



fig. 38 Musa Textilis Nee in un'illustrazione dell'Ottocento



fig. 39 Asciugatura fibra di abaca

74. Verma, D., Gope, P. C., Shandilya, A., Gupta, A., & Maheshwari, M. K. (2013). Coir fibre reinforcement and application in polymer composites: A review. *Journal of Materials and Environmental Science*, 4(2), 263-276.



fig. 40 Cocos Nucifera L.



fig. 41 Pannelli Cocolok, by Enkev

rie applicazioni industriali e manifatturiere. La decorticazione può essere eseguita manualmente (fig. 40) o attraverso l'uso di macchinari specializzati, a seconda delle tecniche e delle tecnologie impiegate nell'industria del cocco. Successivamente, la fibra viene ulteriormente purificata mediante setacciatura prima di essere utilizzata nelle fasi successive del processo, come la produzione di filati o la realizzazione di tessuti non tessuti (fig. 41). Rispetto ad altre fibre naturali, le fibre di cocco presentano un'elevata percentuale di lignina. Pertanto, in applicazioni che richiedono una degradazione bio-progressiva, la fibra di cocco rappresenta la scelta ottimale. La sua struttura interna elicoidale e l'alto angolo microfibrillare compreso tra 350 e 400 conferiscono alla fibra una notevole caratteristica di allungamento, rendendola particolarmente idonea a situazioni in cui la resilienza e la resistenza agli impatti costituiscono parametri di progettazione fondamentali. La palma da cocco cresce in molte regioni del mondo. I processi industriali per la lavorazione di questa fibra sono però completamente sviluppati solo in alcuni paesi, come India e Filippine⁷⁴.

Fibra di kenaf

La fibra di kenaf è un pregiato derivato della pianta di kenaf (*Hibiscus cannabinus*), appartenente alla famiglia delle Malvaceae. Originaria delle regioni tropicali e subtropicali, questa pianta a crescita annuale cattura l'attenzione dell'industria grazie alle sue fibre lunghe e robuste, nonché alle sue proprietà ecologiche. Il processo di estrazione della fibra di kenaf inizia con la raccolta delle sue steli, ricche di fibre. Le steli vengono sottoposte a un processo di decorticazione, che comporta la rimozione della parte esterna della pianta per rivelare le fibre interne. Le fibre, una volta elaborate, sono utilizzate per la loro resistenza e versatilità. La fibra di kenaf trova applicazione in diversi settori industriali, tra cui l'industria tessile, la produzione di carta, i materiali edili e l'industria automobilistica. La sua leggerezza e resistenza la rendono un'opzione attraente per la produzione di componenti automobilistici e materiali compositi. Inoltre, la fibra di kenaf è ampiamente impiegata anche nella produzione della carta, contribuendo a un approccio più sostenibile nella fabbricazione di prodotti cartacei. La coltivazione del kenaf (fig. 42) è particolarmente sostenibile, poiché la pianta cresce rapidamente e richiede meno acqua rispetto ad altre colture fibrose. Questa caratteristica la rende una

risorsa interessante per regioni con risorse idriche limitate o condizioni climatiche difficili. L'industria della fibra di kenaf è in crescita, con diversi paesi impegnati nella sua produzione. Paesi come l'India, la Cina e alcuni paesi africani stanno sfruttando le potenzialità del kenaf per rispondere alla crescente domanda di materiali di derivazione biologica⁷⁵ (fig. 43).

Fibra di sisal

La fibra di agave, conosciuta anche come fibra di sisal, di henequen o istle, a seconda della tipologia di agave, è un pregiato prodotto derivato dalla pianta di agave, appartenente alla famiglia delle Agavaceae.

Originaria delle regioni desertiche dell'America Latina, questa pianta "succulenta" è nota per la sua versatilità e la sua capacità di adattarsi a condizioni ambientali estreme.

Oggi si trovano diffuse nelle fasce tropicali e sub-tropicali dell'Africa e dell'Asia. Le agavi prosperano nei terreni aridi, sciolti e pietrosi con un certo contenuto in humus e rifuggono quelli compatti e umidi. L'agave ha attirato l'attenzione in vari settori industriali grazie alla sua fibra resistente e alle sue caratteristiche uniche.

Il processo di estrazione della fibra di agave inizia con la raccolta delle foglie mature della pianta. Queste foglie sono poi sottoposte a un processo di stigliatura e lavorazione per ottenere le fibre lunghe e robuste che caratterizzano la fibra di agave. La fibra così ottenuta è conosciuta per la sua forza e duttilità, rendendola adatta a svariate applicazioni. Le applicazioni della fibra di agave sono diversificate e includono la produzione di tappeti, cordami, materiali da imballaggio, articoli tessili e persino prodotti per l'edilizia, ma anche per la produzione di stuoie, spazzole e spaghi. La fibra di agave è particolarmente apprezzata nell'industria tessile per la sua resistenza, durabilità e capacità di adattarsi a diverse tecniche di produzione.

La coltivazione dell'agave è spesso sostenibile, poiché la pianta prospera in terreni aridi e richiede quantità moderate di acqua. Questa caratteristica la rende una risorsa attraente per regioni con condizioni ambientali sfavorevoli per altre colture. L'industria della fibra di agave è in crescita, con diversi paesi delle Americhe che si dedicano alla sua produzione (fig. 44). Il Messico è uno dei principali produttori e esportatori di fibra di agave: con la sua lunga tradizione nell'uso dell'agave,

75. Ikhwan, Y., Ibrahim, N., Mahmud, R., & Sulaiman, S. (2020). A review on kenaf fiber hybrid composites: Mechanical properties, potentials, and challenges in engineering applications. *Journal of Natural Fibers*, 17(6), 839-852.



fig. 42 Fibra di kenaf



fig. 43 Isolkenaf: composto da fibre di kenaf, carta riciclata e fibre di PES



fig. 44 Fibra di Sisal

76. Saxena, M., Pappu, A., Haque, R., & Sharma, A. (2023). Sisal fiber based polymer composites and their applications. In M. L. Z. M. W. Kumar, M. H. Ahmed, & H. N. Mahajan (Eds.), *Cellulose fibers: Bio- and nano-polymer composites* (pp. 589-659). Springer.

77. Venturi, G., & Amaducci, M. T. (1999). *Le colture da fibra*. Edagricole.

ha saputo capitalizzare su questa risorsa, sviluppando tecniche avanzate di estrazione e lavorazione della fibra. Questo ha permesso al paese di offrire sul mercato internazionale prodotti di alta qualità, diventando un attore chiave nel panorama globale della produzione di materiali plant-based⁷⁶ (fig. 45).

Fibra di canapa

Questa fibra è derivata da una pianta erbacea, annuale, appartenente alla famiglia delle Cannabinaceae.

Le classificazioni più recenti tendono a considerare le sub-specie sativa ed indica come appartenenti alla stessa specie *Cannabis sativa*.

La canapa da fibra raggruppa numerose varietà ed ecotipi, distinti per altezza, diametro, colore e forma dello stelo, caratteristiche della foglia e del seme, epoca di fioritura, durata del ciclo, quantità e qualità della fibra contenuta.

La fibra di canapa si ricava dallo stelo, separandola dal canapulo, ovvero dalla parte legnosa centrale.

Originaria delle regioni temperate, questa pianta annuale è da sempre stata oggetto di crescente interesse nell'industria grazie alle sue fibre robuste e alle molteplici applicazioni disponibili. Il processo di estrazione delle fibre di canapa inizia con la raccolta delle piante mature. Le fibre risultanti sono caratterizzate da una resistenza eccezionale e sono note per la loro durabilità nel tempo. La fibra di canapa trova impiego in diversi settori industriali, inclusi tessuti e applicazioni di biodeilizia. Altro settore di interesse per la canapa sembra la rinnovata richiesta di destinare le produzioni a pasta di cellulosa. Da un lato infatti si ritiene opportuno utilizzare fibre naturali direttamente (per carte pregiate, nel caso della canapa), ma soprattutto in miscela con materiale riciclato (carta da macero) per migliorare le caratteristiche; dall'altro sia le istanze dei movimenti ecologisti per la salvaguardia delle risorse forestali, sia l'opportunità di ridurre l'esborso per la produzione di cellulosa, sembrano favorire coltivazioni annuali per produrre localmente quest'ultima⁷⁷.

Un rinnovato interesse sembra aprirsi inoltre per l'utilizzazione della canapa nei settori dei compositi, tessuti non tessuti e getessili, negli MDF e nei pannelli.

La fibra di canapa è particolarmente apprezzata per la sua sostenibilità, poiché la pianta cresce rapidamente e richiede meno pesticidi e acqua rispetto ad altre colture.



fig. 45 Applicazione della fibra di Sisal

La coltivazione di canapa sta rifiorendo negli ultimi anni grazie alle sue effettive caratteristiche ecologiche. Seppur con colture presenti anche in Europa e negli Stati Uniti, è la Cina a possedere l'80% della produzione mondiale di prodotti derivati dalla canapa da fibra⁷⁸ (figg. 46-47).

Fibra di lino

Il lino, fibra naturale cellulosica estratta dalla pianta *Linum usitatissimum*, viene ottenuto mediante la macerazione dei fasci fibrosi ricavati dallo stelo, quando quest'ultimo raggiunge un'altezza compresa tra i 70 e 100 centimetri. Questa fibra, anallergica e biodegradabile, emerge come un'opzione sostenibile poiché la sua coltivazione non solo non impoverisce il suolo, ma lo preserva attivamente.

Grazie alle sue proprietà antistatiche, il lino non solo non attira né trattiene la polvere, ma funge anche da eccellente alleato contro l'umidità. La capacità del lino di trattenere una percentuale d'acqua pari alla propria massa secca lo rende particolarmente adatto alla tintura, poiché assorbe liquidi in modo efficace. Oltre a ciò, la fibra del lino è isolante e termoregolatrice. Dotato di elevata resistenza all'usura, il lino, se irrorato di resine, trova ampio impiego nel campo dei compositi fibrorinforzati.

Nel settore tessile, viene frequentemente impiegato per la produzione di biancheria e maglieria. La lavorazione del lino è completamente sostenibile, poiché la pianta richiede meno acqua e pesticidi rispetto ad altre colture tessili, conferendogli un profilo eco-compatibile. Dopo la fase di macerazione, volta a decomporre i legamenti gommosi, il lino subisce un processo di stigliatura che libera le fibre dalle parti legnose, separando i cascami, ovvero i residui troppo piccoli destinati ad altri settori, come quello della carta. Assumendo la forma di matassa, il lino è pronto per la tessitura e la nobilitazione, comprendendo trattamenti quali candeggio, tintura, stampa e calandratura, specificamente per applicazioni tessili. Nel settore dei compositi, la fibra di lino viene tessuta in twill e spesso pre-impregnata di resina termoindurente o termoplastica (fig. 48). La millenaria pratica della coltivazione del lino, intrisa di storia fin dall'antichità, continua a prosperare oggi in nazioni come la Francia, il Belgio e l'Olanda, che sono ampiamente celebrati per la loro eccellenza nella produzione di lino di alta qualità. Questi paesi mantengono con dedizione le tradizioni tramandate nel

78. Wu, G., Zhang, L., Fang, Y., Zheng, N., Zhang, M., Song, X., Yuan, H., Cheng, L., & Chen, S. (2023). The status, problems and development trend of China's industrial hemp. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 15(2), 112-127.



fig. 46 La canapa sativa



fig. 47 Applicazione nel comparto cartario



fig. 48 Tessuto in fibre di lino unidirezionale

79. CELC (2012). op cit.

80. Venturi, G., & Amaducci, M. T. (1999). op cit.

corso dei secoli nella lavorazione di questa preziosa fibra naturale. Parimenti al panorama della canapa, precedentemente delineato, la Cina emerge come un gigante nella produzione di lino, detenendo la predominanza quantitativa e contribuendo in modo significativo alla tessitura della storia globale del lino⁷⁹ (figg. 49-50).

Fibra di cotone

La fibra di cotone emerge come uno dei tessuti naturali più diffusi, ottenuta dalla pianta di cotone (*Gossypium* spp.), facente parte della famiglia delle Malvaceae. Coltivato prevalentemente in climi tropicali e subtropicali, il cotone rappresenta una coltura annuale con una lunga storia di impiego nell'industria tessile, grazie alle sue fibre morbide e traspiranti. Il processo di estrazione della fibra di cotone inizia con la semina e la crescita delle piante. Una volta mature, i boccioli di cotone vengono raccolti e sottoposti al processo di sgranatura per separare i semi dalla preziosa fibra, nota come lint. Successivamente, questa fibra viene preparata per essere filata, creando così i fili di cotone utilizzati nella produzione di tessuti. Ampliamente impiegato nella realizzazione di abbigliamento, biancheria da letto, asciugamani e una vasta gamma di tessuti domestici, il cotone conquista per la sua natura traspirante, la morbidezza al tatto e la versatilità. Tuttavia, la produzione convenzionale di cotone ha sollevato legittime preoccupazioni, in particolare per il suo elevato consumo di acqua e l'utilizzo intensivo di pesticidi nelle coltivazioni su vasta scala.

Negli ultimi anni, si è assistito a una crescente attenzione nei confronti del cotone biologico e del cotone coltivato in modo sostenibile. Queste pratiche mirano a mitigare l'impatto ambientale associato alla produzione tradizionale di cotone, spesso caratterizzata da un'elevata richiesta d'acqua. Paesi quali l'India, la Cina e gli Stati Uniti svolgono un ruolo preminente nella produzione globale di cotone, contribuendo in maniera significativa all'industria tessile a livello mondiale⁸⁰.

Fibra di harakeke

L'harakeke, o lino della Nuova Zelanda, rappresenta una delle piante autoctone più ampiamente sfruttate in Nuova Zelanda (fig. 52). Le varietà selvatiche venivano coltivate e raccolte sia dai Maori che dai Pakeha per dar vita a una vasta gam-



fig. 49 Lightness Table: lino + PLA, design by David Derksen, 2015



fig. 50 Flaxcomp, casco protettivo, 2023

ma di prodotti, tra cui abbigliamento, kete (cesti), stuoie, reti da pesca e corde⁸¹ (fig. 53). Nonostante la graduale diminuzione della richiesta di articoli di harakeke a causa dell'evolversi delle economie globali e della crescente diffusione dei prodotti derivati dal petrolio, l'harakeke ha mantenuto la sua importanza per i Maori, sia a fini commerciali che culturali, registrando addirittura una crescita di tali impieghi negli ultimi decenni. Gli studiosi di botanica hanno classificato solamente due specie di harakeke (genere *Phormium*). Al contrario, i Maori hanno identificato e denominato numerosi tipi di harakeke in base alle caratteristiche delle foglie e delle fibre. Le diverse varietà di harakeke venivano selezionate e coltivate per scopi specifici, registrando circa 200 nomi differenti. In un periodo in cui l'uso dell'harakeke sembrava in calo, sono state istituite alcune collezioni private di varietà tradizionali di harakeke, per ambire a una nuova ripresa. Infatti, e ad esempio, nel 1988 è stata istituita la Collezione Nazionale del Lino della Nuova Zelanda, gran parte della quale è stata fornita da una vasta collezione privata donata alla Corona. La collezione comprende oltre 90 tipi diversi di harakeke provenienti da tutta la Nuova Zelanda. Gestita da Manaaki Whenua (Landcare Research) in due siti principali, con collezioni parziali in altri luoghi, l'harakeke della collezione viene reso disponibile a tessitori, scuole e altri gruppi coinvolti in progetti di ripristino. L'obiettivo è preservare la diversità delle piante per la tessitura, tenendo conto anche delle caratteristiche uniche delle fibre di harakeke, che conferiscono resistenza e versatilità ai prodotti realizzati con esse. La fibra di harakeke, nota anche come *Phormium tenax* o lino della Nuova Zelanda, rappresenta pertanto una pregiata risorsa tessile ottenuta da questa pianta nativa della Nuova Zelanda chiamata harakeke. Il processo di estrazione della fibra di harakeke inizia con la raccolta delle foglie mature della pianta. Attraverso un procedimento di ribattitura e sfilacciamento, le fibre lunghe e resistenti vengono separate dalla polpa. Queste fibre, rinomate per la loro forza e durabilità, vengono successivamente preparate per la tessitura. La fibra di harakeke trova diverse applicazioni, dalla realizzazione di capi d'abbigliamento a accessori e prodotti tessili di lusso. La sua robustezza e la capacità di assumere colori vivaci la rendono ideale per la produzione di tessuti distintivi e di alta moda, ma anche, di recente, per applicazioni composite fibrorinforzate (fig. 54). Va sottolineato che l'harakeke è una risorsa rinnovabile, poiché la pianta, che di base cresce spontanea-

81. Plackett, D. V., Mummery, J., & Melrose, J. (1992). Fibre-based composites in New Zealand: Past developments and future opportunities. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 21(2), 246-255.



fig. 52 Harakeke (lino della Nuova Zelanda)



fig. 53 Abbigliamento Pakeha



fig. 54 KiwiFibre, tavola da snowboard in harakeke

82. Bidois, V., Taylor, C., & Bargh, R. R. (2015). *Maori weaving: The art of creating Maori textiles*. Huia Publishers.

83. Tambyrajah, D. (2015). op cit.

amente, può essere coltivata in modo sostenibile e le foglie possono essere raccolte periodicamente senza danneggiare la pianta madre. Questo approccio rispettoso dell'ambiente si sposa perfettamente con l'interesse crescente per materiali sostenibili, contribuendo a conferire alla fibra di harakeke una risonanza sempre più globale, in sintonia con la valorizzazione delle tradizioni maori⁸².

Fibra di bambù

La fibra di bambù è nota per la sua leggerezza e capacità di assorbire l'umidità, rendendola adatta a capi di abbigliamento, biancheria da letto e asciugamani. Inoltre, la fibra di bambù è biodegradabile e con un'impronta ecologica relativamente bassa rispetto ad alcune altre fibre tessili (fig. 55).

Le applicazioni della fibra di bambù non si limitano solo all'abbigliamento, ma si estendono anche a tessuti per la casa, articoli sportivi e perfino all'industria automobilistica, dove la leggerezza e la resistenza sono apprezzate.

L'industria della fibra di bambù sta guadagnando popolarità, con diverse aziende impegnate nella produzione di tessuti sostenibili. Paesi come la Cina, l'India e alcuni paesi dell'Asia del Sud sono leader nella produzione di fibra di bambù, quest'ultima applicabile anche come rinforzo di materiali compositi⁸³.

Fibra di ginestra

La fibra di ginestra, un materiale tessile ottenuto dalla pianta di ginestra (Genista spp.), appartenente alla famiglia delle Fabaceae, si distingue per la sua robustezza e durabilità. Comune in regioni a clima temperato, la ginestra è stata storicamente utilizzata per varie applicazioni, incluso l'impiego nella produzione di fibre tessili. La pianta cresce in cespuglieti in stazioni soleggiate da 0 a 1200 m s.l.m., adattandosi a terreni poveri o sterili di varia natura, come rocce eruttive, acide, basiche, arenarie e silicee. Tale ambiente, spesso inadatto per colture agrarie, costituisce l'habitat ideale per la ginestra. Presente nel bacino del Mediterraneo e sulla costa atlantica del Marocco, Portogallo e nelle Isole Canarie, la ginestra si sviluppa nelle zone temperato-calde con inverni miti ed umidi, facendo parte delle formazioni della macchia mediterranea e associandosi spesso alla quercia nel sottobosco. L'estrazione della fibra di ginestra avviene dalle parti fibrose della pianta, concentra-



fig. 55 Fibra di bambù

te nella corteccia interna o nelle parti giovani, attraverso un processo di lavorazione meccanica o manuale. Questa fibra (fig. 56), grazie alla sua natura robusta, resiste a temperature estreme, prospera in zone litoranee e tollera il vento salmastro. Nonostante la sua resistenza, la fibra di ginestra è meno diffusa nell'industria tessile a causa della sua produzione meno convenzionale rispetto a fibre più comuni. Trova impiego nella realizzazione di oggetti artigianali, cesti e addobbi tessili, grazie alla sua resistenza naturale che la rende adatta anche per utilizzi che richiedono durabilità. Sebbene non sia ampiamente consolidato l'utilizzo nell'industria tessile contemporanea, la fibra di ginestra continua ad attirare curiosità per applicazioni future. Le sfide tecniche nell'estrazione delle fibre dalla ginestra limitano la produzione su vasta scala e la competitività nel mercato tessile⁸⁴. Per quanto concerne la sua sperimentazione nel campo dei materiali compositi fibrorinforzati, si mette in luce la più recente innovazione nel campo della produzione di fibre naturali, che ha catturato l'attenzione grazie a un brevetto depositato da un gruppo di ricercatori del Dipartimento di Chimica e Tecnologie Chimiche dell'Università della Calabria⁸⁵. Questa tecnologia rivoluzionaria per l'estrazione di fibre di ginestra promette di avere un impatto ambientale zero, aprendo nuovi scenari e opportunità non solo nella regione, ma anche oltre i confini. Il brevetto, denominato "Processo e impianto per l'estrazione di fibre cellulosiche da piante liberiane", è il risultato di anni di ricerca da parte del gruppo guidato dal professore Giuseppe Chidichimo. L'innovazione coinvolge diversi settori, spaziando dall'agricoltura al tessile fino all'industria della moda e dell'arredamento. Ciò è reso possibile attraverso l'utilizzo della ginestra, che cresce spontaneamente in grandi quantità in Calabria. Il percorso di sviluppo di questa tecnologia inizia nel 2005-2007, quando, come sostiene Chidichimo, la Comunità montana dell'Alto Tirreno cosentino, con un interesse specifico nell'applicazione di fibre vegetali nell'industria automobilistica, ha stimolato il primo progetto sulla ginestra⁸⁶ (fig. 57). In collaborazione con il Centro ricerche Fiat, il gruppo dell'Università della Calabria ha continuato a modernizzare le tecniche di sfibratura della ginestra, producendo tessuti dimostrativi. Questo è stato un passo significativo nella direzione di integrare fibre vegetali nei materiali automobilistici. Il processo di estrazione delle fibre si è evoluto nel corso degli anni. Inizialmente basato su un impianto pilota che utilizzava soda per accelerare l'estrazione, sono state introdotte successive

84. Iuliano, L. A. (Ed.). (2010). *Semplificazione e razionalizzazione del processo tradizionale di estrazione della fibra di ginestra*. Centro Sperimentale e Dimostrativo di San Pietro Lametino di Lamezia Terme.

85. Cerchiara, T., Chidichimo, G., Gallucci, M. C., & Vuono, D. (2010). Effects of extraction methods on the morphology and physico-chemical properties of Spanish broom (*Spartium junceum* L.) fibres. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 18(3), 56-63.

86. LAC News24. (n.d.). *Unical, il docente che estrae fibre dalla ginestra: "Abbiamo trovato il metodo, ora tocca alle industrie"*. Recuperato da: https://www.lacnews24.it/attualit/unical-il-docente-che-estrap-fibre-dalla-ginestra-abbiamo-trovato-il-metodo-ora-tocca-alle-industrie_147924/ (ultima consultazione 19 ottobre 2024).



fig. 56 Steli di ginestra da cui verrà ricavata la fibra



fig. 57 Pannelli per banchi in fibra di ginestra

87. COSMOB. (n.d). *Forest Comp*. Recuperato da: <https://www.cosmob.it/portfolio/forest-comp/> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

migliorie, tra cui l'utilizzo di spazzole rotanti. Il risultato è stato un prototipo più efficiente, ma ancora su scala pilota. Il più recente sviluppo, sottolineato dal nuovo brevetto, presenta un processo di macerazione che utilizza solo acqua, riprendendo un metodo tradizionale, ma con tempi notevolmente ridotti a un giorno e mezzo. Un nuovo meccanismo di estrazione delle fibre è stato implementato, rappresentando un significativo passo avanti nella tecnologia. Questa innovazione ha suscitato ulteriore interesse da parte del Centro ricerche Fiat, che ha coinvolto il gruppo di ricerca in un nuovo progetto chiamato "Forestcomp"⁸⁷. Quest'ultimo si concentra non solo sulla ginestra, ma su fibre vegetali a rapida crescita in generale, e mira a estrarre componenti utili per l'industria, con particolare attenzione alla cellulosa.

Fibra di ampelodesma

La fibra di Ampelodesma, derivante dalla pianta *Ampelodesmos mauritanicus*, emerge come una risorsa tessile unica e sostenibile. Originaria delle regioni mediterranee, questa pianta, appartenente alla famiglia delle Poaceae, si distingue per la sua resistenza e capacità di adattamento a condizioni ambientali difficili. Comunemente conosciuta come "disa", questa pianta rigogliosa cresce spontaneamente lungo le coste, dal livello del mare fino a circa mille metri di quota. Le sue foglie sottili e taglienti emettono steli alti fino a due metri in primavera, con un'infiorescenza apicale di circa cinquanta centimetri. Con il nome greco *ampelos* (vite) e *desmos* (legare), era storicamente impiegata come fibra per legare le viti nel bacino del Mediterraneo. Nonostante in passato sembrasse spontanea e forse persino intralciasse altre coltivazioni, fino agli anni '60 la "disa" rappresentava una risorsa cruciale nell'economia agricola e marina (figg. 58-59). La raccolta delle foglie avveniva principalmente in primavera, e queste venivano utilizzate per vari scopi, dalla produzione di gomene e corde di forte resistenza per la marineria. Oggi, il processo di estrazione della fibra di Ampelodesma coinvolge la raccolta delle lunghe foglie della pianta, seguita da un processo di lavorazione che separa le fibre dalla parte più lignificata. Queste fibre, robuste e flessibili, sono adatte per una varietà di applicazioni tessili. La fibra di Ampelodesma è rinomata per la sua forza e duttilità, rendendola ideale per cesti, tappeti e manufatti artigianali. La sua resistenza la rende adatta anche per applicazioni più



fig. 58 Ampelodesma



fig. 59 "A disa", utilizzo in marineria

robuste, come la produzione di corde e materiali da imballaggio. Nonostante sia meno conosciuta rispetto ad altre fibre, sta emergendo come un'opzione sostenibile e locale nell'industria tessile, attrattiva per chi cerca materiali innovativi ed ecologici, anche se l'industrializzazione non è per nulla sviluppata⁸⁸.

Fibra di canna comune

La fibra di *Arundo donax*, conosciuta come canna comune o canna di palude, emerge come una risorsa tessile di grande interesse. Questa pianta, appartenente alla famiglia delle Poaceae, prospera lungo corsi d'acqua e zone umide, dimostrando una notevole adattabilità a vari tipi di terreno. Le peculiarità distintive della fibra di *Arundo donax* comprendono la sua robustezza e flessibilità. La pianta, con altezze considerevoli e foglie lunghe, offre fibre resistenti e durature, apprezzate per la capacità di resistere a sollecitazioni meccaniche. Queste caratteristiche la rendono ideale per applicazioni tessili che richiedono forza e durabilità.

La fibra di *Arundo donax* trova impiego in diverse applicazioni, come la produzione di carta, tessuti, cesti e materiali da costruzione. La sua versatilità e sostenibilità ecologica la rendono una risorsa promettente in un contesto di crescente attenzione verso materiali naturali e sostenibili. A titolo informativo, durante il periodo autarchico, Torviscosa ha assunto un ruolo di notevole importanza, concentrandosi sulla coltivazione strategica di *Arundo donax* da parte della SNIA Viscosa. Quest'azienda, che si è stabilita nella regione del Friuli Venezia Giulia, ha eretto un ampio impianto dedicato alla produzione di cellulosa per fibre tessili, apportando così un contributo significativo alla configurazione storica e allo sviluppo della località⁸⁹. Questa pianta versatile è stata impiegata con successo, contribuendo attivamente alla sostenibilità ambientale e alla produzione di materiali tessili, biomasse e biocombustibili, evidenziando il suo impatto significativo in epoca autarchica (fig. 60).

Recentemente, la coltivazione di *Arundo Donax* (fig. 61) sta ritornando a essere considerata un investimento strategico nelle aziende agricole. Le prospettive derivanti dal suo utilizzo nella produzione di biomasse, specialmente per biocombustibili di seconda generazione, ne fanno una coltura di grande rilevanza. Originaria del bacino del Mediterraneo, questa pianta si distingue per la sua robustezza e la capacità di crescere

88. Venturi, G., Amaducci, M.T. (1999). op cit.

89. Di Resta, S., Favaretto, G., & Pretelli, M. (2021). *Materiali autarchici: Conservare l'innovazione*. Il Poligrafo.

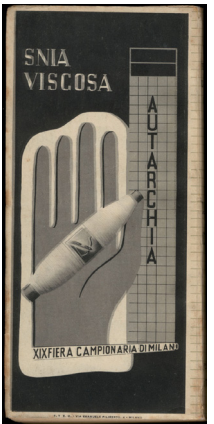


fig. 60 SNIA Viscosa, Manifesto anni Trenta



fig. 61 Arundo Donax

⁹⁰. Venturi, G., Amaducci, M.T. (1999).
op cit.

⁹¹. Ibidem.

rapidamente anche in terreni di scarsa fertilità, offrendo soluzioni virtuose dal punto di vista ambientale attraverso la fissazione di CO² e la fitodepurazione. La sua introduzione nei territori sembra rispondere alle esigenze di sostenibilità e resilienza economica, offrendo una soluzione colturale competitiva e versatile, destinata a un ampio utilizzo industriale, anche per applicazioni composite fibrorinforzate⁹⁰.

Fibra di cannuccia

La fibra di cannuccia è ottenuta dalla parte fibrosa delle canne di varie piante, spesso provenienti da specie di graminacee (Phragmites) (fig. 62). Il processo di estrazione della fibra di cannuccia inizia con la raccolta delle canne mature. Le parti fibrose vengono separate dal resto della canna attraverso un processo di lavorazione, che può coinvolgere la lavorazione manuale o l'uso di macchinari. La fibra di cannuccia è nota per la sua leggerezza e duttilità. La sua natura flessibile la rende ideale anche per la creazione di intrecci e decorazioni tessili. Oltre all'uso tradizionale, la fibra di cannuccia è stata integrata in progetti moderni di design sostenibile. I culmi di questa pianta sono stati, e sono ancora oggi, utilizzati in numerose parti del mondo per diversi scopi tra i quali copertura di tetti, soffitti, recinti, legna da ardere, canne da pesca, imboccatura di strumenti musicali a fiato, produzione di cellulosa per ottenere carta ed altri derivati.

Nel delta danubiano, già dal 1958 iniziò un sistematico sfruttamento dei culmi del Phragmites e divenne attiva l'industria per la produzione di pasta di cellulosa. Industrie simili sono fiorite anche in Russia. Utili anche ad applicazioni di fitodepurazione, se ne registra l'utilizzo anche negli Stati Uniti, in Germania e in Danimarca⁹¹.

Fibra di cardo

La fibra di cardo, estratta dal cardo, una pianta erbacea perenne a ciclo annuale appartenente alla famiglia delle Compositae (Asteraceae), rappresenta una risorsa versatile e sostenibile. Originaria dell'area del Mediterraneo, questa pianta presenta un apparato radicale fittonante da cui annualmente si sviluppano in primavera robusti culmi eretti, che possono raggiungere altezze anche di 3 metri.

Nel passato, il cardo è stato principalmente utilizzato come



fig. 62 Phragmites

pianta da orto, ma le sue peculiarità lo rendono altresì interessante per scopi non alimentari. Gli scapi fiorali, ad esempio, costituiscono una preziosa fonte di fibra ligno-cellulosica, adatta sia per la produzione di energia che per l'industria cartaria. La fibra di cardo offre proprietà interessanti che la rendono competitiva in svariati settori.

Da sottolineare anche la presenza di semi contenenti olio (con una percentuale compresa tra il 19% e il 23%), il che suggerisce un potenziale utilizzo per fini industriali. Questa caratteristica offre opportunità di sfruttare il cardo in modo più completo, non solo per le sue fibre, ma anche per i suoi componenti oleosi.

L'utilizzo della fibra di cardo nei settori energetici e cartari (fig. 63), insieme alla possibilità di impiegare l'olio derivato dai semi per usi industriali, evidenzia l'ampio spettro di applicazioni di questa pianta. La sua coltivazione potrebbe quindi contribuire non solo alla produzione di materiali sostenibili, ma anche a fornire risorse per settori industriali in cerca di alternative⁹².

Fibra di miscanto

La fibra di miscanto, derivante da una graminacea perenne, cespitosa e rizomatosa, caratterizzata da numerosi culmi sottili, compatti ed eretti, che possono raggiungere altezze fino a 2 metri, rappresenta una risorsa versatile e sostenibile (fig. 64). Questa pianta mostra un'inizio di attività vegetativa solitamente a partire da aprile, con un arresto tipicamente in autunno, che coincide con la perdita delle foglie in condizioni climatiche rigide. Inizialmente diffuso in tutto il mondo come pianta ornamentale, il miscanto si è recentemente affermato nelle regioni del Nord Europa come fonte promettente di energia rinnovabile e fibra, soprattutto per utilizzi nel settore cartario. La sua natura perenne, la resistenza e l'adattabilità alle diverse condizioni climatiche hanno contribuito al suo successo come risorsa sostenibile. La coltivazione di miscanto non solo fornisce una fonte rinnovabile di fibra, ma anche un'opzione per la produzione di energia verde.

L'utilizzo di questa pianta nei settori cartari testimonia le sue caratteristiche fibrose di qualità, che la rendono adatta per applicazioni industriali. L'impiego del miscanto come risorsa rinnovabile sottolinea la sua importanza nella transizione verso pratiche più sostenibili e nella diversificazione delle fonti di materie prime per l'industria⁹³.

⁹². Finaurini, M. (2022). *La grammatica dei tessuti*. Gribaudo.

⁹³. Venturi, G., Amaducci, M.T. (1999).
op cit.



fig. 63 Carta in fibra di cardo



fig. 64 Raccolta del miscanto

94. Venturi, G., Amaducci, M.T. (1999).
op cit.

Fibra di ramié

La fibra di ramié, nota anche come “seta vegetale” o “china-grass”, è una fibra pregiata che si estrae dai fusti della *Boehmeria nivea* e della *Boehmeria tenacissima*, arbusti perenni appartenenti alla famiglia delle *Urticaceae*. La sua coltivazione è diffusa in diverse regioni del mondo, tra cui Cina, India, Giappone, Isole di Sonda e Nord America. La Cina è storicamente il principale produttore di questa fibra, seguita da altri paesi come Giappone, Corea, Taiwan, Germania, Francia, Italia, Stati Uniti e Gran Bretagna.

La pianta di ramié presenta steli semplici, non ramificati, con un ampio midollo spugnoso di colore bianco. I fusti, che possono raggiungere i 2-3 metri di altezza, costituiscono la materia prima per l'estrazione della fibra. La lavorazione del ramié inizia con la decorticazione, seguita da lavaggio, essiccazione e degommazione mediante trattamenti chimici. Dopo vari bagni e risciacqui, le fibre vengono oleate e sottoposte ad essiccazione. Niente della pianta va sprecato: la parte interna produce cellulosa per carta pregiata, mentre le porzioni terminali fresche dei fusti e le foglie trovano impiego come alimento zootecnico.

Il ramié è caratterizzato da una resistenza e tenacia medie, posizionandosi tra la juta e la canapa. Rispetto al lino, presenta una minor propensione a stropicciarsi e una maggiore tenuta alle pieghe. Questa fibra mostra una buona resistenza alla torsione e non tende a restringersi (fig. 65). La sua versatilità è evidente nell'utilizzo per la creazione di tessuti, reti da pesca e vele per imbarcazioni. La capacità di assorbire il colore la rende adatta alle tinture naturali, e la sua resistenza a funghi, batteri e umidità contribuisce alla sua durabilità. La produzione di ramié è considerata più sostenibile rispetto a quella del cotone, aggiungendo un valore ecologico all'utilizzo di questa fibra nei vari settori. Nei materiali biocompositi fibrorinforzati, secondo recenti studi, il ramié potrebbe offrire una solida base naturale, contribuendo a migliorare le prestazioni meccaniche e la sostenibilità complessiva dei prodotti⁹⁴.

Fibra di ortica

La fibra di ortica si ricava dalla omonima pianta, appartenente alla famiglia delle *Urticaceae*, ha una storia millenaria come pianta medicinale e alimentare per uomini e animali. Ancora



fig. 65 Fibra di ramié

oggi, l'ortica riveste un ruolo significativo nel campo dei tessuti, grazie alla produzione di filati di qualità e alle sue proprietà tintorie. Fresca o essiccata, l'ortica è una fonte eccellente di coloranti per lana, cotone e seta.

Il fusto dell'ortica presenta peli di diverse lunghezze, rigidi e contenenti un liquido caustico che può causare arrossamento e bruciore cutaneo al contatto. Le foglie, lunghe circa 5-10 cm, hanno un picciolo ben distinto con la base a forma di cuore. Le fibre dell'ortica sono molto simili a quelle del lino e della canapa e, prima dell'avvento del cotone, sono state ampiamente utilizzate per la produzione di tessuti (fig. 66). Nonostante la qualità delle fibre sia elevata, il processo di lavorazione è considerato costoso.

La lavorazione delle fibre di ortica implica diverse fasi. Inizialmente, gli steli vengono macerati con tre diverse tecniche. Prima, vengono lasciati in acqua a temperatura ambiente per una settimana, al fine di distruggere le sostanze pectiche che tengono legate le fibre. Successivamente, sono posti a macerare all'aria e poggiati sulla terra per alcuni mesi, fino a quando la cuticola del fusto inizia a degradarsi. Segue una fase di bollitura degli steli in un recipiente contenente acqua e carbonato di sodio. Dopo la decorticazione, gli steli vengono bolliti nuovamente con idrossido di sodio e infine sciacquati sotto acqua corrente a forte pressione.

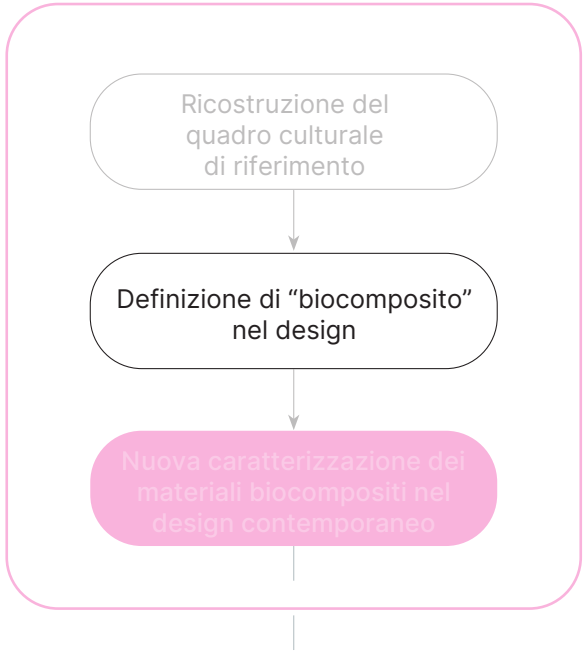
Il processo continua con la stigliatura, durante la quale le fibre vengono separate dalle parti legnose. Le fibre vengono successivamente cardate, ripulite dalle impurità, sfibracciate e svolte. Si procede quindi alla selezione delle fibre più lunghe, scartando quelle troppo corte. L'intero processo si conclude con la torcitura, un passaggio essenziale per torcere il filo e renderlo forte e pronto per la tessitura. La complessità di queste fasi, seppur costose, contribuisce alla reputazione delle fibre di ortica come materiale di alta qualità⁹⁵.

95. Viotti, C., Albrecht, K., Amaducci, S., Bardos, P., Bertheau, C., Blaudez, D., Bothe, L., Cazaux, D., Ferrarini, A., Govilas, J., Gusovius, H.-J., Jeannin, T., Lühr, C., Müssig, J., Pilla, M., Placet, V., Puschenreiter, M., Tognacchini, A., Yung, L., & Chalot, M. (2022). Nettle, a long-known fiber plant with new perspectives. *Materials*, 15(12), 4288.



fig. 66 Fibra di ortica

D1. Nel design, cosa sono e come si presentano, di fatto, i materiali biocompositi?



Sintesi e schema di lettura del capitolo

3.3 Il ruolo delle matrici tra proprietà e applicazioni

Nei materiali compositi è la matrice a svolgere un ruolo fondamentale, poiché essa è il componente che lega e tiene insieme le fibre o i rinforzi, conferendo, con ciò, al materiale, le proprietà desiderate (fig. 01). La matrice continua ad essere oggetto di ricerca e sviluppo, poiché le proprie caratteristiche influenzano significativamente le prestazioni del composito nel suo complesso¹. Come primo peculiare aspetto, la matrice fornisce supporto alle fibre, distribuendo uniformemente i carichi attraverso il materiale, plastico, in caso dei compositi fibrorinforzati. Questo contribuisce altresì a prevenire la rottura delle fibre e a mantenere l'integrità strutturale del composito sotto carichi variabili. La scelta della matrice gioca, pertanto, un ruolo cruciale nel determinare la resistenza, la rigidità e la duttilità complessive del materiale composito. Ulteriore funzione importante della matrice è quella di proteggere le fibre dagli agenti esterni come l'umidità, i solventi e le sollecitazioni atmosferiche. Una matrice efficace deve essere in grado di fornire una barriera protettiva contro questi elementi, mantenendo le fibre in condizioni ottimali e preservando le proprietà meccaniche del composito nel tempo. La compatibilità tra matrice e rinforzi è essenziale per garantire una buona adesione e trasferimento di carico tra i due componenti. Una matrice incompatibile può compromettere le prestazioni del composito, causando distacchi o delaminazioni che riducono la resistenza e la durata del materiale. Le proprietà termiche della matrice influenzano la resistenza del composito alle variazioni di temperatura. Una matrice con una buona stabilità termica può proteggere le fibre dall'indebolimento causato dal calore, consentendo al composito di mantenere le sue prestazioni anche in condizioni estreme.

La capacità della matrice di essere lavorata e modellata, invece, influisce sulla facilità di fabbricazione dei componenti compositi. Una matrice che può essere facilmente plasmata e indurita consente la produzione di forme complesse e di componenti su misura, ampliando le possibilità di utilizzo dei materiali compositi in una vasta gamma di settori industriali, come individuati nel precedente paragrafo. Inoltre, la matrice può essere progettata anche per conferire ai materiali compositi particolari proprietà come la conducibilità elettrica o termica, la resistenza al fuoco o la capacità di auto-riparazione, applicazioni, queste, cruciali in applicazioni specifiche dove sono richieste le suddette particolari prestazioni². Indubbiamente, e di converso, una scelta accurata della matrice è quindi essen-

1. Liew, K. B., Goh, C. F., Asghar, S., & Syed, H. K. (2021). Overview of mechanical and physicochemical properties of polymer matrix composites. In D. Brabazon (Ed.), *Encyclopedia of materials: Composites* (pp. 565-576). Elsevier.
2. Mobaraki, M., Ghaffari, M., & Mozafari, M. (2020). Self-healing polymers for composite structural applications. In A. Khan, M. Jawaid, S. N. Raveendran, & A. M. A. Asiri (Eds.), *Self-healing composite materials* (pp. 33-51). Woodhead Publishing.

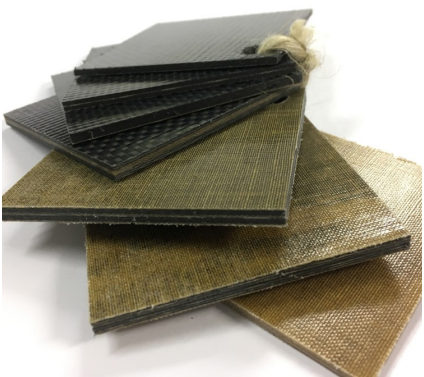


fig. 01 Campioni di materiali compositi fibrorinforzati con matrice termoplastica

3. Florea, R. M., & Carcea, I. (2012). Polymer matrix composites – Routes and properties. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 4(1), 59-68.

4. Ibidem.

5. Ibidem.

6. Knippers, C., & Gabler, L. (2011). *Atlante delle materie plastiche*. UTET.



fig. 02 Plastics, Anna Shvets, 2023

ziale per ottenere compositi con le proprietà desiderate per soddisfare le esigenze delle diverse applicazioni industriali e tecnologiche. La classificazione delle matrici dei materiali compositi si basa sulla loro composizione chimica predominante³. Questa distinzione avviene, generalmente, tra matrici a base polimerica, matrici a base ceramica e matrici a base metallica⁴. In questo paragrafo saranno discusse esclusivamente le matrici a base polimerica, in quanto le più pertinenti alla tematica di ricerca dottorale, nonché le più diffuse. Come per tutti i materiali plastici anche ai polimeri fibrorinforzati vengono miscelati additivi e cariche per controllarne le caratteristiche (fig. 02). Così, se predominano, ad esempio, requisiti antincendio si aggiungono ritardanti di fiamma, o nel caso di semilavorati pultrusi, cariche minerali per ridurre il ritiro⁵.

Le matrici polimeriche, dunque, sono caratterizzate dalla presenza di macromolecole, in cui una serie di gruppi molecolari, noti come "unità ripetitive", sono disposti lungo strutture filiformi flessibili. Nel contesto dei materiali compositi, le matrici sono generalmente composte da polimeri sintetici, comunemente denominati "resine sintetiche" o semplicemente "resine", ad eccezione in quei casi, sempre meno rari, in cui possono essere di origine naturale. I polimeri costituenti le matrici possono essere classificati come termoplastici o termoindurenti⁶. I primi, i termoplastici, presentano catene molecolari altamente flessibili che possono essere fuse e rimodellate ripetutamente tramite il riscaldamento, permettendo processi di lavorazione relativamente semplici e garantendo il riciclo. In questi casi, le interazioni tra le singole catene polimeriche sono deboli, come quelle di Van der Waals, dipolo-dipolo o legami idrogeno, consentendo la fusione del materiale tramite il calore. I secondi, i polimeri termoindurenti, subiscono una reazione chimica irreversibile durante la loro trasformazione in materiale solido, conferendo una maggiore resistenza alla temperatura e all'usura. I polimeri termoindurenti, sono caratterizzati da catene con legami covalenti estremamente stabili, organizzati in reticoli tridimensionali di legami chimici forti. Questa struttura conferisce a tali materiali una notevole resistenza durante la transizione viscosa indotta dal riscaldamento, ma non la possibilità di riciclo, irrigidendo progressivamente la loro struttura verso uno stato solido vetroso. Tuttavia, a temperature estremamente elevate, possono subire degradazione chimica attraverso fenomeni termo-ossidativi. Le resine termoplastiche appartenenti al gruppo dei poliesteri sono le matrici più comu-

nemente utilizzate per compositi avanzati⁷. Si stima che circa l'80% del mercato europeo dei materiali compositi avanzati impieghi resine di questa famiglia come matrici, in combinazione con fibre di vetro, o di carbonio, per la produzione, tra l'altro, di derivati per imbarcazioni, serbatoi e coperture industriali⁸. Le resine vinilestere, simili alle resine poliestere ma con una disposizione diversa dei gruppi esteri, presentano reticoli con maglie più flessibili, favorendo l'assorbimento degli urti attraverso deformazioni plastiche⁹. Le resine epossidiche, invece, offrono prestazioni superiori, con elevate proprietà meccaniche, resistenza agli agenti atmosferici e adesione eccezionale alle fibre di rinforzo¹⁰. Sono particolarmente adatte per strutture aeronautiche e attrezzature sportive integrate in sistemi di materiali compositi ad alte prestazioni (fig. 03). Le resine fenoliche, tra le più diffuse, vengono utilizzate in applicazioni speciali, e sono caratterizzate da elevata resistenza al fuoco e alle temperature elevate, oltre che dalle eccellenti proprietà termoisolanti¹¹. Le matrici polimeriche non reticolate, infine, costituiscono una categoria a parte, con una crescente presenza nei materiali compositi a fibre continue, specialmente nell'ambito automobilistico. Questi materiali includono tecnopolimeri e termoplastici ad alta temperatura, progettati per creare strutture più leggere e produrre a costi relativamente bassi¹². In ogni caso, la matrice di materiale plastico va a costituire la superficie del materiale composito, definendone anche aspetti come trasparenza, colore o qualità tattili.

Per quanto concerne le matrici bioplastiche, esse vengono prodotte invece su base prevalentemente vegetale, non consumando, in effetti, risorse petrolifere esauribili. Le bioplastiche, utilizzate come matrici, sono spesso consequenzialmente rinforzate anche con fibre naturali, consolidano così un'ulteriore classe di materiali compositi, di "seconda generazione", idonee a mirare a un design sempre più ambientalmente preferibile¹³.

La terminologia "bioplastica" può essere ambigua, includendo sia plastiche biodegradabili, cui rispettano gli standard di compostaggio, come definito dalla norma EN 13432¹⁴, sia altre tipologie di plastiche. È importante comprendere che la biodegradabilità di una plastica dipende dalla sua struttura chimica più che dalla fonte delle materie prime impiegate, che possono essere sia di origine fossile, come il petrolio, sia di origine rinnovabile. Alcune plastiche derivanti da fonti petrolifere possono essere compostabili, mentre le bioplastiche, solitamente,

7. Brabazon, D. (2021). Introduction: Polymer matrix composite materials. In *Encyclopedia of materials: Composites* (pp. 563-564). Elsevier.

9. Devaraju, S., & Alagar, M. (2021). Polymer matrix composite materials for aerospace applications. In D. Brabazon (Ed.), *Encyclopedia of materials: Composites* (pp. 947-969). Elsevier.

10. Brabazon, D. (2021). op. cit.

11. Sangeeta, D., & Shubhajit, D. (2021). Properties of polymer, metal, and ceramic based composite materials. In D. Brabazon (Ed.), *Encyclopedia of materials: Composites* (pp. 785-806). Elsevier.

12. Balasubramanian, M. (2014). *Composite materials and processing*. Boca Raton, FL: CRC Press.

13. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.

14. Ibidem.



fig. 03 Norther Light Composite, utilizzo di resine termoplastiche per imbarcazioni sportive, 2023

15. Rosenboom, J. G., Langer, R., & Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials*, 7(2), 117–137.

16. Rameshkumar, S., Shaiju, P., O'Connor, K., & Pless, R. (2020). Bio-based and biodegradable polymers: State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Green and Sustainable Chemistry*.

17. Su, T., Zhao, D., Khodadadi, M., & Len, C. (2020). Lignocellulosic biomass for bioethanol: Recent advances, technology trends, and barriers to industrial development. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 24, 56-60.

18. Osservatorio Economia Circolare. Cresce il mercato delle bioplastiche compostabili. Retrieved from <https://www.osservatorioeconomiacircolare.it/cresce-il-mercato-delle-bioplastiche-compostabili/> (ultima consultazione 19 ottobre 2024).

non sono biodegradabili¹⁵. Le bioplastiche compostabili, che possono provenire sia da fonti petrolifere che rinnovabili, sono spesso impiegate per applicazioni a breve termine come imballaggi, utensili per il catering, nel settore agricolo o del giardinaggio, ma anche nell'arredamento e nella produzione di oggetti di uso quotidiano¹⁶. Dal 1996, i costruttori automobilistici giapponesi hanno iniziato a utilizzare una bioplastica fibrorinforzata per la realizzazione di cruscotti, sostituendo così la plastica tradizionale di origine petrolifera. Questa scelta è motivata dalla volontà di preservare le risorse, produrre in modo più eco-sostenibile e facilitare lo smaltimento delle plastiche. Con il crescente utilizzo di plastiche rinforzate con fibre, diventa sempre più importante sostituire non solo le fibre con materiali sostenibili, ma anche la matrice plastica stessa. Oggi, si trasformano annualmente circa 170 miliardi di tonnellate di biomassa, che comprende cereali, erbe e altra materia organica¹⁷. Questa biomassa può essere parzialmente impiegata come base per la produzione di bioplastiche. Attualmente, la produzione di bioplastiche supera i 2,18 milioni di tonnellate all'anno, come indicato in uno studio condotto da nova-Institute (Hürth, Germania), presentato durante l'ultima conferenza EUBP organizzata da European Bioplastics¹⁸. Inoltre, sono disponibili anche gli scarti della produzione agricola, alimentare e cosmetica, che possono essere utilizzati per questo scopo. Qui di seguito è riportata una tabella esemplificativa (tab. 01) che illustra le diverse origini delle plastiche utilizzate nel settore dei compositi e la loro biodegradabilità:

Origine	Biodegradabile	Non biodegradabile
Petrolifera	PCL	PP, PA, EP
Mista (blend)	TPS	PA6
Biologica	PLA, PHB	CA, PA10

Interfaccia tra fibra e matrice

La performance di un elemento composito è strettamente influenzata dall'interazione tra la fibra utilizzata e la matrice polimerica. Tipicamente, la compromissione strutturale del laminato è anticipata da microfessurazioni nella matrice, le quali si propagano quando la tensione di snervamento del materiale plastico viene superata¹⁹. L'utilizzo come matrice di una plastica con una tensione di snervamento elevata contribuisce

quindi ad aumentare la resilienza dell'elemento composito nel suo complesso²⁰. Inoltre, la forza di adesione tra le fibre e il polimero riveste un ruolo fondamentale nella resistenza meccanica del componente. Tuttavia, l'adesione tra fibra e matrice, a causa delle discontinuità, risulta costantemente inferiore alla resistenza meccanica della plastica rinforzata. Di conseguenza, durante sollecitazioni di taglio o trasversali, come ad esempio nei punti di giunzione incollati, è possibile il distacco dei singoli strati, fenomeno noto come delaminazione²¹. Al fine di affrontare questa problematica, sono attualmente in corso diverse sperimentazioni volte a migliorare viepiù l'adesione della matrice anche con l'impiego di fibre vegetali, appannaggio, questo, della chimica dei materiali (fig. 04). Parallelamente agli sviluppi sulla chimica dei materiali, gli sforzi si concentrano anche sull'ottimizzazione del design e sulla modellazione avanzata per prevedere e mitigare i punti critici di stress e potenziali difetti strutturali²². La simulazione computerizzata sta diventando sempre più importante nel processo di progettazione, consentendo, di fatto, agli ingegneri di testare virtualmente diverse configurazioni e scenari di carico prima di procedere con la produzione fisica, tra scelta della fibra e, soprattutto, scelta della matrice²³. Come sostiene Sapuan, il miglioramento delle prestazioni dei compositi richiede dunque un approccio multidisciplinare che coinvolga la ricerca sui materiali, la progettazione avanzata e la simulazione computazionale²⁴.

Breve compendio descrittivo sulle principali bioplastiche durevoli per applicazioni composite

Il seguente compendio, analogo al precedente - relativo alle fibre -, si focalizza sull'analisi e la descrizione delle principali bioplastiche adatte per essere impiegate come matrici nella produzione di materiali compositi. Mentre le bioplastiche di "seconda generazione" sono caratterizzate da una durata molto limitata nel tempo, e possono essere compostate, al contrario, le bioplastiche di "terza generazione"²⁵ si concentrano sull'utilizzo della massima percentuale possibile di materie prime rinnovabili, mantenendo al contempo una durata funzionale prolungata. L'obiettivo principale è lo sviluppo di bioplastiche con proprietà simili a quelle delle plastiche tradizionali e che favoriscano un ciclo di vita del materiale il più possibile chiuso. Come anticipato, la produzione di bioplastiche può avvenire sia tramite la modifica diretta di biopolimeri

19. Riccio, A. (2008). Delamination in the context of composite structural design. In S. Sridharan (Ed.), *Delamination behaviour of composites* (pp. 28-64). Woodhead Publishing.

20. Brunner, A. J. (2008). Experimental study of delamination in cross-ply laminates. *Journal of Composite Materials*, 42(7), 1123-1135.

21. Ibidem.

22. Sridharan, S. (2008). Delamination failure under compression of composite laminates and sandwich structures. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(7), 1151-1160.

23. Sapuan, S. M. (2010). *Concurrent Engineering for Composites*. CRC Press.

24. Sapuan, S. M. (2017). *Materials Selection for Composites: Concurrent Engineering Perspective*. Elsevier.

25. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.



fig. 04 Una fase di applicazione della resina termoplastica, e riciclabile, Elium®, brevettata da Arkema

tab. 01
Le principali matrici plastiche utilizzate per i materiali compositi (2024)

26. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.

27. Pérez-Pacheco, E., Canto-Pinto, J. C., Manuel Moo-Huchin, V., Estrada-Mota, I. A., Estrada-León, R. J., & Chel-Guerrero, L. (2016). Thermoplastic starch (TPS)-cellulosic fibers composites: Mechanical properties and water vapor barrier: A review. *Composites Science Review*, 58(3), 150-175.

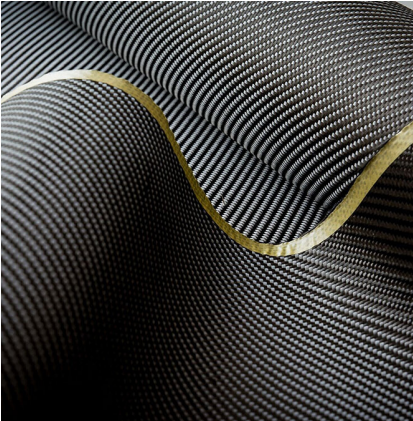


fig. 05 Matrice termoplastica applicata a fibra di carbonio



fig. 06 Primo prototipo di pala eolica con matrice riciclabile, 2023

presenti in natura, come la cellulosa o l'amido, sia attraverso la produzione di monomeri da materie prime rinnovabili, seguita dalla polimerizzazione per ottenere le bioplastiche finali. Per quanto concerne le principali caratteristiche, si ribadisce che le bioplastiche termoplastiche mostrano una rigidezza, rappresentata dal "modulo E", paragonabile a quella delle plastiche tradizionali derivate dal petrolio. In particolare, il polilattide (PLA) presenta una rigidezza addirittura superiore alle termoplastiche convenzionali. Un vantaggio significativo delle bioplastiche termoplastiche è il ritiro limitato rispetto alle plastiche tradizionali, un fattore importante quando è necessaria precisione elevata nella produzione di componenti. Le bioplastiche derivanti dalla cellulosa, come il PHB e il PLA, mostrano la massima resistenza alla deformazione termica, ossia la capacità di mantenere la forma a temperature elevate sotto un carico definito. Tuttavia, è importante considerare che lo sviluppo delle bioplastiche durevoli è ancora in fase iniziale, e quindi sono limitate le conoscenze sulle proprietà a lungo termine, come la resistenza alla pressoflessione, la resistenza ai raggi UV e il comportamento a fatica. In generale, le bioplastiche termoplastiche tendono ad essere più igroscopiche rispetto alle plastiche di origine petrolifera, sebbene rimangano generalmente sotto l'1% di assorbimento di umidità, ad eccezione dell'amido termoplastico²⁶ (figg. 05-06).

Amido termoplastico (TPS)

L'amido termoplastico (TPS) è una delle bioplastiche più diffuse, essendo largamente utilizzato negli imballaggi e negli articoli per catering, e occupa circa l'80% del mercato attuale²⁷. Questo materiale è il risultato della combinazione di amido idrosolubile con un polimero idrorepellente di origine petrolifera e un plastificante come la glicerina. Il TPS, con la sua composizione mista blend, rappresenta una valida alternativa sostenibile ai materiali tradizionali per gli imballaggi e trova ampie applicazioni nel settore edile e del design. Nel campo del design, il TPS viene impiegato per creare una vasta gamma di oggetti d'uso quotidiano ecologici, tra cui contenitori, recipienti, utensili per la cucina, ma anche complementi d'arredo, lampade e altri oggetti di design (fig. 07). Grazie alle sue proprietà versatili e alla sua natura sostenibile, il TPS può essere modellato in diverse forme e può essere colorato per adattarsi a una vasta gamma di stili estetici, con-

tribuendo così a promuovere un approccio più sostenibile alla progettazione²⁸.

(Tri)acetato di cellulosa (CA, CTA)

Il (Tri)acetato di cellulosa (CA, CTA) è un materiale estremamente versatile che riveste un ruolo significativo nel design di prodotto. Ottenuto dalla cellulosa, il biopolimero più diffuso in natura presente in tutte le piante, il CA viene impiegato in una vasta gamma di applicazioni, tra cui montature e lenti per occhiali, nonché manici di utensili. La sua trasformazione avviene tramite una reazione chimica con l'acido acetico, che produce il diacetato o il triacetato di cellulosa. Questo materiale presenta una temperatura massima di esercizio di circa 80°C e si distingue per la sua eccezionale elasticità superficiale e la sua resistenza ai graffi, oltre alla brillantezza che lo rende ideale per le montature degli occhiali. Inoltre, la bassa carica elettrostatica del CA contribuisce a prevenire l'accumulo di polvere sulla sua superficie. A seconda degli additivi utilizzati, può anche essere reso resistente agli agenti atmosferici e difficilmente infiammabile. Oltre agli occhiali e agli utensili, il CA trova applicazione in una vasta gamma di prodotti inclusi accessori moda, complementi d'arredo e componenti per la casa (fig. 08). La sua versatilità consente di adattarsi a una varietà di forme e stili, mentre la sua trasparenza e la sua capacità di essere colorato lo rendono una scelta ideale per progetti creativi e innovativi. Grazie alle sue qualità estetiche e funzionali, il CA continua a essere un materiale di riferimento nel mondo del design, contribuendo alla creazione di prodotti di alta qualità e dal grande impatto visivo²⁹.

Polilattide (PLA)

Il Polilattide (PLA) è un materiale polimerico versatile con una vasta gamma di applicazioni nel campo del design del prodotto industriale e nei materiali compositi. Derivante dall'acido polilattico, il PLA viene prodotto attraverso un processo biotecnologico che coinvolge batteri dell'amido o dello zucchero. Questo processo consente di regolare la struttura chimica del PLA e, di conseguenza, le sue proprietà, che risultano simili a quelle di polipropilene (PP) e politereftalato di etilene (PET). Il PLA è utilizzato in una varietà di settori, tra cui imballaggi, fibre tessili, stampe 3D, bottiglie e involucri per elettrodomestici.

28. Poletto, M. (Ed.). (2016). *Composites from renewable and sustainable materials*. InTechOpen.

29. Saeed, U., Dawood, U., & Ali, A. M. (2021). Cellulose triacetate fiber-reinforced polystyrene composite. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 34(5), 707-721.



fig. 07 Bollitore in TPS



fig. 08 Montatura per occhiali in CA

30. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.



fig. 09 Contenitori e rivestimenti in PLA

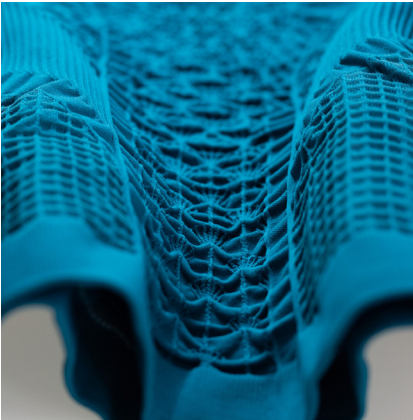


fig. 10 Pannello fonoassorbente in PLA

Grazie alla sua resistenza ai graffi, alla trasparenza e alle buone proprietà meccaniche, il PLA è particolarmente adatto per applicazioni che richiedono una certa robustezza e durabilità (fig. 09). La sua temperatura massima di esercizio è di circa 55°C, rendendolo adatto per una vasta gamma di utilizzi. Il PLA è anche utilizzato nella produzione di materiali compositi, dove può essere miscelato con altri materiali per migliorarne le prestazioni. Ad esempio, una selezione mirata dei batteri di fermentazione consente di creare un PLA con diversi gradi di cristallizzazione, aumentando così le sue proprietà meccaniche, termiche e acustiche. Questo tipo di PLA viene impiegato per contenitori adatti al microonde, prodotti di stampaggio a iniezione nel settore automobilistico ed elettronico, fibre tessili stirabili, pannelli fonoassorbenti di nuova generazione (fig. 10). Grazie alla sua versatilità e alle sue qualità, il PLA, seppur con una temperatura di fusione più bassa rispetto ad altre soluzioni, continua a essere una scelta popolare per una vasta gamma di applicazioni come matrici per materiali compositi. A titolo esemplificativo, un innovativo composito, sviluppato da una società elettronica giapponese, utilizza PLA rinforzato con fibre naturali e idrossidi di metallo termoassorbenti per la scocca di un cellulare³⁰. Questo materiale offre una combinazione di resistenza e sostenibilità, grazie all'uso di ritardanti di fiamma minerali come idrossido di alluminio e di magnesio, che mantengono la sua eco-compatibilità. Grazie alla sua sensibilità al calore, il PLA può essere lavorato a temperature relativamente basse, consentendo una riduzione significativa dei tempi di produzione durante il processo di stampaggio a iniezione per, ad esempio, i gusci dei cellulari o altri prodotti. Nel contesto del progetto dimostrativo *S-House* del Politecnico di Vienna, ad esempio, è stato realizzato un prototipo di parete divisoria non portante utilizzando bioplastiche rinforzate con fibre naturali. Questo prototipo consiste in strati multipli di fibre di paglia, lino e polilattide che vengono compressi insieme per formare un pannello sandwich. Questo pannello presenta strati esterni stabili e strati intermedi flessibili ma resistenti alla compressione, che integrano l'isolamento termico nel materiale stesso (fig. 11). Il risultato sono pareti divisorie modulari realizzate al 100% con materie prime rinnovabili, caratterizzate da un peso leggero e una facile maneggevolezza, consentendo un'installazione e una rimozione semplici³¹.

Poliidrossibutirrato (PHB)

Il Poliidrossibutirrato (PHB) è una bioplastica (fig. 12) scoperta nel 1924 dagli scienziati dell'Istituto Pasteur di Parigi, che viene prodotta da alcuni batteri attraverso l'accumulo di eccedenze alimentari nelle loro cellule, analogamente alla formazione di grasso negli esseri umani e negli animali. Gli alimenti in eccesso, come amido, zucchero, glicerina o olio di palma, fungono da substrati per la produzione di PHB. Questo materiale presenta proprietà termiche stabili in un intervallo che va da -30°C a +120°C. Il PHB è caratterizzato da una struttura altamente cristallina con una superficie liscia e brillante, resistente ai raggi UV e all'acqua, con una migliore resistenza rispetto al PLA. È anche stampabile e mostra una bassa tendenza allo scorrimento.

Le sue proprietà possono essere modulate in base alle esigenze specifiche. Tuttavia, ci sono alcuni svantaggi associati al PHB, come i costi di produzione elevati e una domanda limitata, che può portare a una riduzione dei lotti di produzione. Si prevede che l'ottimizzazione dei metodi di produzione contribuirà a ridurre il costo elevato del materiale nel tempo. Inoltre, mescolando il PHB con altri tipi di plastica in blend, è possibile ridurre ulteriormente la fragilità e i costi³².

Lignina (termoplastica)

Le applicazioni della lignina spaziano dalle scocche ai tacchi delle scarpe, dalle scocche degli altoparlanti ai componenti tecnici e persino agli strumenti musicali. Questo biopolimero, il secondo più diffuso in natura, è presente in tutte le fibre vegetali e svolge un ruolo cruciale come matrice stabilizzante tra le fibre di cellulosa. La sua presenza nei vasi delle piante conferisce una maggiore resistenza all'acqua rispetto al legno stesso. La lignina, di colore marrone scuro, assorbe efficacemente i raggi UV e mostra una resistenza alla degradazione, sia biologica che chimica. Quando combinata con le fibre naturali, la lignina offre una combinazione unica delle qualità positive del legno naturale e della versatilità delle termoplastiche, guadagnandosi il soprannome di "legno liquido"³³. Questo materiale composito (fig. 13) presenta proprietà meccaniche e termiche simili al legno, come ad esempio la dilatazione termica longitudinale, rendendolo ideale per la realizzazione di elementi di raccordo nelle costruzioni in legno. Inoltre, la lignina mostra

31. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.

32. Gómez-Gast, N., Rivera-Santana, J. A., Otero, J. A., & Vieyra, H. (2023). Simulation of a composite with a polyhydroxybutyrate (PHB) matrix reinforced with cylindrical inclusions: Prediction of mechanical properties. *Polymers*, 15(24), 4727.

33. Kapsali, V. (2021). *Biomimetics for Designers: Applying Nature's Processes & Materials in the Real World*. London: Thames & Hudson.



fig. 11 Nuatan, pannelli in PLA



fig. 12 Posate biodegradabili in PHB

34. Zhang, Y., Yuan, Z., & Xu, C. (2017). Bio-based resins for fiber-reinforced polymer composites. In A. K. Lau & A. P.-Y. Hung (Eds.), *Natural fiber-reinforced biodegradable and bioresorbable polymer composites* (pp. 137-162). Woodhead Publishing.

35. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.

una maggiore resistenza al marcire rispetto al legno.
Bioresine (termoindurenti)

Attraverso processi chimici sofisticati, gli acidi grassi derivati dagli oli vegetali possono essere trasformati in bioresine termoindurenti³⁴. Sebbene il processo di indurimento richieda l'impiego di sostanze non biologiche, poiché i componenti derivanti da fonti rinnovabili non sono ancora completamente sviluppati per il mercato, queste bioresine offrono prestazioni notevoli (fig. 14).

Le bioresine termoindurenti presentano una rigidità leggermente inferiore e una minore tendenza all'assorbimento di umidità rispetto alle resine termoindurenti tradizionali, come quelle fenoliche o le resine poliestere insature (UP).

Le resine ottenute da oli vegetali, come l'olio di lino, mostrano questa caratteristica principalmente a causa del loro carattere idrofobo e idrorepellente. Inoltre, queste resine presentano una notevole resistenza ai raggi UV, dovuta alle diverse strutture chimiche che si formano durante il processo di indurimento. Nonostante queste differenze, entrambi i sistemi appartengono al gruppo dei poliesteri una volta induriti e resistono a temperature fino a 180 °C. L'aggiunta di ritardanti di fiamma privi di alogeni migliora le proprietà antincendio delle bioresine senza compromettere le loro caratteristiche ecologiche. I prezzi delle bioresine sono competitivi rispetto alle resine tradizionali.

Utilizzando tessuti di canapa e lino, sono stati sviluppati prototipi di carrozzerie che potrebbero sostituire la vetroresina nelle applicazioni esterne. Un esempio tangibile di successo è stato l'utilizzo di un paraurti realizzato con questo materiale su un autobus urbano della Braunschweiger Verkhrrs-AG³⁵.

Il futuro delle matrici bioplastiche

Per la creazione della carrozzeria di vari prototipi, numerosi costruttori automobilistici hanno iniziato a optare per l'utilizzo di polilattide (PLA) rinforzato con fibre di kenaf o di abaca, così come canapa o lino.

Questa scelta è motivata dalle esigenze di resistenza agli agenti atmosferici, ai cambiamenti di temperatura e alle sollecitazioni meccaniche, simili a quelle affrontate dalle facciate degli edifici. Gli studi condotti finora dimostrano che il polilattide ha una notevole resistenza ai raggi UV, rendendolo una scelta ideale anche per sistemi tessili di protezione solare, at-



fig. 13 Liquid Wood



fig. 13 Campioni di fibra di lino immersa in bioresina termoindurente

tualmente in fase di imminente lancio sul mercato³⁶. Rispetto agli elementi strutturali tradizionali, come il legno, i vantaggi del PLA rinforzato risiedono principalmente nella sua deformabilità e nella capacità di integrazione funzionale.

Un gruppo produttore di prodotti di elettronica sta sperimentando l'utilizzo di bioplastiche a memoria di forma per la produzione di prototipi di cellulari che possono essere piegati e indossati al polso. Questo materiale, reattivo al calore, consente al telefono di ripristinare la sua forma originale quando sottoposto a temperatura³⁷.

Questa tecnologia potrebbe essere estesa anche alle facciate degli edifici, permettendo la creazione di sistemi attivi in grado di modificare la loro geometria autonomamente, senza richiedere l'uso di energia aggiuntiva. Le bioplastiche offrono non solo innovazioni tecnologiche, ma anche nuovi approcci che potrebbero consentire la realizzazione di prodotti biodegradabili dopo un certo periodo di tempo, ma anche per l'edilizia. In questo ultimo caso, bioplastiche di prossime generazioni potrebbero rivelarsi utili per la costruzione di alloggi temporanei nelle aree colpite da crisi o per gli edifici situati in zone di protezione naturale³⁸ (fig. 15).

Dopo l'uso, tali strutture composte da materiali biologici possono diventare nutrienti per i batteri e trasformarsi direttamente in humus, contribuendo al ciclo naturale.

Sebbene i materiali a base biologica siano ancora costosi e necessitano di ulteriori miglioramenti in termini di durata e sostenibilità³⁹, le loro potenzialità rimangono promettenti per il futuro. La ricerca in questo settore apre, ancora, la strada a una vasta gamma di possibilità.

36. Tambyrajah, D. (2015). op cit.

37. Knippers, C., Gabler, L. (2011). op cit.

38. Alahakoon, A. M. A. R. B., Bandara, G. A. I. M., Senarath, P. G. R. L. P., Thennakoon, T. M. T. N., Weerathna, D. M., Hewage, H. T. M., Jayathma, W. M. V. A., Gamage, D. G. M. L., & Sulaksha, L. G. T. (2023). Bioplastics for sustainable future. *Journal of Research in Technology and Engineering*, 4(2), 99-110.

39. Sposini, R. (2018). *Neomateriali nell'economia circolare. Automotive*. Edizioni Ambiente.



fig. 15 Mini-abitazione per accoglienza temporanea Stampato in 3D, Amsterdam

D1. Nel design, cosa sono e come si presentano, di fatto, i materiali biocompositi?



Sintesi e schema di lettura del capitolo

3.4 I biocompositi: una rilettura nel design contemporaneo

Come discusso nei paragrafi precedenti, l'impiego delle fibre naturali come rinforzo per materiali biocompositi offre numerosi vantaggi rispetto ad altri materiali. Il minore impatto ambientale è il più evidente, ma non l'unico: sostituendo una parte significativa del materiale polimerico derivato da risorse fossili con materiale da risorse rinnovabili, il materiale risultante, nonché emergente, diventa complessivamente più ecosostenibile, seppur entro importanti limiti, oggetto di discussione nel successivo capitolo. In ogni caso, il tipo di matrice polimerica utilizzata influisce notevolmente sull'impatto ambientale complessivo. Ad esempio, una matrice termoindurente, difficile da riciclare, comporta un impatto maggiore rispetto a un biocomposito con matrice termoplastica. Se la matrice termoplastica è costituita da polimeri di tipo biodegradabile come il PLA o da altri poliesteri biodegradabili come i poli-(idrossialcanoati), l'ecosostenibilità potrebbe aumentare ulteriormente, poiché si ottiene un materiale interamente biodegradabile e non derivato da fonti fossili. Un altro vantaggio significativo, che trova riscontro nei prodotti industriali contemporanei, come accennato, è la leggerezza: le fibre naturali, con una densità tra 1.2 e 1.4 g/cm³, sono molto più leggere delle fibre di vetro e di carbonio, avvicinandosi in termini di peso alle fibre di kevlar¹. Questo rende i biocompositi particolarmente interessanti per applicazioni in cui il peso è un fattore critico, come nel settore automotive e dei trasporti in generale. Il costo è un ulteriore punto a favore delle fibre naturali. Spesso, queste fibre sono sottoprodotti dell'industria tessile e agricola, risultando quindi disponibili a un prezzo competitivo. La loro facilità di reperimento contribuisce ulteriormente a mantenere bassi i costi. Dal punto di vista tecnologico, invece, la bassa durezza delle fibre naturali riduce l'usura delle macchine di trasformazione rispetto alle fibre più dure come quelle di vetro. Questo comporta a un minor bisogno di sostituzione di componenti costosi come gli stampi, riducendo i costi di produzione dei materiali rinforzati con fibre naturali². Eppure, i biocompositi presentano anche svantaggi, come d'altronde tutti i materiali se non osservati entro la logica del "il giusto materiale per il giusto progetto", che sottolinea la logica dell'adeguatezza all'uso degli stessi. Uno dei principali difetti è la limitata resistenza alle alte temperature, che restringe la scelta delle matrici polimeriche utilizzabili³. Il limite termico di 200°C è un problema attualmente difficile da superare, dato che i polimeri basso-fondenti, che potrebbero essere una soluzione, solitamente presentano pro-

1. Tambyrajah, D. (2015). *Indulge & Explore Natural Fiber Composites. An invitation to product designers.* NFCdesign platform.
2. Knippers, C., & Gabler, L. (2011). *Atlante delle materie plastiche.* UTET.
3. Ibidem.

4. Tambyrajah, D. (2015). op cit.

5. Ibidem.

6. Ibidem.

7. Mazzanti, V., & Mollica, F. (2023).
Materiali compositi rinforzati con fibre
naturali. In D. Scodeller & M. Mancini
(Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 110-
119). Media MD.



fig. 01 Architettura del tessuto, esempi

prietà meccaniche inferiori. Un altro problema è la difficoltà di compatibilità chimica tra le fibre naturali e le matrici polimeriche, che può portare a una debole adesione all'interfaccia fibra-matrice, sul quale però ingegneri e chimici si stanno adoperando per la risoluzione del problema⁴. Questo riduce l'efficienza del trasferimento dei carichi dalle matrici alle fibre. Sono però disponibili diverse strategie per migliorare questa compatibilità, come l'uso di agenti accoppianti, trattamenti chimici delle fibre, o l'applicazione di appretti superficiali. Altresì, in termini di proprietà meccaniche, le fibre naturali tendono ad avere valori inferiori di rigidità e resistenza rispetto alle fibre di rinforzo tradizionali. La variabilità delle proprietà meccaniche dovuta alla loro origine naturale è un problema significativo per la progettazione, rendendo difficile garantire una performance uniforme⁵. Infine, l'igroscopicità delle fibre naturali, ovvero la loro capacità di assorbire umidità, può causare problemi come la formazione di bolle di vapore acqueo, compromettendo le proprietà meccaniche del composito e potenzialmente degradando la matrice polimerica se sensibile all'idrolisi⁶. Consapevoli dei vantaggi e degli svantaggi, le tecnologie per la produzione di componenti in biocomposito variano in base alla lunghezza delle fibre e alla natura della matrice polimerica. Per le fibre corte in matrici termoplastiche, si utilizzano tecniche come l'estrusione, lo stampaggio a iniezione e la termoformatura, benché l'assorbimento di umidità richieda una preventiva essiccazione delle fibre. Per le fibre lunghe o continue, invece, le tecnologie includono impregnazione manuale, stampaggio a compressione, avvolgimento filamentare e Resin Transfer Molding. La stampa 3D a filamento giunge invece a supporto per un avanzamento tecnologico circa la loro produzione. Essa sta guadagnando popolarità per la sua capacità di realizzare manufatti in materiale termoplastico a costi relativamente bassi, sebbene il costo del filamento possa essere ridotto ulteriormente utilizzando fibre naturali corte come rinforzo, ottenendo così un materiale più rigido e meno costoso⁷. Le fibre naturali possono essere incorporate nelle matrici dei materiali in vari modi, influenzando significativamente le proprietà meccaniche dei biocompositi. Queste, a differenza dei filamenti artificiali, hanno una lunghezza finita, ma, come accennato, possono essere lavorate per formare filati, sliver, tows e roving che raggiungono lunghezze considerevoli. Tali preformati possono essere pre-impregnati con polimeri, creando

materiali pronti per ulteriori lavorazioni. Come enucleato, i biocompositi possono dunque essere descritti in molti modi, tra cui la forma e la disposizione delle fibre nella matrice. Esistono, in estrema sintesi, varie tipologie di rinforzo nei biocompositi: particellare, a scaglie e fibroso⁸. Nel rinforzo particellare, le particelle, appunto, che non hanno dimensioni lunghe, possono migliorare alcune proprietà del composito senza aumentare significativamente la resistenza. Tuttavia, l'uso di fibre naturali come particelle è meno comune a causa del loro elevato rapporto lunghezza-diametro, anche se possono essere impiegate come riempitivi per ridurre i costi. Il rinforzo a scaglie, invece, offre un miglioramento della resistenza in tutte le direzioni grazie alla geometria dimensionale delle scaglie, sebbene la produzione di scaglie di fibre naturali possa risultare costosa. Il rinforzo fibroso rappresenta la forma più vantaggiosa di utilizzo delle fibre naturali nei compositi⁹ (fig. 01). Le fibre naturali, con un elevato rapporto lunghezza-diametro (L/D), migliorano significativamente le proprietà meccaniche, come la resistenza e la rigidità. Le fibre possono essere classificate in corte, lunghe e continue, e la loro disposizione e orientamento nella matrice influenzano le proprietà finali del materiale¹⁰. Il rinforzo fibroso è particolarmente efficace nei tessuti unidirezionali (UD), dove le fibre sono orientate in una sola direzione, offrendo una bassissima ondulazione e prestazioni ottimali per applicazioni che richiedono alta resistenza in una direzione specifica. In quest'ultimo caso, i preformati di fibre naturali possono essere lavorati in vari modi. I tessuti unidirezionali (UD) rappresentano un esempio di configurazione ottimale, con fibre orientate in una sola direzione e una bassissima ondulazione. I tessuti intrecciati, come il twill – tela – e il satin – saia – (fig. 02), sono comunemente utilizzati nei biocompositi così considerati, e possono essere combinati in laminati per migliorare le proprietà meccaniche in più direzioni¹¹ (fig. 03). Sebbene i tessuti a maglia e le trecce siano meno utilizzati, offrono particolari vantaggi in applicazioni specifiche come componenti tubolari e cavi grazie alla loro struttura. L'integrazione e l'applicazione formale delle fibre naturali nelle matrici dei biocompositi rappresenta un'area di grande interesse scientifico e tecnologico. Le diverse configurazioni e tecnologie disponibili permettono di sfruttare appieno le caratteristiche uniche delle fibre naturali, offrendo soluzioni sostenibili e performanti per una vasta gamma di applicazioni. Con ulteriori sviluppi nella lavorazione e nella produzione, l'uso delle fibre naturali nei biocompositi è

8. Tambyrajah, D. (2015). op cit.

9. Ibidem.

10. Ibidem.

11. Ibidem.



fig. 02 Tessuto intrecciato saia



fig. 03 "Pelli" pronte per la laminazione

12. Mazzanti, V., Mollica, F. (2023). op cit.

13. Bilisik, K., Karaduman, N. S., & Bilisik, N. E. (2016). Fiber architectures for composite applications. In S. Rana & R. Figueiro (Eds.), *Fibrous and textile materials for composite applications* (pp. 45-60). Springer.

14. Manu, T., Nazmi, A. R., Shahri, B., Emerson, N., & Huber, T. (2022). Biocomposites: A review of materials and perception. *Materials Today Communications*, 31, 103308.

destinato a crescere, contribuendo significativamente al progresso dei materiali "avanzati"¹². Le molte combinazioni di fibre naturali e materiali di matrice polimerica, nonché tecnologie, forniscono una vasta gamma di possibilità per modellare forme di prodotto, in combinazione con tecnologie di produzione adatte e un volume di produzione che sia economico (fig. 04). Nel design contemporaneo, è dunque interessante osservare le diverse configurazioni e disposizioni delle fibre naturali. Grazie alle numerose possibilità offerte dall'architettura tessile, i designer industriali possono esplorare un'ampia gamma di prodotti che richiedono sia resistenza che rigidità¹³. L'architettura tessile può essere sfruttata non solo per migliorare le proprietà meccaniche dei prodotti, ma anche per ottimizzarne l'estetica¹⁴. Il messaggio chiave che in questo paragrafo, conclusivo per la parte I, si tenta di trasmettere, è insito nell'importanza della diversità delle caratteristiche dei compositi a base di fibre naturali come materiale. Il valore aggiunto dei biocompositi a base di fibre naturali permane nella flessibilità che il progettista ha sullo sviluppo di nuovi prodotti, potendo, di fatto, ingegnerizzare le proprietà meccaniche ad hoc e, dunque, concepire persino prodotti esteticamente gradevoli attraverso l'architettura delle fibre naturali. In tale direzione, e sulla scorta della "classificazione" di Ezio Manzini già enucleata nei paragrafi precedenti, saranno ora presentati casi studio di alcuni prodotti e/o materiali biocompositi, a loro modo innovativi, che incarnano i concetti summenzionati. Questi esempi saranno clusterizzati in tre grandi gruppi: i biocompositi fibrorinforzati basati su tessuti in fibra naturale (BFT), che mostrano come i tessuti – adeguati all'uso – possano essere utilizzati per migliorare la leggerezza, la resistenza e la durabilità del prodotto; i biocompositi in fibre naturali agglomerate in misture (BAM), le quali evidenziano la possibilità di combinazione casuale di fibre con altre sostanze per ottenere materiali con proprietà specifiche; infine, i biocompositi "di genesi naturale" (BGN), a dimostrazione, quasi speculativa, di come alcune "strutture" composite, e porose, di derivazione totalmente naturale, possono essere applicate nel design di prodotto. Queste tre distinte categorie permettono di apprezzare l'iperscelta e la versatilità offerte dai biocompositi a base di fibre naturali – vegetali – a tutto tondo, nel contesto della progettazione di artefatti di design.



fig. 04 Compound di PLA con fibre di canapa



BFT1



BFT2

BFT1. I materiali ampliTex™ e powerRibs™, tessuti in lino di produzione Bcomp (Svizzera), riducono il peso degli interni degli aerei fino al 20% rispetto alla fibra di vetro tradizionale. Ideali per pannelli, rivestimenti e gusci, trovano applicazione anche in autobus e treni.

BFT2. Seduta circolare realizzata in materiale biocomposito, prodotta a partire da tessuti in lino di produzione Bcomp.

BFT3. La "hemp chair" del designer Werner Aisslinger, realizzata con fibre naturali di canapa e una speciale matrice termoplastica a base d'acqua – prodotta da BASF –, è la prima sedia monoblocco, e impilabile, che utilizza questa tecnologia di termoformatura.

BFT4. ampliTex™ e powerRibs™ sfruttano le proprietà meccaniche del lino, creando componenti rigidi e resistenti alla rottura, torsione e compressione, ideali per gusci di bagagli robusti o elettronica di fascia alta. Con cure e processi adeguati, i materiali Bcomp offrono anche una finitura superficiale che cela la texture tipica del tessuto.

BFT3

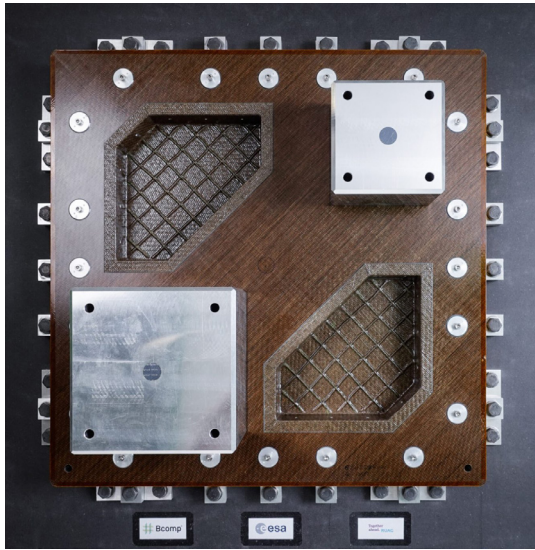


BFT4





BFT5



BFT6



BFT7

BFT5-6. I materiali termoplastici ampliTex™-PP e powerRibs™-PP di Bcomp, oltre a essere rinnovabili, offrono opportunità circolari per le grandi industrie. Gli scarti di produzione possono essere riciclati in nuovi materiali di base o reintegrati nel processo produttivo per componenti come fissaggi, rinforzi locali o pannelli. Personalizzabili e resistenti al fuoco, soddisfano requisiti FST. Le fibre di lino di Bcomp sono CO² neutrali e offrono un eccellente smorzamento delle vibrazioni. Esistono anche soluzioni ibride che combinano fibre naturali con vetro o carbonio per prestazioni ottimali.

BFT7. Dalle facciate dei ponti, agli interni degli edifici, fino ad applicazioni ingegneristiche, i biocompositi fibrorinforzati con tessuti permettono di generare oggetti architettonici e/o ingegneristici leggeri e funzionali. I compositi in fibre naturali offrono libertà di design con forme complesse, semplificando l'installazione e riducendo i tempi di montaggio, come, ad esempio, nel caso delle pale eoliche.

BFT8. Christien Meindertsma, designer olandese, esplora a fondo le dinamiche dei materiali biocompositi tramite progetti come la sedia Flax del 2014. In collaborazione con Enkev, sviluppa nuovi materiali composti biodegradabili e robusti, combinando lino e PLA in forme innovative. La sedia è progettata per essere realizzata con un tessuto di dimensioni 60 × 100 cm al fine di minimizzare gli scarti. Il sedile, costituito da un unico pannello tagliato da questo foglio di composito in lino, è biodegradabile. Il materiale residuo e il contorno del pannello, da cui è ricavato il sedile, vengono impiegati per formare le gambe anteriori e posteriori a forma di V, seguendo un approccio che elimina gli sprechi.



BFT8



BFT9



BFT10



BFT11

BFT9-10-11. I tessuti in lino possono essere altamente tecnici, sono utilizzati per applicazioni in ambito sportivo garantendo affidabilità ed estrema leggerezza: testati in una varietà di climi, resistono bene agli ambienti umidi e bagnati, come neve e acqua, quando trattati correttamente. Questi biocompositi consentono innovazioni negli attrezzi sportivi, offrendo una sensazione distintiva e migliorando le prestazioni, riducendo l'impatto ambientale e rivoluzionando il modo di concepire il surf, il gioco e le performance atletiche. In foto, skateboard in bamboo, tavola da kitesurf e racchetta da padel.

BFT12. I materiali biocompositi fibrorinforzati con tessuto in fibra vegetale sono ideali per strutture leggere e resistenti, con una significativa riduzione delle emissioni di CO2, questi materiali permettono nuove possibilità di design nel settore navale.

BFT13. Montatura degli occhiali in Sikalindi®, un materiale strettamente connesso con il territorio salentino, derivato dall'essicazione della pale del fico d'india del Salento.

BFT14. Componente esterno di carrozzeria per segmento di alta gamma, paraurti in fibra naturale ad alte prestazioni. L'utilizzo di ampliTex™, prodotto da Bcomp, può sostituire parti in fibra di carbonio o vetro mantenendo lo stesso peso e bilancio prestazionale, offrendo al contempo una nuova estetica naturale.



BFT12



BFT13



BFT14



BFT15



BFT16



BFT17

BFT15. Il violino in seta di ragno ideato da Luca Alessandrini nel 2016 con la collaborazione dell'Università di Oxford.
BFT16. Impiego dei materiali biocompositi a base di lino e resina termoplastica nel settore delle protesi ortopediche, ideate nel 2023 da Enrico Fanton e Francesco Panella.
BFT17. Il materiale biocomposito in chitosano e lino, sviluppato dai ricercatori dell'Università di Stoccarda, potrebbe sostituire molti materiali strutturali di origine fossile.
BFT18. La bottiglia in fibra di lino intrecciata e resina di origine biologica è 10 volte più leggera di una tradizionale bottiglia di vetro, è ha la possibilità di essere compostata industrialmente.



BFT18



BAM1



BAM2

BAM1-2. Sulapac® Nordic Collection offre un'alternativa al tradizionale packaging in plastica. Realizzati in materiale biocomposito a base di legno o scarti agricoli, sono adatti al compostaggio industriale.



BAM3



BAM4

BAM3. PLUMA, by Mogu, una nuova collezione di pannelli sottili per rivestimenti murali, 100% circolari e con proprietà fonoassorbenti. Realizzati coltivando ceppi di micelio su residui agro-industriali, i pannelli sono rinforzati dal micelio, creando materiali stabili, sicuri, durevoli e biodegradabili, con un aspetto innovativo e naturale per tutti gli spazi.
BAM4. Gaurav MK Wali utilizza scarti di potatura, come gli aghi di pino, per creare materiali biocompositi, con matrice plastica biodegradabile, da incorporare in una vasta gamma di prodotti.
BAM5. Suole, by Kuori, realizzate in materiale biocomposito derivato dai gusci di frutta secca.
BAM6. La stampa 3D rivoluziona la sostenibilità dei materiali biocompositi, consentendo una produzione su misura, riduzione degli sprechi e ottimizzazione delle risorse. Nell'immagine, vasi in PLA caricato con fibre naturali.



BAM5



BAM6



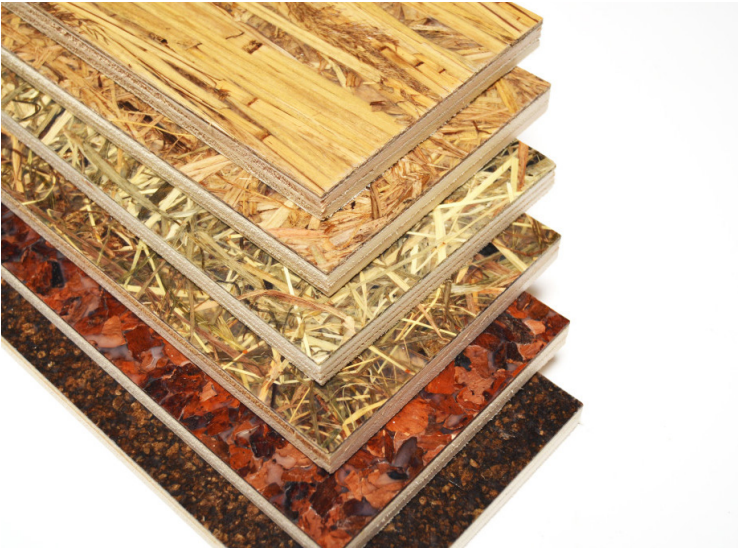
BAM7

BAM7. Rekrill®, dallo scarto alimentare a materiale innovativo. Scarti alimentari essiccati, micronizzati e combinati con materiali vegetali per creare filamenti sostenibili per la stampa 3D.

BAM8. Ottan Studio, materiali biocompositi derivanti da fibre naturali agglomerate in misture, ricavati da scarti alimentari, agricoli o da giardino, come cibi scaduti, gusci di frutta secca e bucce d'arancia. Ottan Studio trasforma i rifiuti organici in materiali lisci, traslucidi e sicuri per gli alimenti, adatti a diverse applicazioni nell'architettura e nel design industriale.

BAM9. HuisVeendam, biolaminati innovativi, sviluppati utilizzando fibre naturali locali e amido modificato, i biolaminati di HuisVeendam trasformano rifiuti organici in materiali ecologici e versatili, ideali per applicazioni in design, architettura e molto altro.

BAM10. Miyuca, produce oggetti iconici utilizzando materiali naturali come le foglie autunnali. Dal 2015, il loro studio multidisciplinare realizza prodotti artigianali che combinano design e circolarità, offrendo soluzioni personalizzate per illuminazione, superfici e decorazioni.



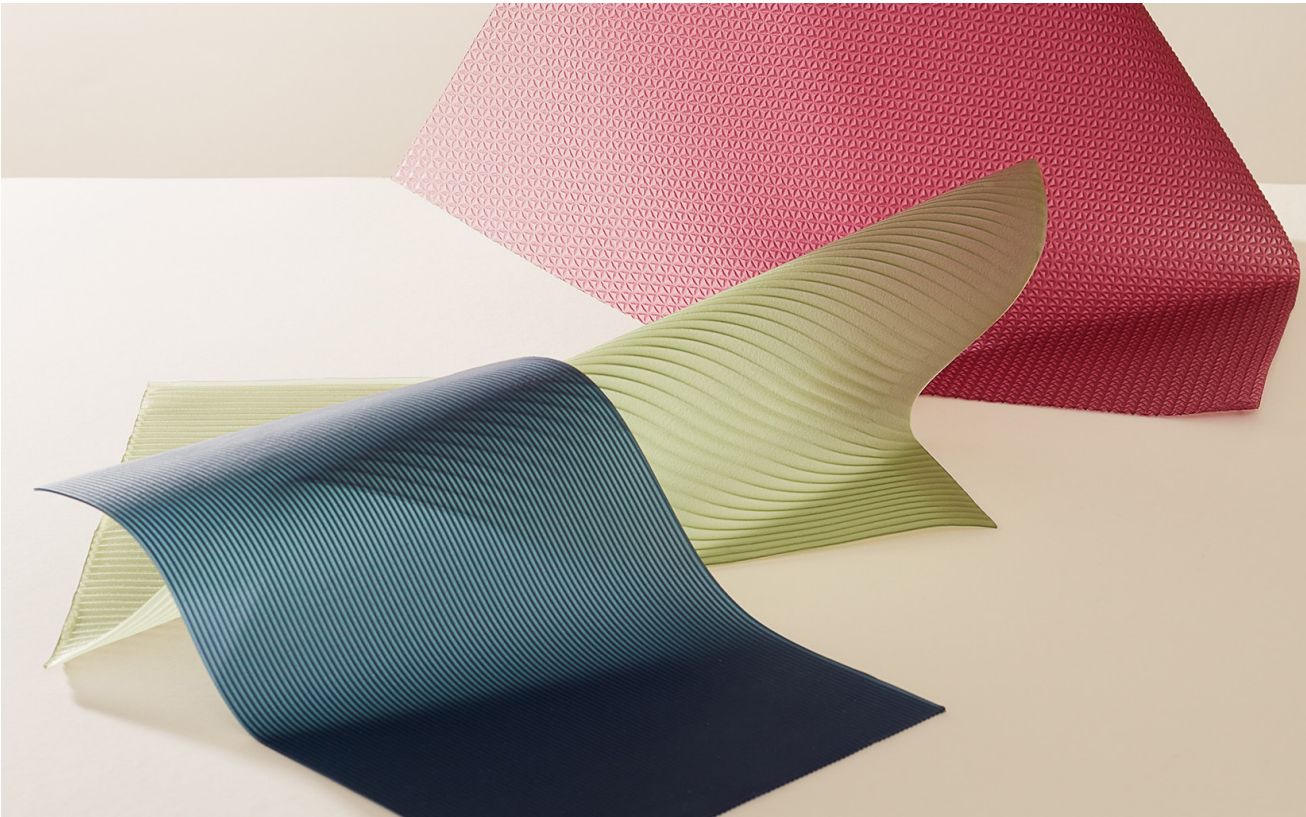
BAM9



BAM8



BAM10



BAM11



BAM12

BAM11. Generato con scarti di frutta, verdura e alghe, Peelsphere® è un biomateriale innovativo utilizzato al posto del cuoio nella moda e nel design.

BAM12. Lucy Hughes, una giovane designer inglese, ha creato una bioplastica forte e flessibile utilizzando scaglie e pelle di pesce. Questo materiale ecologico, che si degrada in sei settimane, ha vinto il James Dyson Award ed è adatto per il packaging alimentare e altri settori.



BAM13



BAM14



BAM15



BAM16

BAM13. Realizzate a mano con fibre grezze e canne raccolte sulle rive dei laghi finlandesi, queste lampade combinano design e sostenibilità. Ogni pezzo, completamente naturale e compostabile, trasforma rifiuti organici in elementi funzionali per la casa, promuovendo un'economia circolare.

BAM14. Packaging compostabili in fibra di cocco, prodotti in Vietnam.

BAM15. Rothko Chair, progettata da Alberto Lievore tra il 1989 e il 1994, prodotta da Indartu, Spagna, nel 1996. Realizzata in Maderon, un materiale biocomposito noto per combinare gli scarti dell'industria della mandorla locale con resine plastiche, offrendo resistenza e flessibilità nella progettazione di mobili contemporanei.

BAM16. Aguahoia I, composto di cellulosa, chitosano, pectina e carbonato di calcio biodegradabile stampato in 3D e dalla superficie robotizzata. Progetto di Neri Oxman e The Mediated Matter Group, MIT Media Lab, 2019.



BGN1

BGN1. Luffa, una fibra naturale derivata da una rete fibrosa di cellulosa vegetale, nota per la sua efficacia nell'igiene personale e nella pulizia domestica. Utilizzata ampiamente per scrub e esfoliazione della pelle, la luffa trova anche impiego in applicazioni agricole e artigianali grazie alla sua versatilità.

BGN2. Le spugne di mare sono costituite da una rete reticolare di spongina, un tipo di collagene, combinata con scheletri di silice o carbonato di calcio.

BGN3. Pietra pomice, caratterizzata da una struttura composita unica, è costituita da una rete di vetro vulcanico arricchita da numerosi vuoti. Questa composizione rende la pietra pomice ideale per l'esfoliazione della pelle e per la rimozione di callosità, grazie alla sua capacità di levigare senza essere troppo abrasiva. Oltre all'uso cosmetico, è impiegata anche in ambito industriale e artistico per le sue proprietà leggere ma robuste.



BGN2



BGN3



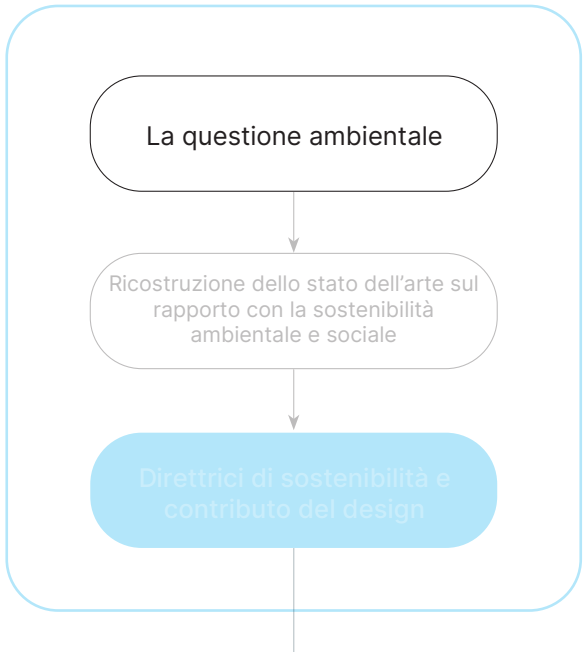
BGN4

BGN4. Il sughero è caratterizzato dalla presenza di suberina, una sostanza idrofobica che conferisce impermeabilità e resistenza agli agenti esterni. Composto principalmente da cellulosa e lignina, il sughero mostra una struttura composita che unisce leggerezza e flessibilità, rendendolo adatto a varie applicazioni, dall'isolamento termico all'industria dei tappi.

parte II

**LA PREFERIBILITÀ AMBIENTALE
E SOCIALE DEI MATERIALI
BIOCOMPOSITI NELLE SOCIETÀ
INDUSTRIALI MATURE**

D2. Come, oggi, questi materiali a genesi combinatoria si relazionano con la sostenibilità ambientale e sociale nelle società industriali mature?



Sintesi e schema di lettura del capitolo

4. I biocompositi e il rapporto con la sostenibilità: opportunità, limiti e sviluppi futuri

4.1 I biocompositi e il rapporto con l'economia circolare e rigenerativa: uno stato dell'arte aggiornato

Il contesto attuale ha portato ad una piena consapevolezza della limitatezza delle risorse globali e alla necessità teorica di superare un sistema economico in crisi strutturale, caratterizzato dal degrado ambientale, lo spreco e la generazione di rifiuti. Questo cambiamento socioeconomico sta ridefinendo profondamente i processi di progettazione, produzione e utilizzo dei beni, sia materiali che immateriali, e dei relativi servizi. Il nuovo approccio è viepiù orientato ad un utilizzo delle materie prime o seconde in modo rigenerativo anziché estrattivo. È in questo quadro che il “circular design”¹ si concentra sull’ottimizzazione dei cicli di vita del prodotto – o dei materiali – attraverso strategie di progettazione oculate, certamente orientate ad una economia circolare rigenerativa, idonea a considerare, contemporaneamente, tutti gli aspetti di ogni singolo processo produttivo². Le aziende che accolgono i principi e gli approcci del design circolare sono chiaramente chiamate a reinventare il modo in cui concepiscono, producono e gestiscono i loro prodotti³, stimolando altresì l’innovazione. Inoltre, è bene ribadire che i quadri legislativi e gli incentivi continuano anch’essi a giocare un ruolo cruciale nell’accelerare l’adozione dei modelli di business circolari: le politiche che promuovono la responsabilità estesa del produttore e incentivano pratiche sostenibili spingono le imprese a ripensare i modelli lineari tradizionali⁴. Ad esempio, le normative che impongono schemi di ritiro dei prodotti costringono i produttori a progettare per lo smontaggio, il riciclo e il riuso, chiudendo così i cicli dei materiali e riducendo la generazione di rifiuti. Nondimeno, sebbene il progresso verso un’economia circolare sia evidente, raggiungere un’adozione diffusa dei modelli di business circolari richiede sforzi congiunti da parte di stakeholder provenienti da diversi settori e geografie.

Il percorso verso un’economia circolare di tipo rigenerativo richiede così un impegno costante verso l’innovazione, la collaborazione e i principi di sostenibilità per generare valore e preservare le risorse naturali per le future generazioni. Il crescente interesse per il cambiamento climatico ha accelerato il finanziamento di progetti di energia rinnovabile, portando allo sviluppo di tecnologie più economiche, affidabili e avanzate. Di conseguenza, si prevede che le energie rinnovabili saranno la fonte energetica a più rapida crescita nel settore elettrico, rappresentando oltre il 70% della crescita globale della generazione di elettricità dal 2017 al 2023⁵. Eppure, resta urgente ridurre la dipendenza da fonti ad alta intensità di carbonio

1. Dumée, L. F. (2022). Circular materials and circular design – Review on challenges towards sustainable manufacturing and recycling. *Circular Economy and Sustainability*, 2(1), 9-23.

2. Bompan, E., & Brambilla, I. N. (2021). *Che cos'è l'economia circolare*. Edizioni Ambiente.

3. Bakker, C., den Hollander, M., van Hinte, E., & Zijlstra, Y. (2019). *Products that last: Product design for circular business models*. TU Delft Library.

4. Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Circular economy: Measuring innovation in product chains*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

5. Lacy, P., Long, J., Orneli, S., & Splinder, W. (2021). *Il manuale della circular economy*. Egea.

6. Commissione Europea. (2018). *A sustainable bioeconomy for Europe: Strengthening the connection between economy, society and the environment*. Publications Office of the European Union.

7. Ferrara, M., & Squatrito, A. (2022). Design-driven innovation of bio-based circular materials. Design strategies and skills. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 11(online), 288–299.

8. Rau, T., & Oberhuber, S. (2022). *Material matters: Developing business for a circular economy*. Routledge.

9. Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st-century economist*. Random House Business.

10. Ceschin, F., & Gaziulusoy, I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. *Design Studies*, 47, 118–163.

11. Pauli, G. (2017). *The blue economy 3.0: The marriage of science, innovation and entrepreneurship creates a new business model that transforms society*. Xlibris US.

12. Bompan, E., Brambilla, I.N. (2021). op cit.

13. Ibidem.

14. Ibidem.



fig. 01 Bioplastica termoformata, Sulapac

come i combustibili fossili, o, come nei compositi, le fibre inorganiche derivate, ad esempio, dalla pece (fibra di carbonio). Pertanto, l'innovazione nei materiali, stimolata dalla crescente consapevolezza dei danni ambientali, incrementa la necessità di azioni regolatorie⁶. Così come, la scarsità di risorse ha influenzato numerosi settori, dall'industria delle fibre naturali all'estrazione di metalli rari, spingendo la ricerca e lo sviluppo di soluzioni alternative. Ne è un esempio tra tanti, come visto nel paragrafo precedente, Sulapac (fig. 01), un'azienda finlandese, che ha sviluppato un imballaggio biocomposito da scarti di legno e leganti naturali, come alternativa agli imballaggi in plastica derivata dal petrolio⁷. L'innovazione dei materiali deve inoltre soddisfare criteri circolari e standard di qualità, nonché parità di costo, con valutazioni del ciclo di vita per limitare impatti ambientali non intenzionali. In questa direzione, i “material passport”⁸, che forniscono dati sui materiali per facilitarne il recupero, possono, ad esempio, svolgere un ruolo cruciale per far avanzare un “progresso creativo” in questo scenario. In estrema sintesi, l'economia circolare rigenerativa⁹, vista però dalla visuale prettamente finanziaria, si fonda sul trait d'union di cinque modelli di business: input circolari, piattaforme di condivisione, prodotto come servizio, estensione dell'uso del prodotto e recupero delle risorse¹⁰. Come sostiene di fatto Gunter Pauli, questi modelli devono poter operare sempre in sinergia¹¹. Il modello degli input circolari si basa sull'utilizzo di materiali rinnovabili, biologici o completamente riciclabili nella produzione, come esplicitato nel paragrafo 3. Questo approccio mira a ridurre l'estrazione di risorse naturali e a minimizzare i rifiuti attraverso l'impiego di materiali che possono essere continuamente reintrodotti nel ciclo produttivo¹². L'adozione di input circolari contribuisce a ridurre l'impatto ambientale complessivo e a migliorare la resilienza delle catene di approvvigionamento. L'estensione della vita utile del prodotto si focalizza invece sul prolungamento della durata di utilizzo attraverso pratiche come la riparazione, il riuso, la rigenerazione e l'upgrade¹³. Questo modello contribuisce significativamente alla riduzione dei rifiuti e alla conservazione delle risorse, incoraggiando una mentalità che valorizza la longevità dei prodotti anziché il consumo rapido e lo smaltimento. Poi, le piattaforme di condivisione, le quali ottimizzano l'uso di prodotti e risorse attraverso la condivisione di proprietà, accesso e utilizzo, facilitata dalle tecnologie digitali¹⁴. Per le grandi aziende, adottare queste piattaforme richiede un cambiamento significativo nei

modelli di business esistenti o la creazione di nuove iniziative, come, ad esempio il modello “Prodotto come Servizio” (fig. 02), che consente alle aziende di mantenere la proprietà di un prodotto e di venderne i benefici come servizio, gestendo la manutenzione e il trattamento alla fine del ciclo di vita, in particolare modo dei materiali che lo compongono¹⁵. Questo approccio sposta l'attenzione dalle vendite volumetriche alla performance del prodotto¹⁶, consentendo alle aziende di generare valore aggiunto attraverso servizi aggiuntivi, dati d'uso o recupero di valore materiale al termine dell'uso. Nonostante il potenziale incremento di valore, l'adozione su larga scala del modello “Prodotto come Servizio” rimane limitata, richiedendo un cambiamento fondamentale nella proposta di valore delle aziende e affrontando diverse complessità nell'implementazione¹⁷. È il recupero delle risorse a concentrarsi sul valore incorporato dei materiali o dell'energia nei beni agricoli e industriali, attraverso raccolta, aggregazione e processamento alla fine del ciclo di vita, tramite riciclaggio, upcycling o downcycling, preferendo, quanto più possibile, la prima¹⁸. Questo modello si è diffuso ampiamente, recuperando materiali preziosi dai rifiuti e dai sottoprodotti industriali. Il pieno potenziale di queste soluzioni però non è ancora stato realizzato, con limitazioni economiche e tecnologiche che influenzano la quantità e la qualità dei materiali recuperati¹⁹. L'adozione dei modelli di recupero delle risorse potrebbe aumentare ulteriormente grazie a cambiamenti regolatori e pressioni degli utilizzatori finali²⁰. Le imprese devono incentivare il coinvolgimento degli utenti finali, incoraggiare il ritorno dei prodotti, promuovendo un cambiamento comportamentale a lungo termine²¹. Questo panorama dimostra come l'innovazione e la sostenibilità siano fondamentali per affrontare le sfide globali come il cambiamento climatico e la gestione delle scarsità delle risorse, specie nei materiali compositi e, di riflesso, biocompositi. Le aziende devono continuare a investire in tecnologie avanzate, modelli di business innovativi, il più possibile alternativi, e pratiche eco-sociali per garantire un futuro più resiliente ed efficiente dal punto di vista ambientale e sociale²², senza tralasciare – come enucleato nel capitolo 1 – gli importanti aspetti sociali e culturali.

Un diverso rapporto con le materie prime, e una rinnovata attenzione agli scarti di filiera, alla durata della vita utile dei prodotti e al loro fine vita, inizia così a delinearsi, seppur timidamente, anche nel settore dei materiali compositi. In questo ambito, come visto, da un lato, si sta lavorando alla sostitu-

16. Bocken, N. M., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320.

17. Stahel, W. R. (2010). *The performance economy*. Palgrave Macmillan.

18. Lacy, P., et al. (2021). op cit.

19. Armiero, M. (2021). *L'era degli scarti. Cronache dal Wasteocene, la discarica globale*. Einaudi.

20. Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380.

21. Foer, J. S. (2019). *Possiamo salvare il mondo, prima di cena. Perché il clima siamo noi*. Guanda.

22. Ferrara, M. (2021). Circular materials: Bioplastics, creative industries, design practices, emerging materials, design for materials. In L. Clèries, V. Rognoli, S. Solanki, & P. Llorach (Eds.), *Material Designers. Boosting talent towards circular economies* (pp. 52–59). Creative Europe Programme of the European Union

Future System

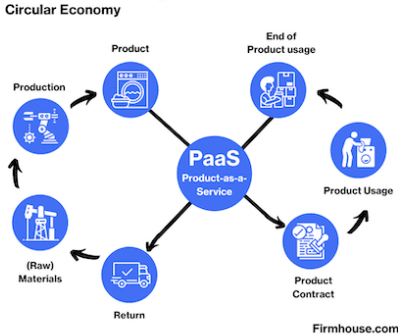


fig. 02 Schematizzazione PaaS - Product as a Service

23. Saba Naheed, Mohammad Jawaid, & Mohamed Thariq (Eds.). (2021). *Biopolymers and biocomposites from agro-waste for packaging*. Elsevier.

24. Borjan, D., Santos, R. M., & Tavares, T. (2021). Recycling of carbon fiber-reinforced composites – Difficulties and future perspectives. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23, 242-255.

25. Jefferson, A. J., & Dhakal, H. N. (2022). Sustainable biobased composites for advanced applications: Recent trends and future opportunities – A critical review. *Composites Part C: Open Access*, 7, 100220.

26. Shanmugam, V., Mensah, R. A., Försth, M., Sas, G., Restás, Á., Addy, C., Xu, Q., Jiang, L., Neisiany, R. E., Singha, S., George, G., Jose, T. E., Berto, F., Hedenqvist, M. S., Das, O., & Ramakrishna, S. (2021). Circular economy in biocomposite development: State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Composites Part C: Open Access*, 5, 100138

27. Pokharel, A., Falua, K. J., Babaei-Ghazvini, A., & Acharya, B. (2022). Biobased polymer composites: A review. *Journal of Composite Science*, 6(9), 255.

28. Vezzoli, C. (Ed.). (2022). *System design for sustainability in practice: Methods, tools and guidelines to design sustainable product-service systems applied to distributed economies*. Maggioli.



fig. 03 Riutilizzo degli sfridi di tessuto secco, Raimante

zione delle resine sintetiche, rinforzate con fibre di vetro o di carbonio, con una o più “fasi” di origine biologica²³, dall'altro si cerca anche di attuare logiche di upcycling e demanufacturing (fig. 03) utilizzando gli sfridi di tessuto secco o pre-impregnato in fibra di carbonio – o vegetale – non curati²⁴. L'adozione di materiali compositi a base biologica rappresenta una sfida significativa, poiché richiede non solo l'adeguamento delle tecnologie di produzione, ma anche un ripensamento delle catene di approvvigionamento e delle prassi di progettazione. I biocompositi, infatti, almeno teoricamente, possono offrire vantaggi ambientali rilevanti, come la riduzione delle emissioni di gas serra e una maggiore biodegradabilità rispetto ai compositi tradizionali²⁵. Seppur bisogna riconoscere che la loro diffusione sia ancora limitata da una conoscenza tecnologica non propriamente matura, così come da una mancanza di dati certi nella letteratura scientifica di riferimento, su come essi si possano comportare nel lungo termine, in modo particolar per i biocompositi fibrorinforzati basati su tessuti in fibre naturali²⁶. E ancora, nonostante i biocompositi siano spesso considerati più sostenibili dei compositi in fibra di carbonio, gli studi di Life Cycle Assessment (LCA) rivelano che non sempre rispettano tali requisiti. Sebbene la produzione di fibre naturali implichi un consumo energetico inferiore, la sostenibilità complessiva può essere compromessa dal trasporto a lunga distanza delle materie prime, che aumenta l'impronta di carbonio. Inoltre, i biocompositi possono degradarsi più rapidamente a causa delle condizioni ambientali, riducendo così la loro durata e utilità rispetto ai compositi tradizionali²⁷. In tale direzione, a partire dalle più recenti sperimentazioni su questa tipologia di materiali e dalle tecnologie di produzione e di recupero, sarà determinante il ruolo del designer, i quali, potranno proporre nuove soluzioni progettuali e prospettive di sviluppo territoriale e di filiera, con il valore aggiunto della sostenibilità ambientale. Il design, infatti, non si limita alla forma e alla funzione, ma coinvolge anche l'intero ciclo di vita del prodotto, dalla scelta dei materiali alla sua dismissione, ponendo particolare attenzione all'eco-design e all'economia circolare²⁸. Sulla scorta di queste prime riflessioni, si tenterà adesso di restituire uno spaccato il più possibile aggiornato circa i materiali biocompositi e la loro relazione con la sostenibilità ambientale e sociale nelle società industrialmente mature. L'obiettivo del seguente paragrafo è dunque quello di far emergere quanto complessa sia la sostenibilità che ruota at-

torno a questi particolari materiali compositi. Se è vero che i materiali biocompositi rientrano nel cluster dei materiali cosiddetti “bio-based”, per via della loro composizione che include una o più fasi di origine vegetale, allora, all'interno del dibattito di questi materiali, occorre necessariamente fare un distinguo tra i termini “compostabile” e “biodegradabile”: un materiale è definito biodegradabile se può essere decomposto dai microrganismi presenti nell'ambiente naturale in un tempo relativamente breve, trasformandosi in acqua, anidride carbonica e biomassa. La biodegradabilità, tuttavia, non implica necessariamente che il materiale sia adatto a essere compostato in un ambiente controllato²⁹. Ecco dunque che, d'altro canto, un materiale compostabile deve non solo essere poter essere biodegradabile, ma deve anche decomporsi in condizioni specifiche di compostaggio, che includono temperatura, umidità e presenza di ossigeno, trasformandosi in compost utilizzabile senza lasciare residui tossici (fig. 04). Pertanto, tutti i materiali compostabili sono biodegradabili, ma non tutti i materiali biodegradabili sono compostabili³⁰.

I materiali biocompositi presentano diversi vantaggi, come il fatto di derivare da risorse rinnovabili e la possibilità di ridurre, almeno teoricamente, l'impronta di carbonio rispetto ai materiali sintetici. Tuttavia, ci sono ancora significative sfide da affrontare in termini di sostenibilità “di sistema”³¹. La biodegradabilità e la compostabilità dei biocompositi dipendono, di fatto, dalla combinazione specifica delle fibre naturali e delle matrici polimeriche utilizzate. Ad esempio, mentre alcune fibre naturali possono biodegradarsi rapidamente, le matrici polimeriche, specialmente se sintetiche, potrebbero non essere compostabili, o potrebbero, nella migliore delle ipotesi, richiedere tempi molto più lunghi per degradarsi completamente. In questa direzione, un problema cruciale è la necessità di generare condizioni specifiche per il compostaggio industriale, che non sono sempre replicabili in ambienti naturali o domestici, necessitando così di alti costi per la realizzazione di nuovi impianti industriali³². Inoltre, durante il compostaggio industriale, la completa decomposizione delle fibre e delle matrici deve essere monitorata per evitare la formazione di microplastiche, che possono avere impatti ambientali negativi³³. In altre parole, sebbene i biocompositi abbiano il potenziale per contribuire significativamente alla “preferibilità” ambientale di determinati prodotti, allo stato di fatto risulta fondamentale considerare le loro proprietà di biodegradabilità e compostabilità nel conte-

29. Donkor, L., Kontoh, G., Yaya, A., Bediako, J. K., & Apalangya, V. (2023). Bio-based and sustainable food packaging systems: Relevance, challenges, and prospects. *Applied Food Research*, 3(2), 100356.

30. Han, J. M., & Yoon, D. K. (2021). Advances in soft materials for sustainable electronics. *Engineering*, 7(5), 564-580.

31. Manu, T., Nazmi, A. R., Shahri, B., Emerson, N., & Huber, T. (2022). Biocomposites: A review of materials and perception. *Materials Today Communications*, 31, 103308.

32. Campilho, R. D. S. G. (2017). Recent innovations in biocomposite products. In D. Ray (Ed.), *Biocomposites for high-performance applications* (pp. 275-306). Woodhead Publishing.

33. Chang, B. P., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2020). Studies on durability of sustainable biobased composites: A review. *RSC Advances*, 10(31), 17955-17999.



fig. 04 Biocomposito compostabile ottenuto dagli scarti del grano, ITEN

34. Prasad, V., Alliyankal Vijayakumar, A., Jose, T., & George, S. C. (2024). A comprehensive review of sustainability in natural-fiber-reinforced polymers. *Sustainability*, 16(3), 1223.

35. Sarasini, F., & Fiore, V. (2018). A systematic literature review on less common natural fibres and their biocomposites. *Cleaner Production*, 95, 240-267.

36. Zhou, Y., Stanchev, P., Katsou, E., Awad, S., & Fan, M. (2019). A circular economy use of recovered sludge cellulose in wood plastic composite production: Recycling and eco-efficiency assessment. *Waste Management*, 99, 42-48.

37. Szatkowski, P., Gralewski, J., Suchorowiec, K., Kosowska, K., Mielan, B., & Kisilewicz, M. (2024). Aging process of biocomposites with the PLA matrix modified with different types of cellulose. *Materials*, 17(1), 22.

38. Shanmugam, V., et al. (2021). op cit.

39. Ibidem.

40. Ibidem.



fig. 05 Tavola da surf in biocomposito

sto dell'intero ciclo di vita del prodotto stesso, assicurando che le soluzioni sviluppate siano, di caso in caso, efficaci e sicure per l'ambiente³⁴. Emerge, con ciò, un primo ragionamento. Per quanto riguarda la "circolarità" dei materiali biocompositi, questa sembra essere ampiamente garantita nella fase iniziale di produzione in quanto le fibre vegetali comunemente utilizzate, come juta, lino, canapa, ibisco, ginestra, cotone, kapok, cocco, ananas, banana, palma e sisal, provengono da steli, semi, frutti e foglie di piante e sono per loro natura rinnovabili, con un'impronta di carbonio molto ridotta³⁵. Nonostante ciò, se complicassimo la questione della circolarità dei biocompositi, e la osserviamo alla fine del loro ciclo di vita, in un'auspicabile ottica "Cradle to Cradle", rimane aperta e irrisolta. Questo è dovuto al legame intrinseco tra la matrice polimerica, anche se termoplastica e quindi potenzialmente riutilizzabile, e il riempitivo/rinforzo, che rende la separazione a livello industriale oggi costosa e tecnicamente complicata, attualmente non vantaggiosa per le aziende produttrici, le quali - in concerto con le aziende di gestione dei rifiuti speciali - continuano a mandare a inceneritore o, ben che vada, al compostaggio industriale, gli oggetti in biocomposito non utilizzati, non necessari o a fine vita³⁶. Per diminuire gli impatti e migliorare il quadro generale, la chimica e l'ingegneria dei materiali stanno nondimeno sperimentando diverse soluzioni per il riciclo dei biocompositi fibrorinforzati lavorando, ad esempio, sullo sviluppo di innovative matrici di origine biologica³⁷. Tra queste, si annoverano combinazioni come PLA/canapa, PLA/lino, PHA/sisal e TPS+PLA/bambù (fig. 05). Le tecniche di riciclo esplorate includono pratiche di riciclaggio meccanico e chimico, oltre al compostaggio industriale³⁸. Emergono, tuttavia, altre criticità significative che ostacolano il raggiungimento della "circolarità totale" per questi materiali. Durante il processo di macinazione, le fibre tendono ad accorciarsi, deteriorando le proprietà meccaniche dei materiali riciclati³⁹. Inoltre, la separazione delle fibre naturali dalla matrice richiede l'uso di solventi e catalizzatori chimici, che possono danneggiare ulteriormente le fibre⁴⁰. Qualora si optasse per non separare il rinforzo dalla matrice alla fine del ciclo di vita, i biocompositi più innovativi, dotati di matrici di derivazione naturale, possono essere compostati industrialmente o tritati e riutilizzati. Ad esempio, possono essere impiegati come riempitivi inerti nella produzione di malte cementizie polimeriche per l'edilizia a basso costo.

Nella letteratura, nonostante questi materiali vengono spesso

definiti "circolari", per via della loro genesi organica e rinnovabile, essi si inseriscono nei percorsi dell'economia circolare in modi diversi, a seconda della tipologia specifica del materiale e del manufatto a cui vengono applicati⁴¹. Ad esempio, un portello per automobili da racing in fibra di lino/epossidica termoidurente, pur essendo tecnicamente recuperabile, tende ad avere il suo fine vita nell'incenerimento o nella termovalorizzazione, che rappresentano scenari meno preferibili nell'economia circolare (fig. 06). Diversamente, un imballaggio ottenuto da scarti della filiera agroalimentare può più facilmente rientrare nella filiera del compostaggio industriale. Questo scenario evidenzia che, nonostante le potenzialità di circolarità dei biocompositi, esistono ancora sfide significative, in cui la gestione a fine vita di questi materiali deve essere attentamente considerata per ottimizzare i benefici ambientali e minimizzare l'impatto negativo⁴². La progettazione dei prodotti in biocomposito deve quindi tenere conto non solo delle proprietà iniziali del materiale, ma dovrà anche prevenire la possibilità di riciclo e riutilizzo, in linea con i principi dell'economia circolare⁴³.

A incoraggiare tutto ciò sono anche i quadri normativi europei. La normativa europea ha recentemente intensificato la regolamentazione dei materiali biocompositi e biobased, in particolare attraverso il Regolamento (UE) 2023/1542 che mira a promuovere l'economia circolare e ridurre l'impatto ambientale dell'industria. Questo regolamento enfatizza l'importanza di materiali provenienti da fonti rinnovabili, incoraggiando l'uso di biocompositi che riducono le emissioni di CO² e promuovono il riciclo. Inoltre, il Regolamento (UE) 2022/2066 estende le misure di sorveglianza del mercato per garantire la conformità dei prodotti industriali ai criteri di sostenibilità ambientale. Tali normative sono supportate da programmi di finanziamento come Horizon Europe, che sostengono progetti di ricerca e sviluppo nel campo dei materiali sostenibili, evidenziando l'impegno dell'UE nel raggiungere gli obiettivi del Green Deal europeo e la neutralità climatica entro il 2050⁴⁴.

L'analisi dello stato dell'arte, relativo alla sostenibilità ambientale nelle società industriali mature dei biocompositi, mette in luce come la ricerca, applicata o di base, sia oggi maggiormente focalizzata sulle sole soluzioni di riciclo o recupero delle fibre, nonché sulla biodegradabilità e compostabilità dei materiali biocompositi largamente intesi⁴⁵. Questo orientamento, sebbene necessario e valevole, spesso trascura altre considerazioni essenziali maggiormente adatte a generare una so-

41. Jefferson, A.J., Dhakal, H.N. (2022). op cit.

42. Saba, N., Jawaid, M. (2021). op cit.

43. Ellen MacArthur Foundation. (2022). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation.

44. European Bioplastics. (2023). *EU policy framework on biobased, biodegradable, and compostable plastics*. European Bioplastics e.V.

45. Shanmugam, V., Das, O., Neisiany, R. E., & others. (2020). Polymer recycling in additive manufacturing: An opportunity for the circular economy. *Materials Circular Economy*, 2(11), 113.



fig. 06 Portellone auto in biocomposito

46. Fragassa, C., Vannucchi de Camargo, F., & Santulli, C. (2024). Sustainable biocomposites: Harnessing the potential of waste seed-based fillers in eco-friendly materials. *Sustainability*, 16(4), 1526.

47. Sapuan, S. M. (2017). *Materials Selection for Composites: Concurrent Engineering Perspective*. Elsevier.

48. Cristóbal, J., Albizzati, P. F., Giavini, M., Caro, D., Manfredi, S., & Tonini, D. (2023). Management practices for compostable plastic packaging waste: Impacts, challenges and recommendations. *Waste Management*, 170, 166-176.

49. Machado, N., & Morioka, S. N. (2021). Contributions of modularity to the circular economy: A systematic review of literature. *Journal of Building Engineering*, 44, 103322.

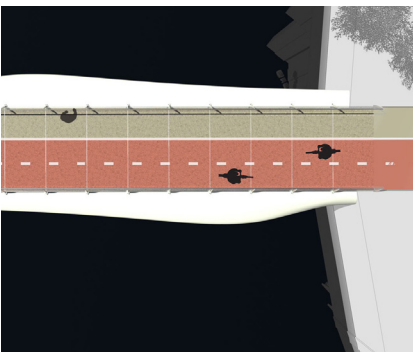


fig. 07 Concept di una pala eolica riutilizzata come ponte ciclo-pedonale



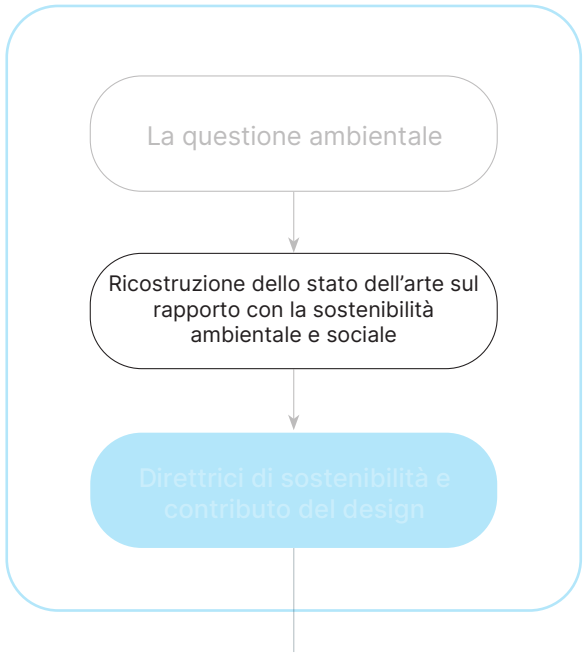
fig. 08 Fibre triturate per essere riciclate

stenibilità di sistema. Tra queste, l'adeguatezza d'uso del materiale, l'aumento della durata utile del prodotto, la possibilità di manutenzione e riparazione, e il riutilizzo dell'intero componente in applicazioni diverse (seguendo logiche di upcycling) (fig. 07) – concetti che saranno ripresi nel paragrafo conclusivo, e di fondo, di questa seconda parte –. Le soluzioni di riciclo e di recupero meccanico o chimico delle fibre naturali (fig. 08) – tematica che invece sarà approfondita nel prossimo paragrafo –, nonché il compostaggio industriale, seppur con le loro criticità, rappresentano comunque un passo avanti significativo verso la chiusura del ciclo di vita dei materiali biocompositi⁴⁶. Se è vero che la biodegradabilità e la compostabilità dei biocompositi restano aspetti di grande rilevanza, poiché permettono una gestione sostenibile dei rifiuti, è altresì essenziale, allo stato di fatto, che queste proprietà siano valutate e migliorate per garantire che i materiali non solo si degradino, ma lo facciano in modo efficiente e sicuro, senza lasciare residui nocivi per l'ambiente. Come detto, dalla visuale del design, un approccio maggiormente olistico dovrebbe perciò considerare – o riconsiderare – anche l'adeguatezza d'uso del materiale biocomposito per specifiche applicazioni. Questo implica, nei team di progettazione, il saper valutare le proprietà meccaniche, la resistenza e la durabilità del materiale in relazione all'uso previsto, ma anche prevederne il ciclo di vita⁴⁷. Un materiale che si degrada troppo rapidamente o che non possiede le necessarie caratteristiche strutturali potrebbe risultare inefficace, compromettendo la sostenibilità complessiva del prodotto, ma è pur vero che lo stesso materiale, ad esempio, potrebbe essere utilizzato per applicazioni in cui sia la durata effimera del prodotto a guidarne l'obiettivo progettuale⁴⁸. Altro aspetto cruciale, e consequenziale nel ragionamento presentato, è quindi l'aumento della durata utile del prodotto. Materiali che richiedono sostituzioni frequenti contribuiscono alla generazione dei rifiuti e al consumo di risorse; pertanto, estendere la vita utile dei prodotti in biocomposito attraverso il miglioramento delle loro proprietà meccaniche e la resistenza agli agenti esterni, laddove è estremamente necessario, resta un obiettivo primario. In tale direzione, la possibilità di manutenzione e di riparazione dei prodotti in biocomposito è un'altra traiettoria fondamentale, poiché progettare i materiali, così come i prodotti, per essere facilmente riparati, riduce la necessità di sostituzioni complete, contribuendo a una maggiore sostenibilità⁴⁹. Infine, il riutilizzo dei componenti biocompositi in

nuove applicazioni, seguendo le logiche di upcycling, permette di valorizzare ulteriormente le risorse impiegate⁵⁰. In definitiva, e in conclusione, un approccio integrato idoneo a bilanciare le soluzioni di riciclo e recupero con considerazioni sull'adeguatezza d'uso, durabilità, manutenzione e riutilizzo dei materiali biocompositi è essenziale, come si vedrà nel paragrafo conclusivo 4.4, per avanzare verso una più complessa e raffinata sostenibilità “di sistema”, quantomeno “preferibile”.

50. Boonpracha, J., Chanplin, P., Ngampipat, C., & Sermisri, N. (2024). Upcycling for repurposing waste into creative products. *Creativity Studies*, 17(1), 192-206.

D2. Come, oggi, questi materiali a genesi combinatoria si relazionano con la sostenibilità ambientale e sociale nelle società industriali mature?



Sintesi e schema di lettura del capitolo

4.2 Le attuali possibilità sul riciclo

Il settore dei materiali compositi e, di converso, quello dei biocompositi – come ampiamente enucleato nel precedente paragrafo – devono continuare a confrontarsi con sfide ambiziose concernenti la trasformazione dei modelli di produzione e consumo in linea con i principi dell'economia circolare. Permane dunque cruciale il poter recuperare e riutilizzare prodotti a fine vita nei vari settori industriali, abbandonando il concetto di rifiuto in favore del riuso per un uso efficiente delle risorse. I materiali compositi e biocompositi, si ricorda ottenuti combinando fibre di rinforzo e resine polimeriche, offrono una straordinaria combinazione di rigidità, resistenza e leggerezza, riducendo la massa e facilitando il trasporto, il montaggio e l'installazione. Si può affermare che, per componenti in movimento, come turbine eoliche o parti di veicoli, ciò comporta già una riduzione della richiesta del dispendio energetico¹. Questi vantaggi, uniti alla durabilità generalmente superiore del materiale, riducono il consumo energetico e le emissioni di gas serra, garantendo maggiore durata dei componenti talvolta anche in assenza di manutenzione². Quando un componente in materiale composito arriva al termine della sua fase di utilizzo, la decisione riguardo al suo smaltimento deve essere, oggi, il più possibile in linea con l'economia circolare. Anche in questo settore, siffatto modello trasforma radicalmente la produzione e il consumo, promuovendo la condivisione, il prestito, la riparazione, il ricondizionamento, il riuso e il riciclo dei materiali esistenti per mantenerli nel ciclo il più a lungo possibile. È bene tuttavia ribadire che un uso razionale delle materie prime può limitare questi fattori e garantire una catena di approvvigionamento più sicura. Sono ormai molte le ricerche che, in letteratura, almeno concettualmente, introducono, e in un certo senso affermano, una gerarchia nel trattamento del fine vita di tali materiali, che promuove la riparazione e il riutilizzo dei prodotti prima del riciclo vero e proprio³. I materiali compositi, di base, sono durevoli, resistenti ai danni e alle aggressioni ambientali, e facili da riparare, ma è pur vero che nel fine vita continua ad emergere in maniera crescente il problema dello smaltimento⁴. Per fare un esempio, il settore dell'industria aeronautica sarà profondamente coinvolto nel problema della gestione dei compositi: nel prossimo decennio, infatti, giungeranno a fine vita molti dei componenti degli aeromobili commerciali prodotti nel corso degli anni '90. Secondo una stima, su ogni aeromobile almeno il 20% dei componenti, ovvero circa 2 tonnellate di peso, è re-

1. Assocompositi (Ed.). (2022). *Circolarità dei materiali compositi*. Assocompositi.

2. Post, W., Susa, A., Blaauw, R., Molenveld, K., & Knoop, R. J. I. (2019). A Review on the Potential and Limitations of Recyclable Thermosets for Structural Applications. *Polymer Reviews*, 60(2), 359–388.

3. Joustra, J. J., Bakker, C., Bessai, R., & Balkenende, R. (2022). Circular composites by design: Testing a design method in industry. *Sustainability*, 14(13), 7993.

4. Ibidem.

5. Caretto, F. (2020). Da rifiuto a risorsa: La nuova vita delle fibre di carbonio. Recuperato da: <https://www.openinnovation.regione.lombardia.it/b/572/> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

6. Liu, P., & Barlow, C. Y. (2017). Wind turbine blade waste in 2050. *Waste Management*, 62, 229-240.

7. Arussi, E., Hall, J., & Holland, J. (2023). Composite materials: A hidden opportunity for the circular economy. *CSR Europe*.

8. Mancini, M. (2023). *Basalt fiber: Material, design, art*. Springer.



fig. 01 Alternativa ai pannelli MDF by Gees Recycling



fig. 02 Rottura fibra di carbonio

alizzato in composito; anche limitandosi al settore aeronautico civile, si tratta di quantità enormi a livello mondiale, delle quali soltanto una minima parte viene reimpiegata, mentre la quasi totalità è destinata allo smaltimento in discarica o all'incenerimento⁵. Un altro ambito coinvolto nella gestione della fine vita dei compositi riguarda quello della produzione di energia da fonti rinnovabili i cui impianti, destinati a tali produzioni sostenibili, sono comunque anch'essi da smaltire. Parlando ad esempio delle enormi pale eoliche, attualmente realizzate quasi esclusivamente in fibra di vetro, uno studio⁶ prevede che nel 2050 a livello mondiale dovranno essere gestite circa 43 milioni di tonnellate di rifiuti derivanti dagli aerogeneratori. La gestione della fine vita dei prodotti in materiali compositi segue dunque diversi percorsi. In alcuni casi si possono effettuare riparazioni o sostituzioni, al fine di prolungare la vita del manufatto. Quando il prodotto fa parte di un manufatto più grande che è necessario sostituire, allora è possibile recuperare singole parti e adattare a nuovi impieghi, mantenendo inalterate le caratteristiche del composito ma, ad esempio, ridimensionandolo come avviene nel caso del recupero di porzioni di pale eoliche per nuovi utilizzi nella fabbricazione di ponti o autobus⁷. Come sostiene Marco Mancini, un caso interessante per ciò che concerne il riciclo è quello dell'italiana Gees Recycling (fig. 01), azienda che utilizza compositi a matrice termoindurente rinforzati con fibra per generare pannelli con diverse densità e ricette, da poter reimpiegare in sostituzione di pannelli MDF (in quanto lavorabili con le più comuni tecniche di falegnameria: foratura, fresatura, avvitatura, laminazione, verniciatura, incollaggio) ma, a differenza di questi ultimi, più flessibili nella scelta delle performance, dotati di proprietà idrofughe, senza formaldeide, resistenti alla proliferazione batterica in ambiente umido, e con stabilità dimensionale. I prodotti realizzati in compositi in fibra di carbonio o basalto, o in biocomposito, possono entrare in questo processo ed essere riutilizzati, anche grazie alle caratteristiche di resistenza meccanica e alla compatibilità della fibra con altri materiali⁸. Quando il manufatto in composito ha perso le sue caratteristiche di resistenza e manifesta fenomeni di degrado più o meno estesi e visibili (fig. 02), allora non è più riparabile né riciclabile per altri usi: a questo punto è possibile parlare di fine vita del prodotto. Come anticipato nel precedente paragrafo, la gestione della dismissione del materiale prevede fasi differenti in base soprattutto al tipo di matrice impiegata. Nel

caso delle resine termoindurenti, che rappresentano la quota più alta di mercato tra i prodotti in compositi fibrorinforzati, la maggior parte dei processi di dismissione genera un decadimento prestazionale: trattamenti meccanici quali il mechanical grinding (abrasione meccanica), trattamenti chimici come la solvolisi (scissione tramite solvente) e termochimici quali la pirólisi (applicazione di calore senza agente ossidante) permettono di ottenere soltanto additivi/filler da riutilizzare nel ciclo dei compositi o per altri utilizzi⁹. Processi, questi, che saranno trattati più in dettaglio nel seguente paragrafo. Una strada molto promettente è offerta dalla ricerca su nuove tipologie di resine, in primo luogo quelle di tipo termoplastico, più facili da separare o da smaltire, oppure con impronta ambientale più bassa. Sono allo studio nuove resine termoplastiche riciclabili per depolimerizzazione o dissoluzione¹⁰ che potrebbero consentire la separazione della fibra dalla resina nel composito, con vantaggi notevoli sul piano della sostenibilità ambientale ed economica (fig. 03). Come ultimo stadio rimane il conferimento in discarica oppure l'incenerimento, ma con qualche appunto: la fibra di vetro, ad esempio, è difficilmente gestibile negli inceneritori poiché il vetro fonde creando una massa che aderisce alle strutture, difficile da asportare¹¹. Pertanto, laddove il reimpiego non è possibile, le alternative successive sono il riciclo, il recupero o lo smaltimento. Il riciclo implica che un componente a fine vita (EoL) o uno scarto di produzione venga trasformato in un nuovo prodotto o materiale con una funzione diversa, richiedendo energia e risorse per tale conversione. Il recupero consiste nel trasformare i rifiuti in combustibile o energia termica dopo aver rimosso i componenti riutilizzabili. Lo smaltimento in discarica o l'incenerimento senza recupero di energia sono le opzioni meno preferibili poiché non consentono il recupero di materiali o energia¹². Per alcuni materiali compositi, come il carbonio e la fibra di vetro, è possibile recuperare le fasi originali senza perdita di prestazioni, promuovendo così una circolarità efficiente. Eppure, la questione risulta più complessa per le fibre naturali, che tendono a perdere qualità in caso di separazione¹³. Teoricamente, questo approccio consente di chiudere il ciclo di vita del componente, permettendo la produzione di un nuovo componente per la stessa applicazione, evitando l'uso di nuove materie prime e mantenendo l'equilibrio tra domanda e offerta. Sebbene alcuni studi ottimistici sostengano che una circolarità del materiale con un ciclo chiuso al 100% sia un obiettivo re-

9. Assocompositi (2022). op cit.

10. Cardone, M. (2022). Dentro il cantiere della pala eolica riciclabile più grande del mondo. Recuperato da: <https://economy.circolare.com/pale-eoliche-riciclabili> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

11. Cooke, T. F. (1991). Inorganic fibers. A literature review. *Journal of Materials Science*, 26, 3801-3812.

12. Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR). (2023). Recuperato da: https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products_en (ultima consultazione 19 agosto 2024).

13. Krauklis, A. E., Karl, C. W., Gagani, A. I., & Jørgensen, J. K. (2021). Composite material recycling technology—State-of-the-art and sustainable development for the 2020s. *Journal of Composites Science*, 5(1), 28.



fig. 03 Jet Aviation ha iniziato a utilizzare una resina di origine biologica nella produzione di parti composite per gli interni delle cabine degli aerei

14. Frassine, R. (2024). Composites Sustainability: the EuCIA perspective. <https://belgian-presidency.consilium.europa.eu/media/pdujnfca/break-out-arenberg-2-eucia.pdf> (29 luglio 2024).

15. Ibidem.

16. Joustra, J.J., Bessai, R. (2022). Circular Composites: A design guide for products containing composite materials in a circular economy.

17. Assocompositi (2022). Circolarità dei materiali compositi.

18. Ibidem.



fig. 04 Co-processing: una soluzione per i materiali compositi a fine vita



fig. 05 Fibre di carbonio da riciclo

alizzabile per i materiali compositi¹⁴, resta ancora da valutare la fattibilità economica e l'impatto ambientale dei processi di recupero delle fasi (rinforzo/matrice) con le attuali conoscenze¹⁵. Altri studiosi suggeriscono di adottare una prospettiva più cauta, parlando di preferibilità ambientale piuttosto che di una chiusura totale del ciclo, invitando così a un approccio più modesto e realistico¹⁶.

Dopo quest'ulteriore ma necessaria introduzione, si procede in questo paragrafo con una mappatura e una relativa enucleazione delle attuali possibilità di riciclo, riuso e riparazione per il settore dei materiali compositi e, di converso, biocompositi. Come restituisce il report di Assocompositi, di recente stesura, attualmente, la principale tecnologia per il riciclo dei materiali compositi è rappresentata dai forni per la produzione del cemento, noto anche come co-processing. In questo processo, i rifiuti dei materiali compositi vengono in parte integrati nella composizione del cemento e in parte utilizzati come combustibile, contribuendo così a ridurre le emissioni di CO². Altre tecnologie di riciclo includono il riciclo meccanico ed elettromeccanico (frammentazione a impulsi ad alta tensione), oltre a processi termici come la pirolisi, il letto fluido e la depolimerizzazione, e processi termochimici come la solvolisi. Queste tecnologie sono a vari stadi di maturità tecnologica e non tutte sono disponibili su scala industriale. La valutazione dell'implementazione dei diversi processi di riciclo deve considerare vari fattori chiave: il costo del processo, che può variare significativamente; la resa qualitativa, che dipende dal tipo di fibra di rinforzo (vetro, carbonio o altro) e dalla matrice che le contiene; il formato e il livello di mantenimento delle proprietà delle fibre rigenerate; e l'impatto ambientale del processo¹⁷.

Le tecnologie di riciclo dei materiali compositi possono essere suddivise in due principali categorie: tecnologie già disponibili su scala industriale e tecnologie in fase di sviluppo¹⁸. Tra le prime rientrano il co-processing (fig. 04), il riciclo meccanico e la pirolisi (fig. 05). Il co-processing integra i rifiuti dei compositi nella produzione del cemento, fungendo anche da combustibile: il co-processing nei cementifici è particolarmente efficace per il riciclo della "vetroresina", un composito a base di fibre di vetro, ma non è adatto per il riciclo di compositi basati su fibre di carbonio. L'uso di questo processo con altre tipologie di fibre di rinforzo non è ancora stato ampiamente studiato. In questo approccio, parte della materia prima destinata alla produzione del cemento viene sostituita dalle fibre di vetro e dai

riempitivi inorganici presenti nei materiali compositi, mentre la resina presente nei compositi rimpiazza i combustibili primari, come il pet-coke, utilizzati nella produzione del clinker¹⁹. Questo metodo offre alta efficienza, velocità e scalabilità, contribuendo a una riduzione del 20% dell'impronta di carbonio nella produzione del cemento²⁰. Tale riduzione si ottiene grazie all'uso di materie prime decarbonizzate (l'ossido di calcio delle fibre di vetro al posto del carbonato di calcio minerale) e alla dispersione ottimale tra la resina e la carica minerale, che migliora notevolmente l'efficienza della combustione e il rendimento energetico del processo.

Il riciclo meccanico, invece, comporta la riduzione dei materiali compositi in frammenti attraverso processi fisici: il riciclo tramite macinazione meccanica controllata è un metodo efficace e a basso costo, con un ridotto fabbisogno energetico (fig. 06). Tuttavia, questo processo comporta una significativa diminuzione del valore dei materiali riciclati²¹. Le fibre corte e la matrice macinata ottenuti possono essere impiegati rispettivamente come rinforzi o riempitivi. Questo metodo è energeticamente efficiente e adattabile a diversi flussi e tipologie di materiali. Permette anche un parziale recupero delle proprietà fisico-meccaniche dei compositi originari. Le applicazioni sono varie e includono prodotti di arredo e oggetti industriali, dove il materiale riciclato può fungere da rinforzo, offrendo vantaggi sia economici che ambientali²².

La pirolisi utilizza alte temperature in assenza di ossigeno per decomporre i materiali compositi, producendo gas, oli e solidi: la pirolisi è un processo di recupero termico che consente di recuperare sia le fibre che i prodotti idrocarburici generati dalla decomposizione termica della matrice. Questi prodotti idrocarburici sono spesso utilizzati per ridurre il consumo energetico del processo. Sebbene il valore del materiale riciclato sia generalmente più elevato rispetto ad altri metodi precedenti, si verifica comunque una perdita rispetto al prodotto originale, in particolare per le fibre di vetro. Questo è dovuto al fatto che la superficie delle fibre perde l'appretto che facilita l'adesione alla matrice e, in molti casi, può essere danneggiata a causa dell'esposizione alle alte temperature, riducendo così la resistenza. La pirolisi comporta anche costi maggiori sia per gli investimenti iniziali che per la gestione operativa. Attualmente, questa tecnologia di recupero può risultare forse economicamente sostenibile per le fibre di carbonio, ma non è ancora diffusa su larga scala a causa dei volumi relativamente bassi

19. Assocompositi (2022). Circolarità dei materiali compositi.

20. Ibidem.

21. Perry, N., Bernard, A., Laroche, F., & Pompidou, S. (2012). Improving design for recycling – Application to composites. *CIRP Annals*, 61(1), 151-154.

22. Naqvi, S. R., Prabhakara, H. M., Bramer, E. A., Dierkes, W., Akkerman, R., & Brem, G. (2018). A critical review on recycling of end-of-life carbon fibre/glass fibre reinforced composites waste using pyrolysis towards a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 118-129.



fig. 06 Riciclo meccanico

23. Frassine, R. (2024). Composites sustainability: The EuCIA perspective. Recuperato da: <https://belgian-presidency.consilium.europa.eu/media/pdujnfca/break-out-arenberg-2-eucia.pdf> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

24. Assocompositi (2022). op cit.

25. Ibidem.

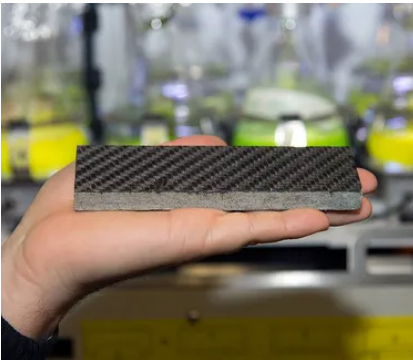


fig. 07 I processi di pirolisi promettono un riciclo "preferibile" dei compositi fibrorinforzati

di materiale da riciclare²³. Questi metodi sono già applicabili su scala industriale e rappresentano le opzioni più consolidate per il riciclo dei compositi (fig. 07). Le tecnologie in fase di sviluppo includono invece la solvolisi, il "letto fluido", la frammentazione a impulsi e la depolimerizzazione. La solvolisi utilizza solventi per decomporre i materiali compositi, permettendo il recupero delle fibre di rinforzo con buone proprietà meccaniche: La solvolisi è un processo chimico in cui solventi come acqua, alcol o altre sostanze chimiche vengono impiegati per decomporre la matrice a temperature e pressioni specifiche. A differenza della pirolisi, la solvolisi richiede temperature inferiori per degradare la resina, il che comporta una minore degradazione delle fibre. Tra le varie tecnologie di solvolisi, quella con acqua subcritica e altre tecniche avanzate appaiono particolarmente promettenti, poiché le fibre conservano gran parte delle loro proprietà meccaniche. Inoltre, dalla decomposizione della matrice è possibile recuperare sostanze chimiche liquide riutilizzabili nella formulazione delle resine per compositi. Sebbene la solvolisi sia facilmente scalabile, i costi di investimento, gestione e l'impatto ambientale associato possono essere elevati. La pirolisi a microonde è una variante della pirolisi tradizionale che impiega microonde per riscaldare i materiali in modo più uniforme ed efficiente²⁴. Il "letto fluido", noto anche come gassificazione, è un processo di decomposizione termica simile alla pirolisi, ma con modalità e risultati diversi. A differenza della pirolisi, che utilizza una specifica alimentazione e produce determinati prodotti, la gassificazione comporta una produzione di prodotti diversi, principalmente gassosi. Questi gas sono spesso utilizzati per il recupero energetico nel corso del processo. Rispetto alla solvolisi, la gassificazione può rendere più difficile il recupero di componenti chimici riutilizzabili nella matrice polimerica, poiché gran parte della matrice viene trasformata in prodotti gassosi. Tuttavia, la gassificazione ha il vantaggio di poter trattare materiali misti, come compositi laminati con superfici verniciate o nuclei in schiuma, rendendola particolarmente adatta per gestire componenti strutturali complessi²⁵. La frammentazione con impulsi ad alta tensione è un processo elettromeccanico che separa le matrici dalle fibre utilizzando elettricità piuttosto che calore. Sebbene possa essere necessario un elevato consumo di energia, con conseguenti costi significativi per l'impianto e il processo, la qualità delle fibre ottenute è molto alta. Queste fibre risultano più lunghe e più puli-

te rispetto a quelle prodotte tramite macinazione meccanica²⁶. Infine, la depolimerizzazione termochimica, eseguita in atmosfera di anidride carbonica, recupera sia le fibre di rinforzo che la resina, che può essere mescolata con resina vergine per nuovi compositi. Il processo avviene in due fasi: nella prima, il polimero si decompone in vapori che formano un liquido organico compatibile con la resina vergine; nella seconda, si rimuovono i residui organici e si recuperano le fibre e le cariche. Questa tecnica è efficiente e sostenibile, ottimizzando il recupero del liquido organico riutilizzabile e riducendo i costi rispetto ad altri metodi termici²⁷. Queste tecnologie sono ancora in fase di ricerca e sviluppo e richiedono ulteriori studi per valutarne la fattibilità economica e l'impatto ambientale su scala industriale. Da questa panoramica ne evince che il riciclo dei materiali compositi rappresenta, ancora, una sfida complessa che richiede l'implementazione di tecnologie avanzate e disruptive, e una valutazione approfondita dei loro impatti economici e ambientali. Le tecnologie già disponibili su scala industriale, come il co-processing, il riciclo meccanico e la pirolisi, offrono soluzioni pratiche per il recupero dei materiali compositi, mentre le tecnologie in fase di sviluppo, come la solvolisi e la pirolisi a microonde, promettono ulteriori miglioramenti nel futuro del riciclo dei compositi²⁸. La scelta della tecnologia più appropriata dipende da una serie di fattori, tra cui il costo del processo, la qualità delle fibre rigenerate e l'impatto ambientale complessivo, rendendo essenziale un approccio integrato e flessibile nella gestione del fine vita dei materiali compositi e biocompositi²⁹. Indipendentemente dal metodo di riciclo, le fibre recuperate tendono ad avere una lunghezza ridotta (fig. 08) e un orientamento casuale, risultando in una massa soffice e a bassa densità a causa della sminuzzatura e della manipolazione durante il processo. Questi trattamenti spesso rimuovono anche l'apprettatura, essenziale per una buona adesione alla matrice³⁰. Le fibre rigenerate possono essere utilizzate in tecniche tradizionali di stampaggio, come l'iniezione o il SMC, ma la qualità del materiale finale dipende dal controllo dell'orientazione delle fibre (fig. 09). I tessuti non tessuti di fibre rigenerate, ottenuti tramite processi tessili come la cardatura, sono già impiegati nella produzione di compositi, con alcuni tipi di veli e stuoie di carbonio rigenerato disponibili sul mercato³¹. Le fibre cardate possono essere ulteriormente pettinate e filate per ottenere filati, sebbene queste tecniche siano ancora in fase di sviluppo.

26. Assocompositi (2022). op cit.

27. Ibidem.

28. Joustra, J. J., Flipsen, B., & Balkenende, R. (2021). Circular design of composite products: A framework based on insights from literature and industry. *Sustainability*, 13(13), 7223.

29. Ibidem.

30. Jensen, J. P., & Skelton, K. (2018). Wind turbine blade recycling: Experiences, challenges and possibilities in a circular economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 165-176.

31. Alves, D. I., Barreiros, M., Fanguero, R., & Ferreira, D. P. (2024). Valorization of textile waste: Non-woven structures and composites. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 123454.



fig. 08 Fibre corte e casuali (ingrandimento)

32. Muthu, S. S. (2020). *End-of-life management of textile products: Circular economy and sustainable development*. Springer.

33. Assocompositi (2022). op cit.

34. Ibidem.

35. Ibidem.

Ciò pare risultare valevole anche nel settore dei biocompositi, dunque per le fibre di origine vegetale³². Attualmente, sono in fase di studio tecniche di rigenerazione avanzate per ottenere compositi con un miglior allineamento delle fibre. Le fibre di carbonio rigenerate tendono a mantenere meglio le loro caratteristiche originali rispetto alle fibre di vetro e hanno un valore commerciale maggiore, rendendo i processi di riciclo delle fibre, certamente per quelle di carbonio, più sostenibili economicamente³³.

Il quadro attuale sul riciclo dei materiali compositi evidenzia come le tecnologie e metodologie esistenti richiedano un aggiornamento verso pratiche più circolari e sostenibili. L'urgente necessità di affrontare le sfide ambientali e climatiche spinge a ripensare la progettazione e produzione dei beni di consumo con un focus su riciclabilità e riutilizzabilità. Questo implica un aumento dell'uso di materie prime e fibre con elevate capacità di riciclo, per permettere il riutilizzo dei precursori in applicazioni simili a quelle originarie. Al contempo, è cruciale progettare i manufatti e i loro assemblaggi in modo che possano essere facilmente smontati per un trattamento differenziato a fine vita, ad esempio impiegando adesivi reversibili che facilitano il disassemblaggio³⁴.

Le soluzioni più innovative attualmente in fase di sviluppo includono resine cleavable e fibre derivate da biomassa o progettate per rifusione a fine vita. Questi approcci mirano a ottimizzare l'uso delle risorse e semplificare il trattamento dei materiali a fine ciclo. Inoltre, si sottolinea – nuovamente – che è fondamentale adottare un approccio multidisciplinare supportato da indicatori di sostenibilità come il Life Cycle Assessment (LCA) e il Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA), che forniscono una visione globale delle prestazioni ambientali delle soluzioni proposte, ma, cercando in futuro di comprendere come ibridare questioni e aspetti relativi alla “socialità” dei contesti produttivi e delle ricadute culturali – vedere paragrafo 2.1 –. Le scelte più consapevoli delle materie prime comprendono l'uso di solventi e fasi provenienti da fonti rinnovabili. Altre opzioni includono prodotti riciclabili e riparabili come le resine termoplastiche reattive, i vitrimeri e le resine epossidiche cleavable. Le resine cleavable, ad esempio, consentono di “aprire” l'indurente con sostanze chimiche, mentre i vitrimeri possono essere recuperati senza perdita di prestazione tramite processi avanzati di solvolisi³⁵. AIRPOXY, ad esempio, è un materiale di recente produzione, certamente in-

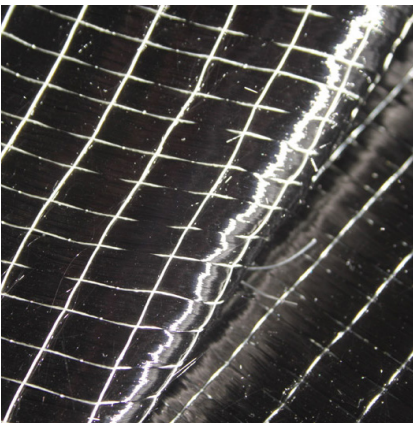


fig. 09 Fibre di carbonio rigenerate

novativo, che appartiene alla categoria dei compositi chiamati vitrimeri rinforzati con fibra di carbonio (vCFRP)³⁶. A differenza dei CFRP tradizionali, che si suddividono in termoindurenti e termoplastici, i vitrimeri offrono caratteristiche intermedie (fig. 10). I CFRP termoindurenti utilizzano una resina epossidica che solidifica permanentemente attraverso legami chimici stabili, mentre i termoplastici sono basati su una resina più morbida, fusibile e lavorabile, ma meno resistente. I vitrimeri combinano resistenza e flessibilità, consentendo di ristrutturare e riparare il materiale più volte³⁷.

Per mantenere specifiche prestazioni senza compromettere la riciclabilità, vengono sviluppate inoltre soluzioni multimateriale che facilitano la separazione dei componenti, come nel caso del riciclo delle batterie o nella progettazione di recipienti per idrogeno compresso. Inoltre, la transizione verso compositi a matrice termoplastica potrebbe semplificare il recupero delle fibre e della resina, sebbene questi materiali richiedano temperature e pressioni di lavorazione più elevate. Tuttavia, processi di infusione reattiva a bassa viscosità, utilizzando resine come PA6 e PMMA, possono mitigare tali difficoltà, rendendo questi materiali una soluzione promettente per una produzione più sostenibile. I materiali compositi – e biocompositi –, oltre ai loro noti vantaggi in termini di durabilità e efficienza, offrono diverse opportunità per una gestione circolare alla fine del loro ciclo di vita³⁸.

In ultima istanza, l'Unione Europea promuove una gerarchia di trattamento che preferisce prevenzione, riparazione e riutilizzo prima del riciclo vero e proprio, strategie particolarmente adatte per materiali compositi grazie alla loro riparabilità e longevità. Nondimeno, quando queste opzioni non sono praticabili, esistono tecnologie di riciclo avanzate. Per integrare efficacemente il riciclo dei compositi nell'economia circolare, è dunque fondamentale continuare a valutare l'impatto ambientale e la sostenibilità dei processi.

È altresì necessario che il settore collabori con gli altri attori della filiera, e con le istituzioni, per affrontare la circolarità dei materiali compositi in una visione multidisciplinare³⁹. Questo implica innovazione tecnologica, sviluppo di modelli di business, creazione di un quadro normativo chiaro e di riferimento. In questo settore, per promuovere l'adozione di modelli circolari, è essenziale innovare e – appannaggio dell'ingegneria dei materiali – continuare a sperimentare tecnologie per riparazione, riuso e riciclo, identificare codici rifiuto appropriati per i

36. Airpoxy. (n.d.). Airpoxy. Recuperato da: <https://www.airpoxy.eu/> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

37. Markaide Arana, N. (2022). Design, production and characterization of high performance 3R composites based on dynamic chemistry for the aerospace industry. *Composites Science and Technology*, 227, 109634.

38. Assocompositi (2022). op cit.

39. Sapuan, S. M. (2017). *Materials Selection for Composites: Concurrent Engineering Perspective*. Elsevier.

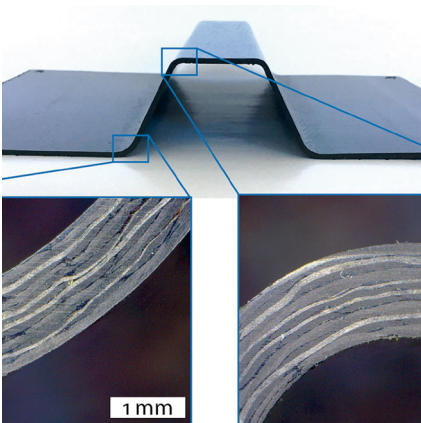
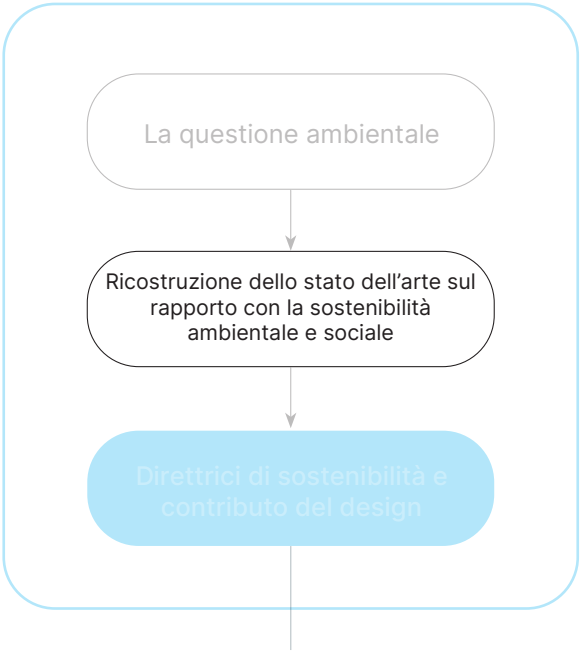


fig. 10 AIRPOXY

⁴⁰. Assocompositi (2022). op cit.

materiali compositi a fine vita, e definire criteri normativi per la cessazione della qualifica di rifiuto⁴⁰. Infine, è importante sviluppare una filiera economica sostenibile, che programmi processi di logistica inversa, per il trattamento e il riuso dei compositi, e che possa beneficiare sì di sostegni economici per le tecnologie e le materie prime riciclate, ma soprattutto che accolga e apra a soluzioni sistemiche in risposta ad alcune sfide complesse – argomento del prossimo paragrafo – per la preferibilità ambientale di questi materiali, ovviamente dalla visuale del design.

D2. Come, oggi, questi materiali a genesi combinatoria si relazionano con la sostenibilità ambientale e sociale nelle società industriali mature?



Sintesi e schema di lettura del capitolo

4.3 Limiti, scenari futuri e sfide di sistema per l'adozione e la circolarità dei materiali biocompositi

Secondo la logica dell'adeguatezza all'uso del materiale – ovvero del giusto materiale per il giusto prodotto –, i biocompositi costituiscono una valida e promettente alternativa ad alcuni materiali convenzionali derivati dal petrolio, principalmente, ricordiamo, per via della loro composizione biologica e della conseguente e comprovata riduzione della dipendenza dai combustibili fossili. Eppure, questi materiali “avanzati” si trovano ad affrontare una serie di sfide tecniche, estetico-percettive e sistemiche che ne ostacolano la diffusione su larga scala e l'efficacia applicativa¹. Tali sfide non solo limitano l'adozione dei biocompositi da parte dell'industria, ma ne rallentano significativamente il progresso verso la piena realizzazione delle logiche circolari o di riciclo descritte precedentemente. La necessità di superare queste barriere permane dunque cruciale per valorizzare appieno le proprietà dei biocompositi e, con ciò, integrarli efficacemente nei contemporanei processi produttivi.

È in questo paragrafo che, attingendo dalla letteratura più aggiornata, verranno riportate, e discusse, le sfide, definite e clusterizzate in: tecniche, estetico-percettive; infrastrutturali o di sistema. L'obiettivo di fondo è quello di comprendere come il design possa contribuire, oggi, a superare in toto o in parte siffatte problematiche aperte.

Dal punto di vista tecnico, uno dei principali ostacoli è rappresentato dalla compatibilità e dall'interfaccia tra i diversi materiali che compongono i biocompositi². La matrice, che idealmente dovrebbe essere biologica al 100%, attualmente non riesce a soddisfare pienamente questo requisito, spesso risultando in un materiale che non è completamente biodegradabile o bio-based³. Questo limita le potenzialità dei biocompositi nel competere efficacemente con altri materiali tradizionali. Diversamente dai compositi avanzati più utilizzati, come il vetro e il carbonio, i biocompositi affrontano una sfida significativa in termini di durabilità, specialmente per quei prodotti che sono sottoposti a carichi costanti⁴. Attualmente, la durabilità di questi materiali è ancora imprevedibile, rendendo difficile garantire prestazioni affidabili e costanti nel tempo. Eppure, dal punto di vista del design, in settori dove la durata limitata è un vantaggio, come nel caso di packaging che devono biodegradarsi rapidamente, questa apparente debolezza può trasformarsi in un'opportunità⁵.

Nel caso di applicazioni più strutturali (fig. 01), tuttavia, la mancanza di una durabilità prevedibile rimane un grande ostacolo.

1. Manu, T., Nazmi, A. R., Shahri, B., Emerson, N., & Huber, T. (2022). Biocomposites: A review of materials and perception. *Materials Today Communications*, 31, 103308.

2. Campilho, R. D. S. G. (2017). Recent innovations in biocomposite products. In D. Ray (Ed.), *Biocomposites for high-performance applications* (pp. 275-306). Woodhead Publishing.

3. Ibidem.

4. Chakkour, M., Moussa, M. O., Khay, I., Balli, M., & Ben Zineb, T. (2023). Long-term water aging of composites with bamboo fiber and montmorillonite filler. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 0(0).

5. Ibidem.



fig. 01 Tara Tari, Jute Sail Boat, 2021

6. Assocompositi. (2022). *Circolarità dei materiali compositi*. Assocompositi.

7. Kong, U., Mohammad Rawi, N. F., & Tay, G. S. (2023). The potential applications of reinforced bioplastics in various industries: A review. *Polymers*, 15(10), 2399.

8. Charter, M., & Tischner, U. (Eds.). (2017). *Sustainable solutions: Developing products and services for the future*. Greenleaf Publishing.

9. Manu, T., Nazmi, A. R., Shahri, B., Emerson, N., Müssig, J., & Huber, T. (2023). Designing with biobased composites: understanding digital material perception through semiotic attributes. *Design Science*, 9, e6.

10. Brunner, T. A., Guberan, C., Lefteri, C., & Tannir, A. (2021). *Aesthetics of sustainability: Material experiments in product design conducted at ECAL*. Triest Verlag.



fig. 02 Mycelium biocomposite, 2023

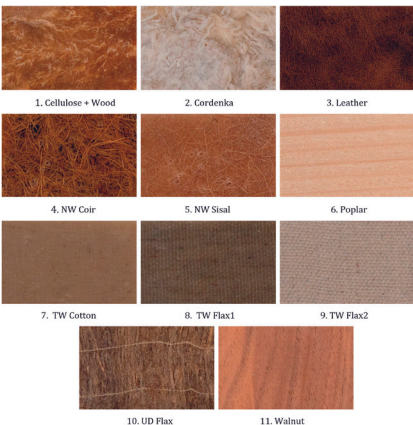


fig. 03 Texture di materiali biocompositi

Per competere efficacemente con i materiali tradizionali, i biocompositi devono offrire prestazioni simili o superiori in termini di resistenza e durata. Senza una durabilità che può essere in qualche modo prevista, predetta, l'adozione su larga scala dei biocompositi per applicazioni strutturali resta un obiettivo difficile da raggiungere. La durabilità continua a rappresentare quindi un fattore cruciale nella progettazione dei materiali biocompositi e dei prodotti ad essi connaturati.

In definitiva, per i compositi "avanzati", è essenziale che la durata sia quanto più lunga possibile, in modo da superare la complessità del riciclo⁶. Al contrario, per i compositi a "bassa prestazione", realizzati ad esempio con materiali naturali riciclati e caratterizzati da un alto potere di biodegradabilità, la durata deve ovviamente, per motivi specifici, essere minore (fig. 02). In ogni caso, per affrontare queste sfide, è fondamentale investire significativamente nella ricerca e nello sviluppo di nuove matrici completamente bio-based, così come nel miglioramento delle tecniche di produzione⁷. Tali sforzi mirano a garantire una maggiore compatibilità tra i componenti, migliorando le prestazioni complessive dei biocompositi. Solo attraverso questi avanzamenti tecnologici sarà possibile produrre biocompositi di prossima generazione che non solo siano ambientalmente preferibili, ma che possano anche competere con i materiali convenzionali in termini prestazionali.

Sebbene i materiali biocompositi, così come i compositi tradizionali, risultino particolarmente efficaci in soluzioni "pure" e omogenee, ovvero in contesti dove il rapporto tra semplicità e prestazione tende al massimo possibile, essi affrontano significative limitazioni non solo dal punto di vista tecnico, ma anche percettivo e culturale, che, ancora una volta, ostacolano un'adozione su larga scala⁸. Come infatti mette in evidenza il gruppo di ricerca di T. Manu, della School of Product Design, University of Canterbury (Christchurch, New Zealand), una delle principali difficoltà è proprio il loro basso appeal estetico⁹. La maggior parte dei biopolimeri, di fatto, non è facilmente distinguibile dalle plastiche convenzionali, il che crea confusione e una debole identità del materiale (fig. 03). Questo problema è ulteriormente esasperato dal fatto che molti prodotti realizzati in biocomposito sono semplicemente sostituzioni di materiali tradizionali, senza un reale cambiamento nel design dell'artefatto¹⁰. In altre parole, si tende a utilizzare biocompositi nella replica di prodotti esistenti piuttosto che sviluppare ad hoc nuovi prodotti che sfruttino appositamente le loro

caratteristiche uniche. Anche la mancanza di innovazione nel design dei materiali biocompositi quindi contribuisce significativamente a una scarsa adozione da parte dei progettisti, i quali, nella selezione dei materiali per i loro progetti, spesso preferiscono, giustamente, materiali con una percezione più stabile e consolidata¹¹. Pertanto, si può affermare che, seppur promettenti e con margini di miglioramento, i biocompositi non hanno ancora raggiunto un livello di riconoscibilità e affidabilità tale da competere con materiali tradizionali come il metallo, il vetro o alcuni tipi di plastica, che sono ormai profondamente radicati nella cultura di massa. Questa situazione porta a una sorta di crisi di identità per i biocompositi, che non riescono a distinguersi né agli occhi dei designer né a quelli dei consumatori: i designer, abituati a materiali tradizionali con prestazioni ben note e prevedibili, sono riluttanti a sperimentare con biocompositi che non offrono la stessa stabilità percettiva¹². Sempre secondo T. Manu e colleghi, per superare questa barriera, è essenziale incentivare l'innovazione nel design dei materiali e di prodotto, valorizzando le loro peculiarità intrinseche e progettando artefatti che non solo competano in termini di prestazioni, ma che ridefiniscano anche l'estetica e la funzionalità dei prodotti contemporanei¹³ (fig. 04).

Per comprendere ciò, è utile argomentare attraverso un esempio di design di prodotto, seppur afferente alla fibra di carbonio – e non a quella vegetale –, che illustra, tra l'altro, l'importanza dell'adeguatezza d'uso nei compositi avanzati. Il caso studio del cerchione della Koenigsegg Automotive evidenzia questo concetto. La volontà di ridurre al massimo le masse rotanti ha spinto la squadra di progettazione della Koenigsegg, come raccontato da Christian von Koenigsegg, a esplorare soluzioni innovative con la fibra di carbonio. L'iniziale necessità di annegare nel materiale gli inserti utili per l'ancoraggio rendeva inefficace ogni sforzo per migliorare le prestazioni. Solo attraverso lo studio di nuove soluzioni tecnologiche si è riusciti a produrre ruote in fibra di carbonio cava, che non richiedono inserti metallici al loro interno¹⁴ (fig. 05). Questo ha permesso di generare una superficie pura e omogenea, priva di aggetti e componenti aggiuntivi, massimizzando la resistenza e riducendo il peso. Tale caso studio dimostra che solo con una progettazione accurata e con l'adozione di soluzioni innovative è possibile superare le sfide tecniche/percettive e sfruttare appieno le potenzialità dei materiali compositi e biocompositi avanzati, ottenendo così prodotti altamente performanti e ot-

11. Tambyrajah, D. (2015). *Indulge & Explore Natural Fiber Composites. An invitation to product designers*. NFCdesign platform.

12. Manu, T., et al. (2022). op cit.

13. Manu, T., et al. (2023). op cit.

14. Aircore carbon wheels. Recuperato da: <https://www.koenigsegg.com/aircore> (ultimo accesso 19 agosto 2024).



fig. 04 Car Audio "Flax" component kits



fig. 05 Cerchione Koenigsegg Automotive

15. Manu, T., et al. (2023). op cit.

16. Ibidem.

17. Dicker, M. P. M., Duckworth, P. F., Baker, A. B., Francois, G., Hazzard, M. K., & Weaver, P. M. (2014). Green composites: A review of material attributes and complementary applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 56, 280-289.

18. Manu, T., et al. (2022). op cit.

19. Martina, R. A., & Oskam, I. F. (2021). Practical guidelines for designing recycling, collaborative, and scalable business models: A case study of reusing textile fibers into biocomposite products. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128542.

20. Ibidem.



fig. 06 Arup and GXN Innovation's Biocomposite Facade Wins JEC Innovation Award, 2016

timizzati. Altresì, l'eliminazione degli inserti metallici non solo ha migliorato le prestazioni tecniche, ma ha anche conferito al prodotto un'estetica pulita e contemporanea, che esalta le caratteristiche uniche della fibra di carbonio, rendendola non solo funzionale ma anche visivamente attraente, e coerente con l'uso. Lo stesso oggetto potrebbe, in questo caso, essere sperimentato anche con l'uso di fibre vegetali. Trascendendo per un istante la funzionalità, è solo attraverso un impegno concertato verso l'innovazione e un'alfabetizzazione visiva che si potrà migliorare la percezione dei biocompositi e promuoverne l'adozione su larga scala¹⁵. È in tale direzione che anche la comunicazione e il marketing, cui dovrebbero pubblicizzare i punti di forza dei prodotti in biocomposito, sono spesso superficiali¹⁶. È bene sottolineare che i messaggi promozionali non riescono sempre a trasmettere efficacemente questi benefici, lasciando i consumatori incerti su cosa significhi realmente "eco" o "sostenibile" in questo contesto specifico e complesso. Questa incertezza si traduce di fatto in una bassa fiducia e, di conseguenza, ancora, in una minore adozione nel prodotto industriale.

Come detto, i progettisti dovrebbero essere incoraggiati a progettare ex-novo nuovi prodotti che sfruttino appieno le potenzialità dei biocompositi, evidenziando così le loro proprietà intrinseche ed estrinseche¹⁷. Al contempo, una comunicazione chiara e trasparente sui vantaggi, ma anche sui limiti, dei biocompositi può aiutare a costruire uno scenario e una percezione più (pro)positiva e consolidata, facilitando così la loro diffusione sul mercato (fig. 06).

Le sfide - definite da chi scrive - di "sistema" o "infrastrutturali" sono altrettanto rilevanti e presentano numerosi ostacoli che impediscono la diffusione capillare e l'efficacia dei biocompositi in applicazioni di prodotto. Uno dei principali problemi è rappresentato dalle catene di approvvigionamento, che risultano essere lunghe, complesse, centralizzate e spesso inefficienti¹⁸. Queste catene si basano su un numero limitato di fornitori di materie prime, perlopiù globali, il che rende il sistema vulnerabile a interruzioni e fluttuazioni di mercato¹⁹. La dipendenza da forniture centralizzate non solo aumenta i costi, ma riduce anche la capacità di risposta rapida alle richieste del mercato e alle innovazioni tecnologiche.

Già anticipato nel paragrafo precedente, invece, un altro aspetto critico è la mancanza di sistemi di logistica inversa efficienti per il recupero degli scarti di filiera²⁰.

La logistica inversa è essenziale per raccogliere, trattare e reintrodurre i materiali di scarto nel ciclo produttivo, permettendo così la produzione di matrici bio-based, tessuti non tessuti e l'utilizzo di fibre alternative²¹. Attualmente, questi "sistemi" sono poco sviluppati e non riescono a gestire efficacemente i volumi necessari, limitando così la possibilità di implementare un'economia circolare e rigenerativa reale, e non "speculativa". Senza un sistema di recupero e/o di riciclo ben strutturato, e ancorato alle filiere locali, gran parte del potenziale dei biocompositi rimane inespresso, e molti materiali finiscono – o meglio, continuano a finire – in discarica, esacerbando l'impatto ambientale complessivo²². Allo stesso modo, le tecnologie emergenti e disruptive per la riparazione, il riuso, il riciclo, o semplicemente per l'ottimizzazione dei biocompositi non sono ancora pronte per una scala industriale²³. Sebbene esistano diverse tecniche innovative in fase di sviluppo, la loro applicazione pratica su larga scala è ancora lontana dall'essere realizzata (fig. 07). Questo è dovuto a vari fattori, tra cui il sempre più elevato costo delle nuove tecnologie, la mancanza di infrastrutture adeguate e la resistenza al cambiamento da parte dell'industria moderna tradizionale, dunque lineare. Senza un supporto adeguato e investimenti significativi, queste tecnologie corrono il rischio di rimanere confinate a progetti pilota e applicazioni di nicchia, senza riuscire a influenzare significativamente il mercato globale dei materiali, ovvero, il "mondo reale" (fig. 08).

Per affrontare e superare queste sfide, è cruciale adottare una visione strategica a lungo termine che vada oltre gli obiettivi immediati. Questa visione deve includere investimenti mirati in ricerca e sviluppo per la creazione di matrici completamente bio-based, in grado di sostituire i materiali tradizionali con alternative sostenibili al 100%.

È fondamentale non solo innovare nella produzione di nuovi materiali, ma anche migliorare la durabilità dei biocompositi esistenti, affinché possano rispondere meglio alle esigenze di mercato e durare nel tempo.

È altrettanto importante rafforzare e diversificare le reti di fornitura, creando sistemi più resilienti e decentralizzati per ridurre la dipendenza da singoli fornitori e località geografiche. L'implementazione di sistemi di logistica inversa efficienti, che facilitano il recupero e il riutilizzo dei materiali, gioca un ruolo fondamentale nella sostenibilità complessiva della filiera.

Le politiche governative e gli incentivi economici sono deter-

21. Jayanth, D., Kumar, P. S., Nayak, G. C., & Senthamaraikannan, P. (2018). A review on biodegradable polymeric materials striving towards the attainment of green environment. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(2), 838-865.

22. Frassine, R. (2024). Composites sustainability: The EuCIA perspective. Recuperato da: <https://belgian-presidency.consilium.europa.eu/media/pdujnfca/break-out-arenberg-2-eucia.pdf> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

23. Assocompositi (2022). op cit.



fig. 07 Tailored Fiber Placement (TFP): Posizionamento preciso di fibre per strutture composite ottimizzate

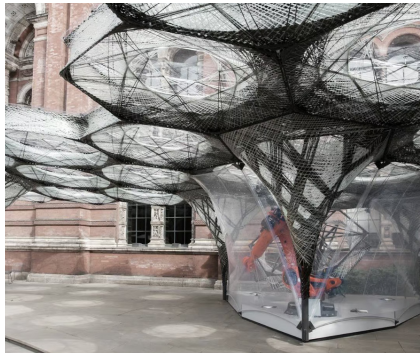


fig. 08 Un robot KUKA dimostra la produzione automatizzata di elementi compositi in fibra, 2016

24. Joustra, J. J., & Bessai, R. (2022). *Circular composites: A design guide for products containing composite materials in a circular economy*. Tu Delft OPEN.

25. Pietroni, L., Di Stefano, A., & Galloppo, D. (2023). Modular design towards the circular economy – From 'making to unmake' to 'making to remake'. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 14, 274–283.

26. High Performance, Economical and Sustainable Biocomposite Building Materials. Recuperato da: <https://cordis.europa.eu/project/id/285689/reporting/it> (ultimo accesso 19 agosto 2024).

27. Fabio Bignolini, "Noi odiamo la vetroresina" <https://www.velaemotore.it/fabio-bignolini-northern-light-composites-ecoracer-barca-riciclabile-sostenibile-green-vetroresina-intervista-21369> (ultimo accesso 19 agosto 2024).

28. NI comp. Recyclable Composites. Recuperato da: <https://northernlightcomposites.com/> (ultimo accesso 19 agosto 2024).



fig. 09 Patch per riparazione compositi

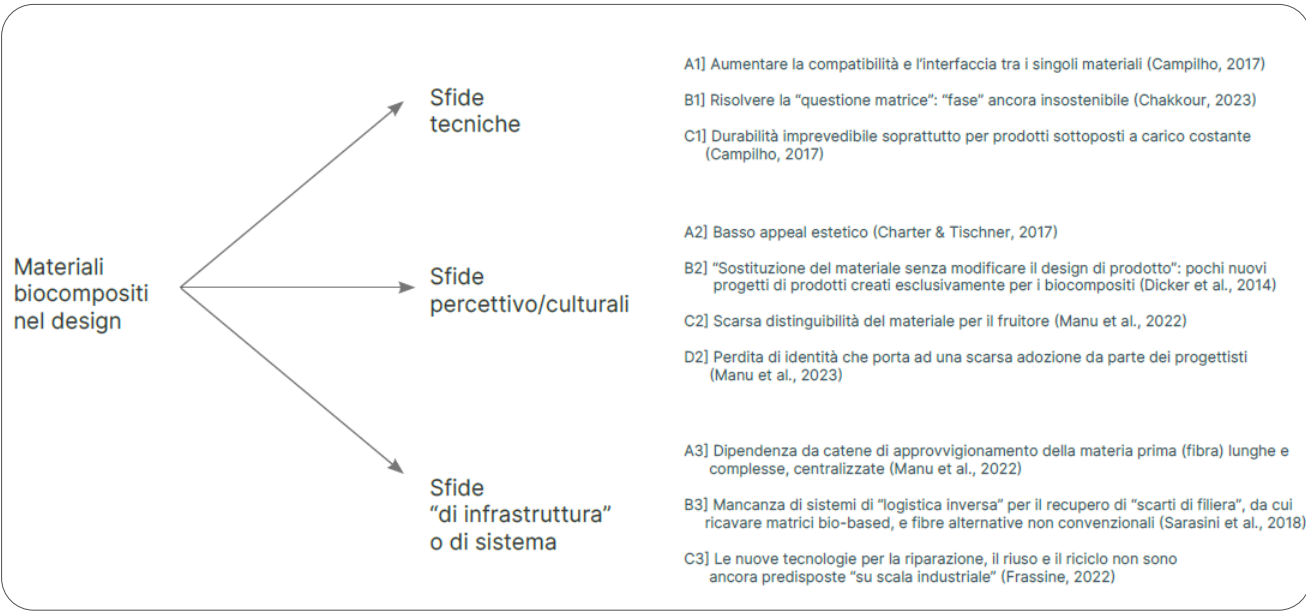
minanti per agevolare la transizione verso tecnologie più sostenibili, inclusa la digitalizzazione dei processi di riparazione, riuso e riciclo su larga scala. Questi strumenti possono stimolare l'adozione di pratiche innovative e sostenere l'evoluzione di un mercato orientato all'economia circolare e rigenerativa²⁴. Per rispondere in modo efficace alle sfide attuali, è quindi necessario un approccio integrato e multidisciplinare: non basta sviluppare nuove tecnologie per migliorare la compatibilità dei materiali (fig. 09) – compito dell'ingegneria dei materiali – ma è essenziale lavorare parallelamente sull'appeal estetico e sulla percezione dei biocompositi, così come sul design di nuovi prodotti secondo regole, ad esempio, di disassemblabilità²⁵. Promuovere un design che valorizzi le caratteristiche uniche di questi materiali contribuirà a migliorarne l'adozione e la visibilità sul mercato. Solo attraverso uno sforzo coordinato e ben articolato sarà possibile sfruttare appieno il potenziale dei biocompositi e realizzare, in questo comparto, una vera economia circolare, in cui sostenibilità e innovazione si intrecciano per un futuro prospero. A riprova di ciò, non è un caso che anche l'UE stia investendo considerevolmente per e verso avanzamenti tecnici relativi ai materiali biocompositi, aprendo a nuove possibilità di ricerca e sviluppo, in particolare per quanto riguarda la disassemblabilità delle componenti tramite processi sempre meno impattanti²⁶.

Un esempio significativo di innovazione proviene dall'Italia, dove le ricerche condotte dall'azienda Northern Light Composites (Gorizia - GO), anche agevolati da finanziamenti europei, hanno portato alla realizzazione di biocompositi promettenti per l'industria nautica²⁷. L'azienda sta sviluppando compositi a base di PLA, un termoplastico facilmente riciclabile, rinforzato con fibre di lino e PET, e rivestito con vinilestere, che sostituisce i gelcoat tradizionali ad alto impatto ambientale. Questo approccio consente di affrontare le problematiche legate alla dismissione delle imbarcazioni in vetroresina, raggiungendo un riciclaggio del 95% delle loro parti grazie a un processo chimico a basso impatto che permette la completa separazione e il recupero delle componenti dopo ventiquattro ore di immersione²⁸.

A osservare questo caso studio, sempre in una visuale di adeguatezza all'uso dei materiali, è fondamentale riconoscere – per poi adottarlo – il concetto di "sufficienza prestazionale": non è sempre necessario puntare alla massima performance di un materiale; spesso, è più efficiente e sostenibile mirare a

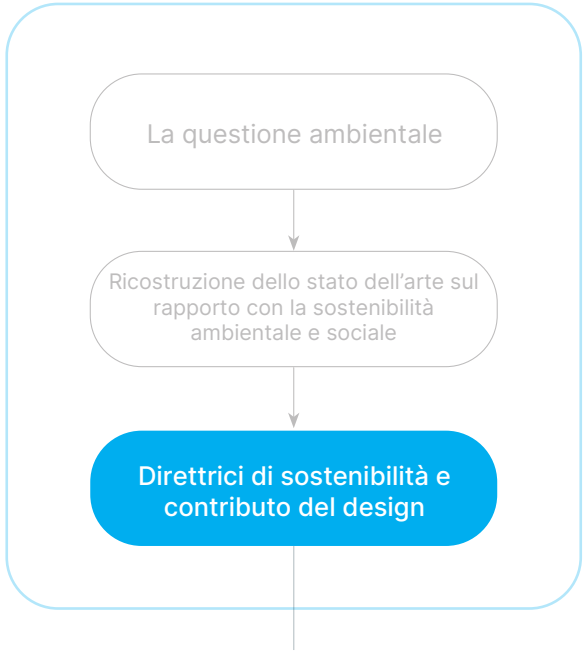
una risposta adeguata alle specifiche necessità di un progetto. Questo ulteriore approccio si basa sull'idea di ottimizzare l'uso delle risorse, evitando sprechi e riducendo l'impatto ambientale associato alla produzione e all'utilizzo dei materiali. In altre parole, invece di cercare il massimo livello di prestazioni, che potrebbe risultare eccessivo per l'applicazione prevista, è preferibile scegliere un materiale che soddisfi in modo sufficiente le esigenze del progetto. Adottare il concetto di sufficienza prestazionale promuove un uso equilibrato e responsabile dei materiali, ottimizzando l'efficienza e la sostenibilità delle soluzioni di design. Questo approccio riduce l'impatto ambientale e favorisce un uso intelligente delle risorse, adattando le proprietà dei materiali alle reali necessità del progetto. Così facendo, si compie un passo avanti verso la progettazione di prodotti più sostenibili e ambientalmente responsabili, allineando l'innovazione tecnica con i principi dell'ecologia sociale e della circolarità dei materiali²⁹ (tab. 01).

29. Sachs, W. (2023). *Economia della sufficienza: Appunti per resistere all'Antropocene*. Castelvecchi.



tab. 01
Quadro sinottico riassuntivo delle principali "sfide" per la circolarità dei materiali biocompositi. (elaborazione dell'autore, 2024)

D2. Come, oggi, questi materiali a genesi combinatoria si relazionano con la sostenibilità ambientale e sociale nelle società industriali mature?



Sintesi e schema di lettura del capitolo

4.4 Dalla preservazione dell'integrità del prodotto alla valorizzazione delle fibre naturali endogene: il contributo del design

Nelle ultime decadi, l'attenzione verso la sostenibilità ambientale e la responsabilità sociale continua a guidare significativi progressi nel campo della scienza dei materiali, e, di converso nel design, anche per quanto concerne lo sviluppo dei biocompositi e dei prodotti ad essi connaturati. Come dimostrato e discusso nei precedenti paragrafi, l'integrazione dei principi del "Circular Design" lungo tutto il ciclo di vita di questi materiali continua a giocare un ruolo cruciale nel migliorare la loro preferibilità, sia in termini ambientali, sia in termini sociali. Sulla scorta di ciò, il seguente paragrafo, a conclusione della parte II, si propone di esaminare ancor più in dettaglio in che modo il design possa rispondere alle sfide sopra menzionate, focalizzandosi sì sull'adeguatezza all'uso dei biocompositi, ma delineando due macro-direttrici di sostenibilità da perseguire: la preservazione dell'integrità del prodotto e del materiale, e, poi, la valorizzazione delle fibre naturali autoctone per la produzione di nuovi rinforzi fibrosi territorialmente endogeni. Quale sia il vero ruolo del design nella transizione verso un'economia circolare e rigenerativa nell'alveo dei biocompositi emerge chiaramente nel lavoro di Joustra J.J. e Bessai R., in particolare nel loro volume *Circular Composites: A Design Guide for Products Containing Composite Materials in a Circular Economy* (2022). Questo tomo, in effetti, offre un quadro dettagliato su come integrare i principi dell'economia circolare nel design dei materiali compositi, e di converso nei biocompositi, rivelando così l'importanza cruciale del ruolo del design in questo processo di cambiamento¹. La loro "guida" sottolinea la necessità di ripensare i cicli di vita dei prodotti in composito per includere il riuso, la riparazione, la rigenerazione e il riciclo, assicurando che i materiali rimangano all'interno del ciclo economico il più a lungo possibile². Secondo i ricercatori del TU Delft, allineando le strategie di design con queste pratiche di economia circolare, i designer possono ridurre significativamente l'impronta ambientale dei prodotti compositi³. Joustra J.J. e Bessai R., partendo dai compositi avanzati "standard", delineano quindi 5 strategie chiave, e 26 sono gli aspetti progettuali specificamente mirati ai compositi circolari, offrendo tool pratici ed esempi ispiratori, che possono essere sicuramente sperimentati/applicati anche nel settore dei prodotti in biocomposito. Queste strategie includono, come vedremo più in dettaglio tra breve, l'ottimizzazione della selezione dei materiali, la progettazione per il disassemblaggio e l'integrazione di componenti a base biologica, che di concerto migliorano la

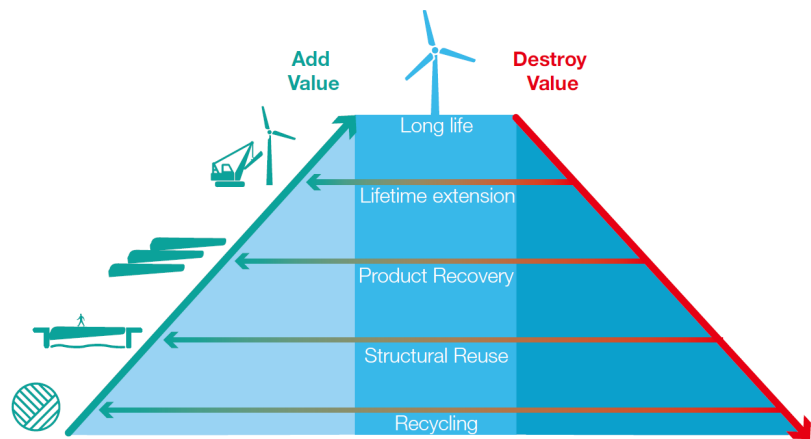
1. Joustra, J. J., & Bessai, R. (2022). *Circular composites: A design guide for products containing composite materials in a circular economy*. Tu Delft OPEN.
2. Ibidem.
3. Ibidem.

4. Joustra, J.J., Bessai, R. (2022). op cit.

5. Ibidem.

6. Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320.

sostenibilità dei materiali compositi e biocompositi. Questo approccio non solo mira a minimizzare i rifiuti, ma anche a mantenere l'integrità funzionale e il valore dei materiali durante tutto il loro ciclo di vita. Per quanto riguarda le cinque strategie identificate da Joustra e Bessai esse si suddividono in: “Long Life”, “Lifetime Extension”, “Product Recovery”, “Structural Reuse” e “Recycling”⁴ (tab. 01).



tab. 01

Le cinque strategie di "circolarità" per materiali compositi identificate da Joustra e Bessai (2022)

Il concetto di “Long Life” promuove il flusso delle risorse nell'economia estendendo la vita utile dei prodotti, realizzati per essere duraturi e affidabili⁵. I materiali compositi, grazie alla loro resistenza alla fatica e alla corrosione, sono ideali per questo scopo. Sebbene i biocompositi possano avere performance inferiori, possono essere integrati, come visto, in un design sostenibile fatto di “durata programmata” e di adeguatezza all'uso. Una lunga durata richiede anche affidabilità e sicurezza, che possono essere gestite attraverso il design del prodotto. Le strategie convenzionali di progettazione dei compositi garantiscono prestazioni affidabili ma spesso aumentano il peso e l'uso di materiali. Eppure, gli sviluppi recenti nel design computazionale e parametrico hanno ridotto questi margini di sicurezza, rendendo i compositi più efficienti, sicuri, ottimizzando la quantità e la disposizione delle fibre⁶. Per quanto riguarda i prodotti più datati, già in commercio e inevitabilmente già diretti verso il fine vita, essi potrebbero tuttavia ancora esse-

re in buone condizioni per altre applicazioni poiché, appunto, spesso sovradimensionati⁷. È quindi estremamente essenziale bilanciare attentamente le strategie di design per massimizzare i benefici. Joustra, nella sua dissertazione di tesi dottorale, sottolinea anzitempo l'importanza di utilizzare nuove tecniche di simulazione e monitoraggio per ottimizzare il design dei prodotti in composito⁸. In questo contesto, un approccio integrato che consideri sia le proprietà dei materiali, sia le strategie del design circolare può offrire soluzioni ottimali⁹. Ad esempio, l'adozione di metodologie di design basate sulla durabilità e la manutenzione predittiva può migliorare significativamente la longevità dei prodotti in composito e biocomposito. Inoltre, l'utilizzo di materiali riciclati e la progettazione modulare – per componenti smontabili e reversibili – possono contribuire a generare prodotti non solo più duraturi, ma anche più facilmente riparabili e aggiornabili, riducendo ulteriormente l'impatto ambientale¹⁰.

Risulta essere altresì cruciale considerare il contesto operativo del prodotto e le esigenze specifiche degli utenti finali, approdando a un design ben concepito, idoneo ad integrare questi fattori per massimizzare la funzionalità e la sostenibilità del prodotto lungo tutto il suo ciclo di vita¹¹.

A questo punto, nella trattazione di Joustra e Bessai, a emergere è proprio l'importanza dell'“Lifetime Extension”¹² che, in sostanza, comprende tutte quelle azioni intraprese durante il ciclo di vita del prodotto per prolungarne la “Long Life”. Come detto, questo obiettivo viene raggiunto attraverso interventi di manutenzione, riparazione, aggiornamento e adattamento. La manutenzione e la riparazione dipendono dalla natura e dall'entità del danno, nonché dallo sviluppo del danno nei materiali compositi e biocompositi¹³. Le tecniche di riparazione e le patch adesive disponibili variano e la loro applicazione dipende da fattori come i vincoli di tempo e la resistenza residua: è importante scegliere la tecnica di riparazione appropriata per garantire l'efficacia dell'intervento. Ad esempio, nel mondo dei telai da bici, uno degli approcci più innovativi è quello utilizzato da aziende specializzate come Ruckus Composites, che si occupa della riparazione di telai in fibra di carbonio (fig. 01). Quando un telaio in fibra di carbonio subisce una crepa o un danno, Ruckus Composites effettua una valutazione dettagliata del danno utilizzando tecniche avanzate come la scansione a ultrasuoni per identificare la portata e la gravità del danno. Successivamente, la zona danneggiata viene preparata

7. Joustra, J. J. (2022). *Circular composites: Design strategies for products containing composite materials in a circular economy* [Doctoral dissertation, Delft University of Technology]. TU Delft Repositories. <https://repository.tudelft.nl>

8. Ibidem.

9. Ibidem.

10. Longana, M. L., Ong, N., Yu, H., & Potter, K. D. (2016). Multiple closed loop recycling of carbon fibre composites with the HiPerDiF (High Performance Discontinuous Fibre) method. *Composite Structures*, 153, 271–277.

11. Mestre, A., & Cooper, T. (2017). Circular Product Design. A Multiple Loops Life Cycle Design Approach for the Circular Economy. *The Design Journal*, 20(sup1), S1620–S1635.

12. Joustra, J.J., Bessai, R. (2022). op cit.

13. Ibidem.



fig. 01 Riparazione telaio bici, by Ruckus

14. Ruckus Composites. (n.d.). *Precision carbon fiber bicycle frame repair & inspection*. Recuperato da: <https://ruckuscomp.com/> (ultima consultazione 21 agosto 2024).

15. Joustra, J.J., Bessai, R. (2022). op cit.

16. Joustra, J.J. (2022). op cit.

17. Shahbazi, S., & Jönbrink, A. K. (2020). Design guidelines to develop circular products: Action research on Nordic industry. *Sustainability*, 12(9), 3679.

con cura rimuovendo la vernice e pulendo l'area intorno alla crepa. Il passo successivo prevede l'applicazione di patch di carbonio stratificate, accuratamente posizionate per seguire la direzione delle fibre del telaio originale. Queste patch vengono poi fissate con resine epossidiche ad alte prestazioni e sottoposte a un processo di indurimento controllato, spesso in forni a temperatura controllata, per assicurare una perfetta adesione e resistenza. Infine, la superficie riparata viene levigata e verniciata per ripristinare l'aspetto estetico del telaio. Questa tecnica di riparazione non solo ristabilisce l'integrità strutturale del telaio, ma spesso ne migliora la resistenza nelle aree riparate. Grazie a tali interventi, i telai in fibra di carbonio possono avere una vita utile notevolmente estesa, riducendo così la necessità di sostituzioni frequenti e contribuendo a una maggiore sostenibilità ambientale¹⁴.

Le opportunità per estendere la vita utile del prodotto dipendono quindi sia dal design del prodotto che dal contesto operativo. Gli aggiornamenti e gli adattamenti possono rispondere ai cambiamenti nelle esigenze e nelle normative, rendendo il tempo un fattore esplicito nel design. Pertanto, Joustra e Bessai suggeriscono di utilizzare delle roadmap, nelle quali, gli scenari d'uso predefiniti durante la fase di progettazione possono anche aiutare a stimare la degradazione e la resistenza residua, fornendo indicazioni sul potenziale di estensione della vita utile al termine dell'uso¹⁵. Joustra, ancora nella sua dissertazione dottorale, sottolinea l'importanza di definire chiaramente questi scenari per pianificare interventi di manutenzione preventiva e aggiornamenti periodici. In pratica, l'estensione della vita utile è considerata fattibile per i prodotti compositi e biocompositi, a seconda delle condizioni del prodotto¹⁶.

Il "Product Recovery" mira altresì ad aumentare il numero di cicli di utilizzo attraverso il rifabbricazione e la rigenerazione dei prodotti. Più vicino alla nozione pura di upcycling, questo processo include anche il recupero di componenti per riutilizzarli come pezzi di ricambio nelle misure di estensione della vita utile¹⁷. Tali pratiche sono già applicate a diversi prodotti compositi, inclusi i componenti di automobili e aerei, ma anche a strutture più grandi come le pale di turbina. Per le pale di turbina, ad esempio, i componenti rigenerati offrono tempi di consegna più brevi e una scelta tra diversi modelli a un costo ridotto rispetto ai modelli nuovi (fig. 02). Per l'estensione della vita utile, la valutazione accurata delle condizioni del materiale è cruciale, sebbene impegnativa. Essa consente di determi-

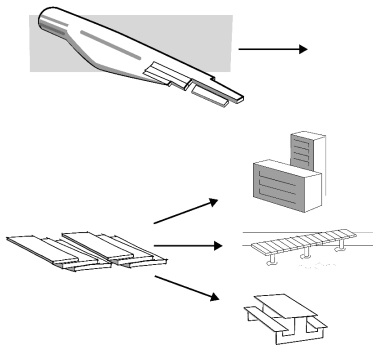


fig. 02 Upcycling pala eolica. Tratto da Joustra (2022)

nare la fattibilità delle riparazioni e degli aggiornamenti, assicurando al contempo la sicurezza e l'affidabilità del prodotto rigenerato.

Lo "Structural Reuse", strettamente correlato con la precedente strategia, e sempre in chiave di upcycling, preserva l'integrità del materiale riutilizzandolo nello stato in cui si trova¹⁸. Questa pratica può avvenire tramite il riadattamento, il rilavoro o la rimodellazione del prodotto. Queste azioni comportano la perdita della funzione originale del prodotto, ma mantengono le sue proprietà strutturali uniche, definite dalla combinazione di composizione del materiale e design strutturale¹⁹. Questo approccio consente di conservare qualità e valore con un investimento relativamente contenuto in termini di energia e risorse, rappresentando una strategia efficace per prolungare la vita utile dei materiali compositi, mantenendo il loro valore intrinseco (fig. 03). Sono state esplorate applicazioni di riutilizzo strutturale in progetti occasionali, come ponti realizzati con pale di turbina²⁰.

A livello teorico, anche il settore edilizio e delle costruzioni potrebbe trarre vantaggio dal riutilizzo di questi elementi recuperati. Le applicazioni su larga scala sono state finora limitate dalla complessità del design dei componenti. Per superare tali sfide, è necessario sviluppare un redesign funzionale che permetta di adattare efficacemente questi materiali alle esigenze specifiche del settore. Si prevede che segmentare grandi parti in elementi costruttivi standardizzati, come pannelli e travi, possa generare opportunità di riutilizzo più ampie e diversificate²¹.

Per il "Recycling", infine, sarà sufficiente dedicare solo poche righe, poiché già oggetto di dibattito nel paragrafo 4.2. Il riciclo, ricollegando la fine di un ciclo di vita alla nascita di uno nuovo, comporta la restituzione dei materiali a stati di materia prima riutilizzabile attraverso un processo articolato in quattro fasi: raccolta, separazione e frantumazione dei materiali, classificazione dei frammenti e loro rielaborazione in nuova materia prima. Joustra e Bessai sottolineano che l'efficacia di tale processo dipende dalla gestione efficiente e sostenibile di ciascuna singola fase²², a conferma di quanto l'autore scrive nel paragrafo precedente. Sebbene il riutilizzo dei materiali nello stesso tipo di prodotto preservi il loro valore originale, questa prassi non sempre è realizzabile, costringendo a trasferire i materiali riciclati ad altri prodotti a seconda delle loro caratteristiche (downcycling).

18. Post, N. L., Lesko, J. J., & Case, S. W. (2005). The role of durability in reliability-based design of composite materials for civil structures. *Journal of Composite Materials*, 39(2), 5-26.

19. Fivet, C., & Brütting, J. (2020). Nothing is lost, nothing is created, everything is reused: Structural design for a circular economy. *The Structural Engineer*, 222.

20. Jensen, J. P., & Skelton, K. (2018). Wind turbine blade recycling: Experiences, challenges and possibilities in a circular economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 165-176.

21. Bank, L. C., Arias, F. R., Yazdanbakhsh, A., Gentry, T. R., Al-Haddad, T., Chen, J.-F., & Morrow, R. (2018). Concepts for reusing composite materials from decommissioned wind turbine blades in affordable housing. *Recycling*, 3(1), 3.

22. Joustra, J.J., Bessai, R. (2022). op cit.



fig. 03 Arredo urbano con parti in composito (upcycling)

23. Balkenende, R., Bocken, N., & Bakker, C. (2017). Design for the circular economy. In *Routledge Handbook of Sustainable Design* (1st ed., pp. 16). Routledge.

24. Bakker, C., Balkenende, R., & Poppelaars, F. (2018). Design for product integrity in a circular economy. In *Designing for the Circular Economy* (1st ed., pp. 9). Routledge.

25. Karuppannan, G., & Kärki, T. (2020). A review on the recycling of waste carbon fibre/glass fibre-reinforced composites: Fibre recovery, properties and life-cycle analysis. *SN Applied Sciences*, 2(1), 433.

Per programmare efficacemente nuovi processi, è necessario ripensare dunque le componenti costitutive dell'intero sistema, mettendo in primo piano il design per la sostenibilità eco-sociale. Questo approccio diventa cruciale nella gestione dei processi interrelati alla manutenzione, alla sostituzione dei componenti, alla logistica inversa e alla ri-fabbricazione anche nel comparto dei prodotti in biocomposito. Un design ben concepito permette di anticipare e pianificare l'intero ciclo di vita di un prodotto durevole²³. Con ciò, spostare l'attenzione dagli "oggetti" alle "relazioni" implica considerare il prodotto non solo come un'entità isolata, ma come parte di un sistema integrato di interazioni e connessioni (pensiero contestuale)²⁴. Questo approccio favorisce un'eco-innovazione più robusta e radicale, capace di preservare efficacemente le risorse planetarie e di promuovere strategie sostenibili e sistemiche. In questo scenario, l'adeguatezza all'uso del materiale resta requisito fondamentale poiché sono proprio la scelta e l'uso appropriato degli stessi a determinare la durabilità programmata e la sostenibilità complessiva del prodotto. È qui che un design attentamente concepito può ottimizzare le prestazioni del prodotto, ridurre l'impatto ambientale e garantire che le risorse vengano utilizzate in modo efficiente e responsabile²⁵. Addentrandosi adesso nei dettagli, e facendo riferimento con rigore al volume di Joustra e Bessai, si procederà ora con una sintesi dei 26 aspetti metaprogettuali che, nel contesto del design, possono essere integrati nella progettazione di prodotti compositi e, per estensione, di biocompositi (tab. 02). Ogni aspetto ha una connessione diretta con una o più delle cinque strategie circolari discusse in precedenza.

tab. 02

Obiettivi progettuali e azioni, matrice di sintesi tratta da Joustra e Bessai (2022)

Design Aim	Preserving Product Integrity			Preserving Material Integrity	
Circular economy strategies	Long Life	Lifetime Extension	Product Recovery	Structural Reuse	Material Recycling
Actions / Processes	Physical Durability	Repair	Refurbishment	Repurpose	Remould
	Long use	Maintenance	Remanufacture	Resize	Mechanical
	Reuse	Adapt	Parts harvesting	Reshape	Thermal
		Upgrade			Chemical

Nella fase di "Conceptual Design", l'aspetto dell'"Accessibilità" riguarda la facilità con cui si può accedere alle parti del prodotto per operazioni di manutenzione e riparazione, contribuendo così a una vita utile più lunga. Il concetto di "Adaptability" si concentra sulla capacità del prodotto di adattarsi a nuove esigenze o condizioni, estendendo la sua durata d'uso. La "Cleanability" è fondamentale per garantire che il prodotto possa essere mantenuto in buone condizioni con facilità. Un altro aspetto cruciale è la "Dis/re-assembly", che si riferisce alla semplicità con cui il prodotto può essere smontato per riparazioni o per il recupero dei materiali a fine vita. L'"Ergonomics" è essenziale per assicurare che il prodotto sia comodo e sicuro da utilizzare, migliorando così l'esperienza dell'utente e prolungandone la longevità. La "Fault Isolation" aiuta a identificare e isolare i problemi senza compromettere l'intero sistema, facilitando le riparazioni e prolungando la vita del prodotto. Il "Functional Packaging" riguarda, per i prodotti compositi e biocompositi, la progettazione di imballaggi che non solo proteggono il prodotto durante il trasporto, ma che possono anche essere riutilizzati o riciclati. Il "Malfunction Signalling" prevede indicatori chiari che avvertono l'utente di potenziali problemi, consentendo interventi tempestivi. L'"Interchangeability" si riferisce alla possibilità di sostituire componenti senza dover cambiare l'intero prodotto, facilitando le riparazioni e riducendo i rifiuti (fig. 04). Infine, la "Simplification" nella progettazione implica la riduzione della complessità del prodotto per migliorarne l'usabilità e la manutenzione²⁶.

Nella fase di "Embodiment Design", la "Connection Selection" deve garantire robustezza e facilità di montaggio o smontaggio (fig. 05). La "Function Integration" mira a combinare più funzioni in un unico componente per ottimizzare lo spazio e ridurre il numero di parti. La "Material Selection" è fondamentale per assicurare che i materiali siano adeguati alle esigenze specifiche del prodotto e possano essere facilmente riciclati o riutilizzati. Il "Keying" si riferisce a sistemi di accoppiamento che impediscono il montaggio errato delle parti, migliorando l'affidabilità e l'intuitività dell'assemblaggio. La "Modularity" prevede la progettazione di moduli intercambiabili che possono essere sostituiti o aggiornati senza modificare l'intero sistema. Il "Manufacturing Process" influisce sulla sostenibilità e sull'efficienza della produzione, focalizzandosi sull'artigianalità dei processi industriali. La "Redundancy" include componenti extra per garantire che il sistema continui a funzionare anche

26. Joustra, J.J., Bessai, R. (2022). op cit.

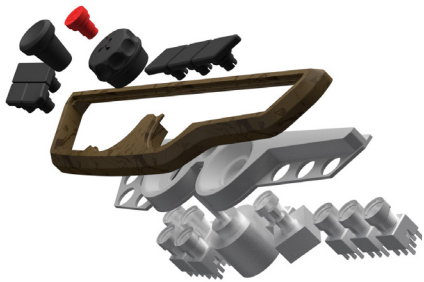


fig. 04 DfD componente in biocomposito. Tratto da Joustra (2022)



fig. 05 "Connection Selection". Tratto da Joustra (2022)

27. Joustra, J.J., Bessai, R. (2022). op cit.

28. Ibidem.

29. Marco Capellini, in conversazione con Marco Manfra, online, 28 giugno 2023.

in caso di guasto di alcuni elementi. Gli “Sacrificial Elements” sono progettati per usurarsi o danneggiarsi durante l'uso normale, proteggendo i componenti più critici e prolungando la vita utile del prodotto. Il “Structural Design” si concentra sulla progettazione di una struttura solida e durevole, capace di sostenere i carichi e resistere all'usura. Infine, i “Surface Treatments” possono migliorare le proprietà del materiale, come la resistenza alla corrosione o l'aspetto estetico²⁷. Infine, nel “Detailed Design”, la “Documentation” è essenziale per assicurare che tutte le informazioni relative al prodotto siano registrate e facilmente accessibili, facilitando le pratiche di Prodotto come Servizio (PaaS) o Digital Passport Material (DPP). L’“Identification” si occupa di etichettare chiaramente i componenti e i materiali per semplificare le operazioni di manutenzione e riciclo. Il “Monitoring” implica l'uso di tecnologie digitali per monitorare le condizioni del prodotto durante il suo ciclo di vita (fig. 06). La “Standardization” promuove l'adozione di norme comuni per facilitare l'interoperabilità e la compatibilità tra componenti e sistemi. Il “Timing and Planning” aiuta a gestire il ciclo di vita del prodotto in modo efficiente, mentre il “Circular Storytelling” riguarda la comunicazione della sostenibilità e dei benefici circolari del prodotto agli utenti e agli stakeholder²⁸.

L'applicazione combinata di questi aspetti progettuali fornisce una solida base per lo sviluppo di prodotti compositi e biocompositi che non solo soddisfano le esigenze immediate, ma sono anche progettati per essere ambientalmente e socialmente preferibili, nonché facilmente gestibili lungo tutto il loro ciclo di vita, garantendo così l'adeguatezza all'uso del materiale.

Rileggendo J.J. Joustra e R. Bessai, come prima conclusione, emerge che il ruolo del design è cruciale in questo contesto. Esso non solo definisce le caratteristiche funzionali ed estetiche del prodotto, ma influisce profondamente sulla sua gestione lungo tutto il ciclo di vita. Il design del prodotto o del componente in biocomposito è determinante, come sottolineato a chi scrive dall'architetto Marco Capellini durante un'intervista online datata giugno 2023: “ [...] non è il materiale che fa la circolarità, ma il prodotto e come esso è progettato”²⁹. Questa affermazione alimenta ulteriormente il complesso dibattito affrontato nei paragrafi iniziali della seguente tesi dottorale: un design ben concepito può facilitare la manutenzione, il riciclo e la comunicazione dei benefici circolari, migliorando l'efficienza e riducendo l'impatto ambientale, al di là degli aspetti materici.



fig. 06 Acquisizione e analisi dei dati per identificare potenziali problemi

In questa sede occorre, a questo punto, approfondire ulteriormente il dibattito già avviato da Joustra e Bessai circa un particolare aspetto, ovvero quello della riparabilità “sartoriale” di questi particolari materiali. Sebbene tali materiali possano di fatto rappresentare un'avanguardia tecnologica per il loro “minore” impatto ambientale e la loro versatilità applicativa, la loro gestione, soprattutto in fase di riparazione e riutilizzo, evidenzia una serie di criticità che pongono interrogativi rilevanti circa l'effettiva accessibilità del know-how necessario e la capacità di strutturare filiere adeguate alla logistica inversa. La grande attrattiva dei biocompositi risiede allora nella loro capacità di coniugare resistenza e leggerezza, permettendo una riduzione significativa dell'impronta ecologica, ma non solo. A differenza dei materiali convenzionali, per i quali esistono già procedure industrializzate e standardizzate di riparazione, i biocompositi richiedono interventi intrinsecamente artigianali e altamente personalizzati. Questa caratteristica distintiva non solo li rende unici in fase produttiva, ma offre anche un'opportunità preziosa per l'approccio alla manutenzione e al recupero, differente dalle pratiche industriali comunemente adottate. Riparare un biocomposito potrebbe, talvolta, non equivalere a una semplice sostituzione di componenti danneggiati. Infatti, è per la loro composizione, formata da fibre naturali e matrici di origine biologica, che tali materiali necessitano di un intervento tecnico estremamente specializzato, che richiede competenze difficili da trovare su larga scala. Il know-how per riparare correttamente un biocomposito è dunque prerogativa di artigiani o tecnici altamente qualificati, capaci di manipolare con delicatezza le fibre naturali senza comprometterne le proprietà meccaniche e strutturali. Questo divario di competenze, lungi dall'essere un ostacolo, può essere visto invece come un'opportunità per valorizzare il lavoro artigianale, creando una barriera positiva che incoraggia l'innovazione e l'alta specializzazione – locale – nelle pratiche di riparazione. In tale contesto, la riparazione artigianale assume una connotazione di alta sartorialità. Ogni intervento deve essere calibrato sulla base della specificità del materiale e del danno, risultando in un processo che, sebbene non possa essere standardizzato, offre un valore aggiunto alla manutenzione dei prodotti. Ogni operazione di riparazione, su un biocomposito, si distingue per la sua unicità e per l'alto grado di personalizzazione, trasformando la riparazione in una forma di valorizzazione delle qualità originarie del materiale e della sua integrità funzionale, piuttosto che in

una sostituzione rapida e indifferenziata come accade in altre tipologie di materiali. Non si tratta di semplici riparazioni, ma di veri e propri interventi conservativi, finalizzati a ristabilire la funzionalità del prodotto nel rispetto della sua natura materiale e del suo design. Ciò distingue nettamente la riparazione dalla rifabbricazione. Se quest'ultima implica una ricostruzione parziale o totale del prodotto, la riparazione artigianale agisce, come detto, in maniera conservativa, preservando quanto più possibile l'integrità originale del materiale. La rifabbricazione, tanto industrializzata, tende a ridurre il prodotto a un insieme di componenti intercambiabili, facilmente sostituibili, mentre la riparazione dei biocompositi richiede un'attenzione molto più specifica alla struttura e alla composizione del materiale. La sartorialità della riparazione dei biocompositi si oppone così alla standardizzazione propria della rifabbricazione, promuovendo una filosofia più attenta e rispettosa nei confronti del ciclo di vita del prodotto.

Ulteriori questioni sorgono dal fatto che, ad oggi, non esiste una filiera strutturata in grado di supportare adeguatamente la riparazione e la manutenzione di prodotti in biocomposito. Come detto, la logistica inversa, che è cruciale per recuperare e reintegrare prodotti e materiali nel ciclo produttivo, si trova a essere un anello debole in questa catena. Nei settori industriali tradizionali, la logistica inversa è invece ben sviluppata, con infrastrutture dedicate al recupero, alla rigenerazione e alla ridistribuzione dei componenti usurati. Nondimeno, i materiali biocompositi richiedono una gestione del tutto differente, più articolata e complessa, che a oggi non trova corrispondenza in una rete consolidata. La mancanza di una logistica inversa efficace per i biocompositi è un problema che va affrontato con urgenza, poiché compromette l'intero ciclo di vita dei materiali e ostacola l'attuazione di un'economia circolare autentica. La riparazione di prodotti in biocomposito, infatti, non può essere affrontata senza una rete di supporto che consenta di recuperare e reimmettere nel sistema produttivo i componenti che possono essere rigenerati o riutilizzati. Reimpiantare una filiera dedicata a questi materiali non è soltanto una questione di ottimizzazione delle risorse, ma implica anche una revisione delle pratiche industriali, in cui la gestione del fine vita e il recupero dei materiali devono essere considerati fin dalle prime fasi progettuali. Occorre, dunque, un cambiamento di paradigma. Ne deriva che la progettazione di biocompositi deve tener conto non solo delle fasi produttive e d'uso, ma anche di tutte le di-

namiche post-consumo, includendo fin dall'inizio soluzioni che facilitino la riparazione, la rigenerazione e la reintegrazione dei materiali nel ciclo produttivo. È necessario investire in tecnologie che supportino queste fasi, ma soprattutto occorre rivalutare e incentivare il sapere artigianale, che diventa un elemento chiave per la sostenibilità e la longevità del prodotto. Senza tale sapere, e senza una rete logistica adeguata, i biocompositi rischiano di non realizzare pienamente il loro potenziale circolare. Infine, un altro aspetto rilevante è che la sartorialità e l'artigianalità richieste nella riparazione dei biocompositi possono favorire lo sviluppo di una nuova generazione di laboratori artigianali e microimprese, radicate nei territori e capaci di valorizzare le risorse locali. In particolare, ciò potrebbe stimolare l'occupazione nelle aree rurali e periferiche, dove le competenze artigianali tradizionali possono essere integrate con le nuove conoscenze sui materiali biocompositi, creando così un'interazione virtuosa tra innovazione tecnologica e saperi tradizionali. Questa dinamica potrebbe incentivare la nascita di filiere produttive locali specializzate, che si occupano non solo della produzione dei materiali biocompositi, ma anche della loro manutenzione e riparazione, favorendo lo sviluppo di economie locali differenziate. In aggiunta, la transizione verso un sistema di riparazione e manutenzione dei biocompositi ben strutturato potrebbe anche stimolare la nascita di nuovi modelli di business – prodotto come servizio, ad esempio –. L'economia della riparazione, che si basa sulla longevità dei prodotti piuttosto che sulla loro sostituzione continua, è un paradigma che sta guadagnando terreno nel dibattito economico contemporaneo. L'introduzione di servizi di riparazione su misura per i prodotti in biocomposito potrebbe dare vita a un ecosistema imprenditoriale in cui le aziende si focalizzano non solo sulla produzione, ma anche sulla fornitura di servizi post-vendita altamente specializzati. Questo passaggio verso un modello di business basato sulla manutenzione e sulla riparazione contribuirebbe a generare occupazione in un settore che, a oggi, rimane largamente sottovalutato. Pertanto, non va trascurato neppure il potenziale impatto occupazionale che una filiera di biocompositi "preferibile" e circolare potrebbe avere a livello di ricerca e sviluppo. La necessità di migliorare i processi di riparazione, rigenerazione e riutilizzo di questi materiali stimolerebbe la domanda di professionisti in ambito scientifico e tecnologico, chiamati a sviluppare soluzioni innovative per estendere il ciclo di vita dei prodotti e migliorare

30. Peruccio, P. P. and Vrenna, M. (2019) "Design and microalgae. Sustainable systems for cities", *AGATHÓN / International Journal of Architecture, Art and Design*, 6(online), pp. 218–227.

31. Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, 187, 108397.



fig. 07 Algae Grower, 2023



fig. 08 Caschi per bicicletta a base di fiocchi di canapa e micelio

la loro riciclabilità. Le attività di ricerca e sviluppo, in questo contesto, si tradurrebbero non solo in nuove tecnologie, ma anche in un aumento della domanda di competenze altamente specializzate, con ricadute positive sull'occupazione qualificata endogena ai territori.

Parallelamente a questi ragionamenti, anche l'utilizzo di fibre vegetali meno comuni rappresenta una straordinaria opportunità per la ricerca nel settore dei biocompositi. Diverse specie vegetali sono storicamente impiegate come materia prima per scopi non alimentari, trovando applicazioni nei settori della moda, dell'imballaggio, delle costruzioni – sia per elementi strutturali che per isolamento termico – dell'arredamento, dell'automotive e dei prodotti di largo consumo. Accanto alle piante di alto fusto, comunemente utilizzate per il legname, vi sono graminacee come la canna da zucchero, utilizzate per la produzione di biomasse, piante da cui si estraggono lattici e gomme, e arbusti come il cotone, il lino e la canapa, rinomati per le loro fibre tessili. Più recentemente, la ricerca si è rivolta verso piante che crescono con maggiore rapidità e ridotto impiego di acqua, oltre che verso specie con rendimenti più alti o di cui è possibile utilizzare ogni parte. Un grande interesse è sorto, per esempio, attorno alle alghe (fig. 07), come fonte alternativa di materia prima, sia per la rapidità con cui si sviluppano, sia per la ridotta quantità di energia necessaria per farle crescere³⁰. Esempio simile sono i miceli che, secondo uno studio di Jones et al., presentano un potenziale significativo come biomateriali sostenibili³¹. I miceli, che costituiscono la struttura filamentosa dei funghi, possono essere coltivati su rifiuti agricoli e industriali, trasformando questi sottoprodotti in materiali utili con un impatto ambientale minimo (fig. 08). Jones e colleghi hanno dimostrato che i miceli possono essere utilizzati per creare biocompositi che sono non solo biodegradabili, ma anche altamente resistenti e leggeri, rendendoli ideali per applicazioni nel settore dell'imballaggio, della costruzione e persino nell'industria automobilistica. Inoltre, la coltivazione dei miceli richiede meno risorse rispetto ai materiali tradizionali come la plastica o i metalli, contribuendo così a ridurre le emissioni di carbonio e l'uso di risorse non rinnovabili. La capacità dei miceli di degradare rifiuti organici li rende particolarmente interessanti per un'economia circolare, dove i materiali possono essere costantemente riutilizzati e riciclati, minimizzando gli sprechi. Ad esempio, aziende come Ecovative Design stanno già utilizzando i miceli per produrre imballaggi sostenibili e ma-

teriali da costruzione, dimostrando il potenziale commerciale di queste soluzioni innovative. Di tutte queste specie vegetali si impiegano i fusti, le foglie, i frutti e i semi, utilizzando il più possibile la pianta e riducendo al minimo gli scarti. Ciò resta valido anche nel settore delle fibre e dei tessuti per la realizzazione di materiali biocompositi. Consolidate le peculiarità – e industrializzati i processi – del lino, della canapa, della sisal e del bambù, come rinforzi per i "biocompositi standard", e durante l'ultima decade che i ricercatori dei materiali hanno iniziato a mappare, raccogliere e categorizzare informazioni inerenti alle caratteristiche prestazionali di fibre vegetali insolite e meno comuni, altresì finalizzate al loro potenziale utilizzo come rinforzo dei materiali compositi. Ne è un esempio il gombo (*Abelmoschus esculentus* L.), coltivato a scopo alimentare in tutta l'Asia tropicale, dove oggi lo stelo, dal quale si potrebbe ricavare la fibra, è trattato come uno scarto agricolo, ma è anche il caso della ferula (*Ferula Communis*) (fig. 09) o della canna comune (*Arundo donax* L.), che crescono spontaneamente nei terreni poveri del bacino del Mediterraneo, oppure del carciofo, del borasso, dell'erba di Napier, del *Cissus quadrangularis* o della *Grewia optiva*³². Seppur l'adozione su larga scala di queste fibre meno comuni – soprattutto per applicazioni strutturali – sembra essere lenta a causa della mancanza di fiducia nelle loro prestazioni e dalla carenza di dati specifici, e bene sottolineare che, allo stato di fatto, queste fibre potrebbero offrire vantaggi alla società in modo particolare da un punto di vista socioeconomico³³.

È proprio in questo quadro che, i biocompositi, se derivati da fibre vegetali meno comuni, possono trovare applicazione diretta nelle società rurali, soprattutto in quelle aree geografiche meno sviluppate o in crisi, dove queste fibre sono abbondanti e possono garantire benefici economici e sociali, come pure diventare un mezzo per la rigenerazione di distretti produttivi circolari "a base locale", attraverso l'attivazione di simbiosi produttive, di piccola scala, e processi endogeni ad alto valore aggiunto di conoscenza e creatività³⁴.

Attraverso questa seconda direttrice, si è tentato di far emergere ulteriormente una visione economica rigenerativa che, nel produrre utili e ricchezza per i territori dove viene applicata, pone al centro del proprio sviluppo la sostenibilità ambientale, economica e sociale. Questa visione favorisce l'integrazione della manodopera locale (fig. 10) e la riduzione del consumo di risorse non rinnovabili, sfruttando ciò che fino a poco tempo

32. Sarasini, F., & Fiore, V. (2018). A systematic literature review on less common natural fibres and their biocomposites. *Cleaner Production*, 95, 240–267.

33. Morpugo, E. (2022). Syntropic materials: Designing forests to design natural materials. In L. Arboritanza, C. Benedetti, K. Rochnik Costa, S. Gheduzzi, R. Grasso, I. Gorzanelli, S. Rinaldi, I. Ruggieri, L. Succini, & I. M. Zedda (Eds.), *The ecological turn: Design, architecture and aesthetics beyond "Anthropocene"* (pp. 223–239). TU Delft Open - CPCL Journal.

34. Cardini, P. (2022). Endogenesis. *DIID - Disegno Industriale Industrial Design*, 76, 16–21.



fig. 09 Ferula Communis



fig. 10 Macerazione canapa, 2023

35. Finessi, B. (2014). *Il design italiano oltre le crisi. Autarchia, austerità, autoproduzione*. Corraini.

36. Barbero, S. and Ferrulli, E. (2023) "Ecological and digital transition. Systemic Design in SMEs open innovation processes", *AGATHÓN / International Journal of Architecture, Art and Design*, 13, pp. 269–280.

37. Fagnoni, R. (2018). Da ex a next: Design e territorio, una relazione circolare basata sulle tracce. *MD Journal*, 5, 16–27.

38. Parente, M., & Sadini, C. (Eds.). (2018). *D4T: Design per i territori: Approcci, metodi, esperienze*. ListLab.

39. Morelli, N., & Sbordon, M. A. (2018). Il territorio delle relazioni: Il design infrastructuring per i contesti locali. *MD Journal*, 5, 176–185.



fig. 11 Tessuti in fibre naturali "autoctone"

fa era considerato scarto e rivalorizzando materie prime naturali, da tempo dimenticate, che oggi si stanno riscoprendo³⁵. In questa direzione, la disciplina del design dovrà sempre più riflettere sulla capacità di connettere comunità locali, luoghi, istituzioni e imprese, facilitando così processi di simbiosi industriale di piccola scala, entro cui tutte le parti della catena del valore lavorano congiuntamente: dai coltivatori della materia ai trasformatori, dai produttori di attrezzature alle università, dagli artigiani di diversa maestria alle industrie di lavorazione. Per ambire a questo obiettivo, sarà utile adottare un approccio progettuale che parta da ciò che è presente in una data area geografica (esplorazione territoriale), svolgendo ricerche sul campo con il supporto di attori locali³⁶. Ogni azione deve essere impostata sulla base delle capacità delle risorse territoriali, tangibili e intangibili, favorendo la partecipazione di soggetti e ruoli diversi³⁷.

È fondamentale, infatti, considerare la valorizzazione dei territori e dei loro distretti produttivi come ambito d'intervento del design sostenibile non solo dal punto di vista delle soluzioni innovative di prodotto, certamente necessarie, ma anche come risorsa capace di attivare tutte quelle relazioni che determinano un incremento di valore complessivo³⁸. Ciò significa avviare progetti aperti al dialogo costante con il territorio, idonei all'interpretazione di nuovi modi di produrre e di fruire delle cose, verso l'obiettivo congiunto di riaprire processi per l'attivazione di comportamenti virtuosi³⁹.

Nel settore dei materiali biocompositi, il compito del designer sarà dunque quello di proporre soluzioni innovative che rispondano ai bisogni tecnici e prestazionali dell'artefatto, considerando anche gli aspetti della durata programmata attraverso un'adeguata selezione dei materiali.

Parallelamente, il designer dovrà stimolare e coadiuvare la cooperazione al progetto di tutti i soggetti territoriali per rafforzare i legami tra le imprese di uno stesso territorio, disegnando infine filiere sostenibili e circolari a favore della valorizzazione dell'identità territoriale (fig. 11).

In conclusione, il design deve oggi operare sinergicamente su due direttrici principali di sostenibilità: la preservazione dell'integrità del prodotto e del materiale, e la valorizzazione delle fibre naturali autoctone per creare nuovi rinforzi fibrosi endogeni al territorio.

Questi due approcci, se integrati efficacemente, possono migliorare significativamente l'impatto ambientale e sociale com-

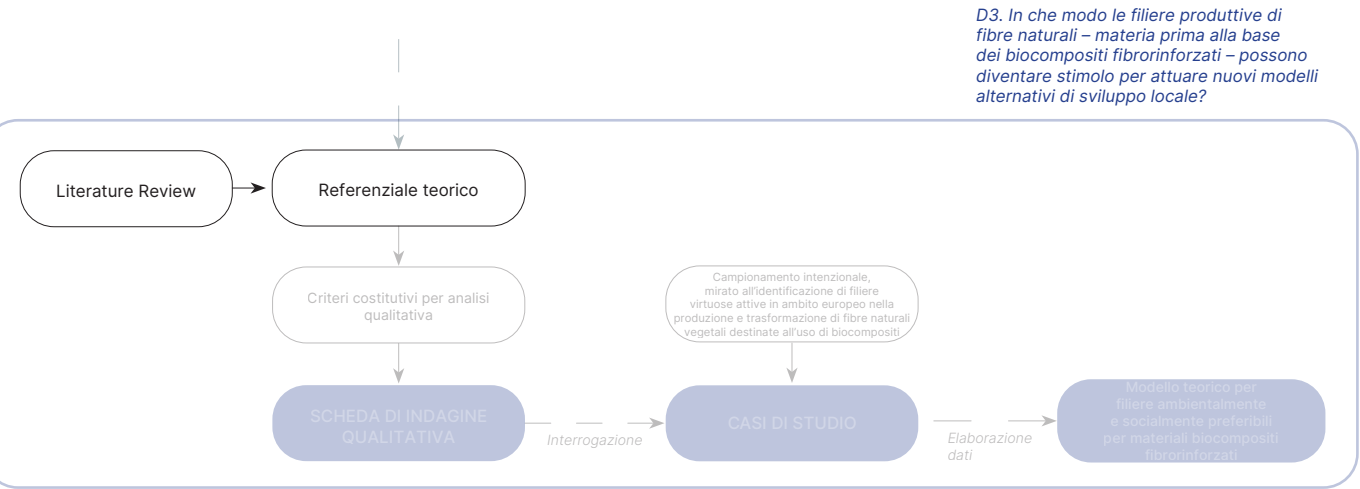
lessivo dei biocompositi. La prima direttrice prevede l'adozione di strategie progettuali che garantiscano la lunga durata dei prodotti, l'estensione della loro vita utile attraverso manutenzione e riparazione, e il recupero e il riutilizzo dei materiali a fine vita. Come sottolineato da J.J. Joustra e R. Bessai⁴⁰, questo approccio include l'ottimizzazione della selezione dei materiali, la progettazione per il disassemblaggio e l'integrazione di componenti a base biologica, migliorando la sostenibilità dei materiali compositi e biocompositi e riducendo al contempo l'impatto ambientale. La seconda direttrice si focalizza invece sulla valorizzazione delle risorse locali e delle fibre naturali meno comuni, promuovendo una filiera produttiva che sia non solo sostenibile, ma anche rappresentativa dell'identità territoriale. Tutto ciò contribuisce a ridurre la dipendenza da risorse esterne, sostenendo l'economia locale e preservando l'identità culturale del territorio. In estrema sintesi, l'integrazione di queste due direttrici di sostenibilità permette di ottimizzare le prestazioni dei biocompositi, garantendo un uso efficiente e responsabile di questi materiali lungo tutto il loro ciclo di vita. La combinazione dei principi del design circolare e la valorizzazione delle risorse locali rappresentano quindi una via maestra verso una produzione più preferibile e rispettosa dell'ambiente, in cui il design gioca un ruolo centrale nel promuovere l'innovazione, agevolando la cooperazione territoriale.

In ultima istanza, le trasformazioni socio-culturali e tecnologiche non solo influenzano gli approcci progettuali, ma ridefiniscono anche i modi in cui gli artefatti vengono concepiti e realizzati. La democratizzazione crescente delle tecnologie avanzate e l'uso autonomo da parte dei designer hanno trasformato profondamente la visualizzazione e la manipolazione dei concetti progettuali, la loro realizzazione concreta e i rapporti tra il design e altre discipline. A queste influenze si aggiunge l'importanza dei linguaggi sottili alle potenzialità tecniche, estetiche e simboliche nella trasformazione dei materiali. L'evoluzione della cultura progettuale, caratterizzata da un'orientazione verso prospettive digitali e informazionali, ha portato il design a riconsiderare processi, strumenti e materiali secondo una logica innovativa, che tiene conto non solo delle tecnologie avanzate, ma anche del rapporto diretto con i territori locali e le materie prime autoctone. Questo approccio integrato valorizza le specificità locali e le risorse naturali, armonizzando le innovazioni tecnologiche con le peculiarità del contesto ambientale e culturale.

40. Joustra, J.J., Bessai, R. (2022). op cit.

parte III

**MATERIALI BIOCOMPOSITI E DESIGN
COME STIMOLO PER L'ATTUAZIONE
DI NUOVI MODELLI DI SVILUPPO
TERRITORIALE LOCALE**



Sintesi e schema di lettura del capitolo

5. Nuovi paradigmi di sviluppo locale tra design, materie prime naturali e territori

5.1 La rinascita del locale: una nuova cultura agro-ecologica e il ruolo del design

La frammentazione progressiva delle comunità di abitanti, intese come figure collettive di costruzione, fruizione e cura del proprio ambiente di vita, è alla base del declino della qualità del territorio, in questa sede volutamente definito come l'insieme corale e inscindibile di insediamenti antropizzati, urbani e rurali, e di paesaggi naturali, come pure delle realtà produttive imprenditoriali. L'attuale indebolirsi del senso di comunità, conseguenza negativa dei processi globali di eterodirezione decisionale, informativa, produttiva e commerciale, esaspera le pratiche di de-spazializzazione e de-territorializzazione già in atto dal Novecento¹, come ad esempio la perdita di spazi di contatto² o l'affievolirsi delle attività di prossimità e delle relazioni di convivialità³, o come la sempre più drammatica rottura dei millenari legami co-evolutivi circolari fra produzioni antropiche e natura, alimentando un esodo globale che produce un duplice effetto. Da un lato, a titolo esemplificativo, si assiste allo spopolamento di alcuni piccoli centri abitati nonché all'abbandono del presidio e della cura del territorio rurale con la scomparsa delle filiere produttive locali; dall'altro si osserva un incremento dei residenti negli agglomerati periferici della metropoli, decontestualizzati e omologati, con una relativa dissoluzione dello spazio pubblico e dei tessuti urbanizzati "connettivi". In entrambi i casi emergono fenomeni di disaffezione e disattenzione delle comunità verso il territorio dell'abitare e del produrre, il quale cessa di assumere la fondamentale valenza di bene comune e soggetto aperto a nuove forme di progettualità rigenerativa⁴.

Oggi, ritornare ad avere cura dell'ambiente comporta la mobilitazione di energie locali e di re-identificazioni comunitarie in grado di rovesciare una gerarchia di valori consolidata. Si tratta di ridisegnare metabolismi sostenibili di relazioni sociali e produttive necessari a delineare una rinnovata civilizzazione che rimetta in sinergia i rapporti co-evolutivi e di riguardo fra abitanti-produttori e qualità dei propri mondi di vita, dalla campagna alla città, passando per l'industria. Il territorio trattato come "bene comune"⁵ permane alla base di modelli di sviluppo locale autosostenibili di nuova generazione, fondati sulla messa in valore di patrimoni ambientali, paesaggistici e socioculturali, nei quali la produttività, finalmente avulsa dal depauperamento e dal dominio antropico sulla natura, non dipende più da un singolo settore, ma dalla maturazione della coscienza di luogo e dalle sinergie sistemiche che intercorrono tra filiere sempre più integrate e complesse⁶.

1. Magnaghi, A. (2010). *Il progetto locale: verso la coscienza del luogo*. Torino: Bollati Boringhieri.

2. Choay, F. (2003). *Espacements: figure di spazi urbani nel tempo*. Skira.

3. Gorz, A. (1977). *Écologie et liberté*. Editions Galilée.

4. Bonomi, A. (2024). *Microcosmi. Saggi brevi su economia, società territorio*. Il Sole 24 Ore.

5. Donolo, C. (2012). I beni comuni presi sul serio. In G. Arena & C. Iaione (Eds.), *L'Italia dei beni comuni* (pp. 13-54). Carocci.

6. Barbero, S., Giraldo Nohra, C., & Campagnaro, C. (2022). Systemic solutions for the holistic well-being of cities. Processes, results and reflections. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 11, 50–61.

7. Corrado, A., & Ebbreo, C. (2020). Terra. In D. Cersosimo & C. Donzelli (Eds.), *Manifesto per riabitare l'Italia* (pp. 219-223). Donzelli.

8. Lucatelli, S., & Sonzogno, G. V. (2021). Confini, sviluppo locale e relazioni aree interne/aree urbane. L'esperienza Snai e i legami tra territori. In F. Barbera & A. De Rossi (Eds.), *Metromontagna: un progetto per riabitare l'Italia* (pp. 128-132). Donzelli.

9. Osti, G. (2016). *Storage and scarcity: new practices for food, energy and water*. Routledge.

10. Tonolini, M. (2015). *L'Architettura contemporanea del Vorarlberg – Un fenomeno di sostenibilità non solo architettonica nel cuore dell'Europa*, Edizioni Accademiche Italiane.



fig. 01 Cultura progettuale ecologista: il caso studiod del Vorarlberg



fig. 02 Cultura progettuale ecologista: il caso studiod del Vorarlberg

Verso un rinnovamento territoriale e, conseguentemente, del "fare produttivo," si assiste, come già accennato, a un crescente movimento di abitanti-produttori che, attraverso un uso sostenibile delle risorse locali, ridefiniscono la loro relazione con l'ambiente circostante. Questi attori, avvalendosi di un design sempre più inteso come processo, sviluppano reti collaborative capaci di intrecciare saperi tradizionali e innovazioni contemporanee. Tali reti alimentano processi di rilocalizzazione e di riappropriazione di spazi marginali, funzionalmente interconnessi con le aree urbane⁸. In questo contesto, le filiere produttive industriali, se ripensate secondo principi agro-ecologici, possono acquisire una nuova centralità: non si tratta semplicemente di un ritorno a un'agricoltura sostenibile o all'agroforestazione, bensì di una visione integrata della produzione, capace di coinvolgere settori diversi in modo trasversale. La polifunzionalità di tali processi emerge nella loro capacità di collegare il settore primario, come l'agricoltura o la silvicoltura, con l'artigianato, la piccola manifattura e il terziario avanzato, generando un valore che va oltre la semplice produzione materiale⁹. Come già descritto in precedenza, elemento distintivo è l'impiego di materiali naturali autoctoni, come legno e fibre, reintrodotti nei cicli produttivi. Questi non solo promuovono, in linea di massima, la sostenibilità ambientale, ma rappresentano anche un'opportunità per concepire prodotti ad alto valore aggiunto, in termini sia di innovazione creativa che di conoscenza tecnologica. La loro adozione rivitalizza l'economia locale, con un'attenzione particolare ai principi di circolarità e alla gestione etica delle risorse. In tal modo, si gettano le basi per un modello produttivo capace di armonizzare le esigenze economiche con la salvaguardia ambientale e sociale, integrando tradizione e innovazione. Un esempio aiuta a comprendere la portata di un simile criterio ed è quello della regione austriaca del Vorarlberg (figg. 01-02) in cui dai primi anni Duemila una cultura ecologista condivisa da cittadini e amministrazioni ha consentito la diffusione di progetti di gestione ambientale, di mobilità sostenibile, di bioarchitettura in rapporto alle reali disponibilità dei materiali lignei del luogo e, soprattutto, di turismo soft e di innovazione sociale partecipata¹⁰.

Oltre la patrimonializzazione è possibile pensare quindi a progetti maggiormente complessi, capaci di dare risposte più potenti ed efficaci ai problemi, in questo specifico caso, delle aree interne con l'innescio di nuove economie circolari e la definizione di inedite, o rinnovate, identità; per fare ciò la sape-

re progettuale deve intrecciare discipline sociali, economiche, ambientali, scienze rurali, architettura e design, con l'obiettivo di ideare e realizzare soluzioni rigenerative olistiche e di costruire/ricostruire valori culturali condivisi¹¹.

L'integrazione di molteplici filiere rappresenta un cambio di paradigma verso un'economia rigenerativa, e relazionale, in cui la materia prima è rivalutata non solo come risorsa economica, ma anche come elemento cardine di una gestione ecologica e partecipativa del territorio¹². Questo approccio può estendersi dalla piccola manifattura all'industria, con l'utilizzo, ovviamente, di materia prima vegetale, nonché di sottoprodotti e scarti naturali, esemplificando il passaggio verso modelli di produzione orientati all'economia rigenerativa.

Si configura così una nuova relazione di co-produzione tra l'uomo e l'ambiente, in cui il capitale naturale e sociale co-evolvono in armonia, creando un sistema produttivo più equo e sostenibile, certamente preferibile. Ricostruire una relazione di co-produzione tra uomo e ambiente, gioca dunque un ruolo centrale nello sviluppo di un'economia di tipo collaborativo in grado di riportare, come sosteneva anzitempo Ernst Friedrich Schumacher, l'uomo al centro di un più equo agire produttivo¹³, permettendo di sperimentare soluzioni sostenibili anche nel campo della produzione e del "consumo", che si fa "uso", salvaguardando al contempo paesaggi e biodiversità.

Se, come proferiva Adriano Olivetti, in un contesto di rinascita del locale, la "comunità concreta"¹⁴ si fa cuore del sistema politico, e, di conseguenza, il "principio territoriale"¹⁵ resta cruciale per costruire comunità integrate e autonome, il ritorno al territorio diventa essenziale nella rinascita della cultura agro-ecologica e produttiva di filiera, dove il design è al centro dei processi progettuali e d'innovazione eco-sociale (fig. 03).

Questo ritorno al territorio, inteso come riscoperta e valorizzazione della dimensione locale, assume così un'importanza cruciale persino nel processo di rigenerazione delle identità culturali e nella riattivazione della coscienza di luogo¹⁶. È bene ribadire che questo fenomeno non si limita a un'operazione nostalgica di recupero del passato, ma si configura come un progetto articolato che mira a integrare la memoria storica con le sfide contemporanee, facendo leva sull'innovazione tecnologica e sulle nuove forme di organizzazione sociale e produttiva¹⁷. La sinergia tra risorse locali e comunità, infatti, non solo alimenta un modello altro di "sviluppo sostenibile", ma costituisce un fertile terreno per la risoluzione dei "conflitti" e per la

11. Mela, A., Belloni, M. C., & Davico, L. (2000). *Sociologia e progettazione del territorio*. Carocci.

12. Poli, D. (2020). Tracciare la rotta per iscrivere i servizi ecosistemici nella pianificazione bioregionale. In D. Poli (Ed.), *I servizi ecosistemici nella pianificazione bioregionale* (pp. 129-135). Firenze University Press.

13. Schumacher, E. F. (1973). *Piccolo è bello. Uno studio di economia come se la gente contasse qualcosa*. Mondadori.

14. Renzi, E. (2008). *Comunità concreta. Le opere e il pensiero di Adriano Olivetti*. Guida.

15. Magnaghi, A. (2020). *Il principio territoriale*. Bollati Boringhieri.

16. Becattini, G. (2015). *La coscienza dei luoghi, il territorio come soggetto corale*. Donzelli.

17. Verganti, R. (2009). *Design-Driven innovation. Cambiare le regole della competizione innovando radicalmente il significato dei prodotti e dei servizi*. Harvard Business School Press.



fig. 03 Nuova Libbaneria Mediterranea è un progetto aperto di imprenditoria comunitaria con l'obiettivo di una produzione artigianale, di design contemporaneo e turismo esperienziale, basato sulla fibra di ampelodesma

18. Magnaghi, A. (2017). *La conscience du lieu*. Editions Étérotopia.

19. Ibidem.

20. De Rossi, A. (Ed.). (2018). *Riabitare l'Italia – Le aree interne tra abbandoni e riconquiste*. Donzelli.



fig. 04 VAIA cube

generazione di nuove forme di gestione condivisa del territorio inteso, appunto, come bene di tutti. Dalla comunità concreta olivettiana alle contemporanee comunità circolari o energetiche, si assiste oggi a un'evoluzione del concetto di insediamento umano verso modelli progettati per promuovere la sostenibilità e il benessere collettivo. Le comunità circolari, di fatto, si fondano sui principi dell'economia circolare, eliminando rifiuti e inquinamento, rigenerando continuamente materiali e risorse, e accelerando la transizione verso l'uso di energie rinnovabili. Questo approccio integra sistemi economici, sociali e ambientali, garantendo resilienza, qualità della vita per gli abitanti e un impatto positivo sull'ecosistema locale. Non si tratta solo di ridurre gli effetti negativi, ma di creare sistemi rigenerativi che ripensano l'intero ciclo di vita dei materiali e dei prodotti. Il loro successo dipende dalla collaborazione tra cittadini, istituzioni e imprese, supportata dall'adozione di tecnologie avanzate per migliorare efficienza energetica, riciclo e condivisione delle risorse. In questo modo, le comunità circolari non solo riducono la loro impronta ecologica, ma generano nuove opportunità economiche, rafforzando al contempo il senso di appartenenza e la connessione tra gli abitanti. La rinascita del locale, allora, lungi dall'essere una risposta reattiva alla globalizzazione, si propone perciò come una strategia perlopiù attiva per riconnettere le dinamiche locali con i processi globali, rafforzando il legame tra sostenibilità, design, territorio, materie prime naturali, imprese e abitanti¹⁸. Seppur non ancora capaci di ricoprire grandi segmenti di mercato, ad oggi esistono già alcune esperienze, più o meno strutturate, che si muovono sul fronte della circolarità stimolando la valorizzazione e la cura del "milieu territoriale"¹⁹. Si pensi alle iniziative di economia circolare che, nel Belpaese, ricomprendono nella scala locale la filiera foresta-legno, come nel caso delle esperienze di gestione sostenibile dei boschi attraverso piani di valorizzazione che guardano alle connessioni tra aree marginali e città. Ne sono esempi il nascente "condominio forestale" in Val Pesarina (UD), che connette gestione del bosco con il riscaldamento condominiale a biomasse di Pordenone, e la filiera della biomassa di Campo Ligure (GE), che fornisce di cippato le serre delle coltivazioni di basilico di Prà, sulla costa del ponente ligure²⁰. Oppure basti pensare alle piccole filiere alimentari della nutraceutica, le quali, recuperando varietà antiche di produzioni vegetali, si prefiggono come "custodi del territorio", o a chi produce tessuti ecologici e biodegradabili

concepiti dalla trasformazione di sottoprodotti della frutticoltura locale senza utilizzare materia prima vergine²¹. Nel campo delle fibre, o forse meglio scrivere delle "viscose", l'azienda siciliana Orange Fiber, abbattendo gli sprechi e azzerando i costi di smaltimento, processa centinaia di migliaia di tonnellate di sottoprodotto della filiera agrumicola regionale convertendolo in risorsa per il mondo della moda dando vita a un tessuto certamente innovativo.

VAIA (fig. 04), invece, è un progetto di economia circolare locale basato su un modello di business attento sì ai bisogni delle persone, ma anche allo sviluppo di relazioni dinamiche tra la natura e il territorio, a cui si aggiungono componenti più spiccate di stimolo alla creatività individuale e collettiva, nonché di impatto comunicativo sul palcoscenico visivo delle azioni socio-ambientali certamente lontane da fenomeni di greenwashing²². Ideato dal trentino Federico Stefani, il progetto è finalizzato alla raccolta e al riuso degli alberi sradicati durante la tempesta "Vaia" del 2018 in Triveneto e alla trasformazione in un prodotto finito, ovvero in un amplificatore passivo per smartphone che sfrutta la risonanza naturale tipica del legno di abete. Lanciato nel 2019, "Vaia Cube" si fa emblema di un design al servizio dell'adattamento al cambiamento climatico, agendo pragmaticamente attraverso un'azione progettuale capace di ricreare valore non solo per l'ambiente, poiché per ogni amplificatore venduto viene reimpiantato un nuovo albero al fine di conferire nuovamente vita ai boschi, ma anche per il lavoro locale, affidando l'esecutività del prodotto unicamente ai saperi di artigiani del legno delle zone colpite da Vaia.

Da questi casi studio emerge come un approccio dal basso diventa cruciale: esso promuove una partecipazione consapevole e diffusa delle comunità, rendendole protagoniste di una fase di riappropriazione delle proprie risorse e del proprio futuro. Pratiche produttive agro-ecologiche, dove il design si innesta profondamente, contribuiscono pertanto a proteggere l'ambiente e a generare modelli di sviluppo capaci di rispondere alle esigenze specifiche dei contesti locali²³. Il design, infatti, non deve più limitarsi a progettare singoli artefatti, specie quando ciò accade in maniera avulsa da un contesto territoriale, ma deve entrare in sintonia con il patrimonio naturale e la cultura locale stessa, contribuendo così alla riprogettazione delle filiere, influenzate, a loro volta, direttamente dalla qualità e dall'efficacia delle soluzioni progettuali adottate in un dato prodotto²⁴.

21. Sbordone, M. A., Amato, C., & Orlacchio, M. (2022). Prepararsi ora! Design riparatore e autosufficienza programmata. *MD Journal*, (14), 72-83.

22. Mion, A. (2020). Come la tempesta Vaia sia diventata tangibile poesia. Design e cambiamento climatico si incontrano in un cubo di legno. *Officina*, (31), 90-93.

23. Leclercq, E., & Smit, M. (2023). Circular Communities: The circular value flower as a design method for collectively closing resource flows. *Tu Delft OPEN*.

24. Moore, H. L., Davies, M., Mintchev, N., & Woodcraft, S. (Eds.). (2023). *Prosperity in the twenty-first century: Concepts, models and metrics*. UCL Press.



fig. 05 Lamantera Project sta tentando di ricostituire una filiera della lana etica e totalmente Made in Abruzzo

25. Tironi, M., Chilet, M., Marín, C. U., & Hermansen, P. (Eds.). (2024). *Design for more-than-human futures: Towards Post-Anthropocentric Worlding*. Routledge.

26. Ibidem.

27. Magnaghi, A. (2020). op cit.

28. Teneggi, G. (2018). Cooperative di comunità: fare economia nelle aree interne. In A. De Rossi (Ed.), *Riabitare l'Italia – Le aree interne tra abbandoni e riconquiste* (pp. 297-306). Donzelli.

29. Fassio, F., Cionchi, E., & Tondella, A. (2020). The circular economy for food in future cities. Good practices that define Smart Food. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 8, 244-253.



fig. 06 Filato di ginestra, fabbrica tessile Bossio, Calabria

Progettando artefatti che rispettano e valorizzano le risorse locali, dunque, il design diventa un catalizzatore di miglioramento per il contesto, contribuendo a produrre un equilibrio sostenibile tra innovazione e tradizione²⁵.

La rinascita del locale si configura quindi come un'opportunità di innovazione, ponendo il territorio al centro di un nuovo patto sociale tra uomo e natura, e permettendo la costruzione di un futuro ambientalmente e socialmente preferibile²⁶.

Mantenendo uno sguardo ampio e macroeconomico, e sva-licando per un momento il confine disciplinare, è essenziale adesso approfondire come il concetto di "bioregione"²⁷ trovi, in questa trattazione, la sua piena espressione. Le comunità – comprensive delle imprese produttive, nonché dei designer con le quali esse collaborano – che abbracciano il concetto di "bioregione" sviluppano una coscienza di luogo che orienta le scelte produttive, economiche e sociali verso il benessere collettivo e la tutela ambientale (fig. 05).

Non si tratta di una semplice esaltazione della specificità territoriale, ma di una reinvenzione del locale come spazio di sperimentazione in cui innovazione e tradizione dialogano, ridefinendo il rapporto tra globale e locale. Con ciò, la valorizzazione del locale non è solo un progetto culturale o ambientale, ma diviene anche uno strumento di coesione sociale, capace di rafforzare le istituzioni e promuovere una gestione condivisa ed etica delle risorse²⁸. La rinascita del locale offre un'alternativa concreta alle dinamiche estrattive e omologanti del capitalismo globale, restituendo centralità ai territori e offrendo alle comunità la possibilità di rispondere alle sfide globali con strumenti nati dalla conoscenza del proprio contesto.

Il concetto di "bioregione" si sviluppa, inoltre, attraverso una visione che riconcilia ambiente urbano e rurale, ripensando le loro relazioni in una prospettiva di coesione socio-ecologica²⁹. Questo modello interviene su diversi livelli, dalla pianificazione territoriale alla riorganizzazione dei cicli produttivi, dall'uso consapevole delle risorse alla generazione di reti di scambio locale, per costruire un equilibrio sostenibile per le comunità. Anche la cura dei suoli, delle acque e del patrimonio boschivo si rivela essenziale per prevenire fenomeni di dissesto idrogeologico e garantire una gestione sostenibile delle risorse naturali. La chiusura dei cicli locali di alimentazione, acqua e rifiuti rappresenta un altro pilastro della "bioregione", che promuove filiere corte e rafforza le economie locali, riducendo la dipendenza dalle reti di distribuzione global.

Le coltivazioni tradizionali, adattate alle condizioni locali, vengono recuperate all'interno di un sistema produttivo che preserva la biodiversità e la resilienza comunitaria³⁰. Anche colture spontanee, siepi, filari, sistemi irrigui e rotazione delle colture contribuiscono alla creazione di un mosaico paesaggistico diversificato e ricco, capace di garantire stabilità ambientale ed economica. In ambito alimentare, ad esempio, l'agricoltura periurbana e urbana assume un ruolo fondamentale, fungendo da interfaccia tra città e ambiente naturale, creando nuove identità territoriali e produttive e favorendo scambi di valore tra settori diversi³¹ (fig. 06). La produzione locale di energia da fonti rinnovabili come biomasse e idroelettrico su piccola scala contribuisce a un'autonomia energetica sostenibile³².

La "bioregione" si configura allora anche come un sistema integrato, in cui città, zona industriale e campagna collaborano per un futuro sostenibile. Eppure, oltre agli aspetti meramente tecnici, questo modello richiede un cambiamento culturale profondo, che coinvolga cittadini, imprenditori, istituzioni pubbliche e private. Come sostiene Alberto Magnaghi, infatti, la consapevolezza del luogo, intesa come coscienza collettiva del legame tra persone e territorio, diventa centrale per il successo di questa trasformazione³³. Inoltre, la partecipazione degli abitanti alla definizione delle strategie di sviluppo locale è fondamentale per creare un senso di appartenenza e responsabilità condivisa³⁴. La gestione relazionale del sistema bioregionale si fonda su principi etici orientati al bene comune, che superano la logica del profitto individuale immediato e promuovono un'economia più giusta e solidale. Questo comporta l'adozione di modelli economici alternativi, più vicini al mutuo soccorso e a reti comunitarie e cooperativistiche, che rafforzano il tessuto sociale³⁵. L'obiettivo è un sistema produttivo che risponda alle esigenze della comunità locale, senza essere subordinato, oggi, nel limite del possibile, alle logiche del mercato globale. Persino la ridefinizione dei confini urbani come spazi di transizione tra paesaggi diversi, con l'integrazione dell'agricoltura periurbana e urbana mediante tecniche sostenibili, riorganizza il territorio. Oltre il design "sostenibile", anche la pianificazione territoriale, quindi, diventa strumento di connessione tra elementi del paesaggio e del comparto produttivo, garantendo sostenibilità, nonché una nuova estetica ecologica³⁶. La "bioregione", in una visione "eco-territorialista", recupera le relazioni uomo-natura compromesse dall'agro-industria lineare e monoculturale, mentre l'agroecologia rigene-

30. Morpurgo, E. (2022). Syntropic Materials. Designing Forests to Design Natural Materials. In L. Arboritanza, A. C. Benedetti, K. R. Costa, S. Gheduzzi, R. Grasso, I. Gorzanelli, S. Rinaldi, I. Ruggeri, L. Succini, & I. M. Zedda (Eds.), *The Ecological Turn. Design, architecture and aesthetic beyond "Anthropocene"*, (pp. 223-239). TU Delft Open.

31. Carullo, R. (2023). Autarchie contemporanee e modelli di sviluppo meridiano. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 42-55). Media MD.

32. Sachs, W. (2023). *Economia della sufficienza. Appunti per resistere all'Antropocene*. Castelveccchi.

33. Magnaghi, A. (2020). op cit.

34. Bak-Andersen, M. (2021). *Reintroducing Materials for Sustainable Design: Design Process and Educational Practice*. Routledge.

35. Julier, G., & Hodson, E. (2021). Value, Design, Scale: Towards a Territories and Temporalities Approach. In E. Brandt, T. Markussen, E. Berglund, G. Julier, & P. Linde (Eds.), *Nordes 2021: Matters of scale* (pp. 96-103). Kolding.

36. Perullo, N. (2020). *Estetica ecologica: Percepire saggio, vivere corrispondente*. Mimesis Edizioni.



fig. 07 Designer a lavoro con le comunità locali: Sara Bologna con la comunità di Maratea, per la conoscenza delle fibre naturali autoctone

37. Ploeg, J. D. van der. (2009). *I nuovi contadini: le campagne e le risposte alla globalizzazione*. Donzelli.

38. Olivetti, A. (2013). *Il cammino delle comunità*. Edizioni di Comunità.

39. Hornbuckle, R. (2023). Hands-on hands-off: On proximities to materials and systems in design research. In R. Earley & R. Hornbuckle (Eds.), *Design materials and making for social change: From materials we explore to materials we wear* (pp. 46–69). Routledge.

40. De Fusco, R. (2009). *Storia del Design*. Laterza.

41. Fagnoni, R. (2018). Da ex a next. Design e territorio: una relazione circolare basata sulle tracce. *MD Journal*, 5, 16–27.

ra il tessuto culturale, sociale ed economico³⁷. Le filiere corte emergono imprescindibilmente come centrali per una nuova economia rigenerativa, rispondendo alla domanda di prodotti rispettosi del territorio e che rafforzino l'identità culturale. Il successo di questo modello dipende dalla coscienza di luogo e dalla collaborazione per obiettivi comuni, parafrasando, ancora una volta, Adriano Olivetti³⁸.

Più specificatamente, nel contesto della rinascita del locale, la riscoperta delle fibre naturali per applicazioni composite può emergere allora come fondamento di una nuova cultura agro-ecologica, in cui il design si afferma come attore strategico. Non più limitato alla ideazione di oggetti, il design assume un ruolo trasversale, intervenendo sul "redesign" di processi produttivi, filiere, come pure sulle relazioni tra uomo e ambiente (fig. 07). In questa prospettiva, il design non si esaurisce nella dimensione estetica o funzionale, ma diviene agente di trasformazione³⁹, rimodellando - supportando - processi e dinamiche sociali attraverso l'impiego delle fibre naturali, che rappresentano i principi dell'economia circolare e aprono a un nuovo paradigma produttivo e culturale, capace di generare una sostenibilità non solo ambientale, ma anche sociale e culturale.

Nel complesso panorama contemporaneo, la figura del designer evolve: non è più confinata al tradizionale ciclo progettuale di matrice defuschiana (progetto, produzione, vendita, consumo)⁴⁰, ma si dilata in un ambito più sfumato e articolato. Il design diventa leva di sviluppo e innovazione, capace di rinnovare la prospettiva su problematiche radicate.

Oggi, il designer opera in contesti ben più articolati rispetto al passato, dove gli aspetti umani e sociali sono centrali. Il suo ruolo non si limita più alla creazione di prodotti, ma, come afferma Raffaella Fagnoni, consiste nel "progettare soluzioni e scenari riabilitanti, interagendo con le persone e creando occasioni di conoscenza"⁴¹. I designer si configurano, dunque, non solo come disegnatori di artefatti, ma come veri e propri mediatori culturali e sociali, capaci di sperimentare e adattare soluzioni in contesti complessi, materiali e immateriali. In altre parole, essi non sono solo progettisti di oggetti, ma facilitatori di processi di co-progettazione che mettono al centro i bisogni concreti dei territori, delle comunità e degli individui, pubblici o privati. Così, il design, uscendo da una logica puramente autoriale, diventa uno strumento collettivo (fig. 08), orientato non solo alla proposizione di soluzioni, ma alla me-



fig. 08 Momenti di progettualità diffusa e non autoriale, Maratea

diazione, alla stimolazione e al rafforzamento di una capacità progettuale diffusa⁴². Ne deriva che, il design contemporaneo ha, dunque, il compito di consolidare legami, relazioni e forme di cooperazione all'interno delle comunità, contribuendo a innescare processi, servizi e filiere sostenibili. In questo quadro, visionari, cittadini proattivi, imprenditori, istituzioni illuminate e designer professionisti condividono l'obiettivo comune di sviluppare networking e reti organizzative, come pure strutturare nuove identità territoriali⁴³. Un esempio di tale approccio è rappresentato dal "Design per i Territori", che si inserisce in una dimensione strategica, immateriale e collaborativa. Secondo Marina Parente e Carla Sedini, questa disciplina, come verrà trattato nel paragrafo successivo, "è ormai prossima a storicizzarsi, essendo un terreno di sperimentazione esplorato attraverso visioni strategiche e processi comunicativi, produttivi e di servizio localizzati"⁴⁴.

La questione delle fibre naturali, in particolare quelle di origine vegetale, incarna perfettamente il principio della sostenibilità che si sta tentando di enucleare, affrontandola in modo sistemico non solo sotto il profilo ambientale, ma anche sociale, culturale ed economico⁴⁵. Le fibre vegetali emergono come risorsa rinnovabile, con un ciclo di vita che si oppone alla logica estrattiva delle risorse fossili e minerarie, rappresentando un paradigma di rigenerazione continua e inserendosi nel contesto della circolarità e della visione sistemica dei territori⁴⁶. Come già evidenziato, queste fibre naturali, se utilizzate adeguatamente, non sono semplici materiali, ma simboli di rinascita territoriale e di un modello produttivo rigenerativo che unisce sostenibilità ambientale, coesione sociale e sviluppo economico⁴⁷. Tramite la valorizzazione delle fibre naturali, da parte dei designer di prodotto, e il coinvolgimento degli attori di filiera locali, il design si configura anche come catalizzatore di economie territoriali durature e resilienti, contribuendo alla costruzione di un futuro basato su una rinnovata armonia tra uomo e natura, un futuro "eco-sociale", parafrasando Murray Bookchin⁴⁸.

Continuando il dibattito circa le filiere di produzione e il ruolo del design nel tenerle "unite" e "cooperanti", le fibre naturali non solo rappresentano una risorsa abbondante, grazie all'enorme varietà di specie vegetali da cui possono essere ottenute, ma la loro coltivazione e lavorazione riflettono pratiche che hanno plasmato i paesaggi e le culture materiali di molte regioni del mondo, creando legami profondi tra territorio, economia

42. Morelli, N., & Sbordone, M. A. (2018). Il territorio delle relazioni. Il design infrastructuring per i contesti locali. *MD Journal*, 5, 176–185.

43. Zurlo, F. (2012). *Le strategie del design. Disegnare il valore oltre il prodotto*. Libraccio Editore.

44. Parente, M., & Sedini, C. (Eds.). (2017). *Teoria/Pratica – Dialoghi sul design per i territori | 01. D4T Design for Territories – Dipartimento di Design, Politecnico di Milano*.

45. Cristallo, V. (2021). *Do research. Make design*. ListLab.

46. Scodeller, D., & Mancini, M. (2023). Design e fibre naturali: materia, ricerca e progetto. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 6–13). Media MD.

47. Brignoni, M. (2023). AtelieRwanda, design e fibre vegetali. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 56–69). Media MD.

48. Bookchin, M. (1980). *Toward an Ecological Society*. Black Rose Books.



fig. 09 Componenti edilizie in fibra di banana

49. Bevilacqua, P. (2008). *La Terra è finita. Breve storia dell'ambiente*. Laterza.

50. Scodeller, D. (2023). Design tra agricoltura e industria. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 24-41). Media MD.

51. Genovesi, E., & Pellizzari, A. (2021). *Neomateriali 2.0 nell'economia circolare*. Edizioni Ambiente.

52. Earley, R., & Hornbuckle, R. (Eds.). (2023). *Design Materials and Making for Social Change: From Materials We Explore to Materials We Wear*. Routledge.



fig. 10 Taglio di tessuti in fibra di lino per la realizzazione di artefatti in biocomposito

e comunità locali. Eppure, è fondamentale riconoscere come, nei secoli, l'agricoltura e la coltivazione intensiva delle fibre naturali, come il cotone, abbiano anche portato a squilibri sociali e ambientali, con conseguenze drammatiche come la schiavitù e lo sfruttamento intensivo di queste risorse naturali, con la generazione di inquinamento antropico⁴⁹. Di conseguenza, oggi parlare di fibre naturali nel design sostenibile richiede una riflessione critica e un impegno verso soluzioni che siano veramente preferibili, sia dal punto di vista umano che ecologico⁵⁰. L'aspetto forse più distintivo delle fibre vegetali è, come detto, la loro capacità di integrarsi in sistemi di produzione circolari, contrariamente a quanto avviene per le risorse minerarie che richiedono un ciclo di sfruttamento lineare, basato su estrazione, utilizzo e smaltimento. Le fibre naturali, rinnovate e rinnovabili⁵¹, grazie alla loro provenienza da organismi viventi in grado di rigenerarsi in tempi rapidi, permettono di immaginare un futuro in cui la progettazione si fonda su un uso più consapevole delle risorse vegetali (fig. 09).

Ciò richiede, di converso, una progettazione che sappia davvero guardare in "avanti", con un'attenzione maggiore verso i cicli di vita delle materie prime, considerando l'intero sistema di produzione, dall'agricoltura alla trasformazione, fino al recupero e al riciclo. In questo contesto, è fondamentale per il designer comprendere le dinamiche sistemiche che regolano l'approvvigionamento e la gestione delle fibre naturali. Questa consapevolezza consente di promuovere, attraverso il design, modelli di produzione che non solo riducano l'impatto ambientale, ma offrano anche soluzioni economicamente vantaggiose per le comunità rurali. Il design assume qui un ruolo cruciale e contemporaneo, elaborando soluzioni innovative capaci di affrontare le complesse sfide della sostenibilità. L'obiettivo, pertanto, è sviluppare prodotti e processi che rispettino i limiti delle risorse naturali e, al contempo, favoriscano una nuova sensibilità ecologica. Le fibre naturali, quindi, non sono semplicemente materiali: esse incarnano una visione del mondo in cui la sostenibilità non è un obiettivo da raggiungere, ma un processo continuo di interazione tra natura e cultura⁵². Un design, nella forma e nella sostanza, che si fonda su queste premesse deve – anche nel settore dei biocompositi – necessariamente sviluppare una progettualità a lungo termine, capace di pensare oggi alle risorse che saranno disponibili nei decenni e nei secoli a venire, in un'ottica di rigenerazione continua (fig. 10). Affrontare con questo approccio il tema delle fibre natura-

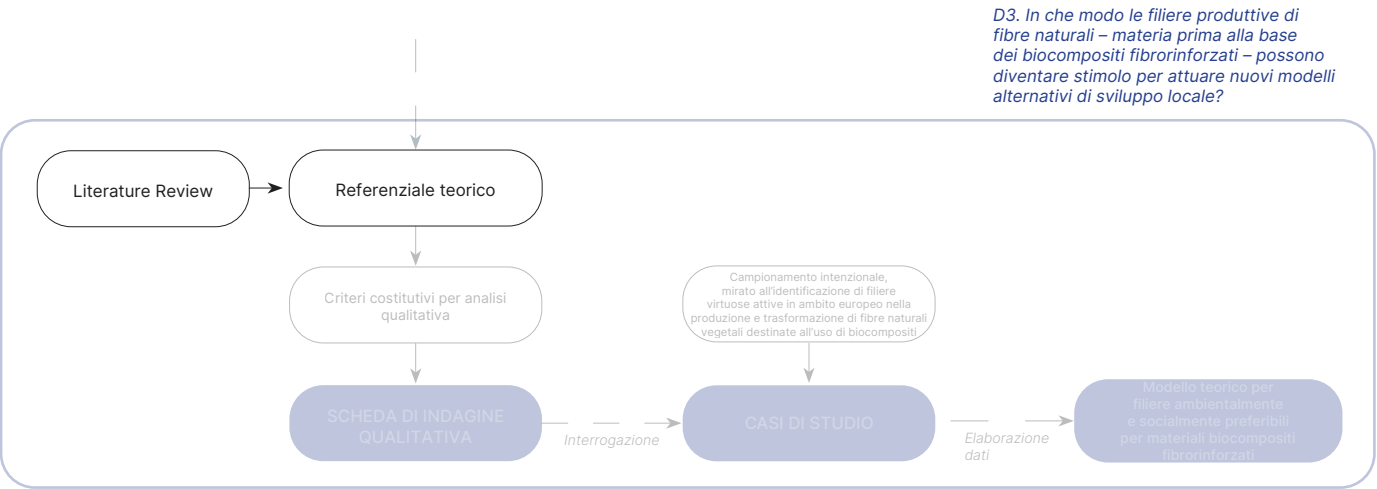
li, dunque, significa confrontarsi con un insieme complesso di variabili, che spaziano dalle dinamiche produttive alla gestione delle risorse naturali, passando per la sostenibilità sociale ed economica delle filiere produttive⁵³.

Il design diventa così un mezzo per esplorare e leggere nuove possibilità di integrazione tra tecnologia, economia e cultura, promuovendo soluzioni che sappiano valorizzare non solo le caratteristiche fisiche e tecniche delle fibre, ma anche il loro valore simbolico e culturale. Il ritorno alle fibre naturali locali, nel contesto di un design che si propone di essere veramente "ambientalmente e socialmente preferibile", non può prescindere da un approccio sistemico che tenga conto delle interconnessioni tra le varie componenti del sistema produttivo e territoriale. È qui che, come sottolinea l'agronomo Marco Fioravanti, si inserisce la sfida del "progettare il vuoto": la capacità di immaginare soluzioni che riducano il consumo di risorse senza compromettere le funzionalità dei sistemi naturali e sociali, promuovendo un approccio che va oltre la semplice creazione di nuovi prodotti, per concentrarsi su processi di rigenerazione e trasformazione. Fioravanti ricorda ai designer: "La sfida più grande che attende il progetto di design è certamente quella di "progettare il vuoto". [...] le fibre vegetali rappresentano una soluzione ideale a molte delle sfide poste dalla ricerca della sostenibilità, offrendo risposte che talvolta semplificano la complessità sistemica dei sistemi bio-culturali da cui provengono. L'invito a progettare il vuoto non è un invito a non progettare [...]. Dare pienezza al vuoto significa raccogliere la sfida della complessità, evitando risposte semplicistiche a problemi complessi e, nel caso specifico delle fibre vegetali, contribuire a dematerializzare le nostre abitudini e i nostri stili di vita, per supportare i sistemi biologici nel mantenere le preziose funzioni che da sempre ci garantiscono"⁵⁴.

In quest'ottica, la "rinascita del locale" rappresenta di fatto una nuova forma di resistenza territoriale, in cui anche il design gioca un ruolo chiave nel favorire l'autosufficienza e la coesione sociale. Attraverso una progettazione di artefatti atta a valorizzazione le fibre naturali endogene, la promozione di filiere corte e l'attivazione di economie circolari, un design "per il locale" può contribuire a ridefinire le modalità di produzione e consumo, promuovendo al contempo una nuova sensibilità ecologica.

53. Real, M., Earley, R., & Goldsworthy, K. (2019). Practices, places, projects: Enrolling stakeholders for circular fashion. In *Proceedings of the Global Fashion Conference: What's going on?* (pp. 1-22). Global Fashion Conference 2018.

54. Fioravanti, M. (2023). Le fibre vegetali: un'opportunità per il design sostenibile. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 42-55). Media MD.



Sintesi e schema di lettura del capitolo

5.2 Design per e con i territori: definizioni e approcci

Il “Design per i Territori”, secondo Marina Parente, ha avuto origine in un periodo di intenso dibattito culturale, favorito dalle trasformazioni economiche, produttive e sociali delle grandi città, in particolare alla fine del XX secolo¹. Questo cambiamento si manifestava con la riduzione della crescita urbana, l’abbandono di spazi industriali e una perdita di identità economica. Si è quindi reso necessario un cambiamento di paradigma che coinvolgesse nuovi metodi e soluzioni creative. Un esempio significativo è rappresentato dal rinnovamento urbano di Barcellona durante le Olimpiadi Invernali del 1992, considerato ancora oggi un caso di studio esemplare: qui l’evento è stato sfruttato per ripensare la città e trasformarla da centro industriale del XIX secolo a moderna metropoli. Questo esempio di pianificazione urbana si basava su una visione strategica condivisa, con obiettivi che includevano lo sviluppo sostenibile e la valorizzazione delle risorse culturali mediterranee, insieme a un bilanciamento sociale e un miglioramento della qualità della vita urbana². L’evoluzione del design, inteso come disciplina, ha giocato un ruolo fondamentale in questo cambiamento. Il focus progettuale infatti si è ampliato, forse per la prima volta, dal semplice prodotto fisico, alla sua dimensione sistemica, con una connessione diretta con i fenomeni di trasformazione culturale della società. Concetti come il design strategico, il design dei servizi e successivamente il design per i territori, hanno segnato dunque l’espansione delle aree di applicazione del design stesso, il quale è divenuto uno strumento per affrontare questioni sempre più complesse, interagendo direttamente con le dinamiche sociali, ambientali e culturali³. Sempre come mette in luce Parente, questa nuova prospettiva si è consolidata attraverso ricerche accademiche, come il progetto Sistema Design Italia del 1998, coordinato da Ezio Manzini, che ha evidenziato come il design italiano fosse strettamente legato al contesto territoriale, basato su una combinazione unica di condizioni locali produttive, culturali e organizzative⁴. Tale approccio ha mostrato come il design potesse adattarsi per valorizzare risorse locali legate al patrimonio culturale e naturale, rafforzando la connessione tra design e territorio. È dal punto di vista metodologico, invece, che il design per i territori si fonda su un approccio situato e su una “pratica riflessiva”⁵, ovvero un tipo di apprendimento che nasce dall’osservazione diretta e dall’azione in un contesto specifico.

Il territorio, inteso come oggetto di progettazione, è dinamico, complesso e multidimensionale, e richiede una lettura profon-

1. Parente, M. (2017). Design for Territories as reflective practice. *PAD Journal*, 13, 10-27.

2. Ibidem.

3. Ibidem.

4. Bertola, P., & Manzini, E. (Eds.) (2004). *Design multiverso. Appunti di fenomenologia del design*. Polidesign.

5. Schön, D. A. (1993). *Il professionista riflessivo. Per una nuova epistemologia della pratica professionale*. Dedalo.

6. Magnaghi, A. (2020). *Il principio territoriale*. Bollati Boringhieri.

7. Zurlo, F. (2012). *Le strategie del design. Disegnare il valore oltre il prodotto*. Libraccio Editore.

8. Schön, D. A. (1993). op cit.

9. Bistagnino, L. (2017). *MicroMacro: Micro relazioni come rete vitale del sistema produttivo*. Edizioni Ambiente.

da delle sue risorse, materiali e immateriali. Come affermato da Alberto Magnaghi, più volte citato nel paragrafo precedente, “il territorio è un’opera d’arte”, un insieme co-evolutivo di relazioni tra l’uomo e la natura che si sviluppa nel tempo⁶. Questa interpretazione consente di trasformare le risorse potenziali in risorse effettive, mediante un processo di lettura e valorizzazione del contesto locale.

In questo ambito applicativo, come sostiene Francesco Zurlo, il design assume il compito di “vedere”, “far vedere” e “pre-vedere”, scenari, facilitando la creazione di aree significative, visioni condivise e forme di progettazione partecipativa⁷. Il percorso metodologico si arricchisce, di conseguenza, di strumenti di volta in volta personalizzati per adattarsi alle situazioni contestuali, favorendo la traduzione delle visioni progettuali in azioni concrete e iniziative pratiche. Ne deriva che, il design per i territori si configura non solo come un approccio orientato alla risoluzione dei problemi, ma anche alla loro individuazione e ridefinizione (problem-setting).

L'approccio descritto, ispirato alle riflessioni di Donald Schön nel suo saggio *Il professionista riflessivo. Per una nuova epistemologia della pratica professionale*, enfatizza il concetto di "conoscenza in azione"⁸. Questo tipo di conoscenza permette al designer di comprendere e agire all'interno di contesti complessi e unici, adattandosi, di volta in volta, a situazioni specifiche e dinamiche. L'obiettivo finale è la generazione di nuove connessioni tra persone, imprese e istituzioni, in grado di attivare processi di innovazione locale. Questi processi trasformano i territori, rendendoli più sostenibili e virtuosi, contribuendo a uno sviluppo eco-sociale duraturo e consapevole. Il design, come ampiamente dibattuto, storicamente è relegato alle sfere della produzione, della tecnologia e del mercato, ma oggi, fortunatamente, assume e ricalca un ruolo più articolato, complesso e sfumato, affermandosi come leva cruciale, nonché processuale, di sviluppo qualitativo per i territori.

In quest’ottica, esso non si limita a generare soluzioni estetiche o funzionali per i prodotti, ma – ancora – promuove veri e propri cambiamenti sistemici, partendo dalla dimensione micro per espandersi progressivamente a livelli sempre più ampi, fino a coinvolgere interi territori e le rispettive comunità⁹. Ciò si traduce in progetti che spaziano dalle strategie di sviluppo territoriale, alla connessione con le imprese locali, fino alla progettazione di servizi innovativi e alla coesione produttiva e sociale.

Questo ampliamento delle finalità progettuali si realizza mantenendo l’impresa manifatturiera al centro del processo, quindi, nel caso dei materiali biocompositi, ripensando sì i prodotti, ridisegnandoli in chiave di economia circolare e rigenerativa, ma includendo la società civile in un approccio olistico capace di valorizzare il territorio, fornendo così “materia prima a base locale”, verso la promozione del benessere collettivo.

Più in generale, tale visione del design come motore di trasformazione territoriale implica pertanto l’iscrizione in un arco temporale di medio-lungo termine, dove le dimensioni relazionali, collaborative e multidisciplinari diventano fondamentali per il successo di qualsiasi iniziativa. È qui che emerge un concetto altro di “sviluppo locale”, inteso maggiormente come un processo integrato, capace di abbracciare una molteplicità di scale d’intervento e di interessi¹⁰.

Il “progresso”, d’altronde, non è solo economico, ma anche sociale, ambientale e culturale, e si manifesta attraverso una serie di pratiche collaborative che coinvolgono attori pubblici e privati, la società civile e i singoli cittadini, ingenerando una rete di connessioni che mira a costruire una cultura comune del progetto. Come afferma Beatrice Villari, lo sviluppo locale si configura allora come un processo collettivo di innovazione territoriale, dove gli attori coinvolti federano le loro competenze e risorse per favorire il benessere globale della comunità, mettendo al centro l’essere umano¹¹. Questa definizione introduce così una prospettiva profondamente relazionale, che rafforza l’importanza della generazione di reti tra i vari soggetti coinvolti, a tutti i livelli: politico, operativo, organizzativo e progettuale. Il concetto di “network”¹², quindi, diventa un meccanismo essenziale per l’innovazione territoriale. Laddove vi sono connessioni tra competenze, risorse e attori diversificati, emerge un ecosistema fertile per l’innovazione e la crescita qualitativa. In particolare, la relazione tra territori e imprese, se opportunamente strutturata, può diventare una leva per la rigenerazione economica e sociale, favorendo non solo la produzione di beni e servizi, ma anche la perpetuazione di valore immateriale, come conoscenza e competenze.

In questa prospettiva, il contributo di Manuel Castells diventa viepiù centrale. Castells, attraverso la celebre e riconosciuta teoria della società reticolare, propone una visione del mondo in cui i flussi di informazioni, persone, beni materiali e immateriali si muovono attraverso una rete globale interconnessa¹³. Questo sistema reticolare, che caratterizza ormai in modo

10. Sabatino, M. (2016). Economic crisis and resilience: Resilient capacity and competitiveness of the enterprises. *Journal of Business Research*, 69(5), 1924–1927.

11. Villari, B. (2013). *Design, comunità, territori. Un approccio community-centred per progettare relazioni, strategie e servizi*. Libraccio.

12. Castells, M. (2002). *La nascita della società in rete*. Bocconi Editore.

13. Ibidem.

14. Manzini, E. (2004). Un localismo cosmopolita: Prospettive per uno sviluppo locale sostenibile ed ipotesi sul ruolo del design. In R. Fagnoni, P. Gambaro, & C. Vannicola (Eds.), *Me.design_ forme del mediterraneo* (pp. 103–109). Alinea.

15. Manzini, E. (2010). Small, local, open, and connected: Design for social innovation and sustainability. *The Journal of Design Strategies*, 4(1), 8–11.

16. Parente, M., Sedini, C., & Simonelli, G. (2016). Regeneration through design: Comparing old and new phases of urban renewal strategies. In B. H. Ortúño (Ed.), *Proceedings of the 6th International Forum of Design as a Process Systems & Design: Beyond Processes and Thinking* (pp. 118–133). Editorial Universitat Politècnica de València.

17. Rullani, E. (2004). *Economia della conoscenza. Creatività e valore nel capitalismo delle reti*. Carocci.

18. Ibidem.

permanente le dinamiche sociali e produttive contemporanee, implica tuttavia una riduzione drastica delle distanze spaziali e temporali, verso delle reti “locali”. Territori geograficamente lontani possono oggi scambiare informazioni, beni e servizi in modo simultaneo, grazie alle infrastrutture tecnologiche e alle reti di connessione, eppure un “ritorno al locale” potrebbe portare il beneficio di una riscoperta delle specificità territoriali, della cultura locale e delle risorse endogene. In questo contesto, il locale non è più isolato o periferico, ma diventa un nodo attivo all'interno della rete globale, capace di interagire con altri nodi, valorizzando le proprie peculiarità e partecipando a dinamiche di scambio e innovazione¹⁴. Questo “ritorno”, quindi, non è una chiusura ma piuttosto una valorizzazione del territorio in relazione alla rete globale, dove il design per i territori può giocare un ruolo fondamentale nell'interpretare e attivare tali connessioni: “pensa globalmente, agisci localmente”¹⁵. Questa riduzione delle distanze non è però solo una questione fisica: si tratta anche di una trasformazione culturale e organizzativa, in altre parole sociale, che ridefinisce i modelli di produzione e di consumo, rendendoli più fluidi e adattabili alle nuove esigenze della società contemporanea.

Le implicazioni di questa trasformazione sono profonde anche per i modelli di sviluppo territoriale, accennati in precedenza. In un mondo sempre più interconnesso, lo sviluppo locale non può più essere pensato in termini strettamente materiali, legati solo alla produzione di beni tangibili, seppur ancora centrali nelle riflessioni del designer. Al contrario, emerge con forza la dimensione immateriale, fatta di saperi, competenze, relazioni, che diventa una risorsa fondamentale per alimentare i processi di valorizzazione del territorio¹⁶. Il “capitale di conoscenza”¹⁷, inteso come l'insieme di competenze e saperi insiti negli individui, nelle organizzazioni imprenditoriali e nei progettisti, assume così un ruolo centrale nei processi di progettazione locale. Come già rilevato dall'OECD nel rapporto *Cities and Regions in the New Learning Economy*, il concetto di “capitale di conoscenza” diventa un elemento chiave per comprendere i processi di innovazione territoriale. Il sapere, inteso come risorsa intangibile, diventa il principale motore di sviluppo nelle cosiddette “learning regions”¹⁸, dove l'apprendimento collettivo è alla base dell'innovazione economica e sociale. È qui che il capitale sociale, fatto di relazioni, reti e collaborazioni, diventa oggetto di scambio e di valorizzazione, contribuendo a generare un ecosistema in cui i singoli individui, le imprese e le

organizzazioni possono agire in modo sinergico e coordinato. Questo processo di apprendimento collettivo, secondo Rullani, è ciò che distingue i territori più dinamici e innovativi, in cui la capacità di cooperare e di condividere conoscenze diventa il fattore chiave per il successo economico e sociale¹⁹. Si tratta quindi di un cambiamento paradigmatico, in cui lo sviluppo territoriale non è più solo una questione di infrastrutture fisiche o di investimenti economici, ma diventa un processo profondamente relazionale, in cui il capitale umano e sociale, mediato e facilitato dal design, gioca un ruolo fondamentale.

In altre parole, la trasformazione dei modelli di sviluppo territoriale passa attraverso una rivalutazione delle risorse disponibili. Non si tratta più solo di valorizzare i beni materiali, ma di comprendere il valore delle risorse immateriali, quelle intangibili, come la conoscenza, le competenze, quindi le relazioni tra esse. Il design, in questo contesto, diventa lo strumento privilegiato per attivare processi di cambiamento che coinvolgono non solo le imprese, ma l'intera società. In un mondo sempre più connesso e interdipendente, la capacità di costruire reti di collaborazione tra attori diversi, di condividere risorse e competenze, diventa il fattore determinante per il successo dei processi di sviluppo “design-driven”²⁰. Questo implica una nuova visione del territorio, non più considerato solo come spazio fisico, ma come un ecosistema complesso di saperi e risorse. Lo sviluppo locale, dunque, oggi, non può prescindere da un approccio integrato e multidisciplinare, in cui il design, la conoscenza, le reti sociali e la cooperazione diventano gli elementi chiave per costruire un futuro preferibile e inclusivo. Il territorio, in questa visione, non è solo un luogo di produzione, ma diventa uno spazio di relazioni, di saperi e di innovazione, dove l'essere umano continua sì ad essere al centro di ogni processo di trasformazione, ma nel rispetto dell'ecosistema. Entrando nel vivo del discorso, Moulaert e Sekia²¹ hanno esplorato le interrelazioni tra diversi approcci teorici che ruotano intorno ai concetti di sviluppo locale e innovazione territoriale, evidenziando cinque modelli fondamentali che, pur distinti, si intrecciano fra loro nel descrivere le dinamiche economiche e sociali che animano i territori. Tra questi, spiccano i “distretti industriali”²², in cui la sinergia fra imprese all'interno di un'area geografica specifica rappresenta la chiave per lo sviluppo economico attraverso l'innovazione. Le imprese, collaborando, riescono infatti a sfruttare in maniera ottimale le risorse locali e a generare una cultura dell'innovazione che si diffonde oriz-

19. Rullani, E. (2004). op cit.

20. Verganti, R. (2009). *Design-Driven innovation. Cambiare le regole della competizione innovando radicalmente il significato dei prodotti e dei servizi*. Harvard Business School Press.

21. Moulaert, F, & Sekia, F. (2003). Territorial Innovation Models: a critical survey. *Regional Studies*, 3, 289-302.

22. Ibidem.

23. Moulaert, F, & Sekia, F. (2003). op cit.

24. Ibidem.

25. Ibidem.

26. Ibidem.

27. Ibidem.

28. Verganti, R. (2009). op cit.

zontalmente tra i vari attori economici. Il secondo modello, denominato “Innovative milieu”²³, sottolinea che le imprese non operano come entità isolate, ma sono parte di un contesto più ampio, un milieu innovativo in cui l’interazione con l’ambiente circostante e le altre organizzazioni diventa fondamentale per promuovere innovazioni continue. In questo senso, l’impresa trae vantaggio dalle connessioni sociali e relazionali che si instaurano all’interno del territorio, facilitando lo scambio di conoscenze e competenze. Un ulteriore passo avanti è rappresentato dal concetto di “Learning region”²⁴ – già introdotto –, che pone la conoscenza e l’apprendimento collettivo al centro dei processi di innovazione. In questo modello, il territorio diventa una sorta di “laboratorio” in cui le imprese, le istituzioni e gli individui collaborano per accumulare e condividere sapere, considerando l’apprendimento come il processo strategico più importante per stimolare il progresso. La regione, in tal modo, non solo evolve economicamente, ma costruisce un capitale di conoscenza che diventa il vero motore della sua crescita sostenibile. Il “Regional innovation system”²⁵ amplia ulteriormente questa prospettiva, concentrandosi sulla qualità delle relazioni tra gli attori di un sistema regionale. Qui, l’innovazione non è vista solo come un processo interno alle singole imprese, ma come il risultato di una rete complessa di interazioni tra vari soggetti, tra cui imprese, istituzioni pubbliche e private, università e centri di ricerca. La qualità e l’intensità delle relazioni sono dunque determinanti per creare un ambiente favorevole all’innovazione, in cui ogni attore può contribuire e trarre beneficio dall’apprendimento collettivo. Il modello dei “Nuovi spazi industriali”²⁶, invece, si focalizza sulla flessibilità delle imprese e delle organizzazioni nell’adattare rapidamente prodotti e processi alle sfide esterne. In un mondo in continua evoluzione, la capacità di rispondere in modo agile alle trasformazioni economiche e sociali diventa essenziale. Questo modello sottolinea l’importanza della reattività e della capacità di reinventarsi per mantenere la competitività e garantire la resilienza territoriale. Infine, il concetto di “Cluster territoriali”²⁷ si sviluppa a partire dai distretti industriali, ma pone un accento particolare sulle interazioni sociali e sulla messa in opera di networking tra attori diversi. Qui, l’innovazione non è solo tecnologica, ma è il risultato di una fertilizzazione – o cross-fertilizzazione²⁸ – incrociata tra diverse discipline, competenze e attori sociali. In questo senso, il cluster diventa uno spazio di coesione sociale, dove l’innovazione nasce dall’incontro e

dalla cooperazione tra individui e organizzazioni con background differenti. Nell’alveo del design, uno degli elementi più interessanti emersi da questa analisi è il modello “community-centred-design”²⁹ di innovazione territoriale, proposto da Beatrice Villari, in cui lo sviluppo territoriale è concepito come un processo capace di abilitare le economie locali attraverso il rafforzamento del settore pubblico, dell’economia sociale e culturale e delle piccole produzioni industriali. Questo modello si distingue per la centralità che attribuisce alle persone e alle comunità locali, che diventano protagoniste attive dei processi di innovazione. L’attenzione si sposta quindi dal prodotto o dal servizio, all’individuo e alla comunità, che, grazie al rafforzamento dei legami sociali e alla cooperazione e mutualismo, acquisiscono la capacità di auto-organizzarsi e di agire autonomamente³⁰.

La “fertilizzazione” tra piccola e grande scala, tra piccole e grandi imprese, diventa un processo cruciale per favorire la diffusione dell’innovazione, anche nel campo dei biocompositi. In questo contesto, chi possiede le capacità per promuovere e diffondere nuove pratiche tra i vari attori del territorio assume un ruolo fondamentale, poiché contribuisce a generare un tessuto economico e sociale più coeso. È proprio attraverso lo scambio continuo di esperienze e competenze, orientate dal design, che si crea un ecosistema territoriale fertile per l’innovazione. La partnership territoriale, in questo quadro, è essa stessa un’innovazione. Secondo Farrel et al., infatti, la collaborazione tra vari attori territoriali rappresenta un fattore decisivo per innescare, consolidare e diffondere le innovazioni locali³¹. La partecipazione attiva delle comunità, l’integrazione delle competenze e la condivisione delle risorse sono aspetti essenziali affinché i processi di innovazione possano evolvere in modo “autopoietico”³². A fronte di questa crescente attenzione verso lo sviluppo locale, i policy maker hanno ormai consolidato e riconosciuto il valore delle risorse locali come elemento distintivo di forza “competitiva”. Secondo Bunt e Harri, lo sviluppo territoriale si fonda allora su cinque principi chiave: la chiarezza degli obiettivi, la capacità delle comunità di assumere un ruolo attivo, la valutazione delle opportunità e dei problemi, la riduzione delle barriere alla realizzazione dei progetti e il riconoscimento dei successi ottenuti³³.

Questi principi sottolineano l’importanza di un processo di valorizzazione bottom-up, in cui le comunità locali non sono meri destinatari passivi delle prassi di sviluppo, ma diventano

29. Villari, B. (2013). op cit.

30. Ibidem.

31. Farrel, G., Thirion, S., & Soto, P. (1999). La competitività territoriale: costruire una strategia di sviluppo territoriale alla luce dell’esperienza LEADER. *Innovazione in ambito rurale*, 6, Fascicolo 1.

32. Maturana H. R., & Varela F. J. (1980). *Autopoiesis and cognition. The realization of the living*. Reidel.

33. Bunt, L., & Harris, M. (2010). *Mass localism: A way to help small communities solve big social challenges*. Nesta.

34. Villari, B. (2013). op cit.

35. Ibidem.



fig. 01 Prodotti della Nuova Libbaneria Mediterranea



fig. 02 Prodotti della Nuova Libbaneria Mediterranea

attori proattivi nella definizione del proprio futuro. La capacità di riconoscere e valorizzare queste risorse è fondamentale per attuare progetti di sviluppo locale preferibile ambientalmente e socialmente. L'innovazione, dunque, non è solo una questione di investimenti in infrastrutture o tecnologie, o prodotti, ma richiede una profonda conoscenza del territorio e delle sue potenzialità, nonché un approccio metodologico che sappia integrare risorse locali in un processo di valorizzazione continua. In questo quadro, come evidenziato nel precedente paragrafo, il design svolge un ruolo cruciale, non solo come disciplina progettuale, ma come strumento per innescare processi di cambiamento che coinvolgono l'intera comunità³⁴. Sul piano metodologico, il riconoscimento del patrimonio locale come risorsa strategica è alla base dei nuovi processi di valorizzazione territoriale. Il design, inteso in senso ampio, può così facilitare la messa in atto di reti collaborative, stimolare l'innovazione – che è anche sociale – e promuovere rinnovate forme di sviluppo economico che rispettino le specificità locali e valorizzino uomo, cultura e società³⁵.

Un caso studio particolarmente interessante nell'ambito del design indipendente e artigianale è rappresentato dalla Nuova Libbaneria Mediterranea a Maratea. Questo progetto, nato per recuperare la tradizione locale della lavorazione dei libbani – corde vegetali tradizionalmente utilizzate fino agli anni Settanta – si distingue non solo per la qualità artigianale dei suoi prodotti, ma soprattutto per il forte impatto sociale. Il progetto, sostenuto dalla Fondazione con il Sud, si propone di creare una impresa sociale al femminile, offrendo opportunità di lavoro a donne disoccupate o beneficiarie di programmi di integrazione sociale, provenienti anche dai Centri di Accoglienza per Richiedenti Asilo (SAI) di Lauria. Il processo di formazione coinvolge un gruppo di venti donne di età e background differenti, che stanno acquisendo competenze legate alla produzione artigianale e al design contemporaneo, con l'obiettivo di valorizzare il patrimonio culturale locale e creare una filiera produttiva sostenibile (figg. 01-02). Un elemento chiave è la collaborazione con la Fabbrica Tessile Bossio di Calopezzati, in Calabria, che offre tirocini formativi per sviluppare competenze nella lavorazione dei libbani in chiave moderna. Oltre all'aspetto artigianale, la Nuova Libbaneria Mediterranea promuove prassi di turismo esperienziale, contribuendo alla destagionalizzazione del turismo locale e potenziando lo sviluppo economico e sociale della regione.

Nello scenario contemporaneo, allora, il design assume un ruolo chiave nella traduzione di visioni, idee e politiche territoriali, in prodotti, servizi e processi, ponendo al centro non solo le persone, come già tradizionalmente teorizzato, ma mettendo a sistema anche le reti e le relazioni immateriali che caratterizzano le dinamiche sociali e cognitive di un territorio.

La sfida principale che il design affronta oggi è quella di operare non solo sulla dimensione tangibile degli artefatti, ma anche su quella intangibile, in cui rientrano concetti quali la fiducia, la consapevolezza collettiva, le pratiche cognitive e le reti sociali³⁶. In questo contesto, fare ricerca significa anche produrre e distribuire conoscenza, trasformando le risorse di un dato territorio in un elemento propulsivo per la valorizzazione locale³⁷. Una nozione che è centrale in questo nuovo paradigma progettuale, come ricorda Beatrice Villari, è quella della "comunità di pratica territoriale"³⁸, ovvero un'evoluzione del concetto originario della "comunità di pratica" coniata da Lave e Wenger³⁹, in cui i membri condividono non solo interessi comuni, ma anche pratiche progettuali orientate alla promozione locale.

Il designer, in quanto parte attiva di questa comunità, non agisce più come un semplice esecutore, ma come un facilitatore, condividendo competenze, linguaggi e strumenti necessari per la realizzazione di progetti collettivi. La "design community"⁴⁰, o comunità progettante, emerge allora come una rete sociale e cognitiva in cui gli attori coinvolti adottano un approccio collaborativo e condiviso, centrato sui bisogni e sulle risorse specifiche delle comunità locali. Partecipare a una design community significa, per il designer, entrare in un processo di apprendimento continuo, che modella non solo le pratiche progettuali, ma anche l'identità professionale del singolo designer stesso. Tale processo implica la capacità di negoziare, condividere e co-progettare, in un contesto in cui il designer deve adattarsi alle dinamiche collettive e alle necessità reali del territorio, non oggetto di interpretazione, ma di comprensione. L'importanza di fare rete permane imprescindibile per generare innovazione territoriale, dove il prodotto industriale diventa un mezzo, non un fine, per l'attivazione di processi innovativi⁴¹.

Anche un'attività che potrebbe apparire avulsa all'atto progettuale, come la mappatura delle risorse locali, se realizzata attraverso metodologie innovative "design-driven", e dal ricercatore di design stesso, può rappresentare già un risultato progettuale di grande impatto e successivo. Tecniche come il design thinking, la co-creazione e la progettazione partecipa-

36. Parente, M. (2017). op cit.

37. Ibidem.

38. Villari, B. (2013). op cit.

39. Lave, J., & Wenger, E. (1990). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press.

40. Villari, B. (2013). op cit.

41. Ibidem.

42. Villari, B. (2013). op cit.

43. Parente, M., & Sedini, C. (Eds.) (2017). *Teoria/Pratica – Dialoghi sul design per i territori / 01, D4t Design for territories*. Politecnico di Milano.

44. Cersosimo, D., Ferrara, A. R. & Nisticò, R. (2018). Gli imprenditori e i luoghi: scenari in movimento. In De Rossi, A. (Ed.), *Riabitare l'Italia – Le aree interne tra abbandoni e riconquiste*. Donzelli editore.

45. Fagnoni, R. (2018), Da ex a next. Design e territorio, una relazione circolare basata sulle tracce. *MD Journal*, 5, 16-27.

tiva possono essere applicate per identificare le risorse territoriali e trasformarle in elementi strategici per lo sviluppo locale. In questo modo il designer anticipa e legge i cambiamenti sociali, diventando indispensabile nei progetti che coinvolgono una molteplicità di attori e risorse territoriali. Nondimeno, a questo punto, è fondamentale ricordare che le reti di relazioni non possono essere standardizzate e applicate indistintamente a tutti i territori. Ogni contesto territoriale presenta caratteristiche uniche, e la progettazione deve tenere conto delle specifiche risorse disponibili, dei bisogni delle comunità e persino dell'estetica del paesaggio circostante. Di conseguenza, il designer deve essere in grado di adattarsi a queste peculiarità, proponendo soluzioni creative che siano in linea con le esigenze locali e capaci di valorizzare le risorse specifiche di ogni territorio.

Questo significa che, in contesti differenti, anche i risultati progettuali saranno diversi: un progetto di valorizzazione turistica in una regione montana non potrà essere identico a quello realizzato in un contesto urbano, poiché le dinamiche sociali, culturali e ambientali variano in modo significativo. È compito del designer promuovere percorsi creativi che rispettino le peculiarità locali, senza cadere in approcci stereotipati o uniformanti. La qualità dell'esperienza, la qualità delle relazioni e la qualità degli ambienti devono essere considerati come elementi fondamentali del processo progettuale, che va oltre la semplice realizzazione di artefatti. Progettare un “processo di valorizzazione”⁴² implica quindi un coinvolgimento profondo degli attori locali e delle comunità, un approccio che Parente e Sedini definiscono “design per i territori”⁴³. Ciò nonostante, questo approccio richiede che il designer lavori anche “con” i territori, non solo “per” essi, integrando le visioni, le risorse e le competenze locali in ogni fase del processo⁴⁴. La partecipazione attiva delle comunità locali diventa quindi un elemento ancor più cruciale per garantire che i progetti di valorizzazione siano efficaci e sostenibili nel lungo periodo.

La visione del design che emerge da questa riflessione è dunque una visione aperta, in cui il designer si fa promotore, mediatore e facilitatore di percorsi di innovazione non solo tecnologica, ma anche sociale e culturale⁴⁵.

Questa trasformazione richiede una profonda consapevolezza delle dinamiche locali e una capacità di dialogo e collaborazione con tutti gli attori coinvolti, siano essi imprese, istituzioni o cittadini.

Per affrontare i processi che conferiscono valore a un percorso progettuale collaborativo, è essenziale la metodologia della “ricerca-azione”⁴⁶, la quale rappresenta un approccio che unisce teoria e pratica, rilevando così il potenziale del territorio in termini di risorse tangibili e intangibili. In questo senso, l'approccio progettuale territoriale, dallo sguardo del design, deve essere guidato da una profonda conoscenza del contesto locale, in un ciclo metodologico che include fasi di ricerca, interpretazione dei dati, ideazione e realizzazione. Per favorire una progettazione coerente con le specificità di un territorio, occorre innanzitutto raccogliere informazioni sulle risorse territoriali, tacite ed esplicite, attraverso strumenti etnografici, antropologici e sociali, come, a titolo d'esempio, interviste, osservazioni partecipative o mappature culturali. Queste informazioni dovranno poi essere sistematizzate in modo da renderle accessibili anche a chi non è del settore, garantendo una visione omogenea del contesto e facilitando la condivisione tra i vari attori coinvolti. La successiva fase creativa è cruciale per trasformare i dati raccolti in spunti progettuali concreti, nonché strategie operative d'azione e/o criteri progettuali minimi, in un processo che richiede di affrontare problematiche complesse e poco strutturate, note anche come “wicked problems”⁴⁷. In altre parole, i risultati attesi possono variare, da nuovi scenari di sviluppo a rinnovate modalità di connessione tra gli attori locali, passando per idee di servizi innovativi, nuove attività imprenditoriali o prodotti specifici e innovativi, tutti interrelati al contesto locale.

Essenziale, ancora una volta, in questo percorso è l'immaginazione di interazioni tra attori differenti, facilitata dall'uso di strumenti che supportano la collaborazione e l'integrazione di risorse. In linea con un approccio sistemico, i progetti di valorizzazione territoriale e “distrettuale” richiedono di considerare tutte le componenti, fisiche e relazionali, coinvolte.

In conclusione, unendo l'azione progettuale con la riflessione strategica, è necessario che il processo progettuale sia messo in pratica, post-analisi e ricerca, traducendo le riflessioni in output concreti che abbiano un impatto tangibile sul territorio. Il design per e con i territori, in estrema sintesi, può essere visto allora come un'estensione del design strategico e sistemico, concentrandosi sulla promozione e realizzazione di progetti che producano innovazioni “a base locale”, nel giusto equilibrio tra processi multistakeholder top-down e bottom-up.

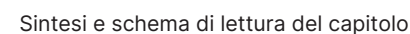
46. Fagnoni, R. (2018). Practicescape. Orizzonti della pratica nella ricerca in design. In *Atti del convegno FRID 2017* (pp. 71-79). Mimesis Edizioni.

47. Rittel, H. W. J., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155-169.

6.1 Premessa e criteri di scelta dei casi studio

Attraverso un'analisi sistematica e comparativa di casi studio selezionati, si intende dimostrare come il design orientato ai territori non si limiti alla dimensione estetico-funzionale di un prodotto, ma assuma un ruolo strategico come motore di attivazione di reti socioeconomiche locali. Questo approccio, definito design per e con i territori – vedere paragrafo precedente –, si concentra sulla valorizzazione delle risorse locali e sulla generazione di un valore che va oltre la mera produzione di oggetti, mirando alla valorizzazione dell'identità territoriale e all'innovazione responsabile – di processo, di prodotto, di sistema – capace di attivare, o riattivare, dinamiche di sviluppo locale preferibile.

Nella fattispecie, il processo di selezione dei casi studio è stato condotto attraverso un approccio di campionamento intenzionale, mirato all'identificazione di filiere virtuose già attive nella produzione e trasformazione di fibre naturali vegetali destinate, tra l'altro, all'uso biocomposito. Questa scelta è stata guidata dall'obiettivo di esplorare pratiche preferibili e modelli di eccellenza che possano servire da esempio per altre filiere. Le realtà selezionate – Amorim Cork per la filiera del sughero, Terre de Lin per la filiera del lino e Virgocoop per la filiera della canapa – sono state scelte, come evidenziato nei successivi approfondimenti, per la loro rilevanza non solo in termini di innovazione e qualità, ma anche per il loro comprovato impatto sociale e culturale. Ognuna di queste filiere si distingue per il suo fermo impegno nella sostenibilità ambientale e sociale, nonché nella promozione di processi produttivi responsabili, rappresentando così modelli virtuosi all'interno del panorama europeo e, più specificamente, mediterraneo. La decisione di concentrare l'analisi su queste filiere ha comportato l'esclusione di altre potenzialmente interessanti, come nel caso della ginestra. Nonostante la ginestra presenti qualità ecologiche e sostenibili e venga utilizzata in alcune produzioni artigianali e



industriali, le sue applicazioni e il suo mercato attuale risultano meno sviluppati rispetto a quelli del sughero, del lino e della canapa, in particolare per quanto riguarda le applicazioni biocomposite. Inoltre, la ginestra non beneficia della stessa tradizione culturale e storica di lavorazione che caratterizza le filiere selezionate. È importante sottolineare che l'analisi si è concentrata sul contesto mediterraneo, noto per la sua ricca tradizione nella coltivazione e lavorazione di queste fibre. Quest'area ha storicamente adottato pratiche agricole sostenibili che non solo preservano l'ambiente, ma promuovono anche la biodiversità e la resilienza delle comunità locali. L'approfondimento di queste filiere non solo mira a illustrare le loro specificità, ma anche a comprendere come possano, in qualche modo, fungere da modelli di riferimento per una transizione verso pratiche maggiormente preferibili e integrate, nel settore dei materiali biocompositi.

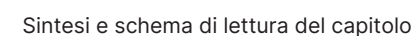
Più in dettaglio, il caso di Amorim Cork è stato selezionato per la sua posizione di leader indiscussa nella filiera del sughero, sostenuta da un'esperienza consolidata nelle pratiche di valorizzazione del materiale e nella promozione di processi di recupero e riutilizzo. La scelta di includere questa azienda è motivata dal suo forte impegno verso la sostenibilità ambientale e dalla sua capacità di generare valore che va oltre il semplice profitto economico. Amorim Cork si distingue infatti per l'implementazione di processi produttivi rispettosi dell'ecosistema del sughero, contribuendo alla conservazione della biodiversità e promuovendo il benessere delle comunità locali attraverso pratiche di coltivazione responsabile.

Per la filiera del lino, la scelta è ricaduta su Terre de Lin, una cooperativa rinomata per il controllo sostenibile dell'intera filiera produttiva del lino e per la particolare attenzione dedicata alla qualità della materia prima. Terre de Lin rappresenta un modello virtuoso di filiera corta e tracciabile, dove le pratiche innovative si fondono con un profondo rispetto delle tradizioni agricole locali. Questa sinergia non solo promuove l'innovazione di processo, ma preserva anche il patrimonio culturale legato alla coltivazione e alla lavorazione del lino, dimostrando come sia possibile integrare modernità e tradizione in un contesto sostenibile.

Infine, la filiera di Virgocoop è stata inclusa per il ruolo pionieristico che svolge nel recupero e nella valorizzazione della coltura della canapa. L'impegno di Virgocoop per la sostenibilità sociale e ambientale, unito al suo contributo significativo per

l'inclusione della comunità locale, rende questo caso di studio particolarmente rilevante. La cooperativa si distingue per la capacità di integrare la coltivazione della canapa con progetti di impatto sociale e pratiche di economia circolare, offrendo così un modello innovativo di sviluppo territoriale che non solo promuove la sostenibilità ambientale, ma favorisce anche la coesione sociale e la creazione di valore collettivo.

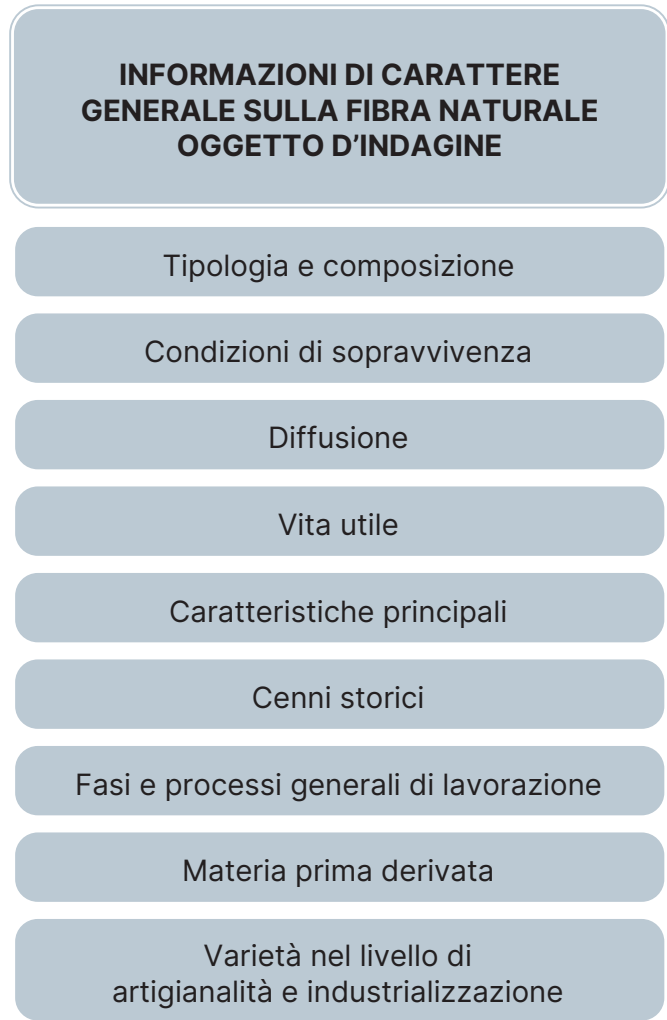
Attraverso l'analisi di queste tre filiere, si intende dimostrare come pratiche di design e gestione sostenibili possano servire da catalizzatori per un cambiamento positivo e come possano ispirare altre realtà a seguire un simile percorso, ambientalmente e socialmente preferibile. La selezione di questi casi di studio risponde quindi all'obiettivo di analizzare modelli produttivi che non solo eccellono in termini di innovazione di prodotto, ma che sono anche esemplari nella produzione di valore per il territorio e la comunità. Tale approccio ha permesso di identificare pratiche replicabili e di documentare l'impatto positivo che le filiere delle fibre naturali vegetali possono generare a livello ecologico, sociale ed economico.



La scheda di analisi è stata organizzata dunque in cinque sezioni tematiche principali, ciascuna delle quali raccoglie un insieme di criteri correlati: questa struttura ha permesso di suddividere i casi di studio in ambiti specifici e di analizzarne le componenti in modo mirato. La selezione di ciascuna variabile è stata guidata dall'obiettivo di costruire un quadro di analisi esaustivo, che permettesse di evidenziare le principali caratteristiche strutturali, operative e di sostenibilità che distinguono e accomunano, o limitano, le diverse filiere di fibre naturali nell'alveo dei biocompositi. Ogni caso studio è stato quindi analizzato sistematicamente in base ai criteri individuati, garantendo coerenza e comparabilità tra i casi. Tale approccio metodologico ha permesso di integrare dati qualitativi complessi in una struttura analitica organica, facilitando un confronto approfondito tra le filiere e sostenendo interpretazioni rilevanti rispetto agli obiettivi della ricerca.

La prima sezione della scheda di analisi qualitativa (tab. 01) raccoglie le informazioni generali relative alla fibra naturale analizzata, fornendo un contesto introduttivo e descrittivo necessario per comprendere le specificità di ciascuna fibra e il suo posizionamento nell'ambito delle filiere di riferimento. Questa sezione risulta fondamentale per creare una base di confronto tra le diverse fibre studiate e per comprendere le particolarità che ne influenzano la coltivazione, la lavorazione e l'utilizzo finale. Le variabili qui analizzate includono la tipologia di fibra e la sua composizione chimico-fisica, al fine di identificare le caratteristiche intrinseche della fibra stessa e comprenderne le peculiarità strutturali. Variabili come le caratteristiche principali (ad esempio, resistenza, flessibilità e texture) e le condizioni ottimali per la crescita o la sopravvivenza della fibra (clima, suolo e condizioni ambientali) permettono di

tab. 01
Dettaglio scheda d'analisi qualitativa



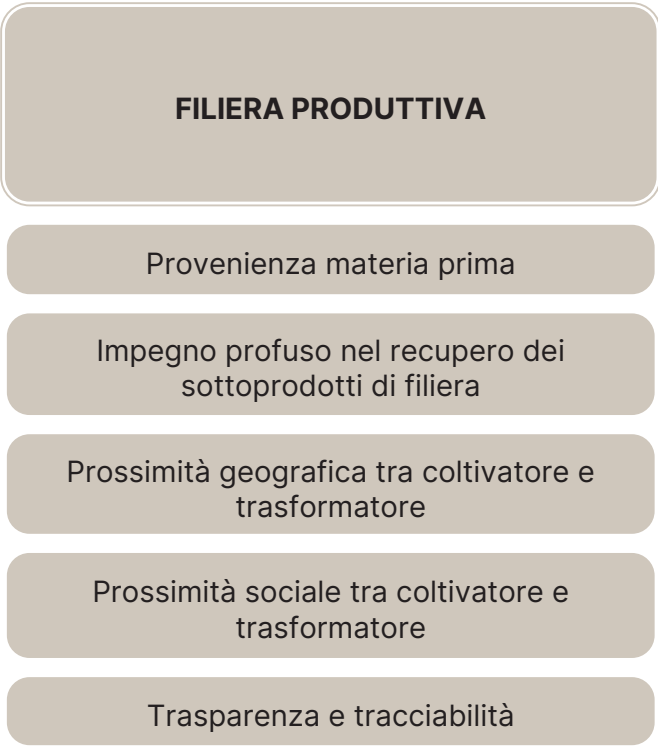
delineare il profilo di ciascuna fibra naturale in termini di sostenibilità, fattibilità produttiva e adattabilità. È stata inoltre inclusa una variabile relativa alla diffusione geografica, per individuare le principali aree di produzione e comprenderne l'impatto globale, e alla vita utile della fibra, che informa sulla durabilità del materiale e sulle implicazioni in termini di circolarità. La sezione include infine una panoramica storica, essenziale per contestualizzare l'utilizzo della fibra nel tempo e comprenderne l'evoluzione culturale e commerciale. Altri criteri, come la tipologia della materia prima derivata e i livelli di artigianalità e industrializzazione nella produzione, aiutano infine a differenziare le fibre basate su metodologie tradizionali da quelle soggette a processi di industrializzazione. Infine, si esaminano i processi generali di lavorazione, per mappare le principali fasi di trasformazione della fibra in prodotto finito, essenziali per valutare l'efficienza e dibattere sulla preferibilità, o meno, del processo di produzione.

La seconda sezione (tab. 02) è dedicata alla descrizione delle caratteristiche generali delle realtà produttive virtuose selezionate, per ottenere un quadro chiaro e strutturato delle aziende e delle organizzazioni più rappresentative, che si distinguono per pratiche sostenibili e modelli di produzione innovativi. La comprensione di tali informazioni è essenziale per delineare le caratteristiche strutturali, organizzative e operative di queste realtà e per confrontarle in modo coerente. Le variabili incluse comprendono la localizzazione geografica principale dell'impresa o attività, che permette di collocare geograficamente la produzione e di valutare l'influenza delle condizioni locali (ambientali, sociali e politiche) sulla catena di approvvigionamento. La variabile relativa alla tipologia di attività o impresa descrive la natura dell'organizzazione, come aziende agricole, cooperative, imprese di trasformazione, o aziende di vendita al dettaglio, per comprendere il ruolo specifico di ciascuna realtà all'interno della filiera. Altre variabili includono le dimensioni aziendali, che indicano la portata e la capacità produttiva delle realtà individuate, e le business unit attive, per mappare le diverse aree operative all'interno dell'azienda. Anche il modello di business è un elemento fondamentale, poiché fornisce informazioni sul funzionamento economico e sulle strategie



tab. 02
Dettaglio scheda d'analisi qualitativa

di crescita o sostenibilità adottate, come i modelli basati su economia circolare, produzione a basso impatto ambientale, o filiere corte. Infine, si analizza la catena del valore, per identificare e comprendere il valore aggiunto creato nelle diverse fasi di produzione, dalla materia prima al prodotto finito. La terza sezione della scheda di analisi (tab. 03) riguarda la descrizione della filiera produttiva delle fibre naturali, con un focus specifico sulla provenienza, la sostenibilità e la trasparenza dei processi coinvolti. Questa sezione è cruciale per comprendere le caratteristiche strutturali della filiera e valutare il livello di sostenibilità e integrazione dei diversi attori, dalla produzione della materia prima alla realizzazione del prodotto finale. La prima variabile indagata riguarda la provenienza della materia prima, che consente di identificare l'origine geografica dei materiali utilizzati, aspetto determinante per comprendere l'impatto ambientale e la qualità della fibra. Un'attenzione particolare è poi posta all'impegno profuso nel recupero e nella valorizzazione degli scarti e dei sottoprodotti della filiera, un indicatore chiave della sostenibilità ambientale, in quanto rivela il grado di ottimizzazione delle risorse e



tab. 03
Dettaglio scheda d'analisi qualitativa

la riduzione degli sprechi, elementi fondamentali nell'ottica di un'economia circolare. Sono inoltre analizzati la prossimità geografica e la prossimità sociale tra coltivatore, trasformatore e produttore. La prossimità geografica rappresenta un aspetto rilevante, poiché riduce le emissioni legate al trasporto e favorisce il consolidamento di filiere corte, contribuendo alla sostenibilità ambientale. La prossimità sociale, invece, considera la presenza di legami culturali e sociali tra i diversi attori della filiera, un elemento che può facilitare la collaborazione e la coesione, promuovendo un modello di produzione inclusivo e responsabile. Infine, la sezione esplora il grado di trasparenza e tracciabilità dell'intera filiera, analizzando l'eventuale presenza di certificazioni in ambito ambientale e sociale. La tracciabilità è un aspetto fondamentale per garantire la responsabilità sociale e ambientale della produzione, offrendo ai consumatori garanzie sulla provenienza e sulle modalità di produzione della fibra. La presenza di certificazioni supporta la credibilità delle pratiche sostenibili e rafforza la fiducia verso la filiera, promuovendo la creazione di un mercato più etico e informato. La quarta sezione della scheda di analisi qualitativa (tab. 04) si concentra sui materiali naturali locali che costituiscono il fulcro del progetto analizzato, esplorando le dinamiche di innovazione e le tipologie merceologiche coinvolte. Questa sezione è fondamentale per comprendere come l'utilizzo di materiali naturali possa contribuire non solo alla sostenibilità ambientale, ma anche alla valorizzazione delle risorse locali e delle tradizioni produttive.



tab. 04
Dettaglio scheda d'analisi qualitativa

Una delle variabili chiave in questa sezione è la retroinnovazione di processo o di prodotto, che si riferisce all'integrazione di tecniche tradizionali e conoscenze ancestrali nella produzione moderna. Questo approccio valorizza il patrimonio culturale e artigianale, dimostrando come la riscoperta e l'adattamento di pratiche storiche possano portare a risultati innovativi, favorendo al contempo la sostenibilità e la conservazione delle risorse. In aggiunta, viene esaminata l'innovazione di processo o di prodotto, che include l'applicazione di nuove tecnologie

**LEGAME CON IL TERRITORIO E
LA COMUNITÀ LOCALE**

Pratiche di valorizzazione del patrimonio culturale materiale e immateriale

Cura del territorio e presenza di servizi ecosistemici integrati

Cura del territorio e presenza di servizi ecosistemici integrati

Coinvolgimento attivo della comunità locale e ruolo

Progettualità correlata alla sostenibilità culturale e della conoscenza

Progettualità correlata all'inclusione sociale

Progettualità correlata alla sostenibilità ambientale

Progettualità correlata all'innovazione tecnologica e di filiera

tab. 05
Dettaglio scheda d'analisi qualitativa

o metodi di produzione per migliorare l'efficienza, la qualità e la sostenibilità dei materiali naturali. Questo aspetto evidenzia come le aziende possano adottare soluzioni innovative per ottimizzare l'uso delle risorse e ridurre l'impatto ambientale, spingendo verso pratiche più sostenibili e responsabili. La sezione analizza quindi le tipologie merceologiche dei materiali naturali utilizzati, categorizzando le diverse classi di prodotti derivati dalle fibre analizzate.

Questa categorizzazione permette di comprendere la varietà e la versatilità dei materiali naturali, evidenziando le opportunità di mercato e le potenzialità per lo sviluppo di nuovi prodotti.

La quinta ed ultima sezione (tab. 05) esplora infine il legame tra le realtà produttive analizzate e il territorio, nonché il coinvolgimento della comunità locale. Questa sezione è fondamentale per valutare come le pratiche produttive si integrino con il contesto sociale e culturale locale, contribuendo a una dimensione di sostenibilità a 360 gradi.

Un aspetto chiave di questa sezione è rappresentato inoltre dalle pratiche di valorizzazione del patrimonio culturale, sia materiale che immateriale, correlate alla produzione delle fibre naturali. Queste pratiche contribuiscono a preservare e promuovere le tradizioni locali, creando un legame profondo tra la produzione e la storia culturale del territorio, valorizzando le conoscenze ancestrali e le tecniche tradizionali. Si analizza la cura del territorio e la presenza di servizi ecosistemici integrati, evidenziando come le attività produttive possano sostenere la salute dell'ambiente e contribuire al mantenimento della biodiversità.

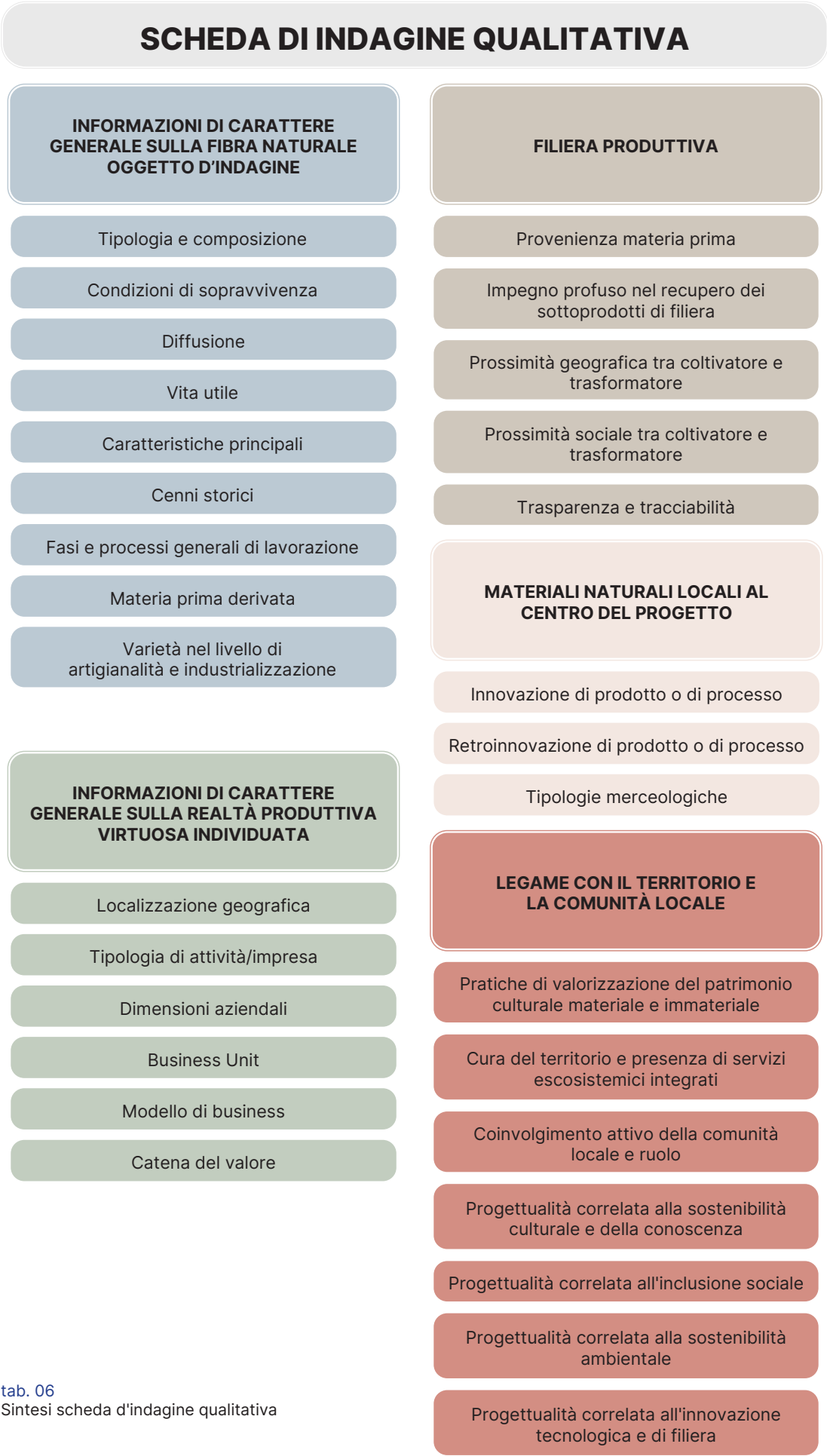
Questo aspetto sottolinea l'importanza di un approccio responsabile alla gestione delle risorse naturali, che favorisca l'equilibrio ecologico e la resilienza degli ecosistemi.

La sezione esplora anche il coinvolgimento attivo della comunità locale, evidenziando il ruolo dei residenti nelle pratiche produttive e nella promozione della cultura locale. Questo coinvolgimento è essenziale per costruire un senso di appartenenza e responsabilità condivisa, facilitando la cooperazione e l'inclusione sociale. Le progettualità correlate alla sostenibilità culturale e della conoscenza sono analizzate per comprendere come le iniziative locali possano favorire l'apprendimento e la trasmissione delle competenze tradizionali, promuovendo un dialogo intergenerazionale e la valorizzazione delle identità locali. Allo stesso modo, vengono esaminate le progettualità correlate all'inclusione sociale, che mirano a garantire oppor-

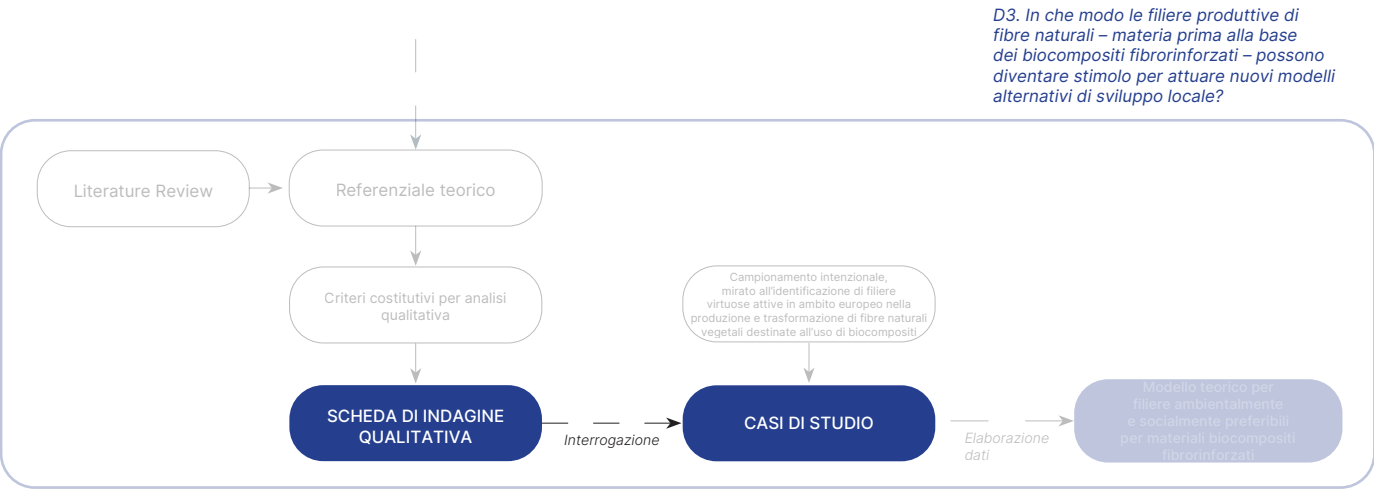
tunità e diritti per tutti i membri della comunità, promuovendo un modello di sviluppo equo e giusto. Inoltre, la sezione considera le progettualità correlate alla sostenibilità ambientale, che possono includere pratiche di agricoltura rigenerativa, gestione sostenibile delle risorse e riduzione dell'impatto ambientale. Infine, le progettualità correlate all'innovazione tecnologica o di filiera vengono analizzate per identificare come le realtà produttive stiano adottando nuove tecnologie e metodi per migliorare l'efficienza e la sostenibilità della filiera, contribuendo così a un'evoluzione positiva nel settore.

L'analisi dei dati di carattere qualitativo è stata condotta impiegando un approccio metodologico sistematico, con l'obiettivo di identificare le caratteristiche distintive e le peculiarità dei casi studio selezionati. La scheda di analisi qualitativa, strutturata in criteri specifici, ha costituito la base per l'indagine approfondita di ciascun materiale e filiera, permettendo di esplorare le dimensioni fondamentali e i tratti distintivi di ogni realtà produttiva. Tale analisi individuale ha consentito di delineare il profilo di ciascun caso, evidenziando gli elementi unici che caratterizzano le diverse filiere di fibre naturali. Successivamente, è stata avviata una fase di confronto comparativo tra i casi studio, in altre parole una lettura orizzontale, basata su ciascun criterio presente nella scheda di analisi (tab. 06). Questo confronto ha permesso di mettere maggiormente in luce le somiglianze e le divergenze tra le realtà analizzate, offrendo un quadro dettagliato delle pratiche, delle strategie e delle specificità di ciascuna filiera. Analizzando i casi studio criterio per criterio, è stato possibile individuare pattern comuni, differenze sostanziali ed elementi innovativi, favorendo così una comprensione più articolata e critica delle dinamiche e delle sfide che caratterizzano il settore delle fibre naturali.

L'adozione di tale metodologia comparativa ha quindi facilitato l'emergere di tratti maggiormente significativi per ogni caso studio, i quali contribuiscono all'elaborazione di una filiera modello per la trasformazione e manipolazione di materie prime, e quindi materiali biocompositi, ambientalmente e socialmente preferibili. L'obiettivo è non solo quello di elaborare un quadro integrato e coerente delle tendenze attuali e delle potenziali direzioni future nell'ambito delle filiere "a base locale" dei materiali biocompositi, ma soprattutto di identificare un modello di filiera ideale a cui tendere nella progettazione, o nel ridisegno, delle stesse.



tab. 06
Sintesi scheda d'indagine qualitativa



Sintesi e schema di lettura del capitolo

6.3 Indagine qualitativa dei casi studio

6.3.1 Il sughero nell’Alentejo: Corticeira Amorim

Il sughero, materiale ricavato dalla *Quercus suber* L., rappresenta una delle risorse naturali che più riflettono il concetto di preferibilità ambientale e sociale, nonché una prospettiva di “sostenibilità” concepita come giustizia intergenerazionale. Com’è noto, chi pianta oggi un albero di sughero lo fa nella consapevolezza che l’impiego della sua corteccia – sughero amadia – avverrà tra due generazioni. La sua coltivazione, perciò, diffusasi in Portogallo nel Medioevo per arrestare la desertificazione dell’Alentejo, richiede un pensiero che si confronta con i tempi lunghi del susseguirsi delle generazioni. Le *quercus suber*, che vivono mediamente circa 200 anni, e dalla cui corteccia autopoietica viene estratto ciclicamente il sughero senza alcun bisogno di deforestazione, configurano un bosco sempreverde noto come “montado” – in portoghese –, caratterizzato, oltre che da una spiccata identità paesaggistica, dall’essere un vero e proprio hub idoneo alla conservazione dell’integrità socio-ecologica complessiva del territorio¹ (fig. 01). La sughera, dunque, è un albero sempreverde, appartenente alla famiglia delle Fagaceae, che si distingue per la sua longevità e la capacità di rigenerare completamente la corteccia dopo ogni estrazione. Questo ciclo di rigenerazione dura all’incirca 9-12 anni e può ripetersi per la maggior parte della vita della pianta, che ha una durata media, come detto, di circa 2 secoli. Tale caratteristica rende la coltivazione del sughero una pratica non solo sostenibile ma anche economicamente rilevante, soprattutto per i Paesi del bacino mediterraneo, dove la sughera è diffusa e coltivata da secoli².

1. Genevau, C., & Bounoure, G. (2017). *Cork in architecture, design, fashion, and art*. Gingko Press Inc.

2. Silva, S. P., Sabino, M. A., Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Boesel, L. F., & Reis, R. L. (2005). *Cork: Properties, capabilities and applications*. Maney Publishing.



fig. 01
Il "montado" e la sua spiccata identità paesaggistica



fig. 02 Laboratorio di manifattura tappi in sughero, 1940.



fig. 03 Sughero nel design contemporaneo



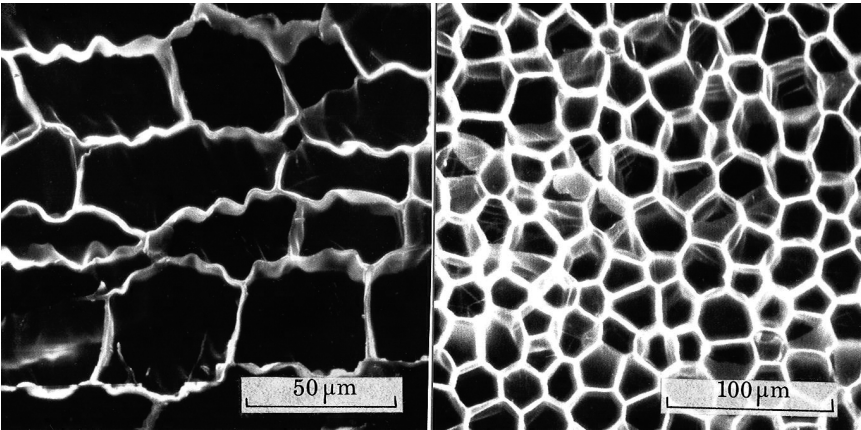
fig. 04 Rivestimento in sughero bruno

A tal proposito, la storia dell'utilizzo del sughero come materia prima è ricca e affascinante, e affonda le radici nei primordi della civiltà umana. Si ritiene, infatti, che la quercia da sughero, albero di origine preistorica, sia emersa insieme alla formazione del bacino del Mar Mediterraneo. Questo albero è sopravvissuto alle ere glaciali, grazie alla protezione della sua corteccia, trovando applicazione in molti contesti già millenni fa.

Le prime testimonianze del suo impiego risalgono all'antico Egitto, dove il sughero veniva utilizzato per realizzare utensili domestici e attrezzature per la pesca. Similmente, nella Grecia antica e durante l'Impero Romano, il sughero trovava ampio utilizzo come chiusura per anfore e come isolante termico, impiegato nei tetti delle costruzioni romane. Le tradizioni artigianali portoghesi, in particolare, evidenziano l'uso ingegnoso del sughero per produrre utensili, arredi, recipienti per la preparazione del formaggio e addirittura mangiatoie per animali da allevamento. Con l'espansione delle rotte commerciali europee a partire dal XVI secolo, l'uso del sughero si è diffuso ulteriormente, diventando un materiale essenziale in vari settori. Uno degli utilizzi più celebri è certamente la produzione di tappi per bottiglie di vino, che ha preso piede alla fine del XIX secolo, grazie all'invenzione di William Painter nel 1892 di un tappo rivestito in sughero, concepito per preservare la qualità dei vini (fig. 02). Nel corso del tempo, la versatilità del sughero ha portato all'innovazione nella sua lavorazione. Nel 1890, una società tedesca sviluppò un metodo per riutilizzare gli scarti della lavorazione, creando agglomerati "compositi" che combinano residui di sughero con un agente legante, ottenendo così un materiale versatile e facilmente lavorabile. Più tardi, nel XX secolo, John Smith scoprì che, applicando calore e pressione, era possibile ottenere un agglomerato senza alcun legante, sfruttando la suberina, mentre Charles McManus perfezionò metodi di produzione per il sughero agglomerato, spianando la strada a nuove applicazioni nell'industria aeronautica e nel design. Oggi, il sughero non è solo un materiale di grande importanza storica e antropologica, ma continua a essere apprezzato per le sue proprietà ecologiche e la sua versatilità, trovando impiego in edilizia, moda, design e molto altro (figg. 03-04). Questa evoluzione, dalla sua scoperta nei tempi antichi fino all'era moderna, testimonia l'adattabilità e il valore duraturo del sughero nella società contemporanea.

Seppur abbastanza tollerante in fatto di suoli e climi, le condizioni ideali per la coltivazione della sughera includono altitudini

comprese tra il livello del mare e i 600 metri, con un massimo di 2000 metri. Il clima ideale prevede precipitazioni annue tra 600 e 1000 mm, temperature medie comprese tra i 13 e i 18 gradi Celsius e un suolo acido, con un pH che varia tra 4,8 e 7,0³. Le sugherete attecchiscono meglio su terreni sabbiosi e privi di gesso, caratterizzati da un buon drenaggio. Nonostante la sughera sia in grado di tollerare la siccità e condizioni climatiche avverse, è la corteccia a fornirle una protezione essenziale contro il fuoco e altre minacce ambientali. Non solo in caso di gelate, ma, anche in caso di incendi, la corteccia agisce come una barriera naturale che isola gli strati sottostanti vivi, permettendo alla pianta di sopravvivere e continuare il suo ciclo vitale. Dal punto di vista botanico, la corteccia del sughero è formata da uno strato esterno chiamato fellogeno, che ha la capacità di dividersi e riprodursi⁴. Questo processo genera la corteccia vera e propria, composta da cellule che si organizzano in strutture regolari e compatte. La particolare struttura cellulare del sughero è la chiave delle sue straordinarie proprietà fisiche: ogni centimetro cubo di sughero contiene circa 40 milioni di cellule, ognuna delle quali ha una forma prismatica e una parete cellulare sottilissima⁵ (fig 05). All'interno di queste cellule si trova una miscela di gas, prevalentemente aria, che conferisce al sughero la sua leggerezza e le sue proprietà isolanti, rendendolo, di fatto, come già esplicitato nel paragrafo 3.4, un materiale naturale con comportamento composito.



La membrana cellulare è rivestita da suberina, un "biopolimero" naturale che rende il sughero impermeabile all'acqua e all'aria, garantendo l'elasticità e la resistenza del materiale, come pure da protezione per attacchi patogeni. La sua composizione, dunque, include circa il 45% di suberina, il 30% di

3. Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J., & Gabarrell Durany, X. (2011). Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in Southern Europe (Catalonia - Spain). *Journal of Cleaner Production*, 7.

4. Fernandez, L. V. (1979). A cortiça material polivalente. *Boletim Instituto Dos Produtos Florestais - Cortiça*, 487, 354-364.

5. Gil, L. (1998). *Cortiça: Produção, tecnologia e aplicação*. INETI.

fig. 05
Struttura interna, regolare e compatta, del sughero



fig. 06 Piastrelle acustiche in sughero riciclato



fig. 07 Sedili in sughero antibatterico, trasporto pubblico portoghese



fig. 08 Playground in sughero, privo di sostanze tossiche

lignina e cellulosa, il 10% di sostanze cerosi e il 10% di tannini e altri composti. Sono invece la lignina e la cellulosa, invece, a conferiscono al sughero la sua struttura solida e la sua resistenza meccanica. Scendendo quindi nella scala “micro”, le proprietà chimico-fisiche del sughero, intrinsecamente legate alla sua particolare struttura cellulare e alla predominanza della suberina, conferiscono a questo materiale una serie di qualità distintive e altamente desiderabili. La leggerezza del sughero è allora uno dei suoi tratti più notevoli, grazie alla sua bassa densità, che deriva dalla presenza di milioni di cellule piene di azoto e ossigeno. Questa conformazione consente al sughero di galleggiare, un attributo che ha trovato applicazione sin dall'antichità. Un'altra caratteristica fondamentale del sughero è, come accennato, il suo isolamento acustico. Grazie alla bassa conducibilità acustica, il sughero agisce come un efficace barriera sonora, riducendo il rumore e migliorando il comfort degli ambienti in cui è impiegato (fig. 06). Inoltre, il sughero ha notevoli capacità di smorzamento delle vibrazioni, un fattore cruciale in applicazioni dove è richiesta stabilità e riduzione delle oscillazioni. Il comfort termico è un ulteriore aspetto in cui il sughero eccelle; la sua bassa conducibilità termica contribuisce a mantenere temperature interne gradevoli, riducendo la necessità di riscaldamento e raffreddamento. Questa caratteristica, combinata con l'elasticità e la comprimibilità del sughero, rende questo materiale unico: esso è in grado di comprimersi senza aumentare di volume dall'altro lato, una qualità che non si riscontra in altri materiali solidi. Il sughero è anche altamente adattabile alle variazioni di temperatura e pressione, rendendolo ideale per ambienti in cui tali condizioni possono fluttuare. Inoltre, il sughero è ipoallergenico, non rilasciando sostanze tossiche né provocando allergie, il che lo rende adatto anche per gli spazi abitativi e pubblici (figg. 07-08). La sua impermeabilità a liquidi e gas è un'altra proprietà degna di nota, dovuta alla sua struttura chimica, che offre una barriera efficace contro le infiltrazioni. Il sughero ha la straordinaria capacità di invecchiare senza deteriorare, mantenendo le sue proprietà fisiche e chimiche nel tempo, un fattore che ne aumenta la durabilità. In termini di resistenza al fuoco, il sughero è ignifugo e non produce gas tossici quando bruciato, rendendolo un materiale sicuro per l'uso in ambienti sensibili. Inoltre, recenti studi condotti dall'Università di Porto e Bordeaux hanno evidenziato le sue proprietà antiossidanti e anticancerogene, suggerendo potenziali benefici per la salute.

Nondimeno, la quercia da sughero ha un'importante funzione ecologica, poiché contribuisce all'assorbimento di CO², agendo come un “carbon sink” naturale⁶. Queste straordinarie caratteristiche non solo rendono il sughero un materiale versatile e “preferibile”, ma ne evidenziano anche il valore in un'epoca in cui la sostenibilità per i prodotti di “consumo” e il rispetto per l'ambiente sono di primaria importanza. Per quanto concerne la diffusione della quercia da sughero, essa si concentra principalmente nell'area del bacino del Mediterraneo occidentale, interessando paesi come Portogallo, Spagna, Francia, Algeria, Marocco, Tunisia e Italia (fig. 09). Questa pianta, essenziale per l'economia e la sostenibilità della bioregione mediterranea, occupa complessivamente una superficie stimata di circa 2.139.942 ettari, anche se tale cifra potrebbe variare leggermente a seconda delle diverse metodologie di rilevazione impiegate dai singoli Stati⁷.

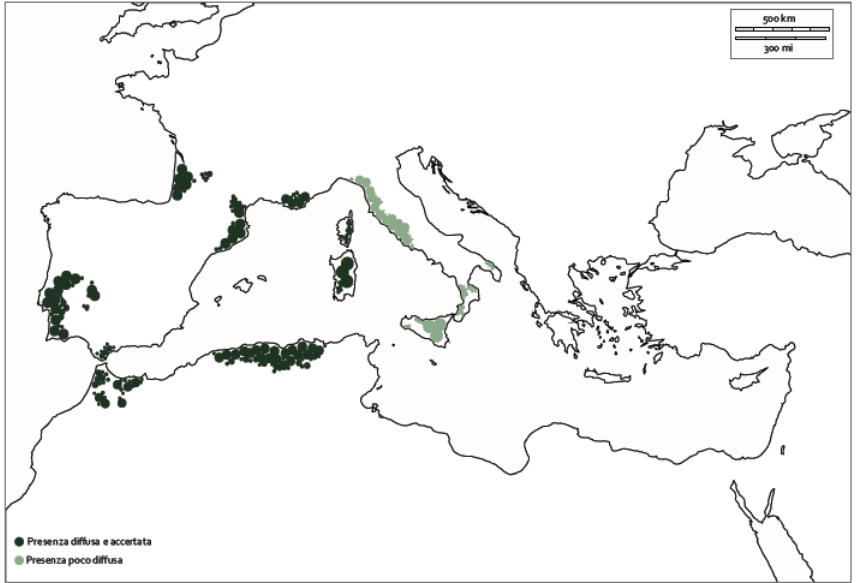


fig. 09 Presenza di sugherete nell'area mediterranea

Il Portogallo emerge come il paese con la più ampia estensione di sugherete, che coprono circa 736.775 ettari, pari al 34% del totale mondiale. Questo dato è fortemente correlato alle condizioni climatiche ottimali presenti nel paese, che permettono una crescita rigogliosa della quercia da sughero. Le sugherete rappresentano infatti il 7% dell'intera superficie forestale portoghese, conferendo al paese un ruolo di leadership mondiale nella produzione di sughero. La Spagna, secondo solo al Portogallo, conta su una superficie di 574.248 ettari, che rappre-

6. Genevoux, C., & Bounoure, G. (2017). op cit.

7. Ibidem.

8. Tola, A. (2012). *Innovazione tecnologica, ecosostenibilità e sviluppo competitivo nel settore del sughero*. Franco Angeli.

9. Ibidem.

10. Ibidem.

11. Ibidem.

12. Ibidem.

13. Ibidem.

14. Ibidem.



fig. 10 Sugherete, come "carbon-sink"



fig. 11 Plance da cui sono stati estratti tappeti 100% sughero

sentano il 27% del totale⁸. In Spagna, tuttavia, le sugherete risultano più frammentate, in parte a causa di fattori climatici e antropici, che ne limitano l'espansione in alcune regioni. In Francia, invece, la quercia da sughero si trova prevalentemente in Corsica e in poche altre regioni, contribuendo per un totale di 65.228 ettari, ovvero solo il 3% della superficie mondiale. Nel continente africano, le sugherete si trovano soprattutto nel Nord, lungo la costa del Mar Mediterraneo, con Algeria e Marocco che rappresentano i principali paesi produttori⁹ (fig. 10). In Algeria, le sugherete coprono circa 230.000 ettari, mentre in Marocco la superficie dedicata alla coltivazione del sughero è di circa 383.120 ettari¹⁰. Nonostante queste estensioni considerevoli, la produzione nordafricana rappresenta solo una piccola parte del mercato globale, a causa di una scarsa specializzazione e di limitate infrastrutture dedicate alla lavorazione del sughero. In Tunisia, ad esempio, le sugherete coprono 85.771 ettari, ma la mancanza di innovazione e di competenze nella filiera produttiva ha frenato lo sviluppo del settore¹¹. Un aspetto storico-geografico interessante è la presenza della quercia da sughero in alcune aree della penisola balcanica e della Grecia, dove si trovano popolazioni isolate di questa specie. Questo fenomeno è probabilmente dovuto a condizioni climatiche simili a quelle del Mediterraneo occidentale, che in passato favorivano la diffusione della pianta. Attualmente, ci sono anche sperimentazioni che mirano a introdurre la coltivazione della quercia da sughero in nuove regioni, come negli Stati Uniti, dove la coltura ha dato risultati promettenti in aree come la California. In termini di produzione, il Portogallo domina il mercato globale, producendo circa 100.000 tonnellate di sughero ogni anno, che rappresentano quasi il 50% della produzione mondiale totale¹². L'Italia, sebbene occupi un ruolo di minore rilievo rispetto ai paesi iberici, si posiziona comunque al terzo posto, contribuendo con circa il 4,9% della produzione globale¹³. Il sughero grezzo estratto ogni anno raggiunge circa 3 milioni di quintali, con l'85% della produzione concentrata in Europa. In particolare, le industrie del sughero portoghesi rivestono un'importanza strategica nel settore, impiegando circa 12.000 persone e generando esportazioni per oltre 552 milioni di euro, soprattutto verso mercati come Francia, Stati Uniti e Spagna. Un altro mercato in crescita è quello dei materiali in sughero per la bioedilizia, con un valore di circa 165 milioni di euro. La filiera del sughero è particolarmente concentrata nella produzione di tappeti per bottiglie di vino (fig. 11), un mercato che

assorbe circa il 69% del sughero lavorato a livello mondiale. Di questo, il 43% viene impiegato per tappeti naturali, mentre il 23% è destinato ad altri tipi di tappeti, inclusi quelli tecnici o composti. Eppure, la gamma di prodotti derivati dal sughero si estende ben oltre il settore vinicolo¹⁴. Nel settore dei trasporti, esso è utilizzato per la produzione di attrezzature o rivestimenti per auto, autobus, treni, barche e aerei, grazie alle sue proprietà di isolamento termico e acustico, nonché alla sua leggerezza, che lo rende ideale per migliorare l'efficienza energetica dei veicoli. Inoltre, il sughero viene impiegato anche per la costruzione di componenti per satelliti, razzi e veicoli spaziali, grazie alla sua resistenza alle alte temperature e alla sua capacità di assorbire vibrazioni, cruciali per garantire la sicurezza e l'efficienza dei sistemi di trasporto spaziale.

Nell'ambito del design di prodotto, il sughero viene utilizzato per ideare oggetti di arredo e accessori che uniscono funzionalità ed estetica (fig. 12). Il suo aspetto naturale e le sue caratteristiche intrinseche lo rendono un materiale molto richiesto per la produzione di articoli di lusso, complementi d'arredo e decorazioni d'interni. Inoltre, è impiegato anche nella produzione di calzature e abbigliamento, in cui si sfruttano la leggerezza, il comfort e le proprietà traspiranti del sughero per garantire alta qualità e sostenibilità. Il sughero viene anche utilizzato per la realizzazione di tappeti e materiali sportivi, come tavole da surf e kayak, canne da pesca, e altri prodotti, grazie alla sua resistenza all'acqua e alla sua elasticità (fig. 13). Questo lo rende un materiale ideale per ambienti esposti all'umidità o all'acqua, mantenendo un'ottima durabilità nel tempo. Nel settore delle costruzioni, il sughero è utilizzato come materiale isolante per edifici residenziali, privati e pubblici. Le sue proprietà di isolamento termico e acustico, unite alla sua resistenza all'umidità, lo rendono ideale per la produzione di pavimentazioni e rivestimenti per ambienti destinati al tempo libero e ricreativi, come parchi giochi e spazi pubblici. Infine, esso trova impiego anche nella produzione di materiali compositi per l'industria dell'edilizia e altre applicazioni industriali (fig. 14). Questi materiali combinano le proprietà del sughero con altri componenti per progettare soluzioni innovative, sostenibili e performanti, utilizzate per migliorare l'efficienza energetica degli edifici e ridurre l'impatto ambientale.

Il sughero si distingue come materiale estremamente versatile, capace di adattarsi sia a processi industriali su larga scala che a lavorazioni artigianali di piccola produzione. La sua unicità



fig. 12 Cork Macaron (cuscini), sughero e schiuma di poliuretano, by Aya Koike



fig. 13 Manico pesca sportiva in sughero, idrorepellente



fig. 14 The Heart of the Work, Miguel Arruda, 2010, Lisbona



fig. 15 Corkigami, by Carlos Ortega, 2013, applicazione "biocomposita" del sughero



fig. 16 Corkigami, by Carlos Ortega, 2013, applicazione "biocomposita" del sughero



fig. 17 Corkigami, by Carlos Ortega, 2013, applicazione "biocomposita" del sughero

risiede nelle caratteristiche fisiche che lo rendono facilmente modellabile, leggero e isolante. Questa flessibilità consente al sughero di essere impiegato in contesti differenti, dalla produzione seriale a quella locale e artigianale. Dal punto di vista industriale, il sughero è utilizzato per la produzione di tappi per bottiglie, pannelli isolanti e prodotti per l'edilizia, grazie alla sua capacità di essere trasformato in forme precise e standardizzate attraverso processi automatizzati. Le industrie possono sfruttare l'efficienza produttiva per soddisfare mercati globali, mantenendo un'elevata qualità e riducendo i costi grazie alla lavorazione in grandi volumi. Parallelamente, però, il sughero ha un grande valore nelle produzioni artigianali, dove la manualità e la cura del dettaglio giocano un ruolo centrale. La lavorazione artigianale del sughero si presta alla produzione di oggetti unici e personalizzati, come accessori di moda, arredamento, oggetti di design e persino arte. La flessibilità del materiale e le tecniche di lavorazione manuale permettono agli artigiani di valorizzare le proprietà naturali del sughero, creando prodotti che esprimono identità culturale e sostenibilità, ideali per mercati locali e di nicchia. L'interazione tra artigianalità e industrializzazione nel caso del sughero dimostra la sua capacità di adattamento a modelli di produzione differenti (figg. 15-16-17). Questo contribuisce a un'economia circolare, dove anche piccole realtà produttive possono trarre vantaggio dalla lavorazione del sughero in chiave locale, preservando tradizioni e tecniche artigianali. Allo stesso tempo, le industrie possono beneficiare di tecnologie avanzate per massimizzare la resa e diversificare i settori di impiego, dall'edilizia alla moda, promuovendo una produzione più su larga scala. Con ciò, si può affermare che la varietà nel livello di artigianalità e industrializzazione del sughero è alta, e consente di ottenere un equilibrio tra produzioni locali sostenibili socialmente e processi globalizzati su vasta scala, apportando valore a entrambe le filiere.

Il processo di lavorazione del sughero si configura come un esempio emblematico di interazione tra tradizione e sostenibilità, un ciclo produttivo in cui ogni fase gioca un ruolo cruciale nel preservare non solo la qualità del materiale, ma anche l'integrità ecologica delle foreste di quercia da sughero. Ad esempio, la prima fase della sua lavorazione è certamente la decorticazione, una pratica che si avvale di tecniche artigianali tramandate attraverso le generazioni, dove l'abilità dell'operatore è essenziale. Questo intervento, effettuato mediante

un'accetta affilata, è pensato per rimuovere la corteccia senza compromettere la vitalità dell'albero, mantenendo l'ecosistema intatto. La pianta è in grado di produrre sughero solo a partire dai 25-30 anni e può subire raccolte solo ogni 7-9 anni, il che implica un'interazione rispettosa e pianificata con la natura¹⁵. Successivamente, la corteccia raccolta viene sottoposta a essiccazione all'aria aperta, un processo che può durare fino a sei mesi. Durante questo periodo, il sughero perde una percentuale significativa di umidità, contribuendo a migliorarne le caratteristiche fisiche, come la flessibilità e la stabilità. Questo passaggio è fondamentale per garantire che il sughero sia pronto per le fasi successive, in quanto influisce direttamente sulla qualità del materiale utilizzabile¹⁶.



fig. 18
Classificazione plance in base a qualità visiva e spessore ad opera dell'esperienza umana

La fase di selezione rappresenta un ulteriore stadio critico, in cui le "plance" di sughero vengono accuratamente classificate in base a qualità visiva e spessore (fig. 18). Questo processo di valutazione, dove sono l'occhio umano e l'esperienza ad essere imprescindibili, assicura che il sughero sia idoneo per applicazioni specifiche, come la produzione di tappi per vini pregiati o materiali per l'edilizia. La precisione in questa fase è essenziale, poiché una selezione accurata non solo garan-

15. Genevoux, C., & Bounoure, G. (2017). op cit.

16. Tola, A. (2012). op cit.

17. Genevaux, C., & Bounoure, G. (2017).
op cit.

tisce l'alta qualità del prodotto finale, ma contribuisce anche a una gestione oculata delle risorse. In seguito, il sughero subisce generalmente una fase di bollitura, durante la quale viene immerso in acqua calda per un lasso di tempo pari a ore¹⁷. Questo trattamento ha l'obiettivo di eliminare parassiti e altre sostanze indesiderate, oltre a rendere il sughero più malleabile e pronto per essere lavorato. È importante che le plance siano orientate correttamente durante questo passaggio per mantenere la loro curvatura naturale, un aspetto cruciale che incide sulla qualità del prodotto finale. Infine, la fase di macinazione o pressatura consente di trasformare il sughero in una varietà di prodotti. Durante questo stadio, gli scarti di lavorazione non vengono semplicemente accantonati, ma vengono riutilizzati per la generazione di nuovi materiali, come si illustrerà a breve, in un esempio paradigmatico di economia circolare. Questa valorizzazione degli scarti sottolinea così l'impegno dell'industria verso pratiche "preferibili", garantendo che ogni parte del sughero trovi una destinazione utile. Il ciclo produttivo del sughero si configura allora come un processo perlopiù virtuoso, dove la raccolta e la rigenerazione della corteccia di quercia avvengono in modo sostenibile, senza ricorrere alla deforestazione (fig. 19).



fig. 19
Raccoglitori di sughero in un ranch a
Coruche, Tiago Cerveira

Questa modalità di approccio non solo preserva la biodiversità, ma promuove anche un modello economico che non produce rifiuti, dimostrando come la filiera del sughero possa rappresentare un esempio di eccellenza nella gestione delle risorse naturali e nell'attuazione di pratiche ecologicamente responsabili. In questo modo, l'importanza della coltivazione della sughera non si limita alle sole applicazioni industriali. Le sugherete svolgono in effetti un ruolo fondamentale nell'ecosistema mediterraneo. Questi boschi contribuiscono alla conservazione della biodiversità, offrendo habitat per numerose specie animali e vegetali (fig. 20). Inoltre, la sughera contribuisce alla lotta contro il cambiamento climatico, assorbendo grandi quantità di anidride carbonica dall'atmosfera. Si stima che le sugherete del Mediterraneo assorbano ogni anno circa 14 milioni di tonnellate di CO₂, riducendo così l'effetto serra e contribuendo alla mitigazione del riscaldamento globale¹⁸. Infine, le sugherete rivestono un ruolo cruciale anche dal punto di vista socioeconomico. La coltivazione del sughero fornisce occupazione a migliaia di persone, soprattutto nelle aree rurali del Mediterraneo, dove rappresenta una delle principali fonti di reddito. La raccolta del sughero, eseguita manualmente, richiede competenze specifiche e viene tramandata – come vedremo – di generazione in generazione (fig. 21).

Corticeira Amorim, la realtà produttiva virtuosa in analisi, è, in termini di personale e fatturato, la più grande azienda al mondo nella lavorazione del sughero, e la sua localizzazione geografica principale è nelle regioni di Porto e Norte, a Mozelos, ma anche e soprattutto in Alentejo, aree rinomate per la loro ricca tradizione nella produzione di sughero. Essa, si presenta come una società ad azionariato diffuso, il che implica che, pur mantenendo una forma giuridica privata, suddivide il proprio capitale sociale tra un ampio numero di azionisti. Questa struttura consente una maggiore diffusione del capitale e un coinvolgimento collettivo nelle decisioni aziendali. La scelta di focalizzarsi sul caso studio della Corticeira Amorim¹⁹, come detto, non è casuale; essa rappresenta un paradigma di come un modello di business possa non solo prosperare economicamente, ma anche contribuire in modo significativo alla sostenibilità ambientale e al benessere delle comunità locali rurali. L'azienda, con il suo approccio integrato alla gestione delle risorse, offre infatti una prospettiva unica sulle potenzialità della bioeconomia e dell'economia circolare e rigenerativa, rendendola un caso di studio ideale per esplorare le sinergie

18. Tola, A. (2012). op cit.

19. Amorim. (n.d.). Amorim Cork.
Recuperato da: <https://www.amorimcork>.
(ultima consultazione 24 ottobre 2024).



fig. 20 Molti apicoltori lasciano le proprie
arnie nei montado

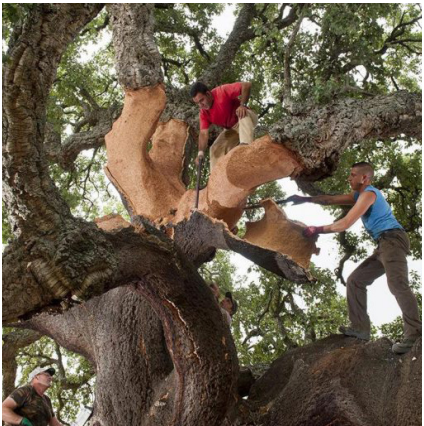


fig. 21 "Decortica" del sughero

20. Amorim. (2022). Relatório de sustentabilidade 2022. Recuperato da: https://www.amorim.com/xms/files/Sustentabilidade/RC2022/Amorim_RC2022_EN_RelatorioSustentabilidade.pdf (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

21. Amorim Cork Composites. (n.d.). Circular economy. Recuperato da: <https://amorimcorkcomposites.com/en-us/about-us/blog/circular-economy/#section-Leisure-116467> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

tra innovazione industriale e responsabilità ecologica. Questo interesse è ulteriormente rafforzato dall'importanza crescente di pratiche sostenibili nel contesto globale, dove le aziende sono chiamate a ripensare i loro modelli operativi in un'ottica di lungo corso e di rigenerazione. In termini di dimensioni specifiche, Corticeira Amorim si configura come una multinazionale portoghese, e vanta una rete di 2.525 fornitori di materia prima, gestendo 33 unità produttive insieme a 63 centri di distribuzione, operando in ben 30 paesi diversi²⁰. Le sue cinque principali Business Unit (BU) comprendono: materie prime, tappi in sughero, rivestimenti per pavimenti e pareti, compositi in sughero (CPC) e soluzioni per isolamento. Questa diversificazione strategica le consente di rispondere in modo flessibile alle esigenze del mercato globale e di capitalizzare su diverse opportunità. Il modello di business di Corticeira Amorim è fortemente improntato a un sistema integrato e verticale di tipo business-to-business (B2B), intimamente legato ai principi dell'economia circolare. Questo approccio va ben oltre la semplice minimizzazione degli scarti; si propone di fatto una gestione responsabile e sostenibile delle risorse naturali, ponendo il sughero al centro della sua attività, dunque al centro del progetto²¹. Il sughero, come visto, non rappresenta solamente un materiale dalle eccezionali proprietà fisiche e chimiche, ma reifica anche un paradigma di simbiosi tra economia ed ecologia, essendo una materia prima rinnovabile che l'azienda ha saputo valorizzare attraverso una logica di ciclo chiuso. Un aspetto da sottolineare nel modello di business di Amorim è l'attenzione rivolta alle comunità locali che dipendono dalla raccolta del sughero (fig. 22).



fig. 22

La comunità del sughero di Coruche in Alentejo

La realizzazione di posti di lavoro stabili e la promozione di pratiche di agricoltura sostenibile contribuiscono al rafforzamento delle economie rurali in queste regioni²². In questo senso, l'azienda adotta un approccio che va oltre la sostenibilità ambientale, promuovendo anche uno sviluppo socioeconomico equo e bilanciato. La collaborazione con oltre 2.200 fornitori locali, spesso piccole aziende a conduzione familiare, garantisce, come sarà a breve approfondito, un impatto positivo su tutta la filiera²³, favorendo la diffusione di conoscenze e tecnologie innovative o "retro-innovative". A livello di impatto globale, Amorim si è anche impegnata a promuovere la diffusione del sughero come materiale sostenibile nel panorama del design e dell'architettura internazionali. Questo materiale versatile viene sempre più utilizzato in progetti architettonici di rilevanza globale, grazie alle sue caratteristiche ecologiche, come l'isolamento termico e acustico, e alla sua capacità di essere rigenerato²⁴ (fig. 23).



22. Amorim. (2022). Relatório de sustentabilidade 2022. Recuperato da: https://www.amorim.com/xms/files/Sustentabilidade/RC2022/Amorim_RC2022_EN_RelatorioSustentabilidade.pdf (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

23. Ibidem.

24. Ibidem.

fig. 23

Facciata in sughero rigenerato

Con la costante partecipazione a eventi come la Milano Design Week o la Biennale di Venezia, Amorim ha saputo elevare il sughero da semplice materia prima a simbolo di sostenibilità e innovazione. L'approvvigionamento del sughero da parte di Corticeira Amorim è allora parte integrante di un sistema di business che combina economia circolare, gestione sostenibile delle risorse e un impatto positivo sugli ecosistemi e le comunità locali.

25. Amorim. (2022). Relatório de sustentabilidade 2022. Recuperato da: https://www.amorim.com/xms/files/Sustentabilidade/RC2022/Amorim_RC2022_EN_RelatorioSustentabilidade.pdf (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

26. Câmara Municipal de Coruche. (n.d.). Tiragem da cortiça é oficialmente Património Cultural Imaterial. Recuperato da: https://www.cm-coruche.pt/noticias_imp1/item/3292-tiragem-da-cortiça-e-oficialmente-patrimonio-cultural-imaterial (ultima consultazione 24 ottobre 2024).



fig. 24 Uno degli impianti produttivi di Amorim nell'Alentejo

La filiera produttiva è quindi alimentata da una rete di fornitori di materia prima, sia pubblici che privati, con i quali Corticeira Amorim stabilisce relazioni di lungo termine, favorendo una continuità nell'approvvigionamento di sughero di alta qualità, improntata ai principi di gestione forestale sostenibile²⁵. Le foreste di querce da sughero, collocate, come detto, principalmente nell'area mediterranea, rappresentano ecosistemi delicati e preziosi, capaci di fornire numerosi servizi ecosistemici, dalla regolazione del microclima al sequestro di CO², dalla prevenzione dell'erosione del suolo alla promozione della biodiversità. L'azienda riconosce l'importanza di preservare questi benefici ambientali, integrando pratiche di gestione forestale responsabile nel proprio modello di business: si distingue allora per la creazione di partnership con produttori locali, incentivando la diffusione di pratiche agronomiche rigenerative. Tali pratiche non solo garantiscono la conservazione del sughero come risorsa, ma contribuiscono anche alla resilienza delle comunità rurali, migliorando le condizioni socioeconomiche dei territori in cui opera. La promozione di modelli di business che sostengono le economie locali e rispettano l'ambiente rappresenta una componente fondamentale per il successo duraturo dell'azienda (fig. 24).

Una delle innovazioni più rilevanti nel modello di Corticeira Amorim è la capacità di unire l'approccio bioeconomico a una visione circolare della produzione. In questo contesto, la bioeconomia non si limita all'uso sostenibile delle risorse biologiche, ma si estende a processi rigenerativi, dove il concetto chiave è la restituzione all'ambiente di più di quanto si preleva. Le foreste di sughero non sono soltanto risorse da utilizzare in modo parsimonioso, ma ecosistemi da valorizzare, mantenere e rigenerare. La capacità rigenerativa delle querce da sughero, che possono essere decorticate manualmente senza danno per la pianta, si sposa perfettamente con i principi dell'economia rigenerativa, consentendo all'azienda di operare in un contesto di sostenibilità duratura.

A tal proposito, è utile fare un affondo sulla questione del legame col territorio e la comunità locale da parte dell'azienda produttrice²⁶. A titolo esemplificativo, a Coruche, il "montado" che rifornisce la Amorim, capace, in ottica sistemica, di offrire non solo sughero, ma anche legna, ghiande per l'allevamento non intensivo di suini neri dell'Alentejo, erbe medicinali e aromatiche, funghi e miele, è trattato come bene comune, ponendosi alla base di rinnovati – o ritrovati – modelli cooperati-

vistici di sviluppo locale socio-ecologico. Quest'ultimi fondati sulla messa in valore di patrimoni ambientali, paesaggistici e culturali, nei quali la produttività, finalmente avulsa dal depauperamento e dal dominio antropico sulla natura, non dipende più da un singolo settore, ma dalla maturazione collettiva di una "coscienza di luogo" e dalle sinergie sistemiche che intercorrono tra filiere sempre più integrate e complesse. L'autogestione delle sugherete, private e comunali, continua in effetti a favorire l'avvio di piccole forme imprenditoriali, grassroots e multifunzionali, come ad esempio l'incremento di giovani apicoltori che collocano in libertà le proprie arnie nel montado. Un esempio significativo è quello di Jacinto Santos Rodrigo, apicoltore del montado do Herdade da Agolada, la cui produzione è strettamente dipendente da clima e flora locali. Di converso, fondazioni come l'Observatório do Sobreiro e da Cortiça favoriscono l'ecoalfabetizzazione e la diffusione di informazioni di carattere tecnico-scientifico e culturale, attraverso attività partecipate basate su paesaggio, patrimonio culturale e identità territoriali²⁷. L'obiettivo dell'Osservatorio è stabilire, a vari livelli, partenariati con istituzioni pubbliche e private per ricostruire, o amplificare, valori culturali condivisi, al fine di favorire lo scambio di esperienze e la co-produzione di conoscenze sulla gestione sostenibile delle sugherete, organizzando anche visite di studio con scuole, istituti di sostegno sociale, università, associazioni tecniche e centri di ricerca (fig. 25).



27. Câmara Municipal de Coruche. (n.d.). Observatório do Sobreiro e da Cortiça. Recuperato da: <https://www.cm-coruche.pt/portal-do-investidor/observatorio-do-sobreiro-e-da-cortiça> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

fig. 25
Osservatorio del sughero, Coruche, Portogallo



fig. 26 Laboratori I-cork di Amorim



fig. 27 Amorim e QUERCUS per la ripiantumazione delle querce da sughero



fig. 28 Go4Cork, sono una serie di brevetti per nuove pavimentazioni con materia seconda e riciclata; in questo caso, polvere di sughero e scarti dell'industria calzaturiera

Sulla scorta di ciò, la progettualità di Corticeira Amorim si distingue anche per la sua forte connessione con la sostenibilità culturale e della conoscenza, evidenziando il ruolo cruciale che l'azienda gioca nel promuovere l'innovazione e l'educazione nel settore del sughero. In primo luogo, Corticeira Amorim è l'unico attore nel settore a sostenere un'organizzazione senza scopo di lucro, l'Accademia Amorim, fondata nel 1992. Questa istituzione è dedicata alla ricerca enologica e finanzia progetti innovativi nel campo del vino, favorendo la diffusione della conoscenza e la valorizzazione del sughero come materiale chiave nella produzione vinicola. In aggiunta, l'i-cork Factory rappresenta un altro esempio di come l'azienda promuova la conoscenza e l'innovazione (fig. 26). Qui, studenti di design, architettura e ingegneria possono sperimentare l'uso del sughero in progetti pratici, sviluppando soluzioni creative e sostenibili, anche nel campo dei biocompositi. Questo approccio pratico alla formazione genera una sinergia tra teoria e prassi, incoraggiando i futuri professionisti a esplorare il potenziale del sughero. Il programma di educazione ambientale di Corticeira Amorim, in collaborazione con QUERCUS, un'associazione ambientalista portoghese, è un altro importante strumento di sensibilizzazione. Nel 2022, il progetto Green Cork ha coinvolto 13.000 studenti, promuovendo attività di piantumazione e sensibilizzazione ambientale. Un esempio significativo è la piantumazione di 3.000 nuovi alberi nella tenuta di Quinta Grande, sempre a Coruche, con la partecipazione di circa 150 volontari e studenti (fig. 27). L'azienda ha anche collaborato con artisti e designer portoghesi, come nel caso di Pedro Cabrita Reis, che ha esposto al Louvre nel 2022 e Filipe Alarcão, designer sensibile alla cultura materiale portoghese. Questi eventi non solo celebrano l'estetica del sughero, ma contribuiscono anche alla sua valorizzazione culturale e creativa. È nel 2014 invece che Corticeira Amorim ha istituito Amorim Cork Ventures, un hub dedicato alla promozione di start-up e innovazione nel settore del sughero. Da allora, ha sostenuto 20 progetti, di cui 10 ancora attivi, e ha presentato 8 domande di brevetto, creando un ambiente fertile per l'innovazione e la crescita imprenditoriale (fig. 28).

Corticeira Amorim dimostra così l'impegno concreto per la valorizzazione culturale e della conoscenza attraverso progetti innovativi, collaborazioni con il mondo accademico e iniziative di educazione ambientale, creando un modello di riferimento per l'intero settore del sughero.

Al di là dell'aspetto prettamente educativo, sono anche le comunità attive di abitanti e i singoli artigiani a sperimentare, ad esempio, nuove forme di autogestione delle risorse territoriali, come può essere la realtà di Paulo Jorge Canejo Nunes, tra i pochi a saper ancora lavorare il sughero allo stato completamente naturale. Gli abitanti del territorio hanno così iniziato, di concerto, a ricostruire in autonomia i propri ambienti di vita e di lavoro, attraverso atti quotidiani composti da ripristini rurali, riagggregazioni, riappropriazioni di terreni, rimboschimenti e "trame prossime", che intrecciano la perpetuazione dei saperi tradizionali con le più recenti innovazioni sociali, certamente ricomprese nell'ottica di una sopravvivenza delle relazioni umane mutualistiche.

In villaggi come Azerveira, Santana do Mato o Lamarosa, la delicata pratica della decortica, ovvero dell'estrazione necessariamente manuale del sughero ad opera dei tiradores de cortiça, effettuata, nel minimo impatto antropico, con la tipica machadinha (fig. 29), rappresenta non solo un'opportunità lavorativa, ma una testimonianza, viva e attiva, della cultura e delle relazioni umane che la sostengono.



fig. 29
La decortica del sughero avviene attraverso la "machadinha"

Dal 2021, questa pratica è ufficialmente riconosciuta come Patrimonio Culturale Immateriale portoghese, a conferma della sua importanza nella società. Durante i quattro mesi dell'anno in cui è possibile effettuare l'estrazione del sughero, il mon-

28. Rostos da Aldeia. (n.d.). Coruche: Tiradores de cortiça. Recuperato da: <https://www.rostosdaaldeia.pt/santarem/coruche/coruche-tiradores-de-cortica/> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

29. Ibidem.

tado, di fatto, si anima, e la trasmissione del sapere, tacito o esplicito, avviene oralmente, con i maestri d'ascia che insegnano la pratica della decortica sul campo, montado dopo montado. Confermative ed emblematiche in proposito sono le parole di Antonio José Falcão, tirador portoghese, che afferma a chi scrive: "la stagione della raccolta è un momento speciale. Lavoro nel bosco tutto l'anno, ma è questo il periodo che più mi piace. Questa pratica non solo rafforza le relazioni umane, ma riesce a generare un legame profondo e di cura tra le persone e il loro ambiente, garantendo la sopravvivenza di relazioni sociali lente, in un mondo troppo frenetico e in rapido cambiamento"²⁸. È chiaro come, secondo questa logica, i prodotti si trasformano in autentici ponti culturali (fig. 30), ingenerando un ciclo virtuoso di innovazione e cura, capace di alimentare rispetto e reciproca collaborazione tra industria, artigianato e comunità. Il sughero, nell'Alentejo, permette così a diverse persone di essere proattive e creative nella definizione di iniziative produttive comuni, a patto che l'idea di "resa" economica, che continua a essere insita nelle logiche del design di prodotto, includa anche l'impatto sugli esseri viventi, dagli abitanti ai fruitori, dagli animali alle piante, generando così una connessione di senso²⁹.



fig. 22
Prodotti artigianali in sughero
completamente naturale, come
"ponti culturali"

Una connessione di senso che si scorge anche nell'impegno profuso nel recupero e nella valorizzazione degli scarti e dei sottoprodotti della filiera. L'azienda, impegnata in iniziative di raccolta selettiva dei tappi di sughero in tutto il mondo, ha dimostrato un impatto significativo sul riciclo e sull'estensione del ciclo di vita del sughero. Nel 2022, Corticeira Amorim ha raccolto e riciclato, per esempio, 1.052 tonnellate di sughero, pari a 1,48 tonnellate di sughero riciclato per ogni milione di euro venduto. Questo rappresenta il 3,8% dei tappi di sughero prodotti, un risultato importante per un materiale che, sebbene non possa essere riutilizzato nella produzione di tappi, trova una seconda vita in una vasta gamma di prodotti, inclusi materiali compositi. Tra i progetti di riciclo spicca il "Progetto Etico" della filiale italiana della Amorim, che si distingue per il suo forte orientamento all'innovazione sociale e alla coesione comunitaria (figg. 31-32). Questo progetto coinvolge numerosi enti, associazioni e cittadini, che partecipano attivamente alla raccolta dei tappi di sughero con un duplice obiettivo: promuovere la circolarità del materiale e sostenere iniziative benefiche. Nel quadro di questo progetto, il sughero raccolto non viene solo riciclato per scopi industriali, ma diventa un simbolo di responsabilità sociale e ambientale, coinvolgendo la comunità in un'azione concreta a favore della sostenibilità eco-sociale. Il "Progetto Etico" si basa su una rete di coesione sociale che parte dal basso, permettendo a scuole, associazioni di volontariato e comunità locali di contribuire attivamente. Attraverso queste collaborazioni, il progetto ha generato un impatto positivo non solo sul piano ambientale, ma anche su quello sociale, offrendo un modello di innovazione sociale che valorizza il contributo di ogni singolo attore della società. Il riciclo del sughero, pertanto, non è solo un gesto ecologico, ma, in questo caso, può diventare un atto di solidarietà, che permette di finanziare iniziative sociali, come progetti di assistenza e inclusione. A livello globale, altri progetti di riciclo coinvolgono paesi come Francia (progetto Ecobouchon), Sudafrica (Cork Life), Nord America (ReCork), Germania, Spagna, Belgio, Olanda e Portogallo (Green Cork). Tuttavia, è solo in Italia che il "Progetto Etico" si distingue per la sua capacità di legare l'economia circolare alla promozione della coesione sociale, ridefinendo un "socio-circular" design. L'impegno di Corticeira Amorim non si limita solo al riciclo diretto del materiale, ma si estende anche all'uso intelligente degli scarti industriali (fig. 33). Le polveri di sughero e i residui non riutilizzabili nella produzio-



fig. 31 Progetto ETICO, Amorim cork Italia

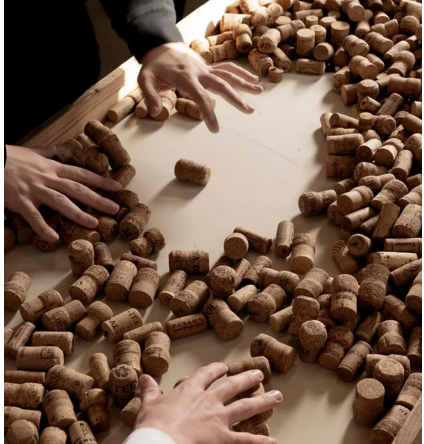


fig. 32 Progetto ETICO, Amorim cork Italia



fig. 33 Sfridi di produzione pronti per essere riutilizzati all'interno della stessa filiera



fig. 34 Cruscotto in CPC (Cork-Polymer Composites)



fig. 35 MONOCAB, cabina iper leggera progettata con compositi in fibra di canapa e scarti di sughero



fig. 36 Linea giochi KORKO, applicazione biocomposita del sughero rigenerato

ne vengono quindi bruciati come biomassa, generando oltre il 60% dell'energia utilizzata dall'azienda³⁰. Questo sistema non solo riduce la dipendenza da fonti energetiche non rinnovabili, ma trasforma un potenziale scarto in una risorsa preziosa per la sostenibilità energetica. Le fabbriche sono inoltre localizzate vicino alle foreste di querce da sughero, riducendo così le emissioni di CO² derivanti dal trasporto. Oltre alla prossimità geografica, emerge anche una “prossimità sociale” tra coltivatori e trasformatori, un legame basato su valori comuni di tutela ambientale e sostenibilità. L'azienda, nel promuovere prassi di simbiosi industriale, collabora inoltre con altre industrie per massimizzare l'uso delle risorse e minimizzare i rifiuti (figg. 34-35). Questa cooperazione non solo migliora l'efficienza dei processi produttivi, ma favorisce anche l'adozione di pratiche di sostenibilità a livello settoriale, contribuendo a un ambiente più responsabile e rispettoso delle risorse naturali.

Corticeira Amorim si distingue, internamente, anche per l'impegno costante nella ricerca e sviluppo (R&S), dedicato all'ideazione di prodotti sempre più innovativi. L'azienda investe significativamente in tecnologie che ottimizzano l'uso del sughero e dei suoi sottoprodotti, massimizzando il valore estratto da ogni albero e riducendo l'impatto ambientale. Un esempio di questa innovazione è l'utilizzo dei residui della lavorazione del sughero per generare energia o per creare nuovi materiali compositi. In primo luogo, la polvere di sughero, uno dei principali sottoprodotti generati durante il processo di lavorazione, viene utilizzata come biomassa per produrre energia termica, riducendo significativamente il consumo di fonti energetiche non rinnovabili. Come detto, oltre il 60% dell'energia utilizzata dall'azienda proviene da questa pratica, il che consente di abbattere le emissioni di CO² e ottimizzare l'efficienza energetica all'interno delle fabbriche. Un ulteriore esempio di innovazione di prodotto è lo sviluppo di materiali compositi a base di sughero, in cui i residui vengono trasformati in nuovi prodotti ad alte prestazioni. Questo si traduce in applicazioni che spaziano dall'edilizia alle infrastrutture sportive, fino ai rivestimenti per la mobilità sostenibile, come nel caso delle auto elettriche del Gruppo Renault o dei giocattoli della linea KORKO (fig. 36). Ma anche, come dimostra il progetto ACCEL per la decarbonizzazione del settore aeronautico, lo sviluppo di un particolare materiale ignifugo in sughero agglomerato per le batterie dell'aereo elettrico “Spirit of Innovation”. La capacità di utilizzare ogni scarto dimostra quindi l'approccio olistico di



30. Amorim. (2022). op cit.

31. Amorim Cork Composites. (n.d.). Go4Cork underlayments: Go4CorkBlend with Nike Grind. Recuperato da: <https://amorimcorkcomposites.com/en-us/our-brands/go4cork/products/underlayments/#section-Go4corkBlendWithNikeGrind-116029> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

fig. 37
Furniture in sughero riciclato, by Amorim Cork

Corticeira Amorim verso l'economia circolare – sempre dalla visuale della materia prima – riducendo al minimo gli sprechi e conferendo un secondo ciclo di vita a materiali che altrimenti andrebbero persi, contribuendo a creare un sistema produttivo rigenerativo e a basso impatto ambientale (fig. 36). Un altro esempio è il progetto NIKE GRIND, in cui Amorim utilizza scarti della produzione di calzature di Nike per produrre pavimentazioni in mistura di sughero proveniente da scarto di filiera omogenea, dimostrando così la capacità aziendale di trasformare rifiuti industriali in altre risorse. È chiaro come l'azienda sia riuscita, nel tempo, a consolidare effettivamente prassi di “logistica inversa”³¹.

In ambito produttivo, l'azienda ha altresì adottato processi eco-efficienti che riducono il consumo di energia, puntando su fonti rinnovabili e tecnologie per ottimizzare l'uso dell'acqua, una risorsa critica soprattutto nelle regioni mediterranee. Il continuo monitoraggio dei processi produttivi e l'adozione di sistemi avanzati di gestione della qualità consentono di mantenere elevati alcuni standard di sostenibilità lungo l'intera catena del valore, assicurando al contempo un impatto ambientale contenuto. La gestione dei rifiuti è quindi un altro pilastro fondamentale del modello rigenerativo di Corticeira Amorim, volto a chiudere il ciclo dei materiali. Questo si riflette nella reintroduzione degli scarti nel processo produttivo o nel loro utilizzo per nuove applicazioni. Ulteriore esempio, i residui della lavorazione che vengono impiegati per la produzione di pavimentazioni impermeabili come la gamma Amorim Wise Cork Inspire

700 – diversi per composizione rispetto alla sperimentazione con la Nike –, utilizzati anche nel parco solare della diga di Alqueva, in collaborazione con Isigenere, dove i pannelli galleggianti includono questi particolari compositi di sughero (CPC). La capacità di massimizzare il valore del materiale lungo tutte le fasi del ciclo produttivo conferisce all'azienda un vantaggio competitivo sul mercato riducendo al contempo la pressione sulle risorse naturali vergini, consolidando il ruolo di Corticeira Amorim come leader del settore nella promozione dell'economia circolare e rigenerativa (figg. 38-39).

L'impatto rigenerativo delle operazioni di Corticeira Amorim si riflette anche nella sua capacità di migliorare la qualità delle foreste da cui trae la materia prima. Gli interventi tesi a preservare e rigenerare le sugherete sono parte integrante della strategia aziendale, che considera la gestione forestale sostenibile un investimento strategico per garantire la longevità dell'intero comparto. La biodiversità, elemento centrale per la salute delle foreste di sughero, è tutelata attraverso programmi di conservazione che favoriscono l'interazione tra uomo e natura, contribuendo alla resilienza degli ecosistemi. Sul fronte sociale, Corticeira Amorim si impegna a promuovere il benessere delle comunità locali, offrendo opportunità economiche e sostenendo lo sviluppo delle aree rurali portoghesi. Il settore del sughero impiega migliaia di persone in regioni spesso svantaggiate, e l'approccio sostenibile dell'azienda contribuisce a garantire che queste comunità possano continuare a prosperare in armonia con l'ambiente naturale. Attraverso programmi di formazione e sensibilizzazione, Corticeira Amorim incoraggia i propri partner a adottare pratiche agricole sostenibili, per certi versi agroecologiche, e a rispettare i principi della bioeconomia rigenerativa. Ne diviene che, il modello di business di Corticeira Amorim si configura vieppiù come un esempio esemplare di come l'economia circolare possa essere applicata su larga scala, integrando sostenibilità ambientale, economica, sociale e culturale. L'approccio rigenerativo non solo preserva le risorse naturali per le generazioni future, ma dimostra anche che la redditività economica può andare di pari passo con la protezione degli ecosistemi. In un contesto globale sempre più attento ai temi della sostenibilità, l'esperienza di Corticeira Amorim sottende allora un modello replicabile per altre realtà industriali desiderose di intraprendere un percorso verso l'economia circolare e rigenerativa. Persino nelle fasi di approvvigionamento del sughero l'azienda è stata strategica e



fig. 38 CPC, cork-polymer composite

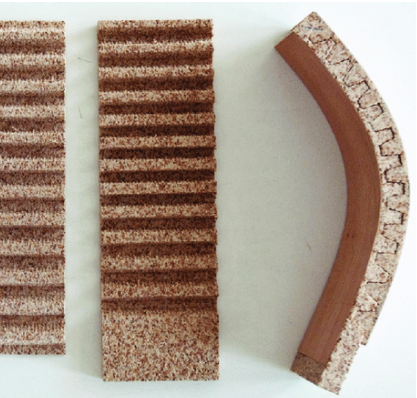


fig. 39 Biocomposito in sughero di scarto, legno e lattice

lungimirante, con un focus predominante certamente sul bacino del Mediterraneo, essenziale per la sua catena del valore. La distribuzione geografica delle querce da sughero è concentrata in aree specifiche, in particolare in Portogallo e Spagna, che ospitano la maggior parte delle foreste di sughero a livello globale. Queste due nazioni forniscono il 95% della materia prima vergine utilizzata da Corticeira Amorim, sottolineando non solo la dipendenza dall'eccezionale qualità delle risorse locali, ma anche l'importanza strategica di instaurare relazioni di lungo termine con fornitori situati nelle vicinanze³² (fig. 40). Tuttavia, la rete di approvvigionamento dell'azienda si estende anche ad altri paesi del Mediterraneo, come Marocco, Tunisia, Algeria e Italia, creando così una filiera diversificata e resiliente. Sebbene questa strategia possa sembrare distante dal concetto di "km 0", essa consente di mitigare i rischi legati alla scarsità di risorse e di garantire un approvvigionamento costante di sughero di alta qualità. Questa diversificazione aiuta anche a ridurre la vulnerabilità a fattori esterni, come le fluttuazioni climatiche, che potrebbero compromettere la produzione in aree più ristrette. In questo modo, l'azienda si assicura una continuità operativa e una gestione sostenibile delle risorse naturali su scala globale³³.

L'importanza delle querce da sughero, ecosistemi peculiari che si trovano esclusivamente in queste regioni mediterranee, va oltre la semplice produzione di sughero. Questi ecosistemi offrono una serie di servizi ambientali essenziali, come la protezione della biodiversità, la prevenzione dell'erosione del suolo e il sequestro del carbonio. L'approccio di Amorim si allinea pertanto perfettamente con le moderne teorie della bioeconomia, dove lo sfruttamento sostenibile delle risorse naturali avviene in modo tale da garantire la rigenerazione degli ecosistemi. Investendo in tecniche innovative di gestione forestale, come l'irrigazione adattiva e nuove modalità di piantumazione, l'azienda si dimostra proattiva di fronte ai cambiamenti climatici che minacciano la produzione futura³⁴. Anche le sugherete di proprietà diretta di Corticeira Amorim (8.181 ettari) non solo rappresentano una risorsa strategica in termini di produzione, ma ugualmente un laboratorio vivente per lo sviluppo di tecniche avanzate che possono essere replicate nelle foreste gestite liberamente dai suoi fornitori. Attraverso questa integrazione verticale della catena del valore, Amorim non solo assicura la qualità della materia prima, ma promuove attivamente pratiche di gestione sostenibile, garantendo al contempo la

32. Amorim. (2022). op cit.

33. Ibidem.

34. Ibidem.



fig. 40 Approvvigionamento materia prima "di prossimità"

35. Amorim Cork Composites. (n.d.). Certificação. Recuperato da: <https://amorimcorkcomposites.com/pt/sobre-n%C3%B3s/certifica%C3%A7%C3%A3o/> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

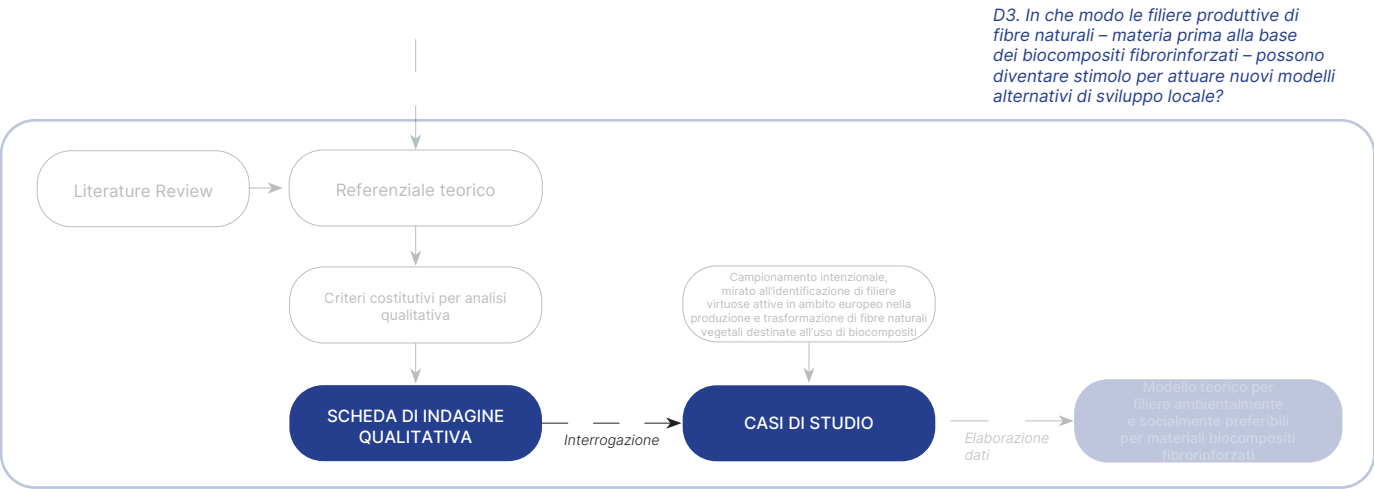
36. Ibidem.



fig. 41 Amorim, filiera tracciabile e trasparente

conservazione del patrimonio naturale delle regioni da cui trae le sue risorse. In ultima istanza, Corticeira Amorim si distingue anche per un approccio integrato alla trasparenza e tracciabilità lungo l'intera filiera produttiva, certificando ogni fase del processo con riconoscimenti internazionali che ne garantiscono l'impegno verso la sostenibilità e l'efficienza (fig. 41). La gestione ambientale è ottimizzata grazie all'implementazione di standard come ISO 14001, che permette un controllo rigoroso degli impatti ambientali, e l'adesione a EMAS, che ne amplifica la portata, promuovendo un miglioramento continuo delle performance ambientali. Sul fronte energetico, ISO 50001 attesta l'efficienza nella gestione dell'energia, in linea con le strategie di decarbonizzazione e riduzione del consumo di risorse naturali. Anche l'acqua, risorsa critica nelle aree mediterranee, viene gestita in modo responsabile grazie alla certificazione ISO 46001, che favorisce un uso efficiente e sostenibile di questa risorsa essenziale. Corticeira Amorim adotta un approccio sistemico anche in termini di qualità e sicurezza, con la ISO 9001:2015, che garantisce elevati standard nella gestione della qualità, e le certificazioni ISO 45001, mirate alla sicurezza e salute dei lavoratori. Questo impegno si riflette anche nella produzione di tappi di sughero, con la certificazione Systecode International Code of Cork Stopper Manufacturing Practices (ICCSMP) che assicura le migliori pratiche di fabbricazione a livello internazionale, proteggendo l'integrità del prodotto e promuovendo un uso sostenibile del sughero³⁵.

L'azienda dimostra inoltre una forte attenzione alla sostenibilità sociale e alle risorse umane, con certificazioni come Family Audit Executive e Investors in People, che evidenziano il suo impegno verso il benessere dei dipendenti e la promozione di un ambiente di lavoro coeso e inclusivo. A livello ambientale, l'adozione dei marchi FSC® e PEFC certifica che il sughero utilizzato proviene da foreste gestite in modo responsabile, proteggendo la biodiversità e sostenendo le comunità locali. L'attenzione ai materiali sostenibili si riscontra anche nelle certificazioni Greenguard GOLD e TUV PROFICERT Premium, che garantiscono che i prodotti siano sicuri e a basso impatto ambientale³⁶. Questo insieme di certificazioni non solo garantisce il rispetto di standard rigorosi, ma rafforza la posizione di Corticeira Amorim come leader nel settore, con un modello produttivo capace di integrare sostenibilità ambientale, economica e sociale, offrendo trasparenza lungo tutta la catena del valore.



Sintesi e schema di lettura del capitolo

6.3.2 Il lino in Normandia e Alta Francia: Terre de Lin

Il lino (*Linum usitatissimum*) è una fibra liberiana naturale di straordinaria rilevanza, la cui coltivazione e trasformazione sono profondamente radicate in specifiche aree d'Europa, in particolare nella fascia costiera settentrionale di Francia, Belgio e Paesi Bassi. A livello europeo, la Francia, insieme a Belgio e Paesi Bassi, contribuisce a produrre l'80% della fibra di lino a livello mondiale, di cui l'85% è destinato alle filature cinesi e, in parte, indiane (fig. 01). Anche altri paesi, come Cina, Russia, Polonia e Lituania, coltivano il lino, ma con volumi e qualità inferiori¹. Il lino si annovera allora tra le fibre naturali più antiche utilizzate dall'uomo², con una storia che risale a oltre 30.000 anni fa. Le prime tracce di fibre di lino tinte, scoperte in una grotta nella Repubblica della Georgia, risalgono al periodo Paleolitico superiore; mentre la coltivazione del lino per scopi tessili si sviluppò durante il Neolitico, circa 8.000 anni fa, nella regione compresa tra il Golfo Persico, il Mar Caspio e il Mar Nero. In quest'epoca, le civiltà iniziarono a coltivare il lino non solo per l'alimentazione (grazie ai semi ricchi di oli) ma anche per la sua fibra, apprezzata per la resistenza e la versatilità. In Egitto, già intorno al 3700 a.C., il lino fu pianta fondamentale per la produzione di tessuti e oli. Le sue fibre venivano utilizzate per confezionare abiti, teli per le mummie e altri oggetti di uso quotidiano, mentre l'olio ricavato dai semi era impiegato in ambito medico e per produrre unguenti.

1. Linen and Hemp. (2012). Le lin Européen: La fibre verte d'avenir, créative et innovante. Recuperato da: https://issuu.com/linenandhemp/docs/argu-dp-fren-a3_21.08.2012 (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

2. IDIS. (2022). Les savoir-faire du lin textile. Recuperato da: <https://chaire-idis.fr/wp-content/uploads/2022/02/Les-savoir-faire-du-lin-textile-.pdf> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).



fig. 01
Il lino come eccellenza europea, i suoi campi sono situati in prevalenza nel Sud della Normandia, al Nord della Francia, fino al Belgio e i Paesi Bassi

3. IDIS (2022). op cit.

L'Egitto, grazie al Nilo e alle sue condizioni climatiche favorevoli, divenne uno dei principali produttori ed esportatori di lino verso altre civiltà del Mediterraneo, tra cui Roma e la Grecia. La diffusione della coltivazione del lino proseguì nel periodo classico, estendendosi in tutto l'Impero Romano e raggiungendo l'Irlanda, la Spagna e la Britannia. Le esportazioni di lino dall'Europa verso l'Oriente crebbero considerevolmente a partire dal 1700 a.C., quando venne introdotto in India e, successivamente, in Cina. Durante il Medioevo, la coltivazione del lino prosperò nelle regioni europee grazie alla richiesta di tessuti di alta qualità. Tra il XII e il XIV secolo, si affermò dunque in paesi come la Francia, le Fiandre, l'Inghilterra, la Germania e la Russia. Nel XVII secolo, il settore liniero subì una trasformazione significativa. In seguito alle persecuzioni religiose, molti tessitori protestanti delle Fiandre emigrarono verso le province settentrionali dei Paesi Bassi, mentre artigiani francesi trovarono rifugio in Irlanda e Scozia. Questo trasferimento di conoscenze e competenze contribuì allo sviluppo dell'industria del lino in nuove aree. In Irlanda del Nord, in particolare, Belfast divenne uno dei centri mondiali della produzione di lino, tanto da guadagnarsi il soprannome di "Linenopolis"³ nel XIX secolo. Nonostante il lino fosse una fibra molto apprezzata in epoca preindustriale, la sua coltivazione cominciò a declinare con l'avvento del cotone, più economico da produrre, e, poi, delle fibre sintetiche, che dominarono il mercato tessile a partire dal XIX secolo. Nondimeno, in alcune aree europee, in particolare nel nord della Francia, la produzione di lino di alta qualità ha continuato a prosperare. È infatti questa l'unica regione europea che oggi rimane leader mondiale, seconda solo alla Cina, nella produzione di fibre di lino grazie a una tradizione di lungo corso e alla qualità del prodotto finale (fig. 02). Difatti, nel XXI secolo, la coltivazione del lino vede una rinascita, alimentata dalla crescente domanda di materiali naturali. Il lino ritorna ad essere particolarmente apprezzato per le sue proprietà ecologiche per alcune sue caratteristiche – che vedremo più nel dettaglio – adatte a renderlo una risorsa fondamentale nell'ambito dell'economia rigenerativa e della bioeconomia, in un contesto globale sempre più attento alle tematiche ambientali e sociali. Una delle sue principali peculiarità risiede nel fatto che la sua coltivazione non richiede l'uso di defoglianti chimici, il che riduce significativamente l'impatto ambientale. Inoltre, il lino contribuisce attivamente alla riduzione delle emissioni di carbonio, poiché le sue radici assorbono anidride carbonica dall'atmo-



fig. 02 Pettinatura fibre di lino

sfera. Queste radici, lasciate nel terreno dopo la raccolta, migliorano altresì la qualità del suolo e aumentano la produttività delle coltivazioni successive di circa il 20-30%⁴. Ciò è dovuto alla loro capacità di decomposizione naturale, che arricchisce il terreno di sostanze nutritive e favorisce la biodiversità locale. Questa coltura si adatta ottimamente a suoli limacciosi e acidi, con pH compreso tra 5,6 e 6,0, e un clima oceanico che garantisce precipitazioni annuali tra 350 e 1200 mm, assicurando condizioni ideali per la sua crescita senza necessità di irrigazione artificiale⁵. Rispetto ad altre fibre naturali, il lino si distingue per il suo ridotto impatto ambientale, richiedendo pochi pesticidi e limitate risorse di nutrienti, preservando così la fertilità del terreno. La coltura del lino si inserisce perfettamente nei sistemi agricoli basati sulla rotazione delle colture, essendo rinnovata ogni 6-7 anni⁶. Questo ciclo aiuta a preservare gli ecosistemi, migliorando la salute del suolo e riducendo l'impovertimento delle risorse naturali. La biodiversità agricola viene così promossa, grazie alla rotazione con altre colture come i cereali, che traggono benefici dalla qualità del suolo migliorata dalla presenza del lino. Dal punto di vista della composizione, la fibra di lino è costituita principalmente da cellulosa (circa il 78-80%), una delle componenti fondamentali per conferire alla pianta le sue qualità meccaniche eccezionali. Altre sostanze presenti in minore quantità, come la lignina (2-4%), le cere (1-2%) e le sostanze minerali (1-3%), contribuiscono alla sua resistenza e durabilità⁷. Questo mix, come si vedrà, rende il lino una fibra ideale per molteplici applicazioni, sia nel settore tessile che in quello dei materiali biocompositi. Rispetto alle fibre sintetiche come il vetro e il carbonio, il lino, appunto, si distingue per la sua densità inferiore, che lo rende più leggero delle fibre tecniche e facilmente lavorabile, senza compromettere la rigidità e la capacità di assorbire urti e vibrazioni. Le applicazioni del lino vanno ben oltre il tessile: dalle fibre corte impiegate in settori industriali come quello automobilistico, aeronautico e sportivo, ai semi usati per olio o solventi, fino alla pacciamatura e all'isolamento per l'edilizia, Terre de Lin ha saputo diversificare e valorizzare ogni parte del lino, consolidando la propria posizione in un mercato in continua evoluzione (figg. 03-04). Nello specifico, nel settore tessile relativo al comparto moda, il lino torna ad affermarsi come materiale di alta qualità grazie alle sue proprietà termoregolatrici. Questo perché la fibra di lino è cava, il che permette di isolare dal caldo durante l'estate e dal freddo in inverno.

4. Linen and Hemp, (2024). CELC: The technical section. Recuperato da: https://issuu.com/linenandhemp/docs/celc_the_technical_section_1 (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

5. Ibidem.

6. Ibidem.

7. Ibidem.



fig. 03 Lino in edilizia



fig. 04 Balla di lino



fig. 05 Fibra di lino, una delle più resistente in natura



fig. 06 Tintura naturale di lino con cocciniglia



fig. 07 Pannelli in fibra di lino per la bioedilizia

Indossare lino in estate offre una sensazione di freschezza, mentre in inverno, quando associato e “composto” a fibre nobili come lana, alpaca o cashmere, mantiene il calore corporeo, risultando in tessuti pregiati e confortevoli. Queste caratteristiche lo rendono una scelta eccellente per abbigliamento adatto a tutte le stagioni. Ulteriore qualità del lino è la sua elevata capacità di assorbimento. Questa fibra può trattenere fino al 20% del suo peso in acqua senza risultare umida al tatto, caratteristica che la rende particolarmente apprezzata per la produzione di tessuti per la casa, come asciugamani, tovaglie e biancheria da letto. Per completezza di informazioni, nel campo della biancheria da bagno, il lino è ampiamente utilizzato in forme tessili come spugna o nido d'ape, offrendo comfort e morbidezza in contesti come saune e spa. Punto di forza del lino è anche la sua facilità di manutenzione. I tessuti di lino di alta qualità, specialmente quelli prodotti in Europa, tendono a diventare più morbidi e soffici con il lavaggio. Questo è dovuto alla dissoluzione della pectina, la sostanza che lega le fibre durante la crescita della pianta. A differenza di altri tessuti, il lino non richiede stiratura frequente, soprattutto quando viene trattato per la produzione di lino lavato o maglia di lino, caratteristiche che lo rendono pratico e duraturo per un uso quotidiano. Resistenza e durabilità sono altre due qualità che contraddistinguono il lino come la fibra naturale più robusta tra quelle tessili (fig. 05). Grazie alle sue proprietà meccaniche, il lino resiste allo strappo e alla trazione, senza deformarsi, preservando la sua leggerezza. Queste proprietà sono particolarmente apprezzate nella produzione di tappeti e tessuti per arredamento, come poltrone, divani e tendaggi. Inoltre, il lino è antistatico e non attira polvere, caratteristica che lo rende un materiale ideale per l'arredamento. Il lino, inoltre, presenta un'elevata affinità tintoriale. Grazie alla sua struttura cava, assorbe facilmente il colore e richiede poca tintura, riducendo così l'impatto ambientale dei processi di nobilitazione (fig. 06). Come anticipato, per quanto concerne il contesto industriale e architettonico, il lino viene impiegato in numerosi settori innovativi, come la bioarchitettura, dove le sue proprietà termiche e acustiche lo rendono un isolante naturale ideale per l'edilizia sostenibile (fig. 07). La fibra di lino, come osservato, si distingue nel panorama dei materiali tecnici e industriali grazie a una serie di vantaggi meccanici e prestazionali che la rendono un'opzione ideale per applicazioni in biocompositi. In particolare, la sua resistenza meccanica e leggerezza sono

fondamentali per ridurre il peso senza compromettere la sicurezza e le performance. La fibra di lino presenta un'elevata resistenza allo strappo e alla trazione, garantendo che i prodotti finiti mantengano la loro integrità strutturale nel tempo, una caratteristica superiore rispetto a molte altre fibre naturali e sintetiche, che la rende adatta per applicazioni che richiedono longevità e resistenza a condizioni avverse. Con una densità di circa $1,5 \text{ g/cm}^3$, il lino è dunque significativamente più leggero rispetto a materiali come la fibra di vetro ($2,54 \text{ g/cm}^3$)⁸, una caratteristica cruciale nei settori automobilistico e aerospaziale, dove ogni grammo conta per migliorare l'efficienza e le prestazioni energetiche. Inoltre, la fibra di lino ha una capacità di assorbimento degli urti che supera quella della fibra di vetro, rendendola particolarmente utile in attrezzature sportive come racchette e caschi; questa proprietà di attenuazione degli urti è essenziale per garantire la sicurezza in applicazioni ad alto impatto.

Nello specifico, la fibra di lino comune, proveniente dalla pianta liberiana, presenta una struttura composta da fasci di fibre di lunghezza variabile tra 20 e 50 mm e diametro compreso tra 16 e 25 μm , avvolti in sostanze gommose come le pectine che favoriscono la loro adesione alle cellule della corteccia⁹.

La standardizzazione di questa fibra è un aspetto cruciale per la produzione di biocompositi di alta qualità, poiché garantisce uniformità e coerenza nelle proprietà meccaniche, essenziali per applicazioni industriali (fig. 08).

Le eccezionali caratteristiche meccaniche delle fibre di lino europeo, insieme al loro ridotto contenuto di imperfezioni, rendono questo materiale particolarmente adatto non solo per tessuti, ma anche per utilizzi innovativi nei biocompositi, questo rispetto ad altre fibre naturali meno comuni, di diffici-



8. Linen and Hemp, (2024). op cit.

9. Ibidem.

fig. 08
La standardizzazione della fibra di lino è fondamentale per la produzione di biocompositi di alta qualità

10. IDIS (2022). op cit.

11. Ibidem.



fig. 09 Terre de Lin, coesione e valorizzazione



fig. 10 Terre de Lin, controllo qualità

le standardizzazione. Le eccellenti proprietà di isolamento, sia termico che acustico, del lino contribuiscono a mantenere un ambiente confortevole, riducendo la trasmissione del suono e del calore, sia negli spazi interni delle abitazioni che nei veicoli. Infine, le fibre di lino sono versatili e possono essere utilizzate in una vasta gamma di applicazioni, dai componenti interni delle automobili a materiali biocompositi in campo aerospaziale, rendendo il lino un materiale estremamente vantaggioso per applicazioni ad alte prestazioni in vari settori industriali. Le qualità ecologiche del lino sono confermate dal suo tendere verso un "ciclo di vita a zero scarti". Ogni parte della pianta viene utilizzata, dai semi per la produzione di olio alle fibre per i tessuti, senza generare rifiuti. Inoltre, il lino non necessita di una cospicua irrigazione artificiale e cresce perlopiù grazie alle sole precipitazioni naturali, rendendolo una coltura a basso impatto idrico. Biodegradabile e ipoallergenico, il lino si fa risorsa fondamentale per l'agricoltura biologica e per la riduzione delle emissioni di carbonio.

La comunità del lino, con radici profonde nella fascia costiera che si estende dalla Normandia ai Paesi Bassi, rappresenta una vera e propria eredità culturale e agricola trasmessa attraverso generazioni. Questo tessuto sociale e produttivo si è consolidato grazie a una combinazione di saperi locali e cooperazione, rendendo la filiera del lino un esempio di coesione e valorizzazione del know-how¹⁰. La cooperazione tra coltivatori, stigliatori e filatori si basa su una relazione simbiotica, in cui ogni attore è consapevole dell'importanza del proprio ruolo e della qualità della materia prima (figg. 09-10). Questo approccio ha generato una cultura del lino che preserva il saper fare artigianale, integrando al contempo l'innovazione. La comunità agricola del lino, composta da piccoli e grandi coltivatori, ha optato per una gestione cooperativa che garantisce equità e trasparenza. Nonostante la filiera del lino si estenda anche in altre regioni della Francia, il cuore pulsante dell'industria del lino si trova nella Normandia e nel Nord della Francia. La macerazione, la stigliatura e la pettinatura del lino avvengono principalmente in queste zone, grazie al clima favorevole, caratterizzato da un'alternanza di pioggia e sole influenzata dall'aria marina. Questo ambiente è ideale per la macerazione, una fase cruciale per la trasformazione della fibra¹¹.

La scelta di esaminare qualitativamente la realtà di Terre de Lin emerge come una rappresentazione significativa delle potenzialità offerte dalla coltivazione del lino in ottica coopera-

tivistica, una pratica che, affondando le radici in millenni di tradizione nordeuropea, si è evoluta in un modello di sviluppo territoriale integrato nel contesto socioeconomico attuale. La coltivazione del lino è profondamente radicata nella trasmissione di conoscenze artigianali, che si è perpetuata nel tempo, arricchendo le pratiche agricole con innovazioni tecniche e mantenendo viva l'identità culturale delle comunità rurali coinvolte. La cooperativa Terre de Lin¹², composta da circa 600 soci attivi, rappresenta allora un esempio emblematico di come un sistema di produzione agricola possa sostenere la coesione sociale e l'occupazione nelle aree rurali: la cooperativa promuove una governance partecipativa in cui ogni socio ha voce in capitolo, garantendo decisioni democratiche e una gestione equa delle risorse. Questo approccio non solo rafforza i legami tra i membri, ma stimola anche la coesione sociale, essenziale per il sostegno reciproco nelle aree rurali. Le principali sedi di conferimento sono: Routot; Vittefleur; Conches-en-Ouches; Saint Pierre le viger; Crosville-sur-scie; Douvrend; dal Calvados al Nord Pas-de-Calais¹³ (fig. 11).

12. Terre de Lin. (2024). Terre de Lin: Risorse e informazioni sul settore del lino. Recuperato da: <https://www.terredelin.com/HP/HPInternet.aspx> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

13. Linen and Hemp. (2012). op cit.

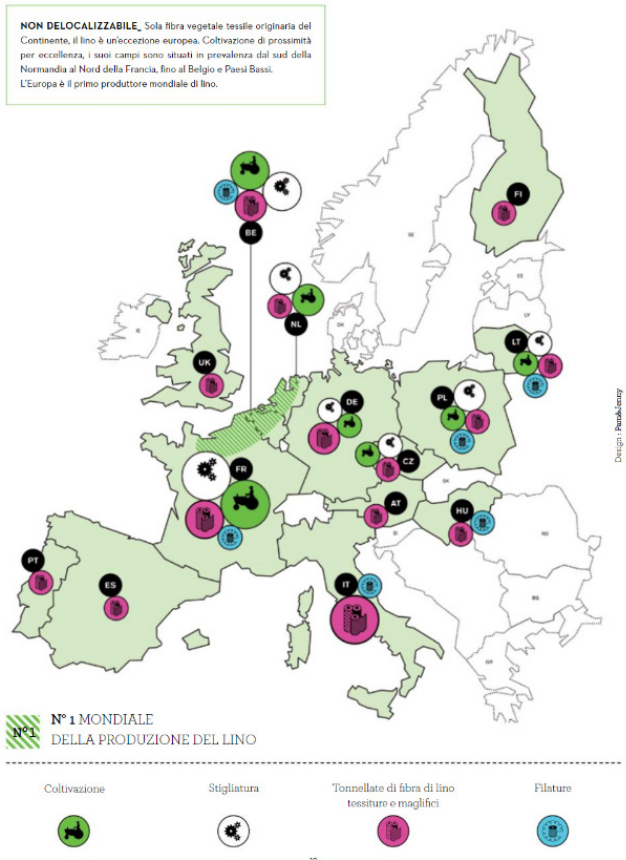


fig. 11
Tratto da Be Linen Map, una filiera "non delocalizzabile"

14. Terre de lin (2024). op cit.

15. Ibidem.



fig. 12 Raccolta meccanizzata del lino



fig. 13 Una fase del processo di stigliatura

Concentrata principalmente in Francia, Belgio e Paesi Bassi – unica in Europa nel suo genere – questa cooperativa non solo contribuisce significativamente alla produzione mondiale di lino, rappresentando il 15% del totale, ma agisce anche come catalizzatore di un'industria che promuove la non delocalizzazione della produzione, mantenendo le filiere produttive locali¹⁴. Questa prossimità geografica, che poi si fa anche sociale, e operativa è cruciale per garantire un'interazione costante tra agricoltori e produttori, facilitando un flusso di informazioni che permette di affinare continuamente le tecniche di coltivazione e lavorazione. Il modello cooperativo di Terre de Lin, fondato su principi di equità e trasparenza, consente una gestione condivisa delle risorse e delle pratiche commerciali, garantendo che ogni attore della filiera benefici in modo equo dai risultati ottenuti, come, ad esempio, avviene nel caso della modalità di consegna della paglia di lino, organizzata in ordine alfabetico. Questo gesto, apparentemente di poco conto, è invece un simbolo tangibile di come la cooperativa si impegni a promuovere l'equità tra i soci, facilitando anche una pianificazione finanziaria sostenibile. La cooperativa si occupa dell'intero ciclo produttivo del lino, dalla coltivazione alla commercializzazione, garantendo che tutti i sottoprodotti, come fibre corte e semi, siano valorizzati (figg. 12-13). Un aspetto distintivo del caso studio Terre de Lin è la sua capacità di combinare artigianalità e industrializzazione, anche se va riconosciuto che l'intero sistema, dalla raccolta, alla stigliatura, alla produzione, è altamente meccanizzato: la cooperativa non solo preserva le tradizioni legate alla coltivazione del lino, ma integra anche pratiche industriali moderne, come dimostrato dall'istituzione di TDL Technique, una filiale dedicata alla preparazione di fibre per applicazioni industriali e biocompositi. Questa filiale, creata nel 2015 in seguito all'acquisizione della società BIORENFORTS, rappresenta un passo importante verso l'espansione dell'uso del lino in settori innovativi, sfruttando le sue eccezionali proprietà meccaniche e la versatilità del materiale¹⁵. Terre de Lin, dunque, non si limita a fornire fibre di alta qualità per il mercato tessile locale, ma attraverso la sua filiale commerciale TEX NORD, gestisce anche una parte significativa dell'export europeo di fibre di lino, stabilendo forti rapporti con filatori di tutto il mondo. Questa interazione con i principali attori del mercato globale non solo rafforza la posizione di Terre de Lin come leader nel settore, ma consente anche di garantire tracciabilità e qualità, aspetti fondamentali per i

filatori che cercano materiali di alta prestazione. Il caso studio Terre de Lin rappresenta pertanto un paradigma di come la tradizione possa integrarsi con l'innovazione per creare un modello agricolo robusto e competitivo. Questa cooperativa non solo preserva e promuove la cultura del lino in Europa, ma funge anche da esempio di come le pratiche agricole possono evolversi per affrontare le sfide del mercato moderno, garantendo allo stesso tempo il benessere economico e sociale delle comunità rurali coinvolte. In sintesi, Terre de Lin opera attraverso diverse business unit integrate che coprono l'intera filiera del lino. La cooperativa agricola si occupa della coltivazione e della selezione dei semi, garantendo la qualità delle fibre utilizzate. La produzione di fibre tessili stigliate viene commercializzata per vari settori industriali, inclusi quelli tessile, cartario, isolanti e biocompositi. Terre de Lin commercializza il lino stigliato attraverso la collaborazione con le cooperative AGYLIN e Neubourg sotto il sindacato COMLIN, che rappresenta il 30% della produzione europea di fibre. COMLIN offre una gamma diversificata di fibre grazie alla vasta regione di coltivazione in Normandia e garantisce la tracciabilità completa della fibra. TEX NORD, filiale commerciale di Terre de Lin, si occupa dell'export e rifornisce i principali filatori mondiali, con una forte presenza in Europa e Asia. La catena del valore di Terre de Lin si distingue così per un approccio innovativo alla produzione e lavorazione del lino tessile, mettendo al centro le fasi di coltivazione e prime lavorazioni, come la stigliatura – approfondita a breve – (figg. 14-15). Questo modello produttivo non solo punta alla qualità del prodotto finito, ma si distingue anche per l'attenzione al riutilizzo degli scarti, noti come “anas”, i quali vengono processati direttamente in loco (fig. 16). Attraverso questa strategia, Terre de Lin produce anche materiali utili come pellet, pacciamature e lettieri, contribuendo così a una gestione sostenibile delle risorse. I canapuli di lino, ad esempio, non solo vengono stoccati e rivenduti per la produzione di pannelli di lino, ma possono anche essere utilizzati come fonte di energia termica. Grazie alle loro elevate caratteristiche energetiche e a un potere calorifico superiore rispetto alla legna, i canapuli di lino offrono soluzioni di riscaldamento ecologiche e sostenibili per le comunità locali. Inoltre, il riutilizzo in commercio di lettieri e pacciamature rappresenta un esempio calzante di come gli scarti possano essere valorizzati. La valorizzazione degli scarti



fig. 14 Stigliatura



fig. 15 Pettinatura



fig. 16 ANAS, scarti della lavorazione del lino

17. Terre de lin (2024). op cit.

18. Ibidem.



fig. 17 "I nostri clienti non devono restituire i nostri prodotti", Terr de Lin



fig. 18 Una fase del processo di pettinatura

nella filiera del lino rappresenta non solo un'opportunità per ridurre l'impatto ambientale, ma anche una strategia economica per diversificare le entrate e ridurre i costi di smaltimento. La cooperativa Terre de Lin si distingue per il suo impegno nel garantire che il 100% della produzione di fibra di lino sia autotona, con circa il 30% di questa produzione destinata a filature locali, contribuendo così a un'economia circolare e sostenendo le realtà tessili regionali. Tuttavia, la situazione attuale presenta delle sfide significative: una parte sostanziale della produzione, circa il 70%, continua ad essere esportata in Cina per essere lavorata a costi inferiori e reimportata in Europa come prodotti finiti¹⁶. Questa dinamica solleva interrogativi sulla sostenibilità a lungo termine della filiera, evidenziando l'urgenza di esplorare modalità di rilocalizzazione della produzione e lavorazione in Europa per mantenere il valore all'interno delle comunità locali (figg. 17-18). La provenienza della materia prima rimane comunque un aspetto cruciale per Terre de Lin, che opera su 90.000 ettari di coltivazioni di lino in Europa. Questo impegno per il "100% made in France" contribuisce a un equilibrio salutare tra attività agricola e protezione della biodiversità locale¹⁷. Seppur imperfetta, la filiera del lino, quindi, emerge come un esempio di innovazione territoriale, che unisce tutti gli attori coinvolti, dalla produzione delle fibre alla creazione di filati ad alto valore aggiunto. Per affrontare le sfide legate all'export e alla delocalizzazione della lavorazione, Terre de Lin si sta orientando verso la rilocalizzazione degli stadi di trasformazione, con l'obiettivo di rafforzare ulteriormente la filiera locale. Questo approccio non solo favorisce la qualità della fibra attraverso una relazione diretta, e antropologicamente e storicamente riconosciuta, tra coltivatori e trasformatori iniziali (stigliatori), ma consente anche un controllo diretto sulle pratiche di lavorazione, promuovendo una gestione sostenibile delle risorse e generando una rete di collaborazione che garantisce un prodotto finale di alta qualità. In altre parole, la catena del valore di Terre de Lin si fonda su un modello cooperativo che coinvolge direttamente gli agricoltori, garantendo una completa tracciabilità del lino, dalla semina alla trasformazione¹⁸. Ogni fase della produzione è meticolosamente registrata, consentendo di risalire dalla balla di lino lavorato fino al campo da cui proviene, il che rafforza la trasparenza e la qualità del prodotto. In tale direzione, la cooperativa Terre de Lin, ad esempio, ha stabilito importanti partnership e acquisizioni con aziende come Ecotechnilin, Lemaitre Demeestere, Emma-

nuel Lang, Safilin, e Linière de Saint-Martin. Emanuel Lang, ad esempio, ha rilanciato la filatura a secco in Alsazia, utile per una resistenza di tessitori prossimi come Lemaitre Demeestere e Ronchay in Normandia. Queste collaborazioni mirano a ricostruire e rinforzare una filiera completamente francese, riducendo la dipendenza dalle lavorazioni all'estero e migliorando la sostenibilità della produzione. Nonostante queste iniziative, il numero di filature e trasformatori resta limitato rispetto alla quantità di coltivatori e stigliatori. Questo squilibrio evidenzia la necessità di rafforzare ulteriormente la rete di trasformazione per garantire un collegamento più diretto tra produzione e consumo. La recente acquisizione del sesto sito di stigliatura da parte di Terre de Lin nel sud dell'Eure (dopo Rouen) rappresenta una risposta positiva a questa esigenza, contribuendo a migliorare la prossimità con i membri della cooperativa nella regione in analisi. Inoltre, la coltivazione del lino, per climi e altri fattori dettati dal know-how strettamente correlato agli abitanti locali, è risorsa non delocalizzabile dal Nord Europa, il che favorisce la coesione sociale e preserva il tessuto economico delle aree rurali, che spesso affrontano sfide legate alla diversificazione economica. La necessità di manodopera specializzata nella coltivazione e trasformazione del lino è dunque significativa: le aziende agricole che coltivano lino richiedono cinque volte più manodopera rispetto a quelle dedite alla produzione cerealicola su superfici equivalenti. Questo però crea, sorprendentemente, una forte prossimità sociale e d'intenti all'interno della filiera, nonché mutuo aiuto, anche nei casi in cui i produttori finali non sono geograficamente vicini, come dimostrato dalle collaborazioni con aziende come Saertex in Germania, e lo scambio orizzontale di competenze tra tecnici e coltivatori vari (figg. 19-20). Sulla scorta di ciò, è bene evidenziare infatti che Terre de Lin sta stabilendo solide collaborazioni con diverse organizzazioni e istituzioni, tra cui CELC, Fimalin e AgroComposites¹⁹. Queste partnership non solo garantiscono una fornitura sicura e trasparente di materie prime, ma anche l'accesso a risorse per la ricerca e lo sviluppo. Le principali aree di innovazione su cui si concentra la cooperativa includono la generazione varietale, l'agronomia e l'implementazione di materiali compositi. Questo approccio proattivo non solo migliora le tecniche di coltivazione, ma contribuisce anche all'evoluzione dell'intero settore liniero, rendendo la filiera più resiliente alle sfide future. Come anticipato, l'equità tra i soci è un valore fondamentale per Terre de Lin, che opera secondo il

19. Guinebault, M. (2020). Le filature di lino stanno rifuendo in Europa (G. Bolelli, Trad. It.). Fashion Network. Recuperato da: <https://it.fashionnetwork.com/news/Le-filature-di-lino-stanno-rifuendo-in-europa,1249805.html> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).



fig. 19 Terre de Lin, emblema di prossimità geografica e sociale



fig. 20 Terre de Lin, emblema di prossimità geografica e sociale

20. Terre de lin (2024). op cit.

21. Ibidem.

principio "un uomo, un voto"²⁰ nel processo decisionale. Questa pratica assicura che ogni socio, indipendentemente dalla dimensione della propria azienda, abbia una voce nel governo della cooperativa. La trasparenza nelle scelte del Consiglio di amministrazione e l'umanesimo incarnato dall'ampio coinvolgimento di soci e dipendenti promuovono un ambiente di lavoro positivo e collaborativo. In estrema sintesi, la catena del valore di Terre de Lin è un esempio chiaro di come un approccio sostenibile alla produzione agricola possa generare benefici economici e sociali significativi. Con una chiara attenzione alla valorizzazione degli scarti, alla promozione della cooperazione e alla trasparenza, la cooperativa non solo contribuisce a un'economia locale prospera, ma funge anche da modello per altre realtà che desiderano affrontare le sfide della globalizzazione e del cambiamento climatico. La capacità di Terre de Lin di mantenere le tradizioni agricole, unita a un forte impegno verso l'innovazione e la sostenibilità, la posiziona come leader nel settore della coltivazione del lino in Europa, assicurando che il suo impatto positivo si estenda ben oltre i confini delle sue operazioni²¹. Inoltre, la trasparenza e la tracciabilità sono fondamentali nella filiera del lino, in particolare per le aziende come Terre de Lin, che si impegnano a garantire pratiche sostenibili e responsabili lungo tutto il processo produttivo (fig. 21). Questi principi non solo rafforzano la fiducia dei consumatori, ma contribuiscono anche a una maggiore responsabilità ambientale e sociale.



fig. 22
Terre de Lin, una cooperativa
impegnata, ancorata al proprio
territorio

Uno dei principali strumenti utilizzati per garantire la trasparenza è rappresentato dalle certificazioni, come EUROPEAN FLAX® e Master of Linen®. Queste certificazioni attestano che i prodotti tessili in lino soddisfano elevati standard di qualità, sostenibilità e tracciabilità. La certificazione EUROPEAN FLAX® garantisce che il lino provenga da coltivazioni europee, dove vengono rispettati rigorosi criteri ambientali e sociali²². Questo include la gestione responsabile delle risorse naturali e il rispetto dei diritti dei lavoratori. La certificazione Master of Linen®, invece, assicura che i prodotti tessili siano realizzati con lino di alta qualità e tracciabile, promuovendo il "100% made in Europe" e sostenendo le pratiche di produzione che preservano l'ambiente e le tradizioni locali. Le certificazioni non solo attuano pratiche di tracciabilità, ma offrono anche una garanzia ai consumatori riguardo alla provenienza e all'impatto dei prodotti che acquistano. Inoltre, queste iniziative possono migliorare la competitività delle aziende europee nel mercato globale, poiché sempre più consumatori cercano prodotti etici e sostenibili. La crescente domanda di prodotti sostenibili ha portato molte aziende a investire in pratiche di agricoltura rigenerativa e a sviluppare filiere più corte, che riducono l'impatto ambientale. La tracciabilità, abbinata a certificazioni come quelle menzionate, consente alle aziende di monitorare e comunicare l'intero ciclo di vita del prodotto, dal seme al tessuto finale.

In questo quadro, la coltivazione del lino è entrata a far parte come patrimonio culturale immateriale francese, e continua quindi ad essere trasmessa attraverso le generazioni, combinando tradizione e innovazione²³. Questo know-how ancestrale è essenziale per il processo di trasformazione della pianta, che comprende fasi fondamentali come la stigliatura e la tessitura. Ogni operazione agricola è frutto di rituali ben definiti, sottolineando l'importanza della manualità e della competenza tecnica, al di là dell'imprescindibile meccanizzazione del settore. La collaborazione tra agricoltore e stigliatore è cruciale; insieme, formano un duo insostituibile, che, di conseguenza, deve essere prossimo geograficamente e socialmente. Le loro decisioni comuni influenzano direttamente la qualità del raccolto, dal momento della semina fino all'avvolgimento finale (fig. 22). Ogni fase, dall'impianto alla lavorazione, è interconnessa e richiede attenzione e precisione, assicurando così che il lino europeo mantenga la sua posizione di leader nella produttività mondiale. Questo processo simbiotico non solo ga-

22. European Flax. (2024). European Flax® certification. Retrieved October 24, 2024, from <https://europeanflax.com>

23. IDIS (2022). op cit.



fig. 22 Sementi di lino

24. IDIS (2022). op cit.

25. Ibidem.



fig. 23 Fasci di lino



fig. 24 Scotolatura: rimuovere i gambi legnosi

rantisce la qualità del prodotto finale, ma favorisce anche la trasmissione di pratiche sostenibili, contribuendo a un futuro più resiliente per la filiera del lino. Persino aspetti più legati all'artigianalità della filatura e della tessitura del lino rientrano come azioni strategiche di perpetuazione del know-how: la comunità europea del lino si distingue per l'elevato livello di competenze e know-how che si è sviluppato in regioni storiche come la valle del Lys, punto d'incontro tra Francia e Belgio, dove la coltivazione e la lavorazione del lino sono strettamente legate alle tradizioni locali. In Francia, una manciata di tessitori continua a preservare il know-how della tessitura del lino. Tra questi, si distinguono, ancora, Lemaitre Demeestere nel Nord, Emmanuel Lang in Alsazia, Ronchay in Normandia, e piccoli laboratori come Aux Fils de l'Arz a Peillac, Lin et l'Autre a Châteaud'Oléron, e Passe-Trame a Mazamet²⁴. Questi artigiani non solo mantengono vive le tecniche tradizionali, ma si impegnano anche a trasmettere queste competenze alle future generazioni. Molte delle tecniche di coltura, e di cura della coltura, ad esempio, sono considerate vere e proprie "retroinnovazione", che cambiano da "famiglia" a "famiglia", pur nella garanzia di un risultato qualitativo corale.

La coltivazione e la trasformazione del lino in fibra, filato e tessuto rappresentano un processo secolare che richiede una grande attenzione ai dettagli in ogni fase, che merita dunque di essere descritto in questa tesi dottorale. L'uso della parola "lin" in francese per designare sia la pianta, sia il materiale lavorato, riflette anzitempo la profonda connessione tra la coltura del lino e la sua trasformazione industriale e artigianale²⁵ (figg. 23-24). La differenza tra la pianta di lino e il lino trasformato inizia già dalla selezione del terreno e del seme. Gli agricoltori devono scegliere con cura l'appezzamento per la semina, poiché il lino è una pianta delicata che richiede un suolo ben preparato e la rotazione delle colture. Il lino non viene seminato nello stesso campo per sei o sette anni consecutivi, ma si alterna con altre colture, in particolare cereali, colza e barbabietola, in un ciclo che arricchisce il suolo e favorisce la resa delle coltivazioni successive. Alcuni agricoltori scelgono rotazioni ecologiche che includono erbe come la medica, che purifica il terreno e si rivela utile anche per l'alimentazione degli animali. Questo sistema di rotazione rende il lino una coltura ecologicamente sostenibile. La preparazione del terreno è fondamentale per ottenere una buona semina. L'aratura e l'erpatura devono essere eseguite con precisione per creare un

suolo fine e livellato, condizione essenziale per garantire una crescita uniforme delle piante. Tradizionalmente, il lino era una pianta perenne, ma oggi si coltiva soprattutto il "Linum usitatissimum", una varietà nota per la qualità delle sue fibre. La semina avviene tra marzo e aprile, quando le condizioni climatiche sono ideali. Ogni ettaro di terreno viene seminato con circa 120 kg di semi, che daranno vita a una produzione di semi variabile tra 600 e 700 kg²⁶. La coltivazione del lino richiede un costante monitoraggio da parte dell'agricoltore, poiché la pianta è sensibile ai cambiamenti climatici e all'attacco di parassiti come gli afidi. I contadini devono inoltre vigilare attentamente sulle erbe infestanti che potrebbero soffocare il lino durante la sua crescita. Una delle fasi più suggestive della coltivazione del lino è la fioritura, che avviene generalmente a giugno. I campi si tingono di un azzurro tenue grazie ai fiori del lino, che fioriscono solo per poche ore al giorno (fig. 25). Questo breve spettacolo naturale segnala il momento in cui le fibre raggiungono la loro massima lunghezza, preparandosi alla maturazione. Quando la pianta è pronta, il lino viene sradicato, non falciato, poiché lo sradicamento permette di preservare la qualità delle fibre. Una volta estratte, le piante vengono disposte in andane sul campo per iniziare il processo di macerazione, che dura da luglio a settembre. La macerazione è una fase cruciale, in cui l'azione combinata della pioggia e del sole favorisce lo sviluppo di microrganismi nel terreno che rompono i legami pectici tra la fibra e il legno dello stelo²⁷. Durante questo processo, il controllo del clima è determinante: un'eccessiva macerazione può bruciare la fibra, mentre una macerazione insufficiente impedisce una corretta lavorazione della materia prima. La raccolta del lino avviene quando le condizioni climatiche lo permettono, ed è essenziale che i fusti siano conservati asciutti per evitare danni alle fibre. Una volta completato il processo di macerazione, le fibre vengono separate meccanicamente dal legno (anas) attraverso la stigliatura, per poi essere trasformate in filato e tessuto (fig. 26). Questo ciclo produttivo rappresenta un esempio virtuoso di sostenibilità agricola, che unisce la cura per il suolo alla produzione di materiali di alta qualità, utilizzati oggi non solo per i tessuti ma anche per materiali compositi innovativi. La macerazione in acqua bianca o in vasca, praticata nel secolo scorso, si differenziava profondamente dalle tecniche moderne di lavorazione del lino. Quando la macerazione avveniva in acque bianche, come fiumi e torrenti, la selezione del luogo era cruciale: i corsi d'acqua dovevano avere un flus-

26. Linen and Hemp, (2024). op cit.

27. Ibidem.



fig. 25 Cura del paesaggio attraverso la coltivazione del lino



fig. 26 Preparazione alla cardatura

28. IDIS (2022). op cit.

29. Ibidem.

30. Ibidem.

so lento e una bassa concentrazione di ferro o calcare, fattori che avrebbero compromesso la qualità del processo. Le balle di lino venivano immerse per un periodo di 8-12 giorni, trattate da pietre, e successivamente asciugate al sole o in forni di mattoni²⁸. Questa tecnica, sebbene efficace per ottenere fibre morbide, generava notevoli impatti ambientali a causa del rilascio di sostanze organiche nell'acqua, tra cui azoto, potassio e fosforo, che degradavano l'ecosistema locale. Il caso del fiume Lys è emblematico: le sue acque erano considerate ideali per la macerazione fino al divieto imposto nel 1943, quando l'inquinamento e i danni alla flora e fauna divennero inaccettabili²⁹. La macerazione in acque ferme, come vasche o stagni, prevedeva l'uso di acqua calda o riscaldata naturalmente dal sole estivo. Questa tecnica consentiva una divisione più efficace delle fibre, poiché i cementi pectici venivano attaccati con maggior vigore, producendo un filato estremamente fine e morbido, ormai difficile da replicare con i metodi odierni. Tuttavia, la complessità di riciclare l'acqua e gli alti costi della manodopera portarono all'abbandono di queste tecniche nel tempo. La separazione delle fibre dal legno della pianta è strettamente correlata alla qualità della macerazione. Quanto più naturale è il processo di macerazione, tanto migliore sarà l'efficacia della stigliatura, la fase meccanica in cui le fibre vengono estratte. Durante questa operazione, le fibre vengono classificate in due categorie principali: fibra lunga, utilizzata per la produzione di filati fini, e fibra corta, che trova impiego in tessuti più grossolani. La stigliatura è un processo che ha beneficiato della meccanizzazione, ma resta ancora fortemente influenzata dal know-how dell'operatore. La separazione e classificazione delle fibre richiedono un occhio esperto, poiché le qualità del prodotto finale dipendono dalla resistenza, finezza e omogeneità della fibra estratta. A seguire, le operazioni di pettinatura e cardatura completano la trasformazione del lino. La pettinatura, realizzata in stabilimenti specializzati come La Linière Saint-Martin o Peignage Dumortier, pulisce, parallelizza e calibra le fibre lunghe per prepararle alla filatura³⁰. Queste fibre, destinate alla filatura ad umido, danno vita a filati pregiati e sottili. Le stoppe, invece, vengono impiegate nella filatura a secco, attraverso la cardatura, un processo che le accorcia e le rende simili al cotone. Questo filato viene poi utilizzato per tessuti più spessi, adatti all'arredamento e ad altri usi industriali (fig. 27). Come emerge da questa analisi, il ciclo di lavorazione del lino, dalla macerazione alla filatura, rappresenta un



fig. 27 Rocchetto di lino per applicazioni biocomposite

equilibrio delicato tra tradizione e innovazione, con tecniche che, pur migliorate nel tempo, conservano un legame profondo con i metodi artigianali del passato. L'abbandono di alcune pratiche storiche, come la macerazione in acqua bianca, è il risultato di una maggiore consapevolezza ambientale, ma ha anche comportato la perdita di alcuni segreti nella lavorazione delle fibre, che oggi si sta cercando di recuperare attraverso nuove tecnologie e una rinnovata attenzione alla sostenibilità. La filatura è stata praticata fin dall'antichità con strumenti rudimentali e poi sempre più sofisticati, consentendo di trasformare le fibre in filato attraverso diverse operazioni. La filatura del lino richiede grande esperienza e precisione per garantire un risultato uniforme e di alta qualità. Il nastro regolarizzato e teso si trasforma in stoppino, a cui viene applicata una torsione. Esistono due principali tipi di filatura: la filatura ad umido e quella a secco. La filatura ad umido utilizza nastri di fibra provenienti dalla pettinatura che vengono immersi in acqua riscaldata a circa 60°C, un processo chiamato lisciviazione³¹. Questo processo elimina le pectine residue, ammorbidisce le fibre e favorisce il loro scivolamento, permettendo di ottenere filati molto fini, spesso utilizzati nell'abbigliamento e nella biancheria per la casa. Al contrario, la filatura a secco non prevede l'immersione dei nastri di fibra; il nastro alimenta direttamente il filatoio, producendo un filato più grosso e dall'aspetto rustico, tipicamente utilizzato per tessuti di arredamento. La filatura del lino è un processo complesso che richiede cura in ogni fase. Ogni lotto di fibra, solitamente di circa 10 tonnellate, viene selezionato in base a criteri come la consistenza, il colore e la resistenza della fibra. Vengono eseguite prove manuali per valutare la qualità del filo, che deve spezzarsi con un suono specifico quando viene rotto. L'operatore deve avere una profonda conoscenza del materiale per adeguare le macchine a ogni fase del processo. Dopo la selezione delle fibre, queste vengono assemblate e stirate, riducendo lo spessore del nastro e ottenendo lo stoppino. Segue la fase di lisciviazione, in cui le fibre vengono pulite dai residui di corteccia e i coloranti naturali vengono eliminati, migliorando così la finezza del filato. Infine, lo stoppino, imbianchito o lisciviato, viene filato applicando una torsione. Safilin, un'azienda leader nel settore, offre filati composti da una miscela di più di 24 fibre provenienti da regioni e annate diverse, garantendo qualità e omogeneità nel corso dell'anno, indipendentemente dai raccolti³² (fig. 28). Questo processo permette di superare le variabilità climatiche

31. IDIS (2022). op cit.

32. Ibidem.



fig. 28 Tessuti in fibra di lino, Safilin

33. Terre de lin (2024). op cit.

e agronomiche dei diversi raccolti di lino. Una volta completata la filatura, i filati vengono confezionati e preparati per la commercializzazione, con un sistema di rilevamento che elimina eventuali difetti come nodi o irregolarità. In questa fase, i filati possono anche essere paraffinati, tinti o sbiancati. Il filo di lino, che permette tutte le armature di tessitura, come tela, saia o raso, viene utilizzato sia per i fili di ordito che per quelli di trama. La mancanza di elasticità del lino rispetto a fibre come la lana o il cotone rende la sua lavorazione più delicata, ma grazie a un'adeguata idrometria nei laboratori, si riduce il rischio di rotture durante la tessitura, questo anche per quanto concerne la preparazione di twill per applicazioni composite (fig. 29). La filiera del lino di Terre de Lin ha attraversato importanti evoluzioni per garantire la qualità della materia prima e una crescente sostenibilità³³. I semi di lino, in passato aventi bisogno di trattamenti fitosanitari, sono stati progressivamente sostituiti da varietà più resistenti, adattate ai cambiamenti climatici e alle necessità della produzione moderna. Terre de Lin promuove una riduzione dell'uso di input chimici, adottando tecniche di disinfezione ecologiche come il vapore acqueo. Parallelamente, si è assistito all'abbandono della macerazione in acqua a favore di pratiche in campo, meno impattanti per l'ambiente. L'uso di strumenti tecnologici come le stazioni meteorologiche ha reso possibile un maggiore controllo sulla qualità della macerazione, riducendo i rischi legati a condizioni climatiche imprevedibili.



fig. 29
Terre de Lin, una cooperativa
impegnata nell'innovazione di
prodotto

Terre de Lin si distingue dunque per la sua capacità di aggregazione in collettivi e cooperative, che hanno rafforzato la sua resilienza alle crisi e la sua competitività internazionale. La delocalizzazione della filatura verso paesi come Cina e India rappresenta un elemento cruciale della strategia globale, ma al contempo si stanno sviluppando progetti per riportare la filatura in Francia, garantendo una produzione più locale e tracciabile. Le aspettative dei consumatori verso prodotti a basso impatto ambientale e tracciabili pare stia incrementato la domanda di lino³⁴.

Eppure, la produzione di lino, come evidenziato nel caso di Terre de Lin, si confronta con diverse minacce e rischi che potrebbero compromettere la sostenibilità e la competitività del settore. Le condizioni climatiche rappresentano una sfida cruciale, con fenomeni come piogge e venti forti che possono causare lo "spargimento" del lino nei campi, un processo dannoso soprattutto durante la crescita. Le colture di lino sono vulnerabili anche a malattie e parassiti, come la peronospora e l'oidio, che possono ridurre significativamente la resa. Sebbene siano state sviluppate varietà più resistenti, come la "Bolchol", queste minacce richiedono monitoraggio costante e adattamenti agronomici³⁵. Un'altra criticità è la carenza di manodopera specializzata: l'invecchiamento della forza lavoro e la difficoltà di attrarre giovani talenti mettono a rischio la trasmissione delle competenze necessarie per il mantenimento di un'industria che richiede precisione e know-how consolidato (fig. 30). La mancanza di turnover e la meccanizzazione ridotta in alcune fasi della produzione contribuiscono a questo problema. A tutto ciò si aggiunge la concorrenza straniera, con Paesi asiatici che offrono fibra di lino a costi più bassi e condizioni lavorative meno regolamentate. La combinazione di una competizione basata sul prezzo e la chiusura delle filature in Francia ha indebolito il settore locale. Anche il costo delle materie prime influisce sul mercato, rendendo più difficile l'accesso ai prodotti di lino, soprattutto biologico, che risulta essere ancora più caro a causa della domanda crescente e della sensibilità alle oscillazioni di prezzo³⁶. Il settore, pur mostrando un forte potenziale, deve fronteggiare questi limiti per mantenere la propria resilienza e qualità produttiva.

Il settore del lino, nonostante le sfide e i rischi attuali, è supportato da un ampio ventaglio di iniziative volte a preservare il suo patrimonio culturale e a promuovere uno sviluppo sostenibile per il futuro. Numerosi musei locali, come l'Écomusée du Lin

34 Terre de lin (2024). op cit.

35. Ibidem.

36. Ibidem.



fig. 30 Un know-how da salvaguardare

37. IDIS (2022). op cit.



fig. 31 Festival del lino e delle fibre artistiche, Francia

presso La Ferme au Fil des Saisons, la Vitrine du Lin a Bretteville-du-Grand-Caux e l'Écomusée de la Maison du Lin a Routot, svolgono un ruolo cruciale nella conservazione del know-how legato alla coltivazione e alla trasformazione del lino³⁷. Questi musei non solo offrono esposizioni che ripercorrono la storia del lino, ma consentono ai visitatori di entrare in contatto con le tecniche antiche e moderne di lavorazione, fornendo un collegamento tra passato e presente. L'Écomusée du Lin, ad esempio, è stato creato da un agricoltore e produttore di lino, e offre un'ampia panoramica sulle varie fasi della lavorazione del lino, dai processi tessili a quelli industriali e alimentari, includendo anche un laboratorio di stigliatura che illustra l'evoluzione tecnologica nel settore. Analogamente, la Vitrine du Lin espone campioni delle diverse qualità di lino, spiegando i loro molteplici utilizzi in settori come l'automobile e la produzione di pannelli. Oltre ai musei, gli eventi culturali e turistici giocano un ruolo fondamentale nella valorizzazione del lino. Il Festival del Lino e delle Fibre Artistiche, che si tiene ogni anno nel primo fine settimana di luglio, rappresenta un'importante occasione per artisti, produttori e visitatori di esplorare il potenziale artistico e culturale del lino (fig. 31). Il festival coinvolge numerosi comuni e luoghi espositivi, attirando migliaia di visitatori grazie a eventi come la visita agli impianti di stigliatura, le dimostrazioni delle tecniche di lavorazione tradizionali e le passeggiate nei campi di lino in fiore. Un altro evento di grande rilevanza è la Route du Lin e il Rallye Bleu, che offre ai visitatori la possibilità di esplorare il territorio attraverso escursioni cicloturistiche nei campi di lino, accompagnati da esperti del settore che illustrano la flora e la fauna circostanti, nonché le tecniche agricole legate al lino. Questa iniziativa è particolarmente significativa perché collega il patrimonio agricolo alla promozione del turismo sostenibile, valorizzando sia il paesaggio che il know-how locale. Il contributo del settore industriale è altrettanto importante, come dimostra l'attività di Terre de Lin, cooperativa leader nella coltivazione e trasformazione del lino. Terre de Lin ha sviluppato un programma di turismo industriale che permette ai visitatori di esplorare i suoi impianti e apprendere direttamente dai produttori. Le visite guidate sono condotte da ex lavoratori ed esperti del settore, creando un ponte tra l'esperienza pratica e l'educazione pubblica. Inoltre, Terre de Lin ha avviato una collaborazione con la scuola Duperré, dando agli studenti l'opportunità di progettare abiti per i lavoratori della cooperativa, un'iniziativa che promuove l'innovazione e

la creatività nel settore tessile. Alcuni licei agrari, come quello di Yvetot nel Seine-Maritime, hanno una lunga tradizione nella coltivazione del lino, iniziata negli anni '30. Queste istituzioni offrono agli studenti l'opportunità di partecipare a esperimenti pratici, contribuendo così alla loro formazione. Inoltre, mirano a educare e formare i tirocinanti che hanno abbandonato il sistema scolastico, focalizzandosi sulla sostenibilità agricola e sui metodi biologici. I corsi annuali, come il "CSTMA Trattori e Macchine Agricole" e il "BPREA Responsabile Azienda Agricola," forniscono competenze specifiche per la gestione delle aree rurali e l'uso delle macchine agricole. Oltre alla formazione teorica, i periti agrari intervengono nelle scuole superiori per condividere la loro esperienza e passione per la coltivazione del lino e la stigliatura, contribuendo a sensibilizzare le nuove generazioni sull'importanza di pratiche agricole sostenibili e sulla valorizzazione di una fibra ecologica. Questi scambi di conoscenze e competenze sono essenziali per garantire un futuro sostenibile per l'agricoltura e per il settore del lino³⁸. In ambito professionale, ma anche ricreativo, eventi come le Giornate annuali LCBio sono piattaforme cruciali per riunire gli attori del settore del lino e della canapa, con un focus particolare sulla coltivazione biologica e sulle pratiche agricole sostenibili. Questi incontri facilitano lo scambio di idee e il rafforzamento delle relazioni tra produttori, trasformatori e ricercatori, contribuendo alla crescita di un settore responsabile dal punto di vista ambientale. L'associazione LCBio, fondata nel 2013, ha svolto un ruolo chiave nella promozione del lino biologico, rispondendo alla crescente domanda di prodotti eco-sostenibili e locali. A completare il quadro, le iniziative culturali legate al lino, come l'Itinerario del Lino e il Mercato dei Tessitori di Varaignes, continuano a mantenere viva la tradizione del lino e delle fibre naturali, promuovendo al contempo il lavoro degli artigiani e degli artisti tessili. Questi eventi offrono un'opportunità unica per i visitatori di riscoprire le tecniche tradizionali di tessitura e le potenzialità artistiche delle fibre naturali, contribuendo alla creazione di un mercato dinamico e sostenibile per il lino. L'innovazione nel settore del lino trova invece espressione in numerose applicazioni di processo e di prodotto, in particolare attraverso soluzioni come Flaxcomp®, un biocomposito sviluppato da DEMGY (fig. 32). Questa tecnologia utilizza fibre di lino di Terre de Lin mescolate con resine plastiche riciclabili³⁹, garantendo una termocompressione efficiente con

38. IDIS (2022). op cit.

39. FlaxComp. (2024). FlaxComp - Flax composite solutions. Retrieved October 24, 2024, from <https://www.flaxcomp.com/en>



fig. 32 FLAXCOMP®, a transparent, aesthetic and durable solution

40. Civard-Racinais, A. (2023). We explore: un catamaran "vert" conçu à 50% en lin. Curieux. Recuperato da: <https://www.curieux.live/2023/09/01/we-explore-un-catamaran-vert-concu-a-50-en-lin/> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

41. Ibidem.

matrici PP, PLA e PA11. Tale composizione non solo assicura tracciabilità e qualità, ma permette anche la produzione di biocompositi completamente biologici, grazie alla combinazione di lino e PLA o lino e PA11, mantenendo alta la performance e l'adeguatezza del prodotto al suo uso finale. Un esempio di applicazione innovativa di questo materiale si trova nel catamarano We Explore, capitanato da Roland Jourdain, che ha utilizzato il 50% di fibre di lino nella sua costruzione. La barca, classificatasi seconda nella Route du Rhum 2022, è un'icona di eco-progettazione e dimostra come i biomateriali possano essere integrati in strutture complesse come scafi di 18 metri, collaborando con aziende come Terre de Lin e il cantiere navale Outremer⁴⁰ (fig. 33). Questo tipo di collaborazione dimostra la crescente attenzione verso soluzioni sostenibili anche in settori tradizionalmente dominati da materiali convenzionali come la nautica. La cooperativa Terre de Lin ha inoltre avviato una collaborazione con IDB Marine, che ha portato alla realizzazione di scafi per imbarcazioni da 6,50 m a 9 m interamente realizzati in composito di fibre di lino⁴¹. Questo passo rappresenta un'ulteriore conferma della versatilità e dell'efficacia del lino nel contesto delle costruzioni navali, dove leggerezza e resistenza sono essenziali. Altre partnership chiave testimoniano l'evoluzione dell'uso delle fibre di lino nei settori più vari.



fig. 33
Il catamarano We Explore prodotto
in fibra di lino

Con Salomon, è stato sviluppato un tessuto composito misto lino/carbonio, impiegato in 11 modelli di sci delle gamme freeride ed escursionismo, con una produzione annua di 15.000 paia di sci⁴². Questo dimostra come il lino possa essere sfruttato per creare un equilibrio tra rigidità, vibrazione e leggerezza, garantendo alte prestazioni anche in sport estremi (fig. 34). Anche nel settore audio, il lino ha trovato applicazioni innovative grazie alla collaborazione con Focal per la creazione di altoparlanti⁴³. Il tessuto unidirezionale al 100% in lino è utilizzato in 200.000 altoparlanti all'anno, grazie alla sua capacità di migliorare la finezza delle vibrazioni e la leggerezza del suono, offrendo un'esperienza audio di qualità superiore. Nel campo dell'arredamento, Editions St Luc ha sviluppato, a partire dal 2006, una linea di mobili in collaborazione con designer di fama internazionale come François Azambourg e Jean-Marie Massaud, utilizzando tessuti in lino bidirezionali⁴⁴. Queste collaborazioni hanno contribuito a ridefinire i confini del design sostenibile, dimostrando come il lino possa essere protagonista anche nell'arredamento di alta gamma. Il lino si dimostra versatile anche nei settori dell'abbigliamento e dell'accessoristica sportiva. Il marchio Egide, specializzato in caschi da bicicletta, ha scelto tessuti compositi in lino per le loro proprietà di assorbimento degli urti, leggerezza e design, soddisfacendo così le esigenze di sicurezza⁴⁵ (fig. 35). Queste partnership e progetti dimostrano il potenziale di innovazione nel campo dei biocompositi a base di lino, non solo nel promuovere la sostenibilità, ma anche nel migliorare le prestazioni tecniche dei prodotti, dalla nautica all'arredamento, dagli altoparlanti agli accessori sportivi.

Terre de Lin si conferma un attore fondamentale nella creazione di soluzioni innovative che valorizzano le proprietà uniche di questa fibra, offrendo nuove opportunità per ridurre l'impatto ambientale senza compromettere la qualità o la funzionalità dei prodotti.

42. Terre de lin (2024). op cit.

43. Ibidem.

44. Ibidem.

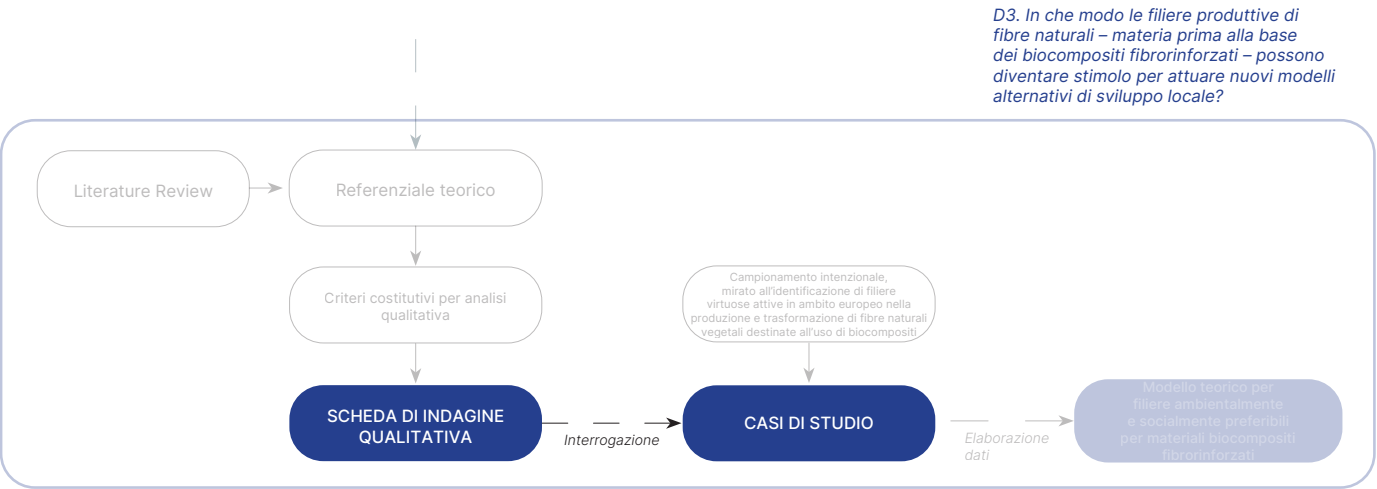
45. Ibidem.



fig. 34 Fibra di lino per produrre una
nuova gamma di sci



fig. 35 Casco da bicicletta in fibra di
lino



Sintesi e schema di lettura del capitolo

6.3.3 La canapa in Occitania: Virgocoop

La canapa, pianta di straordinaria poliedricità, ha accompagnato lo sviluppo umano attraverso secoli e culture grazie alle sue innumerevoli proprietà. La sua fibra, composta prevalentemente da cellulosa (70%), seguita da emicellulosa (15%), lignina (3%), proteine, cere e minerali, si distingue per la resistenza e la versatilità, caratteristiche che l'hanno resa un materiale prezioso sia nel settore tessile che in quello edilizio e industriale¹ (fig. 01). Coltivata per millenni, la canapa ha rappresentato un cardine economico e sociale per molte civiltà: dagli antichi greci agli sciti, fino all'Europa medievale e moderna, essa è stata utilizzata per fabbricare corde, vele, tessuti, carte e persino medicine. La sua storia risale ad almeno 10.000 anni fa, con testimonianze storiche che ne dimostrano l'uso in Asia centrale per scopi terapeutici e spirituali. La Cina, pioniera nello sfruttamento delle potenzialità della canapa, la impiegava anche per la fabbricazione della carta già nel 500 a.C., segnando una svolta nell'evoluzione delle tecniche di scrittura e documentazione. In Europa, la canapa fu introdotta molto presto, con reperti archeologici che confermano la sua presenza risalente a circa 5000 anni A.C.. Nel corso del Medioevo, essa divenne essenziale per l'industria marittima europea, contribuendo alla produzione di corde per i velieri e tessuti per le vele, come dimostra la storia delle caravelle di Cristoforo Colombo, le cui vele furono interamente realizzate con fibre di

1. Ranalli, P. (Ed.). (2020). *La canapa: Miglioramento genetico, sostenibilità, utilizzi, normativa di riferimento*. Edagricole.



fig. 01
Coltura di canapa



fig. 02 La Corderie Royale de Rochefort

canapa. La coltivazione della canapa, fiorente fino al XX secolo, subì un drastico declino con l'avvento delle fibre sintetiche e del cotone, che ridussero l'attrattiva economica di questa pianta. Fino agli anni '60 del Novecento, infatti, molte famiglie contadine in Europa, in particolare in Francia, coltivavano ancora piccole quantità di canapa per usi domestici, filando e tessendo a mano per creare tessuti utili per l'abbigliamento e la casa. Tuttavia, la rapida ascesa del prêt-à-porter e delle fibre sintetiche rese obsoleta gran parte della produzione manuale tradizionale, portando alla chiusura di numerose filande e cordai. Oggi, tuttavia, si assiste a un rinnovato interesse per la coltivazione e l'utilizzo della canapa, grazie alle sue intrinseche qualità ecologiche. La Francia, ad esempio, è tornata a essere una protagonista nella produzione europea, con oltre 17.000 ettari coltivati, confermandosi leader nella ricerca e nello sviluppo di tecnologie per la lavorazione della canapa tessile e industriale. Il settore tessile, che aveva visto una progressiva perdita di interesse, sta lentamente riscoprendo la canapa grazie a nuove tecniche di meccanizzazione sperimentale volte a ottenere fibre tessili lunghe, un'operazione complessa ma essenziale per la rivitalizzazione del comparto. Più nel dettaglio, la storia della canapa in Francia, e in particolare nella regione dell'Occitania, è ricca di tappe fondamentali che ne attestano la centralità nella produzione tessile e agricola per secoli. Come detto, originaria dell'Asia centrale, la canapa si è diffusa in Europa attraverso le rotte commerciali e le spedizioni dei Vichinghi, arrivando in Francia già nel Medioevo. Sotto il regno di Carlo Magno nell'800, la coltivazione della canapa conobbe un notevole sviluppo grazie ai suoi molteplici utilizzi nell'abbigliamento e nella produzione di corde per la navigazione, in particolare per le vele delle navi. Nel XVII e XVIII secolo, la Francia divenne un centro produttivo di prim'ordine per la canapa, con fabbriche e filande diffuse in tutto il Paese. Durante l'epoca di Luigi XIV, Colbert istituì la fabbrica reale di corde a Rochefort (fig. 02), una mossa strategica per garantire l'approvvigionamento di canapa per la marina reale. Lorient, Brest, Tolone, Marsiglia e molte altre città marittime furono importanti centri di distribuzione della fibra, che veniva prodotta nelle campagne limitrofe, specialmente nelle regioni della Bretagna, Normandia e Maine. La canapa si legava profondamente alla cultura rurale francese: ogni fattoria coltivava una piccola quantità di canapa, che veniva lavorata per uso domestico o venduta alle filande e ai mercati. Nel XIX secolo, il commercio

della canapa aveva raggiunto una tale importanza da essere uno dei fattori scatenanti della campagna di Napoleone in Russia nel 1812, poiché la Francia mirava a controllare il flusso di canapa tra Russia e Inghilterra, una risorsa vitale per la marina britannica. Tuttavia, con l'arrivo delle fibre esotiche come il cotone e l'introduzione delle navi a vapore, la coltivazione della canapa iniziò a declinare. Entro il XX secolo, la produzione di canapa era ridotta a piccole aree, e la lavorazione tessile della fibra fu quasi completamente abbandonata. In Occitania, e più in generale in Francia, la canapa è stata rivalorizzata solo negli ultimi decenni grazie al movimento ecologista, che ne ha messo in luce le virtù ambientali e il potenziale per un'economia più sostenibile. Oggi, progetti come quelli promossi da Hemp-Act, ma in modo particolare VirgoCoop², che sarà dettagliatamente discussa in quanto terzo caso studio in analisi, puntano a ricostruire la filiera tessile della canapa, partendo dalla coltivazione locale e dallo sviluppo di tecnologie innovative per la trasformazione delle fibre (fig. 03). Il rilancio della canapa come risorsa agricola e industriale in Occitania si inserisce allora in una più ampia tendenza verso la bioeconomia, che vede nella canapa un'alternativa sostenibile per l'edilizia, la moda, e l'industria automobilistica (fig. 04). È chiaro che, oltre al tessile, le virtù della canapa si estendono anche ad altri settori, in particolare l'edilizia ecosostenibile e la produzione di materiali compositi a base biologica³. Grazie alle sue proprietà isolanti, sia termiche che acustiche, la canapa è oggi sempre più utilizzata nella bioedilizia per la realizzazione di materiali innovativi a base di canapa, dunque biocompositi. Questi materia prima "rinnovata", al pari del lino, non solo offre alcuni vantaggi ecologici, come la capacità di assorbire CO² e migliorare la qualità del suolo, ma presenta anche un basso dispendio energetico nella sua produzione, a differenza delle alternative sintetiche. Tra i principali vantaggi della canapa nei compositi vi è la sua rigidità e tenacità, superiore anche a quella del lino, il che la rende particolarmente idonea per applicazioni strutturali⁴. La sua elevata traspirabilità e buon assorbimento dell'umidità contribuiscono ulteriormente alla sua versatilità, rendendola adatta a una vasta gamma di utilizzi nel comparto tessile. Per una coltivazione ottimale, la canapa richiede una selezione accurata del terreno, preferendo suoli di medio impasto e ben drenati, con profondità non inferiore a tre metri. È importante evitare terreni contaminati da metalli pesanti, in quanto ciò può influenzare negativamente la qualità delle fibre.

2. Virgocoop. (2024). Virgocoop. Recuperato da: <https://virgocoop.fr/> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

3. Mariz, J., Guise, C., Silva, T. L., Rodrigues, L., & Silva, C. J. (2024). Hemp: From field to fiber—a review. *Textiles*, 4(2), 165–182.

4. Ibidem.



fig. 03 Virgocoop, per il rilancio della filiera della canapa occitana



fig. 04 Rocche in fibra di canapa

5. Mariz, J., et al. (2024). op cit.

6. Ibidem.



fig. 05 Coltivazione canapa, controllo qualità



fig. 06 Canapai nel Novecento

La canapa è anche una pianta nota per le sue qualità di rigenerazione del suolo; le sue radici profonde contribuiscono a migliorare la struttura del terreno e a ridurre la presenza di specie infestanti. In termini di irrigazione, la canapa prospera con precipitazioni annuali comprese tra 635 e 890 mm, risultando comunque meno dispendiosa in termini idrici rispetto al cotone⁵.

La riscoperta della canapa ha stimolato anche la formazione di nuove comunità agricole nel sud-ovest della Francia, dove si stanno sviluppando progetti sperimentali per promuovere la sua coltivazione e lavorazione. In regioni come il Lot e l'Aveyron, le iniziative locali si concentrano sulla produzione di sementi francesi e sulla valorizzazione della filiera della canapa, evidenziando l'importanza di un approccio cooperativo che coinvolga agricoltori e produttori. Queste nuove pratiche, unite alla crescente consapevolezza dei benefici ecologici della canapa, promettono di revitalizzare un settore un tempo florido, fornendo al contempo soluzioni innovative per affrontare le sfide ambientali contemporanee. È così che, la canapa, non rappresenta solo un materiale dal potenziale straordinario, ma anche una risorsa storica e culturale di inestimabile valore. Con oltre mille varietà riconosciute a livello mondiale, essa offre opportunità innumerevoli in vari settori, dall'industria tessile a quella edile, contribuendo così a un futuro più sostenibile. La sua capacità di adattamento e la versatilità dei suoi utilizzi la rendono una pianta cruciale nel contesto della bioeconomia, suggerendo che la sua valorizzazione non è solo auspicabile, ma necessaria per un approccio ambientalmente e socialmente preferibile, e innovativo al design e alla produzione.

La coltivazione della canapa rappresenta, e per certi versi reifica, dunque, un processo complesso e raffinato, che ha attraversato secoli di evoluzione e innovazione (fig. 05). Gli agricoltori, impegnati nel ciclo produttivo, si dedicano a diverse fasi che comprendono la semina, la cura e il raccolto della pianta, nonché le operazioni di macerazione che sono fondamentali per ottenere fibre di qualità. Tradizionalmente, fino alla metà del XX secolo, la lavorazione del fusto di canapa avveniva attraverso pratiche artigianali, ma oggi il processo si è modernizzato, affidando la canapa tagliata a specialisti chiamati "scutters" o canapai, i quali la preparano per i filatori (fig. 06).

Questo approccio contemporaneo ha portato a una maggiore efficienza, consentendo di ottenere circa 100 kg di fibre stigliate da 1000 m² di coltivazione⁶, con piante che possono

raggiungere altezze di 3 metri, facilitando così l'estrazione di una fibra lunga, nota come "long strand"⁷. La preparazione del terreno è un passaggio cruciale in questo processo, poiché gli appezzamenti, denominati "chènevières", devono possedere una buona irrigazione naturale, evitando l'acqua stagnante, che potrebbe compromettere la salute delle piante. Terreni sabbiosi e ben drenati sono ideali, e il processo di preparazione richiede un'accurata lavorazione del suolo, definita "gueret", caratterizzata da una struttura leggera e grumosa. Qualora il terreno risulti indurito a causa del gelo, è necessario allentarlo con strumenti adeguati, garantendo così un habitat favorevole per la crescita della pianta. La semina avviene generalmente all'inizio di maggio, a condizione che il terreno raggiunga una temperatura minima di 12°C. Gli agricoltori piantano i semi a una profondità compresa tra 1 e 3 cm⁸. La densità di semina, fondamentale per prevenire la crescita delle erbacce, si attesta tra 45 e 80 kg per ettaro, a seconda delle specifiche produzioni tessili⁹. La canapa, nota per la sua resistenza alle malattie e per le sue qualità repellenti verso gli insetti, cresce senza necessità di irrigazione e senza l'ausilio di prodotti fitosanitari, rappresentando così una risorsa ecologicamente sostenibile. Questo aspetto è particolarmente significativo in un contesto di crescente attenzione verso pratiche agricole sostenibili e biodinamiche. Il raccolto avviene circa 120 giorni dopo la semina, con la maturazione dei semi che segna il momento propizio per l'estirpazione. Tradizionalmente, il processo di raccolta coinvolgeva la forza collettiva della comunità, unendo famiglie e vicini, mentre oggi le tecniche si sono evolute con l'uso di macchinari moderni. Dopo il taglio, la canapa viene disposta in "manici" e legata per facilitare la fase di sgranatura e successiva vendita ai filatori. La macerazione, che avviene in acqua, rappresenta una fase essenziale per la qualità delle fibre, in quanto separa la paglia dalla parte filamentosa attraverso un processo di fermentazione che degrada le pectine. Sebbene un tempo si praticasse la macerazione in fiumi, questa pratica è stata abbandonata a causa dell'inquinamento e dei danni all'ecosistema acquatico, favorendo invece la macerazione nei campi, che richiede una corretta gestione delle condizioni climatiche¹⁰ (fig 07). La macerazione nei campi, sebbene più lunga, consente di mantenere un migliore controllo sulla qualità del prodotto finale. Gli agricoltori dispongono la canapa tagliata in file parallele, permettendo ai microrganismi presenti nel terreno di lavorare le pectine.

7. IDIS. (2023). Les savoir-faire du chanvre textile. Recuperato da: <https://chaire-idis.fr/wp-content/uploads/2022/02/Les-savoir-faire-du-chanvre-textile-.pdf> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

8. Ibidem.

9. Ibidem.

10. Ibidem.



fig. 07 Macerazione della canapa oggi, progetto SSUCHY, 2023

11. IDIS. (2023). op cit.

12. Ibidem.



fig. 08 Macchina stigliatura canapa

Questo processo richiede attenzione e pazienza, poiché le condizioni atmosferiche possono influenzare la resa e la qualità del raccolto. In caso di piogge eccessive o di siccità, i produttori devono affrontare sfide significative, rendendo la coltivazione della canapa un'attività che richiede una sinergia tra tradizione e innovazione, tra pratiche agricole sostenibili e necessità di adattamento ai cambiamenti climatici. In questo modo, la canapa si afferma non solo come una coltura di valore storico, ma anche come una risposta alle sfide ambientali contemporanee, promuovendo un modello agricolo circolare e sostenibile. Il processo di trasformazione della canapa in stoppa avviene attraverso una serie di fasi meticolose e altamente specializzate, che si svolgono principalmente durante il periodo invernale. La sfibratura inizia con la macinazione, un'operazione caratterizzata da un'azione percussiva che separa le fibre avvolgenti il fusto della canapa, rivelando il nucleo centrale. Queste fibre vengono poi stirate e pettinate da un abile "ferraio"¹¹, al fine di eliminare gli ultimi residui vegetali e dare avvio alla formazione dei nastri fibrosi. I rifiuti, noti come "guertes" nella regione della Loira, non vengono sprecati, ma trovano riutilizzo come combustibile, lettiera per animali o pacchime per l'agricoltura, dimostrando così l'approccio sostenibile insito nella lavorazione della canapa. Caratterizzata da una notevole capacità di assorbimento d'acqua, fino a quattro volte il suo volume, senza deformarsi, la fibra di canapa, dopo la pettinatura, viene intrecciata in una "bambola" e raccolta in lotti di 25 kg. Attualmente, in Francia, sono in fase di sviluppo due modelli innovativi per la sfibratura della canapa. Un esperimento condotto in Normandia dall'Associazione Lin & Chanvre bio e dai suoi partner si propone di adattare la lavorazione della canapa a quella del lino, operando un taglio della canapa della stessa lunghezza del lino e utilizzando macchine falciatrici specifiche per la stigliatura¹². Le prove, già concluse, hanno portato alla produzione di prototipi in canapa, mostrando un progresso significativo nel settore. Parallelamente, un altro esperimento condotto nel Lotto si concentra sulla sfibratura meccanica, progettata su una macchina specifica per la canapa (fig. 08), con l'ambizioso obiettivo di lavorare l'intera altezza del fusto, che può raggiungere i tre metri, rivelando la versatilità e il potenziale di questo materiale. Le fibre corte, denominate stoppa, cui derivano dalla parte inferiore o dalla testa del fusto della canapa e vengono anch'esse sottoposte a cardatura, dando vita a nastri fibrosi. In questo contesto, una sola

azienda in Francia, fondata nel 1896 e attualmente operante a Roubaix, detiene il know-how per le operazioni di lavaggio, cardatura e torcitura della canapa: gli stabilimenti Dumortier (fig. 09). Quest'azienda, piccola e agile, è riuscita a superare le varie crisi del settore, mantenendo viva una tradizione manifatturiera fondamentale¹³. Il processo di cardatura prevede l'uso di macchinari specifici: una macchina apre le fibre sfibrate, mentre un'altra le carda e avvia il nastro, che viene poi raccolto e teso insieme per formare un nastro chiamato "guille". Questo ultimo nastro viene ulteriormente pettinato per eliminare le impurità non filabili e parallelizzare le fibre, mentre sono in corso ricerche per il riutilizzo degli scarti derivanti da questo processo. La filatura, fase successiva, consiste nello stirare e torcere le fibre pettinate per produrre filati di varia finezza. Attualmente, in Francia, non esistono più filande di canapa attive; tuttavia, il know-how è custodito da artigiani che continuano a praticarlo. Tradizionalmente, la filatura avveniva ad umido, in quanto il filato necessitava di essere inumidito per aumentarne la flessibilità. I filatori, siano essi uomini o donne, utilizzavano tecniche tradizionali, spesso bagnandosi le mani o utilizzando la saliva. Le donne, in particolare, filavano in casa, seguendo usanze locali, mentre le tessitrici raccoglievano le matasse di filo direttamente dalle loro abitazioni. In Occitania, nel villaggio di Livernon, Françoise Dupety si dedica con passione alla filatura della canapa, acquistando localmente la fibra cardata e testando anche prodotti di fornitori diversi. La finezza del filo è valutata manualmente, e una volta completato il processo, i fili vengono raggruppati in matasse, pronte per la cordonatura, la tessitura o la lavorazione a maglia, rappresentando così un anello fondamentale nella catena produttiva della canapa¹⁴. A titolo informativo, la trasformazione della canapa in corda (fig. 10) si basa sulle straordinarie proprietà di questa fibra, la quale, grazie alla sua resistenza, al naturale essere imputrescibile e alla facilità di manipolazione, si è rivelata fondamentale nel corso dei secoli. Fino agli anni '60, la società Thomas di Saint-Martin-du-Fouilloux e gli stabilimenti di Bessonneau, ubicati nella regione di Angers, rappresentavano i principali centri di produzione, con oltre 2000 lavoratori impiegati nella realizzazione di funi, manichette antincendio e altri prodotti tessili. Queste realtà industriali, oggi scomparse, hanno però lasciato un'eredità artigianale che continua a essere coltivata da un numero limitato di cordai, i quali utilizzano tecniche tradizionali per lavorare la canapa come materia prima. Un esem-

13. Sweet FM. (2024). Vers une filière complète du chanvre textile en Normandie. Retrieved from <https://www.sweetfm.fr/vers-une-filiere-complexe-du-chanvre-textile-en-normandie> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

14. Ibidem.



fig. 09 "Vers une filière complète du chanvre textile en Normandie"



fig. 10 Canapa in corda

15. IDIS. (2023). op cit.

16. Ibidem.

pio notevole è la Corderie Palus, riconosciuta per la sua abilità nel produrre corde lunghe fino a 280 metri, seguendo metodi di lavorazione che conferiscono ai prodotti finiti un aspetto satinato e una qualità di tenuta ineguagliabile dai moderni processi industriali. Tradizionalmente, le funi in canapa venivano impiegate in vari settori, dall'agricoltura alle cooperative agricole, fino all'industria marittima, dove le funi venivano trattate con catrame per aumentarne la resistenza all'acqua¹⁵. La versatilità della canapa ha portato a sviluppare nuovi mercati, incluso quello dell'imbottito e dell'artigianato, dove le corde trovano applicazione in prodotti come sedili e materassi, ma anche in creazioni decorative attraverso tecniche di macramè, che valorizzano l'estetica del materiale naturale. Il mestiere del cordaio, noto come "Ficelier" (fig. 11), richiede una profonda conoscenza delle diverse qualità del filo di canapa, dai materiali più pregiati a quelli standardizzati, per garantire che ogni metro di corda soddisfi standard di resistenza e affidabilità. Sebbene la produzione di corde di grosso calibro in Francia sia diventata rara, con le aziende costrette a rifornirsi dall'Asia, le tecniche di lavorazione, come la "cordatura" e il "committing", rimangono elementi essenziali della pratica artigianale¹⁶. A queste si aggiunge la tradizionale finitura con collagene naturale, che arricchisce l'aspetto finale delle corde, elevandole a veri e propri oggetti di design. Oltre alla sua applicazione nella produzione di corde, la canapa



fig. 11
"Ficelier", cordaio che lavora fibra di canapa con collagene naturale

si presta a numerose altre utilizzazioni industriali. La fibra di canapa, robusta e duratura, si traduce in tessuti naturali privi di sostanze chimiche, adatti a sostituire il cotone e altre fibre. Il legno ricavato dalla pianta di canapa può essere trasformato in tavole per l'edilizia, mentre la cellulosa di canapa è utilizzata nella produzione di materiali plastici biodegradabili, fornendo alternative sostenibili in vari settori. Inoltre, la canapa ha trovato applicazione anche in agricoltura, dove viene impiegata per la pacciamatura, favorendo la conservazione dell'umidità del suolo e riducendo la crescita di erbe infestanti. In estrema sintesi, la canapa si configura come una risorsa multifunzionale e sostenibile, la cui valorizzazione attraverso tecniche artigianali e industriali non solo promuove la tradizione ma apre a nuovi orizzonti nel campo della bioeconomia e dell'economia circolare, permettendo di riscoprire un materiale che ha segnato la storia della produzione tessile e industriale¹⁷.

La canapa si presenta di fatto un materiale che incarna un potenziale straordinario per il rilancio di una nuova artigianalità, sebbene il suo massimo valore attuale si esprima attraverso processi industrializzati e meccanizzati su larga scala. La varietà nel livello di artigianalità e industrializzazione della canapa emerge chiaramente quando si considera la sua storia e le sue applicazioni contemporanee. Tradizionalmente, la lavorazione della canapa è stata dominata da pratiche artigianali che riflettevano una profonda conoscenza del materiale. I cordai, ad esempio, hanno utilizzato tecniche manuali per creare corde di alta qualità, come evidenziato dalla Corderie Palus, che ha mantenuto metodi di produzione tradizionali per conferire un aspetto e una resistenza unici alle sue corde. Nondimeno, con il passare del tempo e l'avanzamento delle tecnologie, l'industria ha adottato processi meccanizzati che consentono una produzione su scala più ampia e a costi inferiori. Questa transizione ha reso la canapa un'opzione sempre più interessante per il mercato, grazie alla sua versatilità e sostenibilità¹⁸. Oggi, l'industrializzazione della canapa ha raggiunto un livello tale da permettere l'uso della fibra in una varietà di settori, dalla produzione di tessuti e materiali plastici biodegradabili fino alla creazione di bioedilizia e materiali isolanti (fig. 12).

Le aziende che si sono dedicate a questo approccio industriale hanno riscoperto che i processi meccanizzati non solo migliorano l'efficienza produttiva, ma consentono anche di soddisfare la crescente domanda di prodotti naturali e ambientalmente preferibili. Inoltre, la canapa ha dimostrato di poter competere

17. IDIS. (2023). op cit.

18. Ibidem.



fig. 12 Biocomposito a base di canapa

19. Zarafshani, H., Watjanatepin, P., Lepelaar, M., Verbruggen, J., Ouagne, P., De Luca, R., Li, Q., Scarpa, F., Placet, V., & Van Acker, K. (2023). Environmental assessment of woven hemp fibre reinforced epoxy composites and potential applications in aerospace and electric scooter industries. Results in Materials, 20, 100474.

20. IDIS. (2023). op cit.

21. Ibidem.

22. Ibidem.



fig. 13 Fibres en Musique, festival delle fibre naturali e della musica



fig. 14 Fibres en Musique, festival delle fibre naturali e della musica

efficacemente con altre fibre naturali, come il cotone, non solo in termini di resistenza e durata, ma anche per il suo impatto ambientale ridotto, dimostrato, questo, da LCA in letteratura¹⁹. Nondimeno, nonostante i vantaggi dell'industrializzazione, vi è una crescente consapevolezza dell'importanza di mantenere vive le tecniche artigianali. La riscoperta delle pratiche tradizionali offre non solo una dimensione estetica e culturale, ma rappresenta anche un'opportunità per valorizzare la qualità e la sostenibilità del prodotto finale. Questo dualismo tra artigianalità e industrializzazione potrebbe essere visto come un invito a creare sinergie tra i due approcci, combinando il know-how artigianale con l'efficienza industriale per generare prodotti unici che rispettino le comunità locali.

La coltivazione e la lavorazione della canapa per scopi tessili in Francia si trovano attualmente in una fase sperimentale, particolarmente concentrata sulla ricerca riguardante la selezione delle sementi e la meccanizzazione dei processi di raccolta e stigliatura. Questo processo è frutto di un'ampia collaborazione tra l'industria del lino e le iniziative dedicate alla canapa, con lo sviluppo di tecnologie innovative che mirano a ottimizzare l'estrazione delle fibre per l'utilizzo industriale. Tale sperimentazione si espande attraverso la trasmissione di competenze, che avviene principalmente in due modi: all'interno delle imprese agricole attraverso la tradizione familiare, oppure tramite l'apprendistato nei laboratori agricoli e artigianali. Qui, gli ex lavoratori, detentori del sapere tecnico, si incaricano della formazione delle nuove generazioni, come dimostrato dall'esperienza di Maria Fatima Pinto e Marie Lépine, che incarnano l'eredità di una tradizione tessile profondamente radicata, capace di unire artigianato e innovazione²⁰. La partecipazione di istituzioni educative, come il liceo agrario di Yvetot e la Scuola di Ingegneria di Cahors, è cruciale nello sviluppo delle tecnologie di meccanizzazione per la stigliatura della canapa, mentre altre realtà, come Hemp-Act di Pierre Amadieu, svolgono un ruolo fondamentale nel fornire supporto ai ricercatori, promuovendo l'integrazione tra ricerca e applicazione pratica²¹. Anche l'associazione Lin et Hemp Bio gioca un ruolo centrale nel promuovere la coltivazione biologica di lino e canapa, cercando di creare filiere locali che siano capaci di rispondere alle esigenze del mercato tessile moderno²². La presenza di eventi come il festival "Fibres en Musique" (figg. 13-14), e le attività dell'associazione Eco-Canapa e Fibra Vegetale, dimostrano come la cultura e il sapere tecnico intorno alla canapa siano in fase di

rigenerazione, con l'obiettivo di rinnovare un settore storico legato all'identità agricola di intere regioni. L'attività di Inter-Chanvre e della Federazione Nazionale Produttori di Canapa (FNPC) evidenzia l'importanza di un coordinamento istituzionale per sostenere le istanze del settore, garantendo rappresentanza a livello governativo e promuovendo l'inclusione della canapa nei programmi di sviluppo economico e ambientale, come il Recovery Plan e il Green Deal europeo. La sfida di conciliare tradizione e innovazione appare dunque cruciale, tanto sul piano tecnologico quanto su quello socioculturale, con l'obiettivo finale di ridare alla canapa il ruolo che storicamente ha avuto nel tessuto economico francese.

Anche il settore tessile della canapa, seppur promettente, presenta ad oggi una serie di vincoli e rischi che ne ostacolano il pieno sviluppo. In Occitania, nelle zone del Lot, dell'Aveyron e della Lozère, Pierre Amadieu, con la sua impresa Hemp Act e la rete Virgocoop, ha avviato un processo di riscoperta del know-how tradizionale con l'obiettivo di ricreare un ecosistema produttivo attorno alla canapa, a "base locale", coinvolgendo agricoltori e diversi attori della filiera (figg. 15-16). Tuttavia, questo approccio pionieristico, che prevede l'adattamento delle macchine alla canapa e non viceversa, affronta una serie di sfide strutturali. Il processo di defibrazione, simile a quello della macerazione per il lino, richiede la messa a punto di nuovi strumenti per la lavorazione della paglia di canapa, evitando la rottura delle fibre e assicurando che queste siano allineate per l'uso tessile anche e soprattutto al fine di applicazioni composite. Nonostante le innovazioni, la natura sperimentale di queste tecnologie comporta un elevato rischio di fallimento, poiché molti degli strumenti utilizzati derivano da macchinari agricoli modificati e assemblati manualmente. Inoltre, alcuni detentori di competenze, come tessitori e filatori, sono pochi e concentrati in Polonia o in strutture sperimentali di recente creazione, rendendo l'intero sistema vulnerabile alla mancanza di risorse umane o economiche²³. La ricerca necessaria per perfezionare questi processi, condotta spesso da piccole strutture, è onerosa e richiede finanziamenti adeguati che, senza il supporto dell'inter-professione nel Piano Nazionale di Ripresa del 2020, rischiano di rimanere insufficienti. Questo mette in pericolo non solo la continuità della sperimentazione, ma anche la sostenibilità economica dell'intero settore²⁴. Ulteriori fattori di rischio includono il costo finale del materiale e del prodotto, che potrebbe risultare troppo elevato per un consumatore abituato

23. IDIS. (2023). op cit.

24. Ibidem.



fig. 15 Hemp Act Project



fig. 16 Occitanie Region textile Chanvre

25. Virgocoop. (2024). op cit.

a tessili a basso costo, nonostante la maggiore durabilità della canapa rispetto ai materiali convenzionali. La concorrenza estera continua a rappresentare l'ostacolo maggiore: la canapa cinese, con i suoi costi inferiori, e comunque di qualità buona, minaccia di invadere il mercato francese, mentre iniziative parallele in Canada mirano a rilanciare il settore tessile della canapa con dinamiche più aggressive e consolidate. Il rischio è che la produzione francese, seppur di qualità superiore, e l'unica, in questa scala, attiva a livello europeo, non riesca a competere in termini di prezzo e volume, rendendo vani gli sforzi di rigenerazione di un settore storicamente significativo per l'economia rurale.

Tornando adesso agli aspetti "positivi", dunque ai punti di forza, il rilancio della coltivazione, strettamente correlato a un approccio eco-sociale che mira a valorizzare filiere agricole locali, è oggi nella "responsabilità" di Virgocoop²⁵.

Virgocoop è una cooperativa che si distingue per l'attenzione alla produzione integrata e al rispetto delle dinamiche ambientali e sociali, dimostrando che il design dei processi produttivi è fondamentale per garantire un impatto positivo sull'ambiente e sulla comunità. Virgocoop sfrutta l'interconnessione tra bioeconomia e materiali tessili tradizionali, fino all'applicazione degli stessi nell'alveo dei biocompositi, con un focus particolare sulle fibre vegetali autoctone che richiedono meno risorse e promuovono l'economia circolare a livello locale. La cooperativa opera in una logica di simbiosi industriale su piccola scala, facendo in modo che la coltivazione della canapa e la sua lavorazione possano coesistere con altre attività agricole, generando valore per il territorio e i suoi abitanti (fig. 17).

La rigenerazione economica delle aree rurali, spesso afflitte



fig. 17
Virgocoop, alcuni dei soci

dal declino agricolo, è parte integrante della mission di Virgocoop, nonché della catena del valore, che, attraverso la promozione di colture tradizionali come la canapa contribuisce a creare nuovi posti di lavoro e a formare competenze tecniche in grado di rispondere alle sfide della transizione ecologica. Come detto, la canapa è una pianta che richiede poche risorse idriche, migliora la qualità del suolo grazie alla sua capacità di fitodepurazione e sequestra notevoli quantità di CO², aiutando a contrastare il cambiamento climatico. Non a caso, la sua fibra è sempre più utilizzata nella bioedilizia per la produzione di pannelli isolanti e mattoni ecologici, rispondendo alla crescente domanda di materiali "naturali" (fig. 18). È bene sottolineare che, al contrario dell'Italia, la rinascita della canapa in Francia si inserisce in un quadro normativo favorevole, con regolamentazioni che incentivano la sua coltivazione a scopi industriali e terapeutici, purché il contenuto di THC sia inferiore allo 0,2%²⁶. Questo permette alle imprese di sfruttare pienamente il potenziale della pianta senza infrangere le normative europee. Inoltre, la legislazione ha incoraggiato le pratiche di rotazione delle colture, migliorando la sostenibilità a lungo termine della filiera agricola.

Virgocoop reifica perfettamente i principi di circolarità e bioeconomia, integrando il lavoro agricolo con un vero e proprio design sistemico che pone al centro la qualità dell'uomo, senza lasciare indietro l'ambiente e la valorizzazione delle risorse locali. In linea con quanto espresso nei paragrafi precedenti relativamente al concetto di sostenibilità eco-sociale, l'impiego della canapa non si limita a un vantaggio economico, ma diventa un vero e proprio processo di rigenerazione territoriale e, per certi versi, culturale. L'attenzione alle risorse locali, la promozione della biodiversità e l'adozione di pratiche agroecologiche dimostrano che l'approccio olistico di Virgocoop rappresenta un modello innovativo e replicabile, che potrebbe essere adottato anche in altre regioni con condizioni agricole simili.

Inoltre, la collaborazione con agricoltori locali e la partecipazione attiva delle comunità rafforzano l'impatto sociale di Virgocoop, facendo della canapa non solo una coltura preferibile dal punto di vista ambientale, ma anche uno strumento di inclusione sociale e crescita economica per le aree rurali. La scelta di lavorare su scale produttive ridotte e di favorire le sinergie tra piccole imprese agricole permette, ad esempio, di preservare la qualità dei prodotti e di ingenerare valore aggiunto a livello

26. Virgocoop. (2024). op cit.



fig. 18 Virgocoop, dettaglio impianto di stigliatura, in funzione dal 2024

27. Virgocoop. (2024). op cit.



fig. 19 Agricoltori soci, controllo qualità sulla canapa tessile coltivata

territoriale, con benefici sia per l'ambiente che per la società. La cooperativa Virgocoop si afferma come realtà profondamente radicata nel territorio dell'Occitania, con attività distribuite strategicamente nei dipartimenti di Tarn, Tarn-et-Garonne e Lot. Il cuore delle operazioni è lo stabilimento di Caylus, dedicato alla sfibratura della canapa, mentre il laboratorio tessile Tissages d'Autan, situato a Castres, rappresenta il fulcro delle attività di tessitura. Questo solido ancoraggio territoriale è espressione di una strategia di localizzazione che mira a rivitalizzare settori produttivi tradizionali, come la canapa e la lana, oggi minacciati dalla massiccia delocalizzazione verso paesi con standard ambientali e sociali più bassi. Virgocoop, strutturata come Società Cooperativa di Interesse Collettivo (SCIC), opera secondo i principi cooperativi sanciti dalla legge francese del 1947, promuovendo una partecipazione democratica e un impatto sociale positivo attraverso un modello imprenditoriale che coinvolge attivamente la comunità. La cooperativa riunisce 77 agricoltori soci, i quali coltivano canapa su circa 200 ettari di terreno, generando una produzione annua di circa 1.000 tonnellate di canapa lavorata e garantendo occupazione stabile a 12 dipendenti²⁷ (fig. 19). La forza di Virgocoop risiede nella diversificazione delle attività, organizzate in quattro principali unità di business: il settore tessile, con un'estensione alle applicazioni biocomposite; la pacciamatura e l'edilizia, attraverso prodotti agricoli derivati come il canapulo; la produzione di CBD per il benessere e la salute; infine, il supporto alle cooperative agricole per la selezione e vendita di semi. Questa struttura multifunzionale contribuisce alla creazione di un ecosistema circolare e rigenerativo che integra agricoltura, trasformazione industriale e vendita, perseguendo l'obiettivo di una filiera corta, tracciabile e radicata localmente. In questo quadro, il modello di business di Virgocoop emerge come emblema di una visione volta a ridurre la dipendenza dalle importazioni, incrementando l'autonomia produttiva della Francia. Ne è un esempio la scelta strategica di recuperare la coltivazione della canapa tessile, pianta a impatto ambientale minimo, la cui fibra richiede poca acqua e nessun uso di pesticidi. Le fibre prodotte vengono inviate allo stabilimento di Caylus per essere separate in fibre lunghe e corte, destinate poi a trasformatori locali e partner europei. Tra questi, il laboratorio tessile Tissages d'Autan, fondato in collaborazione con Atelier Tuffery ed Eric Carlier, è un esempio virtuoso di innovazione e tradizione: qui le fibre di canapa sono trasfor-

mate in tessuti ecologici di alta qualità per moda, arredamento, bioedilizia e biocompositi, anche grazie all'utilizzo di telai meccanici recuperati. Tissages d'Autan produce un'ampia gamma di tessuti naturali che include lana, lino e cotone biologico, arricchendo l'offerta con prodotti innovativi come il filato Mesclat (fig. 20), una miscela di lana e canapa occitana. Inoltre, la cooperativa offre una serie di prodotti al dettaglio, come il canapulo per l'isolamento e capi d'abbigliamento in serie limitata, evidenziando la capacità di innovare e diversificare l'offerta per rispondere alle esigenze di un mercato in evoluzione. La catena del valore di Virgocoop si distingue per la capacità di restituire significato al settore tessile locale, coinvolgendo una pluralità di attori (cittadini, agricoltori, imprese e comunità) attorno alla missione condivisa di sviluppare una filiera ecologica, etica e dinamica per i territori rurali. In un contesto in cui la delocalizzazione ha condotto alla perdita di competenze nel tessile, Virgocoop si prefigge l'obiettivo di "disegnare" filiere produttive locali che coprano l'intera catena del valore, dal campo al tessuto, al prodotto finito, iniziando con la coltivazione della canapa, una pianta ecologica e resistente, coltivata su 200 ettari in Occitania. Le fibre vengono trasformate in filati presso partner europei, con l'intento di mantenere il più possibile la produzione entro i confini nazionali, come dimostra la collaborazione con Atelier Tuffery. Al contempo, Virgocoop ha dato vita a una filiera locale della lana, recuperando e riciclando oltre 12 tonnellate di lana dal 2023, contribuendo alla creazione di un settore laniero 100% locale, affiancato a quello della canapa²⁸. La filosofia di Virgocoop si radica nei valori della cooperazione e della partecipazione collettiva, un approccio riflesso nella scelta di costituirsi come SCIC, che privilegia l'interesse collettivo al profitto e promuove trasparenza e democrazia. La cooperativa ambisce inoltre ad espandere la produzione locale di fibre ecologiche mediante investimenti in nuove tecnologie, come una sfibratrice per la produzione di fibre lunghe di alta qualità, e a promuovere pratiche agricole sostenibili, formando nuove generazioni di agricoltori. Più specificatamente, Virgocoop rappresenta un modello esemplare di come sostenibilità ambientale, innovazione tecnologica e responsabilità sociale possano confluire in un settore tessile locale, tracciabile ed etico. La cooperativa, sostenendo gli agricoltori locali e fornendo ai consumatori prodotti di qualità a impatto ambientale ridotto, si conferma come promotrice di una rete produttiva in cui prossimità geografica e

28. Virgocoop. (2024). op cit.



fig. 20 Tessuto in miscela di lana e canapa occitana

29. Virgocoop. (2024). op cit.



fig. 21 Riutilizzo dei canapuli di canapa in pellet

sociale si fondono, creando sinergie tra coltivatori, trasformatori e produttori locali. La distribuzione geografica delle coltivazioni di canapa è attentamente pianificata per garantire una prossimità logistica che riduce al minimo l'impatto ambientale legato al trasporto delle materie prime: tutte le aziende agricole che conferiscono la canapa a Virgocoop si trovano a una distanza massima di 50 km dallo stabilimento di sfibratura di Caylus. Questo approccio alla gestione della filiera corta permette non solo di abbattere le emissioni di CO² legate al trasporto, ma anche di garantire una tracciabilità completa del prodotto, dal campo al prodotto finito.

Nel 2023, Virgocoop ha compiuto un passo significativo per consolidare la filiera della canapa in Occitania, inaugurando un opificio innovativo per la lavorazione della fibra. Questo impianto è dotato di due macchine sfibratrici: una per la produzione di fibre corte e una per fibre semilunghe pettinate, recentemente acquisita²⁹. Questa infrastruttura locale offre agli agricoltori accesso a un sistema di sfibratura a chilometro zero, garantendo che la canapa sia interamente lavorata in Francia e, più precisamente, in Occitania, promuovendo il Made in Occitania. Virgocoop ha adottato un modello di economia circolare dove gli scarti della canapa, come il canapulo, trovano impiego in altri settori: nell'isolamento termico per l'edilizia e come pacciamatura per l'agricoltura. Anche gli scarti tessili generati nel processo produttivo vengono recuperati e riutilizzati, riducendo al minimo gli sprechi e ottimizzando le risorse (fig. 21).

Questo impegno per la sostenibilità della filiera è rafforzato dalla prossimità geografica degli attori della filiera, con coltivatori e produttori situati entro un raggio di 50 km. Questa vicinanza facilita la collaborazione diretta, lo scambio di competenze e una gestione agile, migliorando l'efficienza logistica e rafforzando la resilienza del sistema locale di produzione della canapa. La vicinanza geografica è affiancata, anche questa volta, da una prossimità sociale che coinvolge tutti gli attori della filiera, non solo dal punto di vista economico, ma anche umano. Virgocoop si definisce infatti come un'impresa dai connotati sociali e equosolidali, il cui obiettivo non è solo generare un utile, ma anche portare valore per e alla comunità largamente intesa. Questo si traduce, di fatto, in una governance partecipativa, in cui gli agricoltori, i dipendenti e i partner sono coinvolti attivamente nella gestione dell'impresa, contribuendo a definire le strategie e le scelte operative. Il progetto imprenditoriale di Virgocoop mira, pertanto, a servire l'interesse

collettivo, producendo, grazie al "mutualismo", un modello di impresa che mette al centro le persone e non solo il profitto.

La trasparenza e la tracciabilità dell'intera filiera sono garantite da un sistema rigoroso di certificazioni ambientali e sociali, che attestano l'impegno di Virgocoop a rispettare standard elevati in termini di sostenibilità e responsabilità sociale³⁰. Tra le certificazioni più importanti vi sono la GAP (Good Agricultural Practice), che garantisce che le pratiche agricole adottate siano conformi a standard internazionali di sostenibilità, e la GHP (Good Handling Practices), che certifica la corretta gestione dei processi di manipolazione e trasformazione delle materie prime. Inoltre, Virgocoop si impegna a garantire che i propri prodotti siano conformi agli standard GOTS (Global Organic Textile Standard), che certificano l'origine biologica delle fibre utilizzate e il rispetto di criteri ambientali e sociali lungo l'intera catena di produzione.

Queste certificazioni rappresentano non solo un elemento di garanzia per i consumatori, ma anche un modo per promuovere una maggiore consapevolezza e responsabilità all'interno della filiera produttiva. L'adozione di standard internazionali come il GOTS dimostra come Virgocoop si posizioni non solo come un attore locale, ma anche come un'azienda che opera in un contesto globale, contribuendo a promuovere pratiche sostenibili e responsabili nel settore tessile. Anche per la tracciabilità, Virgocoop rappresenta un modello di eccellenza per quanto concerne la gestione di una filiera locale, a basso impatto e integrata, capace di valorizzare le risorse naturali e umane della regione di Occitania. La scelta di mantenere tutte le fasi della produzione entro un raggio geografico limitato, unita a un forte impegno per il recupero degli scarti e la valorizzazione dei sottoprodotti, rende Virgocoop emblematica per la gestione della materia prima ad uso perlopiù tessile. Importanti sono anche alcuni aspetti di "retroinnovazione", centrali dunque nella filosofia produttiva di Virgocoop: nonostante l'impiego di macchinari moderni, le tecniche di coltivazione e cura della canapa restano fondate su una conoscenza ancestrale tramandata di generazione in generazione. Questo saper fare si arricchisce di tecnologie contemporanee, come dimostrato dai filati innovativi di Green Gen Technologies®, che includono una gamma di tessuti 100% canapa occitana o miscelati, con nuovi sviluppi in termini di trama e colorazione (fig. 22). Questo connubio tra tradizione e innovazione rende Virgocoop un esempio di come le pratiche agricole sostenibili possano evolvere per adattarsi

30. Virgocoop. (2024). op cit.



fig. 22 Prodotti Virgocoop

31. IDIS. (2023). op cit.

alle sfide del mercato globale senza perdere le radici locali. La canapa trattata da Virgocoop ha un'ampia gamma di applicazioni: dalle fibre tessili per abbigliamento e cordami, al materiale isolante per edifici, fino alla produzione di carta, cosmetici e bioplastiche.

La versatilità di questa fibra è una delle ragioni principali per cui la canapa è diventata centrale nella filiera della bioeconomia. Virgocoop, basandosi su una struttura cooperativistica, mette al centro il benessere collettivo, in un modello imprenditoriale che punta a creare valore sociale oltre che economico e ambientale. L'impegno di Virgocoop verso un modello di produzione circolare, che valorizza la canapa in tutte le sue forme e sfrutta i sottoprodotti per nuovi usi, dimostra che è possibile conciliare innovazione industriale e tradizione. Quest'ultime coesistono grazie alla canapa, che si fa "mezzo" in questo contesto, diventando non solo risorsa economica, ma un simbolo di rinascita e innovazione per l'intera regione. Questi aspetti rafforzano il tessuto sociale locale e favoriscono la creazione di modelli economici solidali e inclusivi, attenti anche al patrimonio culturale. Le cooperative come Virgocoop non si limitano alla produzione, ma svolgono un ruolo fondamentale nell'educazione delle nuove generazioni, attraverso progetti didattici e formativi, che permettono ai giovani di entrare nel settore della canapa con una prospettiva aggiornata e innovativa.

Le azioni di salvaguardia del settore canapiero in Francia si caratterizzano anche per una serie di iniziative concertate che mirano a valorizzare sia il patrimonio culturale legato alla produzione della canapa, sia le competenze tecniche necessarie per la sua trasformazione in prodotti di qualità. Eventi come il festival "Dalle fibre alla musica" a Montjean-sur-Loire, organizzato annualmente dall'AFLAM, offrono un'occasione unica per diffondere la conoscenza e la consapevolezza dell'importanza della canapa, con dimostrazioni pratiche del processo di lavorazione e un mercato eco-biologico che coinvolge 25 espositori³¹. Parallelamente, le "Giornate annuali del lino e della canapa bio" a Saint-Vaast-Dieppedalle, riuniscono gli operatori del settore con un approccio didattico volto a promuovere pratiche sostenibili. I musei dedicati alle fibre naturali, come l'Atelier-musée du tisserand et de la charentaise a Varaignes, svolgono un ruolo cruciale nel preservare il know-how tradizionale e nel creare spazi di scambio tra professionisti del settore tessile (fig. 23). Tali luoghi non solo salvaguardano le tecniche artigianali, ma favoriscono anche la formazione delle nuove

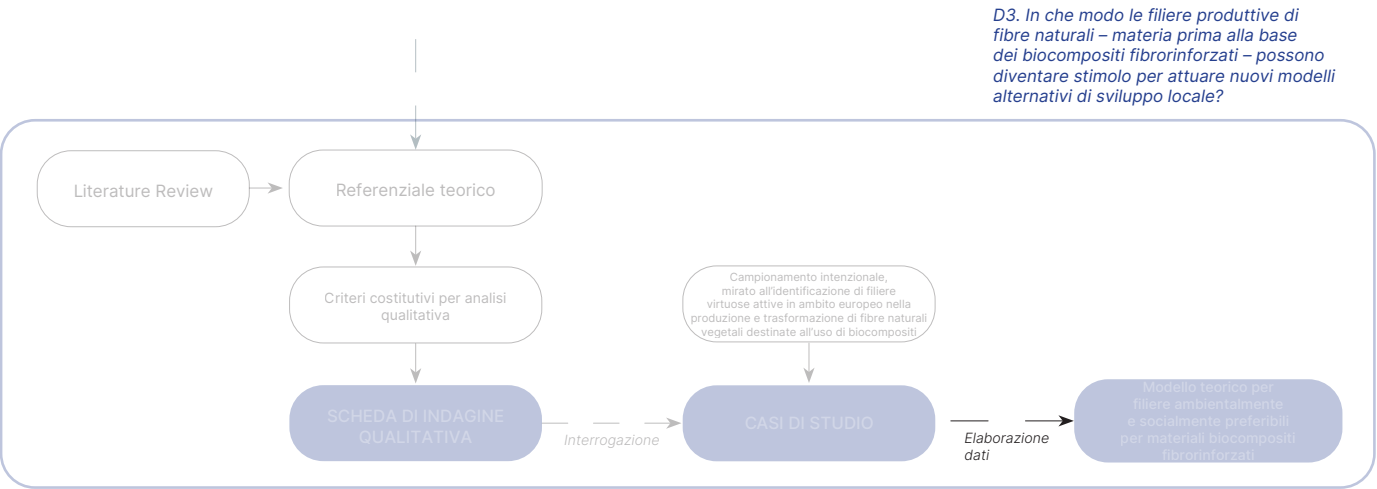


fig. 23 Atelier-musée du tisserand et de la charentaise

generazioni, offrendo laboratori professionali e dimostrazioni pratiche. A questo si affiancano mercati come il "Mercato dei tessitori di Varaignes", che da quasi quattro decenni promuove la creazione tessile e permette ai visitatori di interagire con i tessitori, i designer e gli artisti che lavorano con materiali naturali ed ecologici. L'impegno delle associazioni locali e regionali, come Hemp-Act in Occitania e Interchanvre in Francia, è essenziale per la rilocalizzazione della filiera tessile della canapa. Hemp-Act, con l'esperienza ventennale di Pierre Amadiou, sta sviluppando tecnologie innovative per la trasformazione delle fibre di canapa, con l'obiettivo di rivitalizzare il settore tessile del Grand Figeac e del Grande Sud. La linea di sfibratura HD900, progettata da Hemp-Act, rappresenta un passo fondamentale per ricostituire la filiera produttiva locale, con una capacità prevista di 25 linee di defibrazione annuali a partire dal 2023³². VirgoCoop, altro attore chiave della regione, è attivamente coinvolto nello sviluppo del tessuto denim di canapa occitana, un progetto sostenuto dalla Regione Occitania attraverso finanziamenti mirati al rafforzamento della filiera tessile locale. La Regione Occitania, con il suo Fondo partecipativo della montagna e il Piano regionale Settore tessile, fornisce un sostegno significativo per lo sviluppo delle fibre naturali come la lana e la canapa, promuovendo lo studio per il rilancio della filatura e favorendo una produzione più sostenibile e tracciabile. A livello nazionale, Interchanvre ha lanciato l'etichetta "Fibra di canapa francese"³³, che garantisce non solo l'origine del prodotto, ma anche l'assenza di sostanze chimiche, un elemento chiave per assicurare la qualità e l'ecocompatibilità della filiera. Queste azioni, combinate con la progettazione di nuovi strumenti tecnologici e l'organizzazione di eventi educativi e culturali, rappresentano una strategia integrata per preservare e promuovere il settore tessile della canapa, proteggendolo dalle minacce della concorrenza estera e assicurando il suo sviluppo futuro in un contesto di bioeconomia.

32. IDIS. (2023). op cit.

33. Ibidem.



Sintesi e schema di lettura del capitolo

6.4 Elaborazione dati: analisi comparativa dei casi studio tra limiti e punti di forza

6.4.1 Caratteristiche principali delle fibre naturali

Il sughero, il lino e la canapa, pur differenti nella loro composizione e origine, condividono caratteristiche strutturali e prestazioni distintive, rendendosi tutte fonti cruciali di materiali biodegradabili e rinnovabili, valorizzate da aziende leader come Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop. Il sughero, per esempio, noto per la sua ricchezza in suberina e lignina, si distingue dall'alto contenuto di cellulosa delle fibre di lino e canapa; ciononostante, tutte e tre le fibre risultano accomunate da doti fondamentali come la resistenza, l'isolamento termico e la capacità di biodegradarsi. Rispettando modelli produttivi improntati alla sostenibilità, queste aziende lavorano nel segno di una filiera trasparente e tracciabile, attenta alla valorizzazione del territorio e a un uso consapevole delle risorse locali, con l'obiettivo di ridurre al minimo l'impatto ambientale. Nelle loro rispettive aree geografiche di produzione, sughero, lino e canapa richiedono condizioni ambientali specifiche per svilupparsi in modo ottimale. Il sughero, ad esempio, prospera nei climi mediterranei delle regioni portoghesi, dove Corticeira Amorim, principale attore del settore, adotta un ciclo di decortica che preserva la salute degli alberi e assicura la sostenibilità della risorsa. Il lino, invece, preferisce i climi freschi e umidi delle zone francesi, come la Normandia, dove Terre de Lin promuove pratiche agronomiche sostenibili, come la rotazione delle colture per il mantenimento della fertilità del suolo. La canapa, coltivata da Virgocoop in Occitania, si adatta a un'ampia gamma di terreni e climi temperati, richiedendo minime risorse idriche e chimiche e favorendo un'agricoltura che incrementa la biodiversità. Nonostante le diversità intrinseche degli ambienti ideali di coltura, ciò che accomuna i tre materiali è l'aderenza ai propri habitat, da tutelare per garantirne la continua produzione. Ne sono consapevoli gli attori che operano sul territorio per la filiera di trasformazione da materia, a materiale, a prodotto, i quali, rispettando le condizioni locali, sostengono pratiche agricole che migliorano la biodiversità e promuovono una gestione sostenibile del territorio. Quindi, come già affermato, queste fibre naturali sono strettamente connesse ai territori d'origine e alle rispettive tradizioni agricole, che ne hanno influenzato la diffusione e, più avanti la riscoperta. La valorizzazione del prodotto si è unito alla volontà di adottare un modello di sviluppo sostenibile basato su risorse locali. È infatti caratteristica comune l'aspirazione di

riportare in auge quanto già offerto dalla cultura locale e dalle risorse territoriali, dando al connubio un nuovo smalto su scala anche globale, incentivando ampia diffusione nel rispetto della tracciabilità e divulgandone la validità in tema di sostenibilità e mercato.

La lunga vita utile di sughero, lino e canapa è un altro tratto distintivo che accomuna i casi considerati e ne incrementa il valore ecologico ed economico. Corticeira Amorim, lavorando il sughero, ne esalta la resilienza e la resistenza all'acqua, che rendono questo materiale adatto a usi durevoli, mentre Terre de Lin, nella lavorazione del lino, preserva la robustezza e la resistenza all'usura della fibra, rendendola ideale per tessuti e manufatti di lunga durata. Virgocoop, d'altra parte, valorizza la canapa come fibra particolarmente resistente e sostenibile per impieghi di lungo periodo. Appare quindi evidente come la resistenza e resilienza delle fibre sia la chiave per una produzione già destinata ad essere fiorente, ma che le tre aziende citate tendono a migliorare impegnandosi in processi di lavorazione che prolungano la vita dei materiali stessi, contribuendo così a ridurre il bisogno di sostituzione e a sostenere un'economia circolare.

A livello storico, ciascuno di questi materiali è legato a tradizioni locali antiche. Le tre storie vedono il sughero come materiale indispensabile, utilizzato fin dall'antichità per le sue proprietà isolanti, promosso su scala globale da Corticeira Amorim, che ha contribuito a preservare e modernizzare questa tradizione portoghese; il lino, storicamente diffuso in Francia per tessuti pregiati, è coltivato e trasformato da Terre de Lin per mantenere viva la tradizione nelle regioni della Normandia; per ultima, la canapa, una delle prime piante utilizzate dall'uomo per fibre e medicinali, è stata rivalutata e, grazie a Virgocoop, ne viene promosso un utilizzo innovativo e sostenibile in Occitania. È qui che le realtà produttive virtuose valorizzano non solo l'applicabilità industriale del materiale, ma anche il suo valore storico, preservare saperi locali e a promuovere modelli di produzione ambientalmente e socialmente preferibili.

Assieme alla capacità di restare fedeli ai saperi locali, Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop modernizzano l'applicabilità dei materiali oggetto del loro business per un'applicazione allo stesso tempo ecologica e innovativa. Ciò che possiamo definire un'innovazione tradizionale vanta la capacità di fornire antiche soluzioni a nuove necessità, come l'impiego del sughero per sfruttarne le sue qualità isolanti, o del lino per tessuti,

non solo indumenti, di pregio e resistenza, e la canapa il cui ruolo ha superato, ma non dimenticato, gli impieghi tradizionali in fibre multiuso e scopi medicinali, inserendosi in ambiti come quello dell'edilizia e del tessile. Se, a tale visione, si aggiungono le capacità di resistenza e multifunzionalità tra bioedilizia, tessuti sostenibili e biocompositi, si può facilmente comprendere il motivo per cui le filiere virtuose sono attualmente accomunate dall'impegno di ottimizzare l'uso delle materie prime e a contribuire a un'economia che riduce gli sprechi. Infatti, tali materie prime che derivano da sughero, lino e canapa vengono apprezzate per la loro versatilità e biodegradabilità, e offrono un'alternativa a basso impatto ambientale per molteplici settori.

Sul piano dell'artigianalità e dell'industrializzazione, le aziende combinano innovazione e tradizione per valorizzare la qualità dei materiali mantenendo alta l'attenzione alla preferibilità ambientale. Corticeira Amorim adotta un approccio misto, con metodi tradizionali di raccolta e processi avanzati di trasformazione industriale del sughero. Terre de Lin preserva l'artigianalità agricola del lino, mantenendo un legame con le comunità rurali, e applica metodi industriali nei processi tessili. Virgocoop miscela artigianalità locale nella lavorazione della canapa con tecnologie moderne, adatte a rispondere alle esigenze di produzione industriale. Ciascuna delle aziende mantiene così un equilibrio tra innovazione e tecniche tradizionali, contribuendo alla valorizzazione delle proprietà naturali delle fibre e a un controllo rigoroso della qualità.

Infine, i processi di lavorazione di sughero, lino e canapa, pur differenti, sono strutturati in fasi mirate alla qualità e sostenibilità del prodotto finale. Corticeira Amorim estrae il sughero manualmente in cicli stagionali, seguiti da stagionatura, bollitura e lavorazione avanzata per realizzare prodotti di isolamento e design. Terre de Lin cura il ciclo del lino, dalla coltivazione alla raccolta, utilizzando macchinari sostenibili per la trasformazione in tessuti e biocompositi, mentre Virgocoop gestisce la canapa dalla fase di crescita a quella di lavorazione, con processi di macerazione e separazione delle fibre per produrre materiali adatti a usi tessili e edilizi. Le metodologie implementate da queste aziende sono concepite per preservare le qualità dei materiali e garantire efficienza, contribuendo a creare modelli produttivi con minore impatto ambientale.

Allargando il focus dagli elementi comuni di materiali, filiere e imprese, nella presente analisi comparativa tra Corticeira

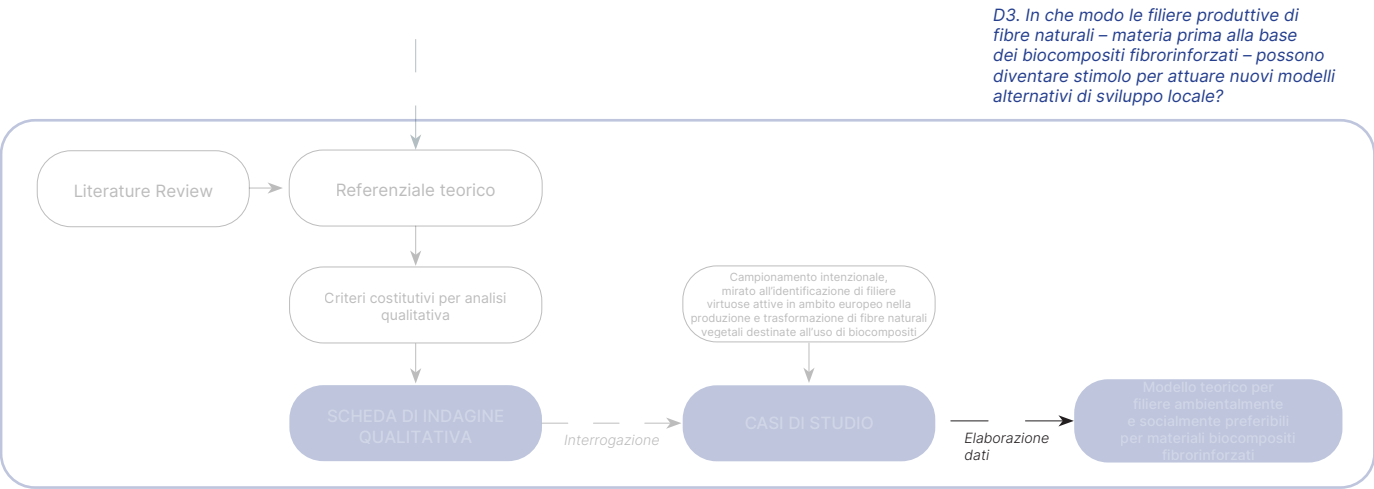
Amorim, Terre de Lin e Virgocoop emergono elementi comuni che rappresentano l'ossatura essenziale del loro approccio sostenibile e di qualità nel valorizzare le fibre naturali. Coadiuvando le caratteristiche specifiche delle materie con cui operano, le realtà analizzate dimostrano un impegno costante nell'utilizzo esclusivo di tecniche agricole rispettose dell'ambiente, adottando coltivazioni prive di pesticidi e fertilizzanti chimici, una scelta che tutela sia la salute del suolo che quella degli ecosistemi circostanti. Inoltre, la versatilità delle colture di sughero, lino e canapa si riflette in molteplici usi finali, capaci di rispondere a una varietà di settori come l'edilizia, la moda, la bioedilizia e l'automotive, potenziando così la loro sostenibilità economica.

Le pratiche adottate da queste aziende contribuiscono anche alla conservazione della biodiversità, promuovendo un'agricoltura rigenerativa che sostiene la varietà naturale e le specie locali. Questo legame con il territorio è ulteriormente valorizzato dalla storicità radicata di ogni coltura, che integra metodi di produzione tradizionali con innovazioni moderne per mantenere la qualità e la durabilità delle fibre. Infine, il riconoscimento internazionale dei prodotti derivati da queste fibre ne attesta l'eccellenza e la competitività sui mercati globali, evidenziando l'importanza di materie prime naturali che, grazie a processi circolari e sostenibili, rispondono efficacemente alle sfide ambientali e sociali del nostro tempo.

Riducendo l'analisi alle caratteristiche comuni delle materie prime, le specificità delle filiere virtuose trattate, relativamente alla materia prima, possono essere riassunte nei punti indicati nella pagina successiva (tab. 01).

INFORMAZIONI DI CARATTERE GENERALE SULLA FIBRA NATURALE OGGETTO D'INDAGINE	CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLE FIBRE NATURALI
Tipologia e composizione	Utilizzo esclusivo di tecniche agricole senza pesticidi e fertilizzanti
Condizioni di sopravvivenza	
Diffusione	Capacità di conservazione della biodiversità
Vita utile	
Caratteristiche principali	Molteplici usi finali della coltura
Cenni storici	
Fasi e processi generali di lavorazione	Storicità radicata della coltura
Materia prima derivata	
Varietà nel livello di artigianalità e industrializzazione	Riconoscimento (inter)nazionale del prodotto

tab. 01
Elementi comuni per quanto concerne le caratteristiche principali delle fibre naturali dei casi studio analizzati



Sintesi e schema di lettura del capitolo

6.4.2 Catena del valore e innovazione

Le localizzazioni geografiche principali delle coltivazioni di sughero, lino e canapa riflettono una connessione radicata con le tradizioni agricole e le pratiche sostenibili delle rispettive aziende. Operando in sinergia con i territori locali, queste aziende si impegnano a preservare e valorizzare le risorse naturali disponibili, contribuendo così a potenziare economie circolari regionali. Attraverso una simbiosi con il territorio, le imprese mirano a supportare lo sviluppo locale e a consolidare legami con le comunità agricole che condividono con esse la stessa visione di sostenibilità.

Quanto alla struttura e alle dimensioni, Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop presentano approcci distinti, pur con una comune attenzione alla sostenibilità. Corticeira Amorim è un'impresa multinazionale di grandi dimensioni, leader nella lavorazione del sughero, con un'organizzazione industriale complessa che opera su scala globale. In Normandia, Terre de Lin è una cooperativa agricola di rilievo nazionale che coinvolge direttamente agricoltori e produttori locali nella filiera del lino. Al contrario, Virgocoop, una cooperativa di dimensioni più contenute, si concentra sulla coltivazione e trasformazione della canapa per settori come la bioedilizia e il tessile, mantenendo un modello collaborativo in Occitania. Ciascuna realtà, pur operando su scale differenti, adotta un modello di attività che sostiene sia l'uso consapevole delle risorse sia il coinvolgimento delle comunità locali.

L'organizzazione in business unit rappresenta una leva strategica per tutte e tre le aziende, le quali sfruttano al massimo le potenzialità dei materiali naturali. Corticeira Amorim si distingue per una struttura articolata che comprende la produzione di tappi per vino, oltre a soluzioni innovative per design, architettura e isolamento, sfruttando in modo versatile il sughero in molteplici settori. Terre de Lin, con una struttura incentrata su fibre tessili, filati, biocompositi e semi di lino, risponde alle esigenze di diversi settori, dalla moda all'industria e alla bioplastica. Virgocoop, più focalizzata, opera nelle aree tessile, bioedilizia e agroalimentare, promuovendo soluzioni sostenibili per valorizzare la canapa. Nonostante le differenze di materiale e scala, tutte e tre le aziende condividono l'obiettivo di diversificare i mercati serviti, promuovendo un impatto positivo attraverso l'utilizzo delle risorse naturali. Modelli di business specifici, improntati all'innovazione, caratterizzano le attività di

Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop. Corticeira Amorim adotta un approccio di economia circolare, massimizzando l'efficienza nell'uso del sughero, inclusi gli scarti, che vengono riutilizzati per produrre energia e nuovi prodotti. Terre de Lin, invece, basa il suo modello su una cooperativa che coinvolge attivamente i coltivatori locali e sostiene tracciabilità e sostenibilità della filiera del lino. Virgocoop segue un modello di simbiosi industriale a scala ridotta, integrando agricoltura e produzione di canapa a livello locale per sviluppare prodotti ecologici per bioedilizia e tessuti. In comune, queste aziende puntano alla valorizzazione delle risorse locali, riducendo l'impatto ambientale e promuovendo la resilienza economica delle comunità in cui operano.

Infine, la catena del valore si sviluppa in modo da ottimizzare la sostenibilità in ogni fase. Queste aziende, mediante un ciclo integrato che connette coltivazione e lavorazione, mirano a una catena del valore sostenibile, che potenzi sia la comunità locale sia l'efficienza produttiva. Corticeira Amorim gestisce l'intera catena del sughero, dalla raccolta sostenibile nelle foreste di querce alla trasformazione finale, con l'impiego degli scarti per produrre bioenergia. Terre de Lin integra la sua filiera coinvolgendo agricoltori locali e impianti di trasformazione, concentrandosi sulla tracciabilità e qualità delle fibre. Virgocoop sviluppa una catena del valore completa per la canapa, dalla coltivazione in Occitania alla produzione di materiali ecologici per edilizia e tessuti, unendo agricoltura e trasformazione locale.

Dall'analisi orizzontale dei casi studio emergono alcuni elementi chiave che delineano un modello di gestione e sviluppo sostenibile comune a Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop. Nonostante le differenze in termini di materiali e dimensioni aziendali, queste realtà condividono principi strutturali che contribuiscono a rendere le loro attività autenticamente sostenibili e radicate nel contesto locale.

Cooperazione e mutualità tra le parti coinvolte costituiscono il primo pilastro di questo modello. In ciascun caso, la collaborazione non è solo funzionale alla produzione, ma è parte integrante della strategia aziendale. Corticeira Amorim, ad esempio, lavora a stretto contatto con le comunità forestali per una gestione sostenibile delle foreste di querce da sughero, garantendo il mantenimento di risorse naturali e occupazione locale. Approccio analogo è quello di Terre de Lin, la quale, operando come cooperativa, coinvolge direttamente agricol-

tori e trasformatori locali, assicurando una condivisione del valore economico generato e una filiera trasparente e tracciabile. Virgocoop, dal canto suo, incentiva una sinergia tra agricoltori, produttori e comunità per promuovere una produzione locale di canapa che beneficia non solo delle economie interne, ma anche del rafforzamento dei legami sociali e della partecipazione comunitaria. Questa forte mutualità crea relazioni di fiducia e sostegno reciproco, fondamentali per il successo di ciascun modello aziendale, mentre rafforza il legame con i territori.

Un altro aspetto che accomuna queste aziende è il forte network tra piccole e medie imprese. Più che operare come entità isolate, Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop si inseriscono in reti più ampie di collaborazione industriale e territoriale, che consentono loro di espandere la portata delle loro attività, promuovendo una crescita economica sostenibile. Corticeira Amorim ha costruito un vasto network che le permette di offrire soluzioni innovative in vari settori, dalla produzione di tappi alla bioedilizia e al design. Terre de Lin integra una rete di agricoltori e trasformatori che alimenta la filiera del lino, mantenendo un dialogo costante con settori come la moda, l'industria e la bioplastica. Virgocoop, attraverso una rete di piccole realtà imprenditoriali, riesce a creare un circuito integrato per la canapa, supportando settori come la bioedilizia e il tessile in un'ottica locale. Queste reti si rivelano efficaci non solo nel valorizzare i materiali naturali, ma anche nel sostenere un'economia di scala circolare che mantiene alti standard di sostenibilità.

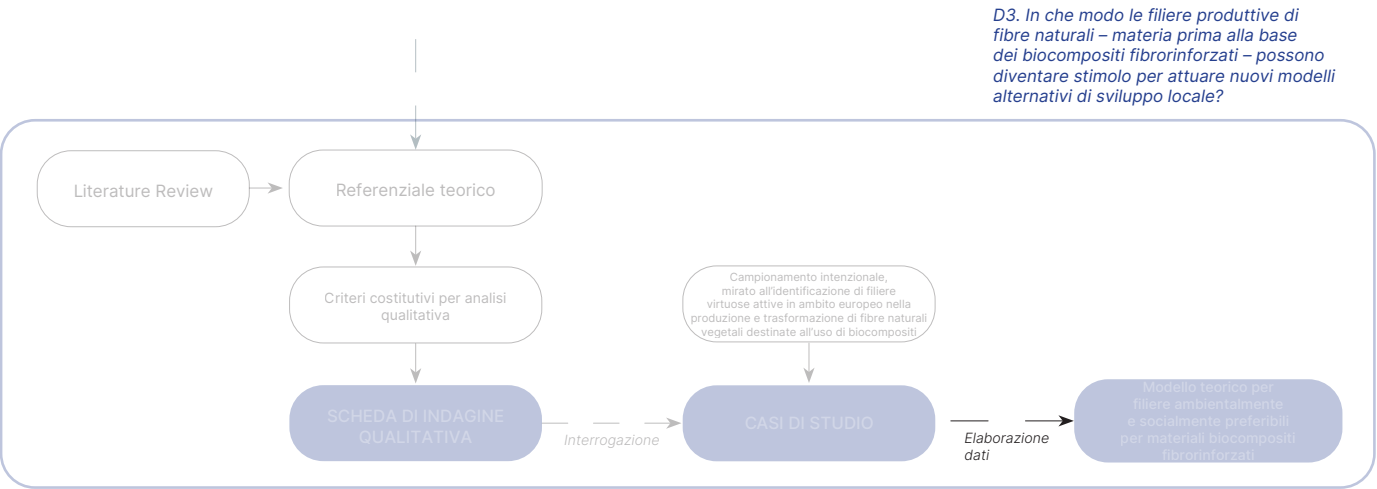
Infine, la originalità della catena del valore rappresenta un tratto distintivo condiviso da queste aziende. L'originalità si manifesta nella capacità di adattare il ciclo produttivo alle specificità del territorio e del materiale, garantendo un utilizzo ottimale delle risorse naturali e promuovendo al contempo innovazione e versatilità. Il sughero, il lino e la canapa delle realtà considerate sono immessi in una catena del valore che garantisce una tracciabilità completa, includendo lo sviluppo di biocompositi e fibre adatte a vari settori, anche integrando i residui come fonte di bioenergia e nuovi prodotti. Le varie fasi si racchiudono in un modello di simbiosi industriale in cui ogni fase della catena è pensata per rispondere alle esigenze locali e alle potenzialità del materiale, creando un circuito autosufficiente che riduce sprechi e costi ambientali. Questi elementi - cooperazione e mutualità, una rete di piccole e medie imprese, e una

catena del valore unica e flessibile - tracciano una base solida per una nuova economia rurale che privilegia la sostenibilità, il coinvolgimento comunitario e l'innovazione. Questo approccio rappresenta una strada percorribile e replicabile, in grado di promuovere non solo un utilizzo efficiente delle risorse naturali, ma anche un impatto positivo e duraturo sulle economie locali e sulla resilienza ambientale.

In conclusione, allora, gli elementi comuni alla base delle realtà produttive virtuose individuate, per quanto concerne business unit, innovazione e catena del valore, sono riconducibili a una forte cooperazione locale, reti di PMI integrate e una catena del valore adattata al territorio e ai materiali. Una sintesi schematica è riportata nella pagina successiva (tab. 02).



tab. 02
Elementi comuni per quanto concerne la catena del valore e l'innovazione nei casi studio analizzati



Sintesi e schema di lettura del capitolo

6.4.3 Dinamiche della filiera produttiva

Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop basano la loro attività sull’approvvigionamento di materie prime strettamente legate ai territori di origine, sostenendo le rispettive economie locali e le caratteristiche ecologiche dei loro paesaggi. La scelta di impiegare materiali autoctoni non solo rispetta ma contribuisce a preservare l’ecosistema locale, con i suoi ritmi di rigenerazione naturale, particolarmente evidente nelle piante secolari del sughero proveniente dalle foreste di querce in Portogallo. La qualità è un ulteriore elemento che motiva la scelta territoriale, tant’è che Terre de Lin sfrutta il lino coltivato principalmente in Normandia e Alta Francia, una zona rinomata per la qualità delle sue fibre e le tecniche agricole tradizionali che riducono l’impatto ambientale. L’approccio di Virgocoop in Occitania, d’altro canto introduce la necessità di far affidamento su materiali coltivati localmente per facilitare un controllo più diretto della filiera e favorisce la sostenibilità delle sue operazioni.

L’attenzione di queste aziende si estende anche al recupero e riutilizzo dei sottoprodotti generati nelle varie fasi della filiera, adottando non unicamente pratiche che riducono al minimo gli scarti ne prevedono usi alternativi, ma vengono anche effettuate scelte, le quali valorizzano ogni componente del materiale. Utilizzare e riciclare ogni parte di quanto viene lavorato è l’approccio comune e condiviso: trasformare i residui di lavorazione in energia o in prodotti secondari come granulati per pavimenti è quanto adottato da Corticeira Amorim, non distante dal recupero dei residui della lavorazione della canapa per produrre materiali isolanti, ed altrettanto simile all’utilizzo sia delle fibre lunghe che quelle corte del lino, con il fine di adattare qualsiasi parte della pianta a diverse applicazioni e recuperare i semi per la produzione di olio, rendendo il processo più efficiente. Le strategie di recycling e upcycling incrementano così l’efficienza della filiera, riducendo ulteriormente l’impatto ambientale complessivo.

Queste tre aziende sono accomunate anche dalla vicinanza geografica tra coltivatori, trasformatori e produttori, un aspetto che consente un controllo diretto delle diverse fasi di lavorazione e riduce la necessità di trasporto, migliorando la sostenibilità logistica. Rimane fondamentale, agli occhi delle realtà virtuose, intrattenere strette collaborazioni con proprietari, nel caso del sughero, coltivatori e trasformatori, anche nel caso di

lino e canapa, locali. In tale modo si garantiscono processi integrati e sostenibili che rispettano i tempi della natura. La concentrazione delle filiere in aree geografiche e territori culturali favorisce la filiera corta, lavorando in prossimità delle coltivazioni e abbattendo ulteriormente la necessità di trasporti lunghi e inquinanti.

In parallelo alla vicinanza geografica, queste aziende promuovono anche una prossimità sociale tra i diversi attori della filiera, creando legami forti e duraturi che favoriscono l'integrazione e il sostegno reciproco. Ritorna l'idea di rapporto con i coltivatori e le loro famiglie, sostenendo il patrimonio sociale e culturale delle comunità locali, specialmente quelle legate alla raccolta del sughero. Non di meno le colture di lino di Terre de Lin, attraverso la sua struttura cooperativa, incentivano una gestione condivisa della filiera che promuove la partecipazione e l'impegno collettivo della comunità di coltivatori, innalzando l'occupazione locale e la valorizzazione del lavoro agricolo, come anche accade nella filiera della canapa e in Virgocoop, fortemente radicata nel contesto rurale, incoraggiando uno sviluppo economico sostenibile. Questi modelli operativi, infatti, come visto e come riprenderemo più avanti all'interno di queste letture "orizzontali", non solo rispondono a logiche di mercato, ma integrano valori sociali e ambientali che rendono la produzione una pratica profondamente legata al territorio.

La sostenibilità delle risorse e il rispetto per i ritmi della natura diventano priorità condivise, mentre il legame tra produttori e comunità si arricchisce attraverso progetti di formazione, condivisione di conoscenze e innovazione collettiva. Tale approccio consente di valorizzare competenze tradizionali, preservando al contempo il sapere artigianale che caratterizza la filiera del sughero, del lino e della canapa. In un contesto di economia circolare, queste realtà promuovono un modello in cui ogni fase della produzione è pensata per ottimizzare le risorse locali, riducendo al minimo gli sprechi e valorizzando ogni scarto in ottica di rigenerazione. Così facendo, non solo contribuiscono al benessere economico delle comunità, ma sostengono un percorso di crescita inclusiva e resiliente, in cui il rapporto tra territorio, risorse e persone diventa il fulcro di uno sviluppo certamente partecipato.

Infine, la trasparenza e la tracciabilità lungo l'intera catena di approvvigionamento sono principi fondamentali per tutte e tre le aziende, che adottano sistemi rigorosi per fornire ai consu-

matori garanzie sulla provenienza e sul trattamento delle materie prime. Corticeira Amorim ha implementato un sistema di tracciabilità che permette di certificare l'origine del sughero impiegato nei suoi prodotti, un aspetto che rinforza l'impegno verso una filiera responsabile. Terre de Lin adotta criteri di tracciabilità rigorosi per le sue fibre di lino, spesso accompagnate da certificazioni di sostenibilità, offrendo un'informazione completa e sicura al consumatore finale. Virgocoop, infine, traccia ogni fase della filiera della canapa, assicurando un controllo totale sulla qualità e sull'origine dei suoi prodotti ecologici e promuovendo una cultura della trasparenza e della fiducia tra produttore e consumatore.

La coincidenza geografica tra materia prima, materiale e prodotto finale rappresenta un paradigma produttivo che risponde a esigenze ecologiche, culturali e di qualità. Le aziende che operano in stretta vicinanza ai territori d'origine delle loro risorse, come Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop, non solo minimizzano l'impatto ambientale, ma valorizzano le caratteristiche uniche del materiale stesso. La vicinanza geografica consente di mantenere il controllo diretto su qualità e lavorazione, sfruttando al meglio le proprietà naturali di risorse come il sughero, il lino e la canapa. Tale radicamento nei territori d'origine permette inoltre di rispettare le condizioni ecologiche locali e di preservare specificità ambientali e culturali, garantendo che le pratiche agricole e industriali si integrino armoniosamente con il paesaggio.

In questo modello, l'efficienza logistica e la sostenibilità ambientale si fondono grazie a un sistema di produzione che riduce drasticamente la necessità di trasporti a lunga distanza, limitando l'emissione di CO₂ e altre forme di inquinamento. Ciò non solo rafforza le caratteristiche qualitative delle materie prime — come l'elasticità unica del sughero portoghese o la finezza delle fibre di lino della Normandia — ma favorisce anche un ciclo produttivo che sostiene la biodiversità e i tempi naturali di rigenerazione.

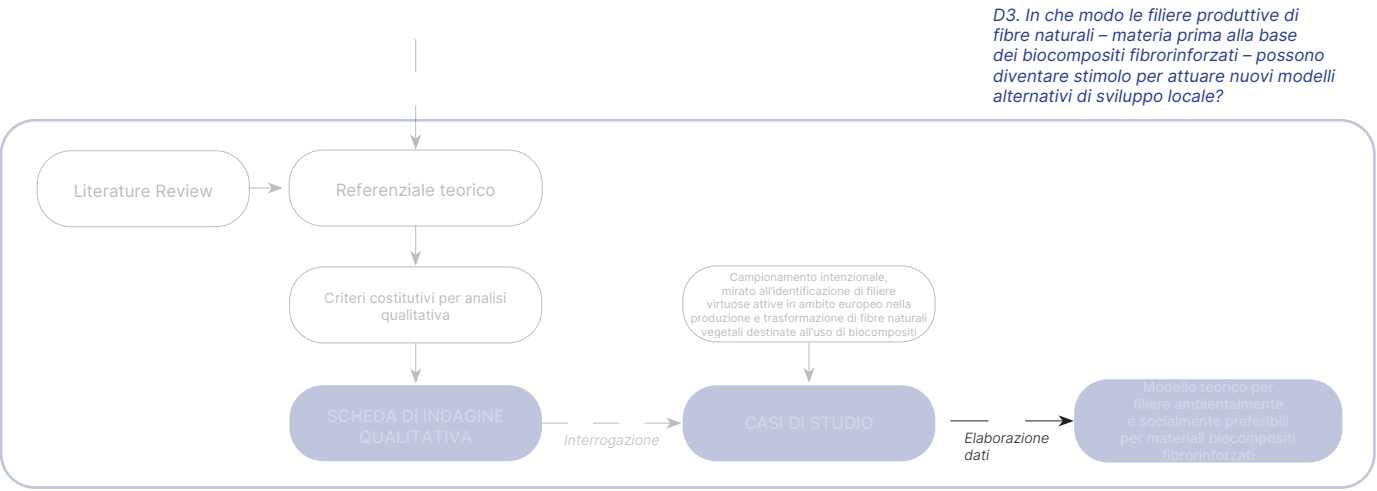
Sul piano socio-economico, questa struttura di filiera corta crea sinergie tra le comunità locali e le imprese, rafforzando reti di collaborazione che contribuiscono alla stabilità e alla crescita delle economie rurali. La vicinanza geografica facilita inoltre una tracciabilità rigorosa e trasparente, fornendo al consumatore garanzie sull'origine e il trattamento del materiale, e promuovendo così un modello economico basato sulla fiducia e sulla sostenibilità a lungo termine. In altre parole, la

coincidenza geografica tra la fonte della materia prima, la trasformazione e la produzione dell'oggetto finale riduce drasticamente l'impatto ambientale legato al trasporto, abbattendo le emissioni e i costi energetici. Inoltre, facilita la collaborazione diretta tra produttori, trasformatori e artigiani locali, rafforzando le economie territoriali e il valore sociale della filiera. Questo approccio promuove una filiera corta, sostenendo un ciclo produttivo radicato nelle specificità del territorio e più attento alla sostenibilità integrata.

In conclusione, le dinamiche di una filiera produttiva sostenibile si definiscono come virtuose quando consentono un'efficace integrazione di elementi fondamentali quali il riutilizzo di cascami e scarti lungo tutte le fasi produttive, la tracciabilità completa dei processi e dei materiali attraverso l'intera filiera, nonché la coincidenza geografica tra fonte della materia prima, trasformazione dei materiali e realizzazione dell'oggetto finale (tab. 03).



tab. 03
Elementi comuni per quanto concerne le dinamiche della filiera produttiva nei casi studio analizzati



Sintesi e schema di lettura del capitolo

6.4.4 Materiali naturali locali al centro del progetto

Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop dimostrano, in aggiunta a quanto già emerso, un approccio innovativo nella ideazione di prodotti e nella gestione dei processi per rispondere alle esigenze di sostenibilità e alle tendenze di mercato.

Gli impieghi dei materiali da parte delle aziende non si limitano alla soddisfazione di esigenze tecniche o produttive, ma suggeriscono un'innovazione di filiera e di prodotto capace di connettere bisogni industriali e commerciali con istanze sociali e territoriali. Questo approccio integrato rappresenta un elemento cardine nella progettazione contemporanea, dove il materiale non è più considerato solo un mezzo per raggiungere un fine, ma il centro di un sistema di relazioni che abbraccia tecnologia, cultura, e sostenibilità.

Le scelte effettuate dalle aziende, infatti, evidenziano un'attenzione particolare verso la materia prima, studiata e selezionata non solo per le sue caratteristiche fisiche e chimiche, ma anche per la sua adattabilità a contesti specifici, la sua origine sostenibile e il suo potenziale di riciclo o riuso. Nel progetto tenere al centro il materiale significa adottare una visione olistica, che considera l'intero ciclo di vita del prodotto, dalla coltivazione o estrazione delle risorse fino alla fine del loro utilizzo. È una scelta strategica che favorisce l'innovazione, non solo tecnica ma anche culturale, stimolando nuovi modelli di produzione e consumo più responsabili. Tale approccio permette di valorizzare la qualità intrinseca del materiale, rispettandone l'identità e sfruttandone appieno le potenzialità per applicazioni specifiche e mirate. In questo senso, il design diventa il ponte tra le qualità materiali e i bisogni umani, contribuendo non solo a generare valore economico, ma anche a ingenerare benefici ambientali e sociali, rafforzando il legame con i territori e promuovendo modelli di sviluppo locale preferibili.

Nei casi in analizzati, vengono quindi massimizzate le procedure per mantenere la più alta qualità dei materiali lavorati: il sughero subisce una trasformazione ad alta tecnologia affinché la sua applicabilità, anche in prodotti come pannelli in sughero, distingua Corticeira Amorim per l'offerta di materiali dalle elevate capacità di isolamento termico e acustico, utilizzati sia nell'edilizia sia nel design d'interni, ottimizzando la resa del sughero, mantenendo al contempo l'integrità delle sue proprietà naturali. Terre de Lin ha analogamente svilup-

pato biocompositi in lino destinati a settori quali l'automotive e l'arredamento, massimizzando l'uso della pianta e adottando processi sostenibili che riducono l'impatto ambientale, e quindi ha dimostrato come la lavorazione standardizzata possa mantenere la qualità del materiale e allo stesso tempo soddisfare requisiti specifici di leggerezza e resistenza richiesti dall'industria. Non è da meno Virgocoop, la quale si è concentrata sulla canapa, impiegandola in materiali per bioedilizia e tessuti sostenibili grazie a processi produttivi che minimizzano l'uso di risorse non rinnovabili.

Accanto all'innovazione, ciascuna azienda ha integrato retroinnovazioni che reinterpretano tecniche tradizionali adattandole al contesto attuale, preservando il valore del materiale e della comunità territoriale. Corticeira Amorim ha riscoperto l'antica pratica della decortica manuale del sughero, una lavorazione artigianale che preserva il ciclo naturale della quercia e valorizza una tecnica sostenibile nel rispetto della materia prima e dei territori, approccio condiviso da Terre de Lin, che ha riportato in auge le tecniche di lavorazione del lino tradizionalmente praticate in Normandia, applicandole a processi moderni che conservano l'integrità del materiale naturale. Virgocoop ha poi rivalutato la coltivazione della canapa, un tempo ampiamente utilizzata per tessuti e cordami, come fibra altamente sostenibile, capace di assorbire CO₂ e di contribuire alla rigenerazione del suolo. È quindi il connubio tra attenzione al materiale e valorizzazione della tradizione a coniugare le filiere virtuose osservate, generando valore su diverse scale.

Le tipologie merceologiche di queste aziende coprono una gamma diversificata di settori, rispondendo alle richieste di un mercato sempre più attento all'ambiente. Tra pannelli e rivestimenti in sughero per l'edilizia, articoli di design e componenti tecnici destinati alle industrie automobilistica e aerospaziale, oppure prodotti in lino per l'abbigliamento, tessuti tecnici e biocompositi per automotive e arredamento, e ancora derivati della canapa per la bioedilizia, tessuti sostenibili e biocompositi, viene soddisfatta, dalle tre filiere considerate, la crescente domanda di materiali ecologici nell'edilizia e nel design. Sebbene operino con materie prime diverse, tutte e tre le aziende condividono l'obiettivo di proporre prodotti di alta qualità a basso impatto ambientale, contribuendo all'avanzamento di un'economia sostenibile e circolare.

Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop infatti incarnano tre realtà innovative nella gestione della produzione sostenibi-

le, adattando le loro strategie per rispondere alle richieste di un mercato sempre più attento all'ambiente, pur mantenendo alta la qualità dei prodotti. La standardizzazione dei processi produttivi permette a queste aziende di preservare la qualità della materia prima, eppure riducendo gli sprechi e mantenendo un ciclo produttivo "a bassa intensità".

Virgocoop, focalizzandosi sulla canapa, si distingue per l'impiego di questa fibra nei settori della bioedilizia e dei tessuti sostenibili, dove la lavorazione standardizzata permette di produrre materiali con un impatto ambientale minimo. La capacità della canapa di assorbire CO₂ e rigenerare il suolo rende questa materia prima particolarmente adatta a una lavorazione rispettosa dell'ambiente, mantenendo la sua qualità intrinseca anche in un ciclo produttivo ottimizzato.

Queste aziende, inoltre, hanno trovato opportunità significative nei mercati locali e di prossimità, riducendo la necessità di trasporto e valorizzando l'economia regionale, scegliendo di collaborare strettamente con proprietari e lavoratori delle foreste portoghesi, di inserirsi in un circuito cooperativo che coinvolge coltivatori e produttori di lino, di rivitalizzare l'agricoltura della canapa, un settore che risponde perfettamente alle esigenze di un mercato locale in espansione e che trova nuove applicazioni nei settori edilizio e tessile. Ciò è capace di garantire una filiera corta che riduce l'impronta carbonica e sostiene l'occupazione locale, rafforzando l'economia della regione e sostenendo le pratiche agricole tradizionali.

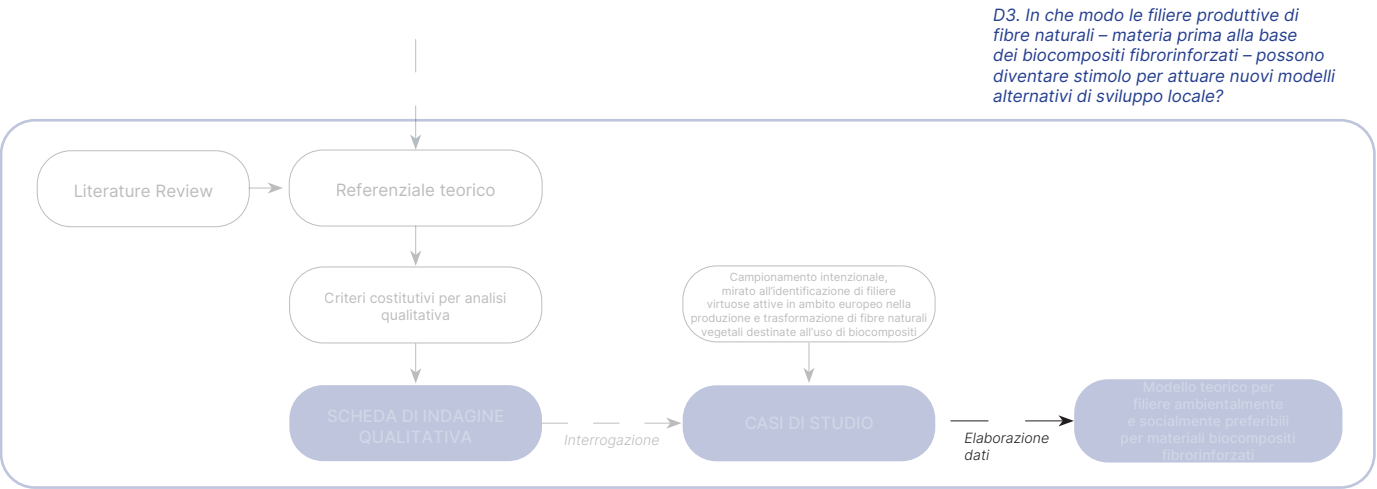
A trarne beneficio non sono solo le filiere primarie, ma anche realtà produttive apparentemente lontane, ma profondamente interrelate.

Nonostante il basso impatto ambientale e un'intensità produttiva limitata, queste aziende riescono a garantire un'alta qualità dei prodotti, sviluppando tipologie merceologiche che spaziano dai materiali da costruzione ai tessuti tecnici, fino ai biocompositi. Corticeira Amorim fornisce soluzioni per l'industria automobilistica e aerospaziale, un settore che richiede rigorosi standard qualitativi. Terre de Lin, invece, produce tessuti tecnici e biocompositi che soddisfano le esigenze di leggerezza e durabilità richieste nel settore automobilistico, mentre Virgocoop offre materiali isolanti e tessuti di alta qualità per la bioedilizia e il design. Questi prodotti non solo soddisfano le necessità di qualità del mercato, ma contribuiscono anche al progresso di un'economia rigenerativa, che cerca di trovare valore nella qualità piuttosto che nella quantità.

Le filiere virtuose progettate dalle aziende considerate, quindi, si sono appropriate di pratiche simili, le quali dimostrano come la standardizzazione della lavorazione delle materie prime non comprometta la qualità, ma favorisca un’elevata resa del materiale rispettando al contempo i requisiti ambientali. La valorizzazione del mercato locale e di prossimità, unita a una produzione a bassa intensità, permette a queste aziende di raggiungere un alto livello qualitativo e di contribuire positivamente alle economie regionali, delineando un modello virtuoso di economia circolare e sostenibile. Le caratteristiche comuni sono quindi riassumibili come da tabella successiva (tab. 04).



tab. 04
Elementi comuni per quanto concerne i materiali naturali locali posti al centro del progetto nei casi studio analizzati



Sintesi e schema di lettura del capitolo

6.4.5 Connessione con il territorio e il tessuto sociale

Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop incarnano un impegno profondo nella valorizzazione del patrimonio culturale, promuovendo sia tradizioni antiche sia pratiche moderne che rendono omaggio alle risorse del sughero, del lino e della canapa.

Come doverosamente accennato, ma risulta elemento fondante in questa ultima fase di analisi orizzontale, le filiere di distinguono per tramandare e consolidare quanto di tradizionale è legato al materiale. Amorim dimostra come il mantenimento della tradizionale decortica manuale del sughero non si presta solo come pratica produttiva, ma diventa elemento socioculturale, tanto da creare un legame a doppio filo con enti come musei e iniziative educative che raccontano la storia di questo materiale nella cultura portoghese. In Normandia si ravviva la coltura del lino, lavorando con le comunità agricole e organizzando eventi per sensibilizzare il pubblico sul suo valore culturale. Virgocoop, in Occitania, stimola la cultura agricola della canapa, sia per le sue applicazioni tradizionali sia per le nuove possibilità, sostenendo così le aree rurali e arricchendo il patrimonio locale. È quindi più ampio della sola filiera di produzione e trasformazione del materiale il raggio d'azione delle aziende che operano con un modello sia ambientalmente sia socialmente preferibile.

A livello ambientale, queste realtà si preoccupano della conservazione e della gestione ecologica dei loro territori, come risulta dal focus sul nesso tra tradizione e qualità del territorio che ospita il materiale. Corticeira Amorim favorisce la sostenibilità delle foreste di querce da sughero, fondamentali per la biodiversità e per la capacità di stoccaggio di CO₂. Terre de Lin adotta una rotazione delle colture in Normandia, proteggendo la fertilità del suolo, mentre Virgocoop sfrutta le radici della canapa per prevenire l'erosione e migliorare la struttura del suolo. In questo modo, tutte e tre le aziende sviluppano un'interazione con il territorio che sostiene la salute ambientale a lungo termine.

Il coinvolgimento delle comunità locali è centrale nei modelli di business di queste aziende, che creano un impatto economico e sociale tangibile, offrendo occupazioni qualificate nelle aree rurali del Portogallo, oppure valorizzando la collaborazione con gli agricoltori del lino grazie al modello cooperativo, e promuovendo un'agricoltura comunitaria in cui i benefici eco-

nomici sono condivisi dagli agricoltori locali di canapa. Così facendo, ciascuna realtà sostiene le comunità, che costituiscono l'ossatura irrinunciabile delle rispettive filiere. L'inclusione dei giovani nelle pratiche agricole è un altro aspetto fondamentale di questi modelli d'impresa. Corticeira Amorim, attraverso la creazione di opportunità di lavoro qualificato nelle aree rurali, Terre de Lin, con il suo modello cooperativo che integra gli agricoltori, e Virgocoop, con la sua promozione di un'agricoltura partecipativa, offrono ai giovani l'opportunità di riscoprire l'agricoltura come settore innovativo e dinamico. In questo modo, non solo si combatte il fenomeno dell'abbandono rurale, ma si contribuisce a formare nuove generazioni di agricoltori che, grazie all'integrazione delle pratiche sostenibili, possono sviluppare competenze in linea con le esigenze del futuro.

Sul piano della sostenibilità ambientale, i processi di produzione di Corticeira Amorim si basano su un'economia circolare che massimizza l'uso degli scarti di sughero, Terre de Lin impiega tecniche agricole a basso impatto e Virgocoop utilizza la canapa come materia prima per la bioedilizia e i tessuti naturali. Insieme, le aziende mostrano un'integrazione efficace di pratiche rispettose dell'ambiente in ogni fase della produzione, in linea con gli obiettivi della sostenibilità.

Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop rappresentano infatti modelli esemplari di impresa che intrecciano in maniera raffinata tradizione e innovazione, riconoscendo nelle risorse naturali e culturali il fulcro di un rinnovato impegno per la sostenibilità ambientale, sociale e culturale. Queste realtà, pur operando in settori distinti, condividono una visione che non solo preserva il patrimonio, ma lo proietta verso il futuro, creando un'interazione virtuosa con le comunità locali e con il territorio che le ospita. Il consolidamento della tradizione è il pilastro su cui poggiano le fondamenta di queste aziende.

La dimensione culturale e della conoscenza è altrettanto significativa, come la già citata attività museale e didattica di Corticeira Amorim: anche Terre de Lin si occupa della salute culturale del suo intorno, per esempio organizzando eventi che raccontano la storia del lino, e Virgocoop offre iniziative per la riscoperta della canapa, con sessioni formative che abbracciano sia il passato che le moderne applicazioni bioedilizie. Queste attività si legano indissolubilmente al patrimonio culturale locale e consolidano il ruolo di ciascuna azienda come custode di un'eredità unica. Le aziende si impegnano altresì nell'inclusione sociale, sostenendo le famiglie e le comunità locali,

soprattutto innalzando l'occupabilità e la vitalità professionale delle aree rurali portoghesi, attraverso anche una struttura cooperativa che garantisce equità e inclusione economica per gli agricoltori, sostenendoli con un approccio inclusivo, creando modelli partecipativi di crescita sociale ed economica.

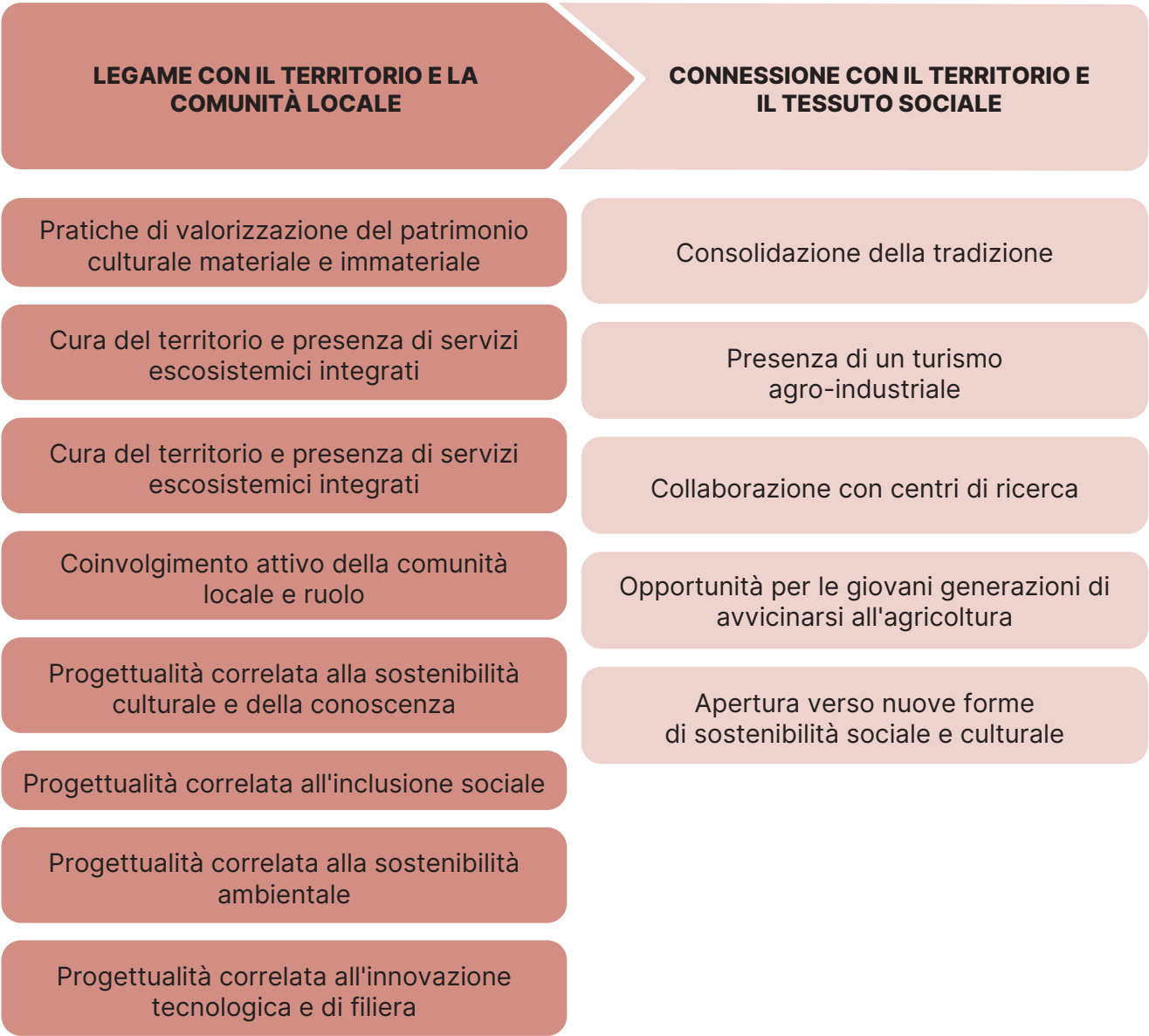
Solo nel caso del sughero, tuttavia, si assiste a un'inclusione sociale "esterna" al paese d'origine: nello specifico, attraverso il progetto ETICO promosso da Corticeira Amorim. Questo programma, unico nel suo genere, coinvolge comunità di diversi Paesi, inclusa l'Italia, nella raccolta di tappi di sughero usati, destinati al riciclo per nuove applicazioni. Il progetto non si limita a valorizzare la materia prima, ma crea un modello virtuoso che unisce sostenibilità ambientale e impatto sociale. Parte dei proventi derivanti dal riciclo dei tappi viene infatti devoluta a organizzazioni no-profit, cooperative sociali e progetti di utilità collettiva, generando risorse per le realtà meno avvantaggiate e promuovendo l'inclusione economica e sociale su scala internazionale. In questo modo, il sughero diventa non solo simbolo di una filiera virtuosa e circolare, ma anche strumento di solidarietà e di connessione tra territori diversi, dimostrando come una materia naturale possa essere al centro di un sistema che integra sostenibilità, economia e coesione sociale.

Il turismo agro-industriale rappresenta inoltre un'importante dimensione che queste aziende promuovono. Corticeira Amorim, con i suoi musei e le attività educative, attira visitatori desiderosi di esplorare la storia del sughero e la sua evoluzione nella cultura portoghese, mentre Terre de Lin e Virgocoop, attraverso eventi e iniziative, sensibilizzano il pubblico sul valore culturale e ambientale del lino e della canapa. Questo tipo di turismo non solo stimola l'economia delle aree rurali, ma promuove una nuova forma di conoscenza, che si radica nella valorizzazione delle pratiche agricole tradizionali, reinterpretate alla luce delle attuali esigenze di sostenibilità.

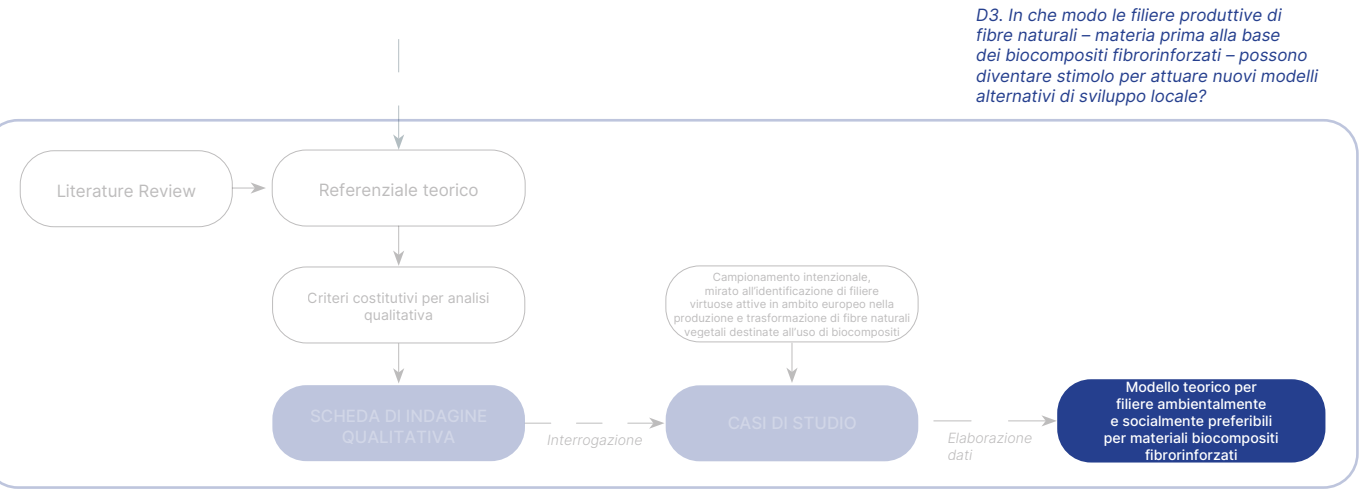
Le collaborazioni con centri di ricerca e università rafforzano ulteriormente la capacità innovativa di queste aziende, per espandere l'applicabilità dei materiali e dei loro scarti con strategie d'avanguardia. Questi legami tra impresa e ricerca non solo potenziano la competitività delle aziende, ma contribuiscono alla creazione di un sapere condiviso che arricchisce il patrimonio culturale e scientifico delle comunità locali, mostrando come tradizione e innovazione possano coesistere e alimentarsi reciprocamente.

Infine, queste realtà si distinguono per la loro apertura verso nuove forme di sostenibilità, che spaziano dall’ambito ambientale a quello sociale e culturale. Le loro attività, che vanno dalla valorizzazione del patrimonio culturale alla creazione di modelli di business inclusivi, non solo favoriscono la coesione sociale, ma offrono anche una visione di sviluppo economico che è in sintonia con le necessità del nostro tempo. Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop, pur mantenendo saldi i legami con le tradizioni locali, sono esempi concreti di come le aziende possano evolversi, affrontando le sfide della sostenibilità con innovazione, responsabilità e impegno verso il benessere delle comunità e del territorio.

In conclusione, a livello sociale e culturale, senza trascurare il valore territoriale ed economico, gli elementi chiave emersi dalla comparazione possono essere definiti e sintetizzati come illustrato nella tabella a fianco (tab. 05).



tab. 05
Elementi comuni per quanto concerne la connessione con il territorio e il tessuto sociale dei casi studio analizzati



Sintesi e schema di lettura del capitolo

7. Un modello teorico di filiera ambientalmente e socialmente preferibile per materiali biocompositi fibrorinforzati

7.1 Nuovi criteri ambientali e sociali per la definizione di materiali biocompositi fibrorinforzati rigenerativi e a base locale

La metodologia adottata per questa ricerca ha seguito un percorso articolato in due fasi principali, volte a indagare in modo approfondito e sistemico le dinamiche virtuose delle filiere del sughero, del lino e della canapa, rappresentate rispettivamente da Corticeira Amorim, Terre de Lin e Virgocoop. Inizialmente, è stata condotta un’analisi qualitativa dei singoli casi studio, che ha consentito di esplorare in profondità le peculiarità e le specificità di ciascuna realtà produttiva. Questo approccio ha utilizzato una griglia analitica strutturata, che ha permesso di esaminare aspetti chiave come la natura della fibra, il contesto produttivo, la struttura della filiera, il ruolo dei materiali naturali locali e il legame con il territorio e le comunità. Tale fase si è rivelata fondamentale per mettere in evidenza non solo gli aspetti tecnici e operativi delle tre filiere, ma anche i valori culturali, sociali ed economici che contribuiscono a definirne l’unicità e il potenziale innovativo.

L’approfondimento ha mostrato come ognuna di queste filiere abbia sviluppato pratiche ambientalmente e socialmente preferibili e processi innovativi – o retroinnovativi – capaci di valorizzare le risorse naturali locali, in questo caso delle fibre naturali; dal sughero dell’Alentejo, con la sua lunga tradizione e l’attenzione alla conservazione delle querce da sughero, al lino coltivato in Normandia e Alta Francia, esempio virtuoso di tecniche agricole rispettose dell’ambiente e integrate con il territorio, fino alla canapa lavorata in Occitania, che coniuga il recupero di una coltura storica con opportunità di sviluppo per comunità rurali, ogni caso studio ha offerto uno spaccato ricco e diversificato di possibilità per coniugare sostenibilità ambientale, economia circolare e innovazione sociale, nell’alveo dei materiali biocompositi, oggetto di studio di questa tesi dottorale.

In una seconda fase, è stata pertanto condotta un’analisi comparativa per individuare punti di convergenza e differenze, senza trascurare i limiti, tra i tre casi studio opportunamente selezionati. Questo approccio ha consentito di mettere in luce un’ossatura comune di elementi virtuosi, utile a delineare una visione integrata delle buone pratiche osservate.

In particolare, è emerso come l’utilizzo esclusivo di tecniche agricole rigenerative, prive di pesticidi e fertilizzanti chimici, sia una caratteristica distintiva delle tre filiere, che si contraddistinguono anche per un’attenzione particolare alla conserva-

zione della biodiversità e per la possibilità di destinare le colture a molteplici usi finali. La storicità radicata di queste colture, unita al riconoscimento internazionale dei prodotti derivati, testimonia l'efficacia di un modello produttivo che valorizza al tempo stesso la tradizione e l'innovazione.

A livello di organizzazione della catena del valore, è stato osservato un forte network di cooperazione e mutualità tra le parti coinvolte, in particolare tra piccole e medie imprese, che garantisce un alto livello di originalità nella gestione delle risorse e nella creazione di valore. Questo modello si distingue per la capacità di coniugare innovazione e sostenibilità, promuovendo un riutilizzo efficiente degli scarti e dei cascami lungo tutta la filiera produttiva e garantendo al contempo una completa tracciabilità dei processi. La coincidenza geografica tra materie prime, materiali trasformati e prodotti finali costituisce un ulteriore elemento di forza, rafforzando il legame con il territorio e riducendo gli impatti ambientali legati alla logistica.

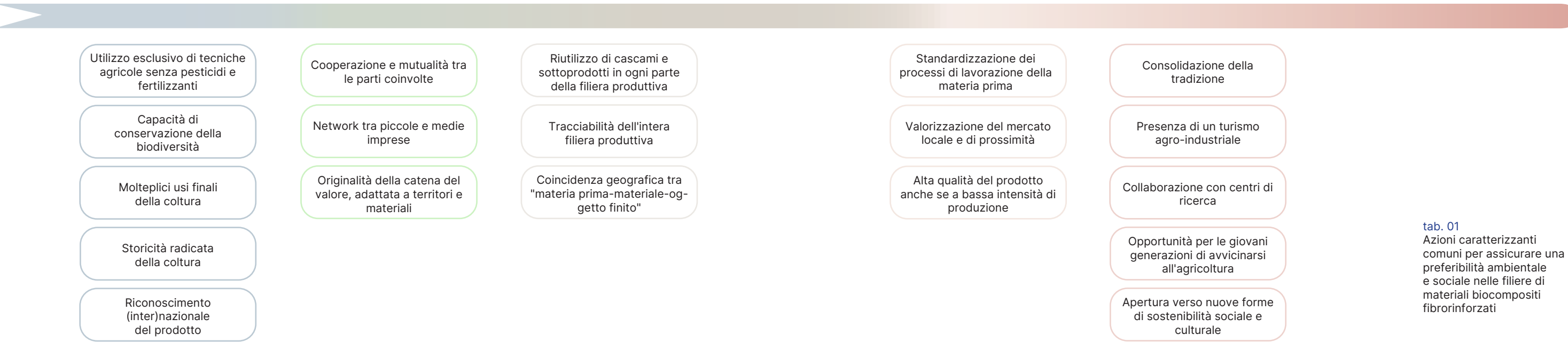
Per quanto riguarda i materiali naturali, il lavoro di analisi, e di ricerca, ha evidenziato come ciascuna filiera sia riuscita a standardizzare i processi relativi alle materie prime senza comprometterne la qualità, favorendo al contempo opportunità per i mercati locali e di prossimità. L'alta qualità dei prodotti finali, ottenuta nonostante una bassa intensità di produzione, dimostra come sia possibile perseguire obiettivi di sostenibilità, largamente intesa, e competitività, senza ricorrere a metodi intensivi o impattanti.

Infine, il legame con il territorio e il tessuto sociale rappresenta un ulteriore importante aspetto cruciale emerso dall'analisi comparativa. Le tre filiere studiate non solo consolidano tradizioni locali, ma promuovono anche forme innovative di collaborazione con centri di ricerca e istituzioni accademiche, creando nuove opportunità per i giovani di avvicinarsi all'agricoltura e a modelli produttivi rigenerativi. La presenza di un turismo agroindustriale, in crescita in alcune delle aree studiate, testimonia il potenziale di queste realtà di attrarre interesse e risorse, rafforzando il valore sociale e culturale delle filiere. Al contempo, l'apertura verso nuove forme di innovazione sociale e culturale evidenzia come queste realtà siano capaci di adattarsi a contesti in evoluzione, contribuendo al benessere delle comunità locali e favorendo un equilibrio tra sviluppo economico e rispetto per l'ambiente e la società civile.

Questa ricerca, attraverso il confronto tra casi studio diversi ma accomunati da valori e principi condivisi, offre una visione integrata e trasferibile di modelli produttivi che pongono al centro la preferibilità ambientale e sociale, l'innovazione e la valorizzazione delle risorse naturali locali.

naturali locali.

La tabella in calce rappresenta una prima base strutturata per riorganizzare in modo sistemico i diversi elementi comuni – intesi anche come "azioni caratterizzanti" generali per una preferibilità ambientale e sociale – emersi dall'analisi qualitativa, e comparativa, dei casi studio oggetto d'indagine (tab. 01).



tab. 01
Azioni caratterizzanti comuni per assicurare una preferibilità ambientale e sociale nelle filiere di materiali biocompositi fibrorinforzati

Superata la suddivisione tematica iniziale, necessaria per la costruzione della scheda di analisi, emerge un quadro complessivo che permette di identificare e strutturare una filiera virtuosa. In questa fase della ricerca, risulta fondamentale fornire una definizione generale degli elementi individuati e organizzarli in specifici "cluster", o "ambiti di intervento". Questa organizzazione conferisce coerenza e organicità ai risultati, evidenziando come le caratteristiche virtuose delle filiere possano essere analizzate e riorganizzate in una prospettiva trasversale. Tale approccio consente di andare oltre una semplice elencazione di dati qualitativi, attribuendo alle informazioni una dimensione strategica, funzionale a una visione d'insieme più integrata e trasferibile.

La "clusterizzazione" che si intende allora proporre rappresenta, dunque, un tentativo di raggruppamento che mira a strutturare i risultati secondo criteri logici, evitando ridondanze e valorizzando i collegamenti tra le singole "azioni caratterizzanti". La selezione dei quattro macro criteri di raggruppamento, che compongono gli "ambiti di intervento" è stata guidata dall'analisi stessa dei dati raccolti. Questi criteri non sono stati scelti casualmente, ma derivano direttamente dalla natura degli elementi di valore identificati. Essi riflettono le dinamiche condivise dalle filiere del sughero, del lino e della canapa, così come dalle specifiche realtà produttive a esse collegate. L'elemento denominato "Utilizzo esclusivo di tecniche agricole senza pesticidi e fertilizzanti" rappresenta una scelta aziendale che coniuga principi etici e soluzioni tecnologiche in ambito agricolo. La decisione di eliminare, totalmente o parzialmente, l'uso di pesticidi e fertilizzanti si configura come un criterio essenziale per identificare una filiera "preferibile". Questo approccio è strettamente connesso alla "Conservazione della biodiversità", garantita soprattutto attraverso pratiche di "agricoltura rigenerativa" che preservano l'ambiente delle colture e promuovono innovazioni di processo capaci di salvaguardare anche la "biodiversità sociale". Tali scelte contribuiscono a delineare nuove forme di sostenibilità, che si estendono dall'ambito ambientale a quello sociale e culturale. Questi elementi si concretizzano nell'adozione di pratiche non dannose per l'ambiente, nel rispetto del "bioritmo" naturale, nel recupero di processi produttivi tradizionali autoctoni e nel miglioramento delle condizioni socio-ambientali. A ciò si aggiunge la fase di lavorazione, che deve rispettare gli stessi criteri di "preferibilità ambientale e sociale", assicurando un elevato standard

qualitativo e una bassa intensità produttiva. Questo modello contribuisce alla creazione di una "catena del valore" radicata nel territorio ma capace di generare benefici sistemici più ampi. Un aspetto fondamentale è rappresentato dalle strategie mirate a ridurre gli scarti e minimizzare l'impatto ambientale, che includono l'adozione di soluzioni innovative per sfruttare la coltura in molteplici ambiti, garantendo uno "spreco vicino al nullo", e il riutilizzo degli eventuali residui come risorse. L'interconnessione tra questi aspetti permette di individuare un primo macrocriterio denominato "Agricoltura rigenerativa e innovazione di processo". Questo criterio sintetizza le pratiche sostenibili che caratterizzano la gestione agricola e produttiva delle filiere, come l'assenza di pesticidi e fertilizzanti, la tutela della biodiversità e il riutilizzo degli scarti produttivi. Esso riflette non solo un impegno verso un modello agricolo rispettoso dell'ambiente e, di conseguenza, "preferibile", ma anche la capacità di innovare all'interno di tradizioni consolidate. Tale approccio favorisce l'esplorazione di usi alternativi delle colture, ampliando le opportunità di mercato nel rispetto delle "comunità locali" e dei principi di sostenibilità integrata.

Accomunati da una matrice storica e tradizionale, emergono gli elementi di "Storicità radicata della coltura", "Consolidazione della tradizione locale", "Presenza di un turismo agro-industriale" e "Opportunità per i giovani di avvicinarsi all'agricoltura". L'aspetto, "Storicità radicata della coltura", consente di indagare la presenza storica della coltura all'interno dell'ecosistema naturale e sociale, distinguendo le filiere autentiche da quelle impiantate in modo forzato e decontestualizzato. La "Consolidazione della tradizione locale" e il coinvolgimento delle nuove generazioni in pratiche agricole tradizionali risultano, invece, fondamentali per preservare l'identità culturale del territorio, favorendo una produzione duratura e sostenibile. Tale obiettivo si configura come uno degli elementi chiave delle filiere socialmente e ambientalmente preferibili. Un ulteriore elemento di valore è rappresentato dalla "Presenza di un turismo agro-industriale", che consente di diffondere la conoscenza della coltura, del prodotto e della loro storia, favorendo una narrazione che integra passato, presente e futuro. Questi aspetti, nel loro insieme, definiscono il "cluster" denominato "Tradizione e valorizzazione culturale". Tale macrocriterio sottolinea il radicamento storico delle colture nei rispettivi territori e il ruolo centrale delle tradizioni e delle pratiche locali nella costruzione di un'identità culturale forte e ricono-

scibile. Non meno importante è la capacità di questa dimensione di creare opportunità per le giovani generazioni, stimolando l'interesse verso un'agricoltura innovativa e sostenibile. La qualità della filiera e del prodotto costituisce un ulteriore raggruppamento di azioni chiave, caratterizzato innanzitutto dal "Riconoscimento (inter)nazionale del prodotto" attraverso certificazioni, premi e attestazioni che ne attestano l'eccellenza qualitativa. A ciò si aggiunge la "Standardizzazione dei processi di lavorazione della materia prima", che garantisce la continuità e l'efficienza dei flussi produttivi, assicurando l'ottenimento di materiali e prodotti di alta qualità. La "Tracciabilità della filiera" svolge un ruolo cruciale, offrendo trasparenza e sicurezza in tutte le fasi della produzione. Un ulteriore elemento fondamentale è rappresentato dalla "Coincidenza geografica tra materia prima, materiale e oggetto", che valorizza le risorse territoriali e rafforza il legame tra prodotto e contesto di origine, contribuendo a creare una filiera con elevate performance, applicabilità del prodotto e valore socio-culturale. Infine, le "Opportunità per il mercato locale e di prossimità" sostengono lo sviluppo economico delle comunità, promuovendo al contempo la competitività sui mercati internazionali nel rispetto di criteri di sostenibilità ambientale e sociale. Questo insieme di elementi delinea il terzo macro criterio, "Riconoscimento e standardizzazione della qualità", che pone l'accento sull'importanza di garantire standard elevati per le materie prime e i prodotti finali. Esso evidenzia come il riconoscimento globale sia indissolubilmente legato a pratiche locali ben radicate, dimostrando che l'eccellenza qualitativa si fonda su una gestione olistica che integra innovazione, sostenibilità e valorizzazione territoriale.

Con la stessa logica di costituzione dei precedenti, il quarto macro criterio, denominato "Collaborazione e networking", sottolinea l'importanza cruciale di creare sinergie tra i diversi attori della filiera. Questo criterio si basa su elementi chiave come la cooperazione e mutualità tra le parti coinvolte, il forte network tra piccole e medie imprese e la collaborazione con centri di ricerca, evidenziando le dinamiche collaborative che interessano sia gli aspetti interni sia quelli esterni delle filiere. In primo luogo, il rapporto tra agricoltori e gli attori che ruotano attorno alla coltura e alla filiera trasformativa – imprese, istituzioni, centri di ricerca e singoli professionisti come designer, architetti, artisti e ingegneri – dovrebbe basarsi su modelli collaborativi o, idealmente, cooperativistici, come emerso

tab. 02 (pagina di fianco)
Modello teorico per
filiera ambientalmente
e socialmente preferibili
per materiali biocompositi
fibrorinforzati



dall'analisi. Questo approccio permette di integrare competenze diversificate e di rafforzare la filiera nel suo complesso. In secondo luogo, il supporto di una rete di piccole e medie imprese garantisce il continuo miglioramento dei processi e l'esplorazione di nuove opportunità, mantenendo al contempo il radicamento nella dimensione locale. Infine, il coinvolgimento dei centri di ricerca rappresenta un elemento essenziale per sviluppare soluzioni innovative che salvaguardino l'ambiente naturale e sociale, contribuendo al miglioramento continuo dell'applicabilità e del prestigio del materiale. Queste collaborazioni favoriscono l'innovazione, la tracciabilità e la sostenibilità, promuovendo lo sviluppo di modelli integrati e dinamici. La cooperazione e la mutualità, unite a una rete solida di piccole e medie imprese, non solo rafforzano le singole realtà, ma rappresentano una leva strategica per costruire un modello di sostenibilità ambientale e sociale basato su partnership durature. Questa dimensione collaborativa facilita inoltre anche l'adozione di innovazioni incrementali che, senza un approccio condiviso, non potrebbero essere realizzate. Essa rafforza la capacità del sistema di adattarsi alle sfide globali, generando soluzioni condivise che migliorano sia l'efficienza dei processi sia la resilienza dell'intera filiera produttiva.

In definitiva, la proposta di raggruppamento in "ambiti di intervento", così come delineata in modo definitivo nel modello rappresentato nella pagina precedente (tab. 02), non è una semplice operazione di classificazione, ma un processo di riorganizzazione funzionale che permette altresì di poter leggere i dati attraverso una griglia interpretativa coerente e trasferibile. In tale direzione, i quattro macro criteri identificati non solo rappresentano i quattro fondamentali pilastri delle buone pratiche emerse dai casi studio, ma suggeriscono, attraverso le "azioni caratterizzanti", anche una modalità di analisi potenzialmente applicabile ad altre filiere e contesti, contribuendo a costruire un modello integrato e sistemico per la valutazione e la progettazione di materiali biocompositi fibrorinforzati. Tale modello mira non solo a ottimizzare l'efficienza e la sostenibilità delle filiere produttive, ma anche a promuovere un approccio di tipo rigenerativo che valorizzi le risorse locali, rafforzi le economie territoriali e favorisca una transizione verso sistemi produttivi più equi e resilienti. Questo strumento analitico, oltre a fungere da guida per innovazioni tecniche e gestionali, può supportare decisori politici, aziende e comunità locali nella definizione di strategie

ambientali e sociali che integrino i principi della bioeconomia e dell'economia circolare, rispondendo così alle sfide globali di sostenibilità. Inoltre, l'elenco delle azioni individuate funge da framework pratico e teorico che, se adottato e rispettato nella sua essenza, permette di identificare criteri ambientali e sociali indispensabili per la definizione di materiali biocompositi "a base locale" nell'alveo del design. Tali materiali, se in linea con la maggior parte delle "azioni caratterizzanti" elencate, possono essere considerati autenticamente "rigenerativi", in quanto capaci di restituire al sistema produttivo e al territorio più di quanto consumano, anche in termini di "impatti" sociali, ridefinendo il concetto stesso di sostenibilità attraverso un paradigma fondato sulla rigenerazione ambientale, ma anche sociale e culturale.

Come anticipato in apertura di tesi, infatti, il materiale si fa anche sociale, incarnando non solo una funzione tecnico-prestazionale, ma anche una dimensione culturale e relazionale che lo rende un agente di trasformazione all'interno dei sistemi locali. Essi, infatti, non solo contribuiscono alla rigenerazione degli ecosistemi e alla riduzione dell'impatto ambientale, ma rafforzano anche il tessuto sociale attraverso il coinvolgimento attivo delle comunità locali nella valorizzazione delle risorse endogene, la creazione di opportunità occupazionali inclusive e la promozione di filiere partecipative e solidali. Questi materiali, in quanto espressione di saperi condivisi e processi collettivi, si configurano come catalizzatori di innovazione sociale, rispettosi delle tradizioni culturali e capaci di alimentare economie circolari radicate nei territori. Diventano, così, non solo un prodotto rigenerativo, ma un modello tangibile di simbiosi tra innovazione, sostenibilità ambientale e giustizia sociale, rendendo evidente che il valore di un materiale non risiede unicamente nelle sue proprietà fisiche, ma anche nella sua capacità di generare coesione, inclusione e resilienza nelle comunità che lo producono e utilizzano.

La scelta delle denominazioni attribuite ai "cluster", o "ambiti di intervento", non è casuale, ma rispecchia con precisione un ideale concettuale che sintetizza e rappresenta in modo coerente l'essenza dei contenuti espressi dalle "azioni caratterizzanti" che li compongono. Ogni ambito non si limita a essere un semplice contenitore di elementi, ma si configura come un principio ordinatore, un paradigma interpretativo che guida l'organizzazione e la comprensione delle informazioni. Grazie a questo approccio, le "azioni caratterizzanti" assumo-

no un valore che va oltre la loro funzione descrittiva, evidenziando il legame profondo con l'ideale di riferimento.

La relazione tra la denominazione degli "ambiti di intervento" e le corrispondenti "azioni caratterizzanti" si basa su una coerenza intrinseca e rigorosa.

Termini come "Agricoltura rigenerativa e innovazione", "Tradizione e valorizzazione culturale", "Riconoscimento e standardizzazione della qualità" e "Collaborazione e Networking" evocano ciascuno un significato che riflette le caratteristiche peculiari, qualitative e contestuali, delle azioni che intendono rappresentare e valorizzare. In questo modo, il modello teorico non è solo una raccolta di elementi, ma diventa uno strumento di sintesi e interpretazione, capace di collegare i dettagli delle azioni a una visione più ampia e coerente.

Nel caso di "Agricoltura Rigenerativa e Innovazione di processo", la denominazione sintetizza un obiettivo di natura duale: da un lato, il ripristino e la valorizzazione delle risorse naturali attraverso pratiche che promuovano la sostenibilità a lungo termine; dall'altro, l'implementazione di processi produttivi innovativi che reinterpretino l'agricoltura come un sistema circolare. Le azioni caratterizzanti associate, quali l'impiego esclusivo di tecniche agricole prive di pesticidi, il riutilizzo degli scarti in ottica di economia circolare e l'esplorazione di nuovi usi per le colture, rappresentano manifestazioni concrete di tale ideale. In questo contesto, l'agricoltura trascende il suo ruolo tradizionale, divenendo non solo uno strumento per la produzione di materie prime, ma un modello pionieristico di rigenerazione ecosistemica e innovazione responsabile, perfettamente allineato con le sfide ecologiche ed economiche contemporanee. In "Tradizione e Valorizzazione Culturale", il nome rimanda a una visione che intreccia identità territoriale e produttiva, radicando i processi nella ricchezza culturale locale. Le azioni caratterizzanti ad esso connesse, come la valorizzazione delle colture storiche, l'integrazione del turismo agro-industriale e la salvaguardia delle conoscenze tradizionali attraverso il trasferimento generazionale, non si limitano a preservare il passato, ma ne reinterpretano il significato come risorsa per il futuro. Questo approccio celebra il patrimonio immateriale e materiale del territorio, configurandolo come motore di sviluppo sostenibile e inclusivo, in cui cultura e innovazione si rafforzano a vicenda. Nel caso di "Riconoscimento e standardizzazione della Qualità", il modello si orienta verso un ideale di trasparenza e affidabilità, perseguendo un livello di eccellenza che

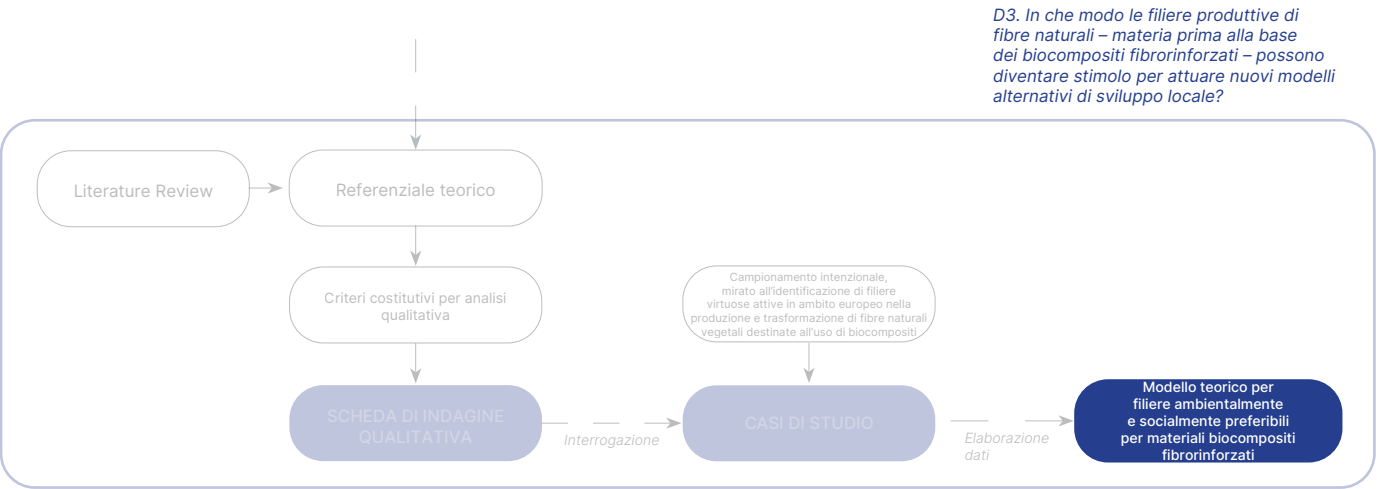
garantisca fiducia e riconoscibilità su scala globale. Le azioni specifiche, tra cui la tracciabilità delle filiere, la standardizzazione delle fasi di lavorazione senza compromettere la qualità e il riconoscimento internazionale dei prodotti, traducono tale visione in pratiche verificabili, consolidando il legame con l'origine geografica e promuovendo un'elevata qualità percepita. Questo nesso logico si fonda sulla necessità di rendere tangibile il valore intrinseco dei materiali e dei relativi processi trasformativi, contribuendo a costruire sistemi produttivi più competitivi e ambientalmente e socialmente preferibili.

Infine, "Collaborazione e Networking" si propone come principio guida per la creazione di reti collaborative in grado di generare valore condiviso attraverso l'interconnessione tra diversi attori. Le azioni interrelate, come la cooperazione tra i vari livelli della filiera, il principio mutualistico e il partenariato con centri di ricerca, rispecchiano un modello operativo che considera la rete non solo come uno strumento logistico, ma come un vero e proprio catalizzatore di innovazione. Qui, la dimensione sociale emerge con forza: la collaborazione promuove un senso di appartenenza, rafforza i legami territoriali e facilita la co-creazione di conoscenze, contribuendo a una competitività che non sacrifica ma valorizza i principi di equità e preferibilità ambientale.

Anche in questo caso, il nome dell'ambito di intervento, non è semplicemente un'etichetta, ma una dichiarazione d'intenti che guida la selezione e l'organizzazione delle azioni, assicurando che ogni sotto-elemento contribuisca in modo coerente al raggiungimento di un obiettivo comune e condiviso. La forza del modello è insita proprio nella capacità di rendere questa coerenza esplicita, favorendo così una visione integrata e articolata delle dinamiche complesse delle filiere analizzate.

In conclusione, questo modello operativo rappresenta non solo una chiave di lettura sistemica per interpretare le dinamiche delle filiere analizzate, ma anche uno strumento metodologico per definire e promuovere nuovi criteri ambientali e sociali nella progettazione di materiali biocompositi fibrorinforzati. Il raggruppamento proposto dimostra come l'integrazione tra innovazione, tradizione, qualità e collaborazione possa costituire il fondamento per sviluppare approcci rigenerativi radicati nei contesti locali, senza trascurare gli aspetti sociali e culturali. Questo approccio supera il concetto statico di sostenibilità, introducendo la rigenerazione come obiettivo principale: non solo ridurre l'impatto ambientale, ma restituire valore alle risorse

naturali e culturali attraverso processi circolari e partecipativi. Gli "ambiti di intervento", strutturati in "azioni caratterizzanti" che ne reificano l'essenza, formano un framework dinamico in grado di orientare la progettazione verso materiali che, oltre a soddisfare esigenze funzionali e tecnologiche, siano profondamente legati al territorio e alle comunità di pratica ad esse connaturate. La valorizzazione delle materie prime locali, l'attenzione alla biodiversità e la tracciabilità della qualità emergono allora come elementi imprescindibili per una bioeconomia "preferibile". Al contempo, la cooperazione tra i diversi attori della filiera e l'apertura a nuove forme di innovazione sociale delineano una visione integrata che trascende i tradizionali confini della produzione. Questo modello teorico non si limita a fungere da paradigma analitico, ma si configura come un dispositivo progettuale capace di orientare concretamente le scelte verso materiali biocompositi al tempo stesso performativi e rigenerativi, favorendo la transizione verso una manifattura sostenibile ispirata a principi etici e di responsabilità collettiva. Nell'ambito di una bioeconomia territoriale, esso delinea un percorso virtuoso in cui innovazione tecnologica, tutela ambientale e valorizzazione culturale convergono, dimostrando la possibilità di concepire materiali fibrorinforzati che integrano natura e tecnologia, fungendo da catalizzatori per lo sviluppo locale e globale. In ultima istanza, questo modello rappresenta una base solida per ulteriori esplorazioni e implementazioni, sottolineando l'importanza di un impegno multidisciplinare nella ridefinizione dei paradigmi produttivi contemporanei.



Sintesi e schema di lettura del capitolo

7.2 Sintesi, commento e prospettive future del modello teorico elaborato

Il modello teorico, introdotto e descritto nel paragrafo precedente, rappresenta una sintesi complessa e articolata, concepita per superare l'attuale frammentazione degli approcci alla sostenibilità. Esso propone una visione sistemica capace di integrare le dimensioni ambientali, economiche, sociali e culturali in un quadro coerente e interconnesso. Tale modello nasce dalla consapevolezza che la sostenibilità non rappresenta un traguardo statico, bensì un processo dinamico e in continua evoluzione, nel quale ogni attore, risorsa e territorio assumono un ruolo specifico e interdipendente.

In questo quadro, è fondamentale interrogarsi sul significato e sull'applicabilità del concetto stesso di "sostenibilità", spesso soggetto a interpretazioni generiche o eccessivamente ampie, che rischiano di svuotarlo di significato. Per superare tali criticità, è utile adottare il concetto di "preferibilità ambientale e sociale", che consente di orientare le scelte verso soluzioni concrete, misurabili e capaci di garantire un miglioramento effettivo rispetto alle alternative disponibili.

Il modello teorico, attraverso gli ambiti di intervento e le azioni che lo caratterizzano, si propone come uno strumento operativo in grado di orientare o riorientare le decisioni strategiche nel panorama delle filiere delle fibre naturali per applicazioni biocomposite. Esso si configura principalmente come uno strumento di lettura per affrontare le sfide contemporanee relative alla sostenibilità di alcune filiere produttive, guidando verso interventi che valorizzino la specificità dei territori e delle comunità coinvolte. In questo quadro, tuttavia, l'adozione di una prospettiva di "preferibilità" risulta particolarmente rilevante, poiché consente di attribuire maggiore chiarezza e rigore alle analisi, identificando percorsi di "sviluppo sostenibile" concretamente applicabili, con un impatto positivo tangibile. Questo modello teorico, costituito con metodo dagli elementi comuni utili e virtuosi dei casi studio analizzati, si configura a un primo sguardo come uno strumento di riferimento primario per i "policy maker", offrendo loro un supporto meta-progettuale per la definizione di normative, incentivi e politiche integrate, finalizzate a favorire la transizione verso modelli produttivi improntati alla rigenerazione e alla circolarità. In un panorama in cui la regolamentazione fatica spesso a mantenere il passo con l'accelerazione delle innovazioni tecnologiche e con l'aggravarsi delle urgenze ambientali e sociali, il modello si propone altresì di indirizzare principi teorici e obiettivi astratti in azioni caratterizzanti, concrete e applicabili. Le azioni ul-

teriormente specifiche che potranno essere ideate seguendo il modello, quindi per integrare la tutela imprescindibile delle risorse naturali con la valorizzazione di filiere che si distinguono per la loro preferibilità ambientale e sociale, si fondano su un'ossatura di principi condivisi ed elementi comuni che rappresentano il tratto distintivo e virtuoso delle tre filiere oggetto di analisi. Elemento distintivo del modello è allora la sua capacità di delineare traiettorie operative che, pur condividendo una base metodologica e concettuale comune, si dimostrano sufficientemente flessibili da adattarsi alle specificità territoriali, culturali e produttive dei diversi contesti di applicazione. Questa duttilità non sacrifica, tuttavia, la coerenza con gli obiettivi globali di "sostenibilità", garantendo che le risposte calibrate alle peculiarità locali siano al contempo allineate con un'agenda globale.

La valenza del modello non si esaurisce quindi nella sua utilità per i decisori politici. Esso si configura, ancora, come uno strumento operativo di estrema rilevanza per designer, imprenditori e professionisti impegnati nella progettazione di prodotti, processi e sistemi. Ricalcando le linee guida di preferibilità emerse dall'analisi delle tre filiere virtuose – sughero, lino e canapa – i quattro ambiti d'intervento codificano un insieme di principi e pratiche in grado di orientare scelte progettuali che privilegino il valore delle risorse locali, l'integrazione con il tessuto socioeconomico del territorio e l'adozione di strategie industriali responsabili e lungimiranti. Il design, inteso anche come pratica strategica, trova nel modello un elemento centrale per guidare e strutturare l'intero processo progettuale, integrando non solo aspetti funzionali ed estetici, ma anche dinamiche fondamentali legate alla circolarità, alla tracciabilità e alla valorizzazione delle risorse locali. Il modello, infatti, si configura come una matrice interpretativa e operativa, capace di orientare il design verso la costruzione di filiere produttive rispettose della biodiversità, promotrici del riutilizzo dei sottoprodotti e basate sul lavoro cooperativo. In questa prospettiva, il modello diventa un framework strategico per ridefinire i paradigmi di progettazione, produzione e consumo in chiave sostenibile e innovativa.

In tale direzione, come ampiamente descritto nei paragrafi iniziali di questa tesi dottorale, il ruolo del designer di prodotto si amplia e si ridefinisce, passando dalla selezione di materiali basata esclusivamente su criteri tecnici ed estetici, a una scelta che considera con più attenzione anche aspetti sociali e

culturali. Il materiale, infatti, non è solo una risorsa da valutare per le sue prestazioni funzionali, ma un elemento intrinsecamente legato al contesto umano e territoriale da cui proviene e alle dinamiche che attraversa lungo il suo ciclo di vita. La selezione del materiale diventa, così, un atto progettuale carico di responsabilità, che tiene conto sì degli impatti ambientali, ma anche di quelli sociali e culturali che esso può generare. Ripensare il concetto di "prossimità estrema", in questo contesto, significa di fatto interpretare i materiali come espressione di un sistema di relazioni più ampio, che include il lavoro, le tradizioni e i saperi ancestrali delle comunità coinvolte. Il designer, nel confrontarsi con i materiali, non si limita a una valutazione oggettiva, ma ne esplora la storia e il valore simbolico, immergendosi nelle connessioni che essi rappresentano. Questo approccio richiede una sensibilità etica che trascende le logiche meramente economiche, orientandosi verso scelte progettuali che privilegiano l'inclusione sociale e il rispetto culturale.

La vicinanza alla fibre naturali, da parte del progettista di prodotto, quindi, non si esaurisce nel contatto diretto con la materia, ma si estende alla comprensione del loro contesto di origine e delle relazioni umane che li circondano. Il designer si trova così a operare in un campo di interdipendenze, dove la selezione dei materiali diventa un'opportunità per sostenere pratiche locali, valorizzare i saperi tradizionali e promuovere strategie produttive che rispettino le identità culturali dei territori. Sulla scorta di ciò, è necessario ribadire che il design non è solo un atto di progettazione tecnica, ma un processo partecipativo e integrato che tiene conto delle dinamiche umane, territoriali e simboliche legate al materiale, suggerite, in questa sede, dalla lettura del modello stesso.

Attraverso un approccio olistico, il designer si impegna a selezionare materiali – in questo caso fibre naturali per applicazioni biocomposite – che non solo soddisfano criteri di funzionalità, ma che rispecchiano e rafforzano il tessuto socioculturale in cui si inseriscono, generando progetti che sono etici, "preferibili" e culturalmente rispettosi; in altre parole, privilegiando quelli che riflettono principi di "prossimità estrema" e "preferibilità" socioculturale.

In ultima istanza, il modello si prefigge ulteriormente come una chiave interpretativa e operativa per leggere le sfide contemporanee attraverso una lente sistemica e interconnessa, valorizzando gli elementi comuni tra le filiere analizzate come una base solida e replicabile su scala più ampia, e per altri materiali

naturali, senza tuttavia trascurare le necessità di adattamento alle variabili contestuali, come pure accogliere liberamente varianti aggiuntive collaterali. Questa integrazione di preferibilità, coerenza globale e flessibilità locale rappresenta, infatti, il punto di forza del modello, rendendolo idoneo a sostenere la transizione verso un paradigma produttivo realmente rigenerativo, nonché la scalabilità verso altre filiere produttive di materiali naturali, certamente ascrivibili all'alveo dei materiali biocompositi.

Le prospettive future del modello teorico delineato sono strettamente correlate alla sua evoluzione e applicazione in contesti specifici sempre più diversificati e complessi. Da un lato, esso si presta ad essere ulteriormente raffinato e adattato in funzione delle sfide che emergeranno nei prossimi anni, con particolare attenzione a come le sue componenti possano essere integrate in un numero crescente di filiere naturali. La sua capacità di articolare un framework, composto da ambiti di intervento e azioni caratterizzanti, che contempli la preferibilità ambientale e sociale da una prospettiva sistemica, gli conferisce una notevole flessibilità, ma è proprio questa intrinseca duttilità che dovrà essere continuamente affinata per far fronte a nuove realtà produttive, nuovi materiali e filiere, nonché contesti economico-sociali. In tale ottica, una delle prospettive future più promettenti è l'ulteriore espansione, e relativa verifica, della sua applicabilità su altre tipologie di materiali, nella valorizzazione delle specificità locali. Allo stesso modo, il modello si configura come una preziosa opportunità per sondare e valutare lo stato di avanzamento di altre realtà e contesti legati all'impiego di fibre naturali meno convenzionali, fino ad ora esplorate marginalmente nel campo dei biocompositi. In questo scenario, il modello diventa uno strumento per comprendere a che punto si trovano tali situazioni e per identificare, progettualmente, le aree – azioni caratterizzanti – in cui intervenire per ottimizzare l'uso di queste risorse, promuovendo innovazione tecnica e sociale. Va da sé che, la potenziale applicazione del modello alle filiere di fibre naturali emergenti potrebbe portare a scoperte innovative, favorendo la sostenibilità di risorse ancora poco valorizzate e, al contempo, rafforzando il legame tra i processi produttivi e il territorio di origine. Ulteriore punto cruciale per le prospettive future del modello è l'approfondimento del concetto di "preferibilità ambientale e sociale", che potrà essere ulteriormente sviluppato con metodologie perlopiù qualitative e qualificate per una misurazione

diversificata degli impatti generati da ogni fase del ciclo di vita dei materiali e dei prodotti: la ricerca in ambito di indicatori di sostenibilità, per esempio, potrebbe portare a una codifica più raffinata di come misurare il valore "rigenerativo", "etico" e "sociale" di un materiale, ampliando così la dimensione operativa del modello, che diventerebbe uno strumento ancor più pratico per l'implementazione delle strategie circolari.

Il modello, infine, offre anche potenzialità di espansione nella dimensione educativa e formativa. La sua applicabilità nelle pratiche didattiche-accademiche e nel supporto alla progettazione potrebbe inoltre stimolare un cambio di paradigma nella formazione degli studenti, orientandoli verso un pensiero critico e interconnesso, che non si limiti a considerare unicamente gli aspetti tecnici e funzionali dei materiali, ma anche le loro implicazioni etiche, sociali e ambientali.

8. Esiti e conclusioni

8.1 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti confermano l'argomentazione iniziale, con particolare enfasi sui tre principali traguardi conseguiti dalla ricerca. Il primo risultato riguarda la nuova caratterizzazione dei materiali biocompositi nel design contemporaneo. È stato possibile definire in maniera approfondita le caratteristiche e le potenzialità dei biocompositi, mettendo in evidenza la loro capacità di rispondere alle esigenze del design attuale. La combinazione di fibre naturali e matrici polimeriche ha mostrato come questi materiali possano offrire prestazioni meccaniche elevate, pur mantenendo, in linea di massima, un impatto ambientale ridotto rispetto ad alcuni altri materiali tradizionali. La ricerca ha inoltre evidenziato come i biocompositi debbano essere intesi non solo come materiali con specifiche caratteristiche di comportamento, ma anche come strumenti progettuali il cui impiego nel design può influenzare profondamente la funzionalità e l'impatto ecologico dei prodotti.

Il secondo risultato riguarda le direttrici di sostenibilità e il contributo del design. La ricerca ha permesso di esplorare come i biocompositi possano inserirsi in un contesto di preferibilità ambientale e sociale, in un'ottica di economia circolare e rigenerativa. È stato possibile identificare come il design possa giocare un ruolo cruciale nel rendere i materiali biocompositi una scelta praticabile per le industrie mature. Infine, il terzo risultato riguarda la costruzione di un modello teorico per filiere ambientalmente e socialmente preferibili per materiali biocompositi fibrorinforzati. È stato sviluppato un modello che delinea le modalità con cui le filiere produttive di fibre naturali possono essere strutturate in modo tale da rispondere alle necessità di sostenibilità sia ambientale che sociale. La ricerca ha dimostrato come, attraverso la valorizzazione delle fibre naturali locali, sia possibile generare catene di approvvigionamento che riducano l'impronta ecologica, stimolino l'economia locale e rigenerativa, e favoriscano l'inclusione sociale. Il modello teorico proposto suggerisce come le filiere di materiali biocompositi possano contribuire a nuovi modelli di sviluppo territoriale.

8.2 Risposte alle domande iniziali

Delineati i risultati ottenuti, si verificano le domande iniziali:

D1: Nel design, cosa sono e come si presentano, di fatto, i materiali biocompositi?

L'analisi condotta ha permesso di definire i materiali biocompositi come una combinazione di fibre naturali e matrici polimeriche, progettata per ottenere proprietà meccaniche avanzate e sostenibilità ambientale. Questo studio ha evidenziato che i biocompositi non sono solo materiali funzionali, ma veri e propri strumenti di progetto capaci di rispondere a esigenze estetiche, tecniche e di impatto ridotto, aprendo scenari innovativi nel design contemporaneo.

D2: Come, oggi, questi materiali a genesi combinatoria si relazionano con la sostenibilità ambientale e sociale nelle società industriali mature?

Il percorso di ricerca ha mostrato come i biocompositi si configurino come materiali strategici nella transizione verso un'economia circolare. Essi riducono l'impronta ecologica grazie alla valorizzazione di risorse rinnovabili e biodegradabili, mentre il loro impiego in contesti industriali avanzati può stimolare una maggiore responsabilità sociale, soprattutto attraverso la promozione di filiere locali e pratiche rigenerative. Questi materiali si rivelano quindi capaci di coniugare innovazione e circolarità in modo tangibile.

D3: In che modo le filiere produttive di fibre naturali – materia prima alla base dei biocompositi fibrorinforzati – possono diventare stimolo per attuare nuovi modelli alternativi di sviluppo locale?

La ricerca ha dimostrato che le filiere produttive di fibre naturali rappresentano un elemento cruciale per lo sviluppo territoriale locale. Questi processi, se integrati in una logica di sistema, possono diventare modelli alternativi di reale sviluppo sostenibile, generando benefici sociali e ambientali su scala locale.

8.3 Prospettive future della ricerca

La traiettoria della ricerca dottorale si è indirizzata verso una disamina sistematica delle articolazioni tra progettazione, governance delle filiere produttive e sostenibilità intesa nella sua accezione più ampia e stratificata, con particolare attenzione al dominio emergente dei biocompositi. In tale ambito, si è cercato di sondare criticamente il potenziale trasformativo delle prassi produttive, orientandole verso modelli alternativi, intrinsecamente orientati a criteri di preferibilità ecologica e inclusività socio-territoriale, con un'attenzione specifica al contesto marchigiano, inteso come laboratorio situato e generativo. Le prospettive future di questo percorso si configurano come una tensione costruttiva tra il dato teorico e la prassi attuativa, in un'ottica di transizione operativa che promuova filiere produttive non soltanto rispettose della biodiversità, ma anche animate da logiche di cooperazione intersoggettiva, trasparenza trans-sistemica e radicamento territoriale lungo l'intera catena del valore. In tale cornice, l'istituzione di sistemi produttivi integrati, capaci di valorizzare e ottimizzare le risorse locali attraverso strategie di economia circolare e approcci eco-sistemici, si profila come una delle chiavi interpretative più feconde per una ridefinizione ontologica del concetto stesso di sostenibilità. Tali modelli, tuttavia, non possono prescindere da una calibrazione sulle specificità geo-culturali dei territori d'insediamento, pur mantenendo una coerenza strutturale con gli obiettivi macro della sostenibilità globale. La sfida primaria si configura dunque come un esercizio di integrazione: trasportare le conoscenze acquisite in modelli operativi tangibili, capaci di contribuire in maniera effettuale alla transizione ecologica, senza trascurare le tensioni sistemiche e le criticità strutturali che tale ambizione inevitabilmente comporta. Le direzioni di sviluppo prospettico della ricerca si articolano secondo una pluralità di assi: dalla sperimentazione tecnica e progettuale alla decostruzione critica delle barriere epistemiche e normative, fino alla co-progettazione di strumenti di governance reticolare che accompagnino e consolidino i processi di trasformazione. Il corpus conoscitivo maturato nel percorso dottorale costituisce una base epistemologicamente solida per l'implementazione di pratiche che ambiscano a una sostenibilità tridimensionale - ambientale, economica e sociale - ponendosi nella dialettica costante tra innovazione radicale e valorizzazione delle risorse latenti del territorio.

Un primo campo di sviluppo consisterà nella messa in opera sperimentale di filiere bio-based, fondate sull'impiego di risorse rinnovabili e fibre vegetali endemiche, valutate secondo criteri di compatibilità ecologica, disponibilità territoriale e trasversalità applicativa nei domini del design, dell'architettura, della moda etica e del packaging responsabile. In tal senso, sarà imprescindibile promuovere un'indagine critica e stratigrafica del territorio, capace di restituire una cartografia delle risorse sommerse, delle competenze diffuse e delle relazioni socio-produttive preesistenti, da intendersi come infrastrutture cognitive per l'attivazione di percorsi condivisi e trasformativi. Contestualmente, si renderà necessario approfondire il potenziale latente delle tecnologie di trasformazione dei biocompositi, promuovendo sinergie con enti di ricerca avanzata, laboratori sperimentali e centri di innovazione materiale. Tali attività, volte alla validazione tecnica, alla quantificazione del ciclo di vita e alla definizione di standard qualitativi condivisi, rappresentano una condizione abilitante per l'estensione scalare di tali materiali, troppo spesso penalizzati da resistenze culturali e inerzie di mercato che privilegiano soluzioni tradizionali e non sostenibili. Ulteriore asse di sviluppo sarà la definizione di modelli organizzativi policentrici, capaci di generare cooperazione tra attori eterogenei, promuovendo la nascita di ecosistemi produttivi resilientemente ancorati ai territori. Tali modelli dovranno integrare saperi plurali - dalla tecnica alla progettazione, dall'agronomia alla manifattura, dall'imprenditorialità all'artigianato - secondo logiche di governance trasparente, partecipativa e adattiva. In tal modo, sarà possibile attivare reti collaborative tra imprese, istituzioni, comunità di ricerca e cittadini, rafforzando le capacità auto-organizzative dei sistemi locali dinanzi alle sfide epocali del cambiamento climatico, della crisi estrattiva e della domanda crescente di accountability produttiva. In questa prospettiva, si imporrà la necessità di indagare le condizioni sistemiche abilitanti, tra cui: l'accesso a strumenti finanziari mirati, la coerenza delle politiche pubbliche, la funzionalità del quadro normativo e la disponibilità di infrastrutture materiali e logistiche. Le barriere di ordine regolativo e burocratico, così come l'assenza di dispositivi incentivanti adeguati, costituiscono oggi ostacoli determinanti per la replicabilità e la scalabilità dei modelli ambientalmente e socialmente preferibili. La ricerca, nel suo ruolo di mediatore critico, potrà contribuire alla messa a fuoco di tali criticità e alla formulazione di indirizzi operativi, in siner-

gia con le agende istituzionali per la transizione ecologica. Parallelamente, sarà fondamentale non eludere una riflessione critica sui limiti intrinseci della sostenibilità come paradigma. Le tensioni irrisolte tra vincoli ambientali e sostenibilità economica, le difficoltà di standardizzazione nei processi, nonché le implicazioni sociali connesse alle riconversioni industriali, impongono un'analisi lucida e non apologetica. Solo attraverso un approccio responsabile, fondato su metriche condivise e strumenti di valutazione integrata degli impatti - ambientali, sociali, culturali ed economici - sarà possibile evitare derive performative o esiti controintuitivi. L'edificazione di una filiera realmente sostenibile implica, inoltre, una nuova centralità attribuita ai processi formativi, intesi non come meri dispositivi di trasmissione, bensì come pratiche culturali di attivazione critica. Sarà dunque auspicabile la strutturazione di programmi pedagogici transdisciplinari, in grado di connettere teoria e operatività, ricerca e applicazione, contribuendo a formare una nuova generazione di progettisti e innovatori consapevoli delle complessità della sostenibilità. Infine, il consolidamento delle prospettive future richiederà lo sviluppo di strategie di comunicazione e disseminazione efficaci, capaci di restituire con chiarezza e rigore il valore aggiunto delle filiere sostenibili radicate nei territori. Una narrazione trasparente, capace di coinvolgere attori istituzionali, cittadini e imprese, rappresenta una leva fondamentale per amplificare l'impatto sistemico delle pratiche e sedimentare un consenso diffuso attorno a modelli produttivi alternativi e generativi.

Riferimenti bibliografici e sitografici

Ahmad, S., Ullah, T., & Ziauddin. (2020). Fibers for technical textiles. In S. Ahmad, A. Rasheed, & Y. Nawab (Eds.), *Fibers for technical textiles* (pp. 13-34). Springer.

Aircore carbon wheels. Recuperato da: <https://www.koenigsegg.com/aircore> (ultimo accesso 19 agosto 2024).

Airpoxy. (n.d.). Airpoxy. Recuperato da: <https://www.airpoxy.eu/> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

Aisslinger. (n.d.). *Hemp Chair*. Recuperato da: <https://aisslinger.de/project/hemp-chair/> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

Alahakoon, A. M. A. R. B., Bandara, G. A. I. M., Senarath, P. G. R. L. P., Thennakoon, T. M. T. N., Weerathna, D. M., Hewage, H. T. M., Jayathma, W. M. V. A., Gamage, D. G. M. L., & Sulaksha, L. G. T. (2023). Bioplastics for sustainable future. *Journal of Research in Technology and Engineering*, 4(2), 99-110.

Al-Oqla, F. M., & Sapuan, S. M. (2017). *Materials Selection for Natural Fiber Composites*. Elsevier.

Alves, D. I., Barreiros, M., Fangueiro, R., & Ferreira, D. P. (2024). Valorization of textile waste: Non-woven structures and composites. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 123454.

Amorim. (2022). Relatório de sustentabilidade 2022. Recuperato da: https://www.amorim.com/xms/files/Sustentabilidade/RC2022/Amorim_RC2022_EN_RelatorioSustentabilidade.pdf (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

Amorim. (n.d.). Amorim Cork. Recuperato da: <https://www.amorimcork.com> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

Antonelli, P. (2019). *Broken Nature: Design Takes on Human Survival*. The Museum of Modern Art.

Antonelli, P. (Eds.) (1995). *Mutant materials in contemporary design*. The Museum of Modern Art.

Appadurai, A. (Ed.). (1986). *The social life of things: Commodities in cultural perspective*. Cambridge University Press.

Armiero, M. (2021). *L'era degli scarti. Cronache dal Wasteocene, la discarica globale*. Einaudi.

Arussi, E., Hall, J., & Holland, J. (2023). Composite materials: A hidden opportunity for the circular economy. *CSR Europe*.

Ashby, M., & Johnson, K. (2009). *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*. Butterworth-Heinemann.

Assocompositi (Ed.). (2022). *Circolarità dei materiali compositi*. Assocompositi.

Bachelard, G. (1948). *La terre et les rêves de la volonté*. Librairie José Corti.

Badalucco, L., & Chiapponi, M. (2009). *Energia e design. Innovazioni di prodotto per la sostenibilità energetica*. Carocci.

Bak-Andersen, M. (2021). *Reintroducing Materials for Sustainable Design. Design Process and Educational Practice*. Routledge.

Baker, A. B., Francois, G., Hazzard, M. K., & Weaver, P. M. (2014). Green composites: A review of material attributes and complementary applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 56, 280-289.

Bakker, C., Balkenende, R., & Poppelaars, F. (2018). Design for product integrity in a circular economy. In *Designing for the Circular Economy* (1st ed., pp. 9). Routledge.

Bakker, C., den Hollander, M., van Hinte, E., & Zijlstra, Y. (2019). *Products that last: Product design for circular business models*. TU Delft Library.

Balasubramanian, M. (2014). *Composite materials and processing*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Baldo, G. L., Marino, M., & Rossi, S. (2005). *Analisi del ciclo di vita (LCA): Materiali, prodotti e processi*. Edizioni Ambiente.

Balkenende, R., Bocken, N., & Bakker, C. (2017). Design for the circular economy. In *Routledge Handbook of Sustainable Design* (1st ed., pp. 16). Routledge.

Ball, P. (2008). *Elementi: Di cosa è fatto il mondo in cui viviamo*. Mimesis.

Bank, L. C., Arias, F. R., Yazdanbakhsh, A., Gentry, T. R., Al-Haddad, T., Chen, J.-F., & Morrow, R. (2018). Concepts for reusing composite materials from decommissioned wind turbine blades in affordable housing. *Recycling*, 3(1), 3.

Barbero, S. (2017). *Systemic design method guide for policymaking: A circular Europe on the way*. Allemandi.

Barbero, S. and Ferrulli, E. (2023) "Ecological and digital transition. Systemic Design in SMEs open innovation processes", *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 13, pp. 269-280.

Barbero, S., Giraldo Nohra, C., & Campagnaro, C. (2022). Systemic solutions for the holistic well-being of cities. Processes, results and reflections. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 11, 50-61.

Becatini, G. (2015). *La coscienza dei luoghi, il territorio come soggetto corale*. Donzelli.

Bennett, J. (2023). *Materia vibrante: Un'ecologia politica delle cose*. Timeo.

Bennett, J., Bühlmann, V., Harman, G., Weizman, I., & Witt, A. (2013). *Add metaphysics: Essays and assignments*. Aalto University Digital Design Laboratory.

- Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. Mariner Books.
- Bertola, P., & Manzini, E. (Eds.) (2004). *Design multiverso. Appunti di fenomenologia del design*. Polidesign.
- Bever, M. (Ed.). (1994). *The encyclopedia of advanced materials*. Elsevier.
- Bevilacqua, P. (2008). *La Terra è finita. Breve storia dell'ambiente*. Laterza.
- Bidois, V., Taylor, C., & Bargh, R. R. (2015). *Maori weaving: The art of creating Maori textiles*. Huia Publishers.
- Bignolini, F., "Noi odiamo la vetroresina" <https://www.velaemotore.it/fabio-bignolini-northern-light-composites-ecoracer-barca-riciclabile-sostenibile-green-vetroresina-intervista-21369> (ultimo accesso 19 agosto 2024).
- Bilisik, K., Karaduman, N. S., & Bilisik, N. E. (2016). Fiber architectures for composite applications. In S. Rana & R. Figueiro (Eds.), *Fibrous and textile materials for composite applications* (pp. 45-60). Springer.
- Bistagnino, L. (2017). *MicroMacro: Micro relazioni come rete vitale del sistema produttivo*. Slow Food Editore.
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320.
- Bompan, E., & Brambilla, I. N. (2021). *Che cos'è l'economia circolare*. Edizioni Ambiente.
- Bonneuil, C., & Fressoz, J. B. (2016). *The Shock of the Anthropocene: The Earth, History and Us*. Verso Books.
- Bonomi, A. (2024). *Microcosmi. Saggi brevi su economia, società territorio*. Il Sole 24 Ore.
- Bookchin, M. (1980). *Toward an Ecological Society*. Black Rose Books.
- Boonpracha, J., Chanplin, P., Ngampipat, C., & Serm Sri, N. (2024). Upcycling for repurposing waste into creative products. *Creativity Studies*, 17(1), 192–206.
- Boppana, S. B., Ramachandra, C. G., Palani, K. K., & Ramesh, S. (Eds.). (2023). *Structural composite materials: Fabrication, properties, applications and challenges*. Springer.
- Borjan D., Knez Ž., & Maša K. (2021). Recycling of Carbon Fiber-Reinforced Composites-Difficulties and Future Perspectives. *Materials (Basel)*, 14(15), Article 4191.
- Borjan, D., Santos, R. M., & Tavares, T. (2021). Recycling of carbon fiber-reinforced composites – Difficulties and future perspectives. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23, 242-255.
- Brabazon, D. (2021). Introduction: Polymer matrix composite materials. In *Encyclopedia of materials: Composites* (pp. 563-564). Elsevier.

- Branzi, A. (1995). Per un'estetica sostenibile. In E. Manzini & M. Susani (Eds.), *The solid side* (pp. 132–134). The Solid Side.
- Branzi, A. (2008a). *Il design italiano 1964-2000*. Electa.
- Branzi, A. (2008b). La tecnologia avanzata. In A. Branzi (Eds.), *Il design italiano 1964-2000* (314-325). Mondadori Electa.
- Branzi, A. (2015). *Introduzione al design italiano: Una modernità incompleta*. Baldini Castoldi Editori.
- Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.
- Brignoni, M. (2023). AtelieRwanda, design e fibre vegetali. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 56-69). Media MD.
- Brunner, A. J. (2008). Experimental study of delamination in cross-ply laminates. *Journal of Composite Materials*, 42(7), 1123-1135.
- Brunner, T. A., Guberan, C., Lefteri, C., & Tannir, A. (2021). *Aesthetics of sustainability: Material experiments in product design conducted at ECAL*. Triest Verlag.
- Buchanan, R. (1992). Wicked Problems in Design Thinking. *Design Issues*, 8(2), 5-21.
- Buildnews. (s.d.). A Eindhoven il primo ponte fatto di materiali bio. Recuperato da: <https://www.buildnews.it/index.php/articolo/a-eindhoven-il-primo-ponte-fatto-di-materiali-bio> (ultima consultazione 19 ottobre 2024).
- Bunt, L., & Harris, M. (2010). *Mass localism: A way to help small communities solve big social challenges*. Nesta.
- Calcagnini, L., Magarò, A., & Mariani, M. (2018). Biopolimeri dagli scarti della filiera agroalimentare. Bioplastiche e biopolimeri come alternative ai materiali tradizionali: Stato dell'arte e prospettive future della ricerca. *Officina*, 21, 22-27.
- Callister, W. D. (1984). *Materials science and engineering: An introduction*. John Wiley & Sons, p. 389.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2019). *Scienza ed ingegneria dei materiali*. Edises.
- Câmara Municipal de Coruche. (n.d.). Observatório do Sobreiro e da Cortiça. Recuperato da: <https://www.cm-coruche.pt/portal-do-investidor/observatorio-do-sobreiro-e-da-cortica> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).
- Câmara Municipal de Coruche. (n.d.). Tiragem da cortiça é oficialmente Património Cultural Imaterial. Recuperato da: https://www.cm-coruche.pt/noticias_impt1/item/3292-tiragem-da-cortica-e-oficialmente-patrimonio-cultural-imaterial (ultima consultazione 24 ottobre 2024).
- Campilho, R. D. S. G. (2017). Recent innovations in biocomposite products. In D. Ray (Ed.), *Biocomposites for high-performance applications* (pp. 275-

306). Woodhead Publishing.

Cardini, P. (2022). Endogenesis. *DIID - Disegno Industriale Industrial Design*, 76, 16–21.

Cardone, M. (2022). Dentro il cantiere della pala eolica riciclabile più grande del mondo. Recuperato da: <https://economiecircolare.com/pale-eoliche-riciclabili> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

Caretto, F. (2020). Da rifiuto a risorsa: La nuova vita delle fibre di carbonio. Recuperato da: <https://www.openinnovation.regione.lombardia.it/b/572/> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

Carullo, R. (2023). Autarchie contemporanee e modelli di sviluppo meridiano. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 42-55). Media MD.

Carullo, R., Cecchini, C., Ferrara, M., Langella, C., & Lucibello, S. (2017). From science to design: The Design4Materials virtuous cycle. *The Design Journal*, 20(sup1), S1794-S1806.

Castells, M. (2002). La nascita della società in rete. Bocconi Editore.

Cecchini, C. (2005). *Plastiche: I materiali del possibile. Polimeri e composti tra design e architettura*. Alinea.

CELC. (2012). *Il lino Europeo. La fibra verde del futuro, creativa e innovativa*. CELC.

Ceppi, G. (2014). Il design dei materiali in Italia: Il contributo del Centro Ricerche Domus Academy 1990-1998. *AIS Design Journal*, 2(4), 194–220.

Cerchiara, T., Chidichimo, G., Gallucci, M. C., & Vuono, D. (2010). Effects of extraction methods on the morphology and physico-chemical properties of Spanish broom (*Spartium junceum* L.) fibres. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 18(3), 56-63.

Cersosimo, D., Ferrara, A. R. & Nisticò, R. (2018). Gli imprenditori e i luoghi: scenari in movimento. In De Rossi, A. (Ed.), *Riabitare l'Italia – Le aree interne tra abbandoni e riconquiste*. Donzelli editore.

Ceruti, M., & Laszlo, E. (Eds.). (1988). *Physis: Abitare la terra*. Feltrinelli.

Ceschin, F., & Gaziulusoy, I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. *Design Studies*, 47, 118-163.

Chakkour, M., Moussa, M. O., Khay, I., Balli, M., & Ben Zineb, T. (2023). Long-term water aging of composites with bamboo fiber and montmorillonite filler. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 0(0).

Chang, B. P., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2020). Studies on durability of sustainable biobased composites: A review. *RSC Advances*, 10(31), 17955-17999.

Charter, M., & Tischner, U. (Eds.). (2017). *Sustainable solutions: Developing*

products and services for the future. Greenleaf Publishing.

Chiapponi, M. (1989). *Ambiente: Gestione e strategia. Un contributo alla teoria della progettazione ambientale*. Feltrinelli.

Chilton, J. (2002). *Atlante delle strutture reticolari*. UTET.

Choay, F. (2003). *Espacements: figure di spazi urbani nel tempo*. Skira.

Chung, D. D. L. (1994). *Carbon Fiber Composites*. Butterworth-Heinemann.

Civard-Racinais, A. (2023). We explore: un catamaran "vert" conçu à 50% en lin. Curieux. Recuperato da: <https://www.curieux.live/2023/09/01/we-explore-un-catamaran-vert-concu-a-50-en-lin/> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

Clarke, A. J. (Ed.). (2017). *Design anthropology: Object cultures in transition*. Bloomsbury Academic.

Colani, L. (1979). *Luigi Colani: Designing tomorrow*. Car Styling.

Commissione Europea. (2018). *A sustainable bioeconomy for Europe: Strengthening the connection between economy, society and the environment*. Publications Office of the European Union.

Cooke, T. F. (1991). Inorganic fibers. A literature review. *Journal of Materials Science*, 26, 3801-3812.

Coole, D., & Frost, S. (Eds.). (2010). *New materialisms: Ontology, agency, and politics*. Duke University Press.

Coraglia, V. (2018). Natura 4.0, avanguardie bio-ispirate per il design del futuro. Imitazione, collaborazione, ingegnerizzazione, manipolazione: Nuovi metodi produttivi basati su sistemi viventi. *Officina*, 21, 28-37.

Corbman, B. P. (1967). *Textiles: Fiber to Fabric*. McGraw-Hill.

Corbman, B. P. (1990). *Manuale delle fibre tessili*. Tecniche Nuove.

Corrado, A., & Ebbreo, C. (2020). Terra. In D. Cersosimo & C. Donzelli (Eds.), *Manifesto per riabitare l'Italia* (pp. 219-223). Donzelli.

Corrado, M. (2020). *Architetture del dopo. Costruire con le piante. Salice, canna, bambù, paglia, terra*. DeriveApprodi.

Corsini F., Gusmerotti N.M., & Frey M. (2020), Consumer's Circular Behaviors in Relation to the Purchase, Extension of Life, and End of Life Management of Electrical and Electronic Products: A Review. *Sustainability*, 12(24), Article 10443.

COSMOB. (n.d). *Forest Comp*. Recuperato da: <https://www.cosmob.it/portfolio/forest-comp/> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

Cristallo, V. (2021). *Do research. Make design*. ListLab.

Cristóbal, J., Albizzati, P. F., Giavini, M., Caro, D., Manfredi, S., & Tonini, D. (2023). Management practices for compostable plastic packaging waste: Impacts, challenges and recommendations. *Waste Management*, 170, 166-176.

Crivelli Visconti, I., Caprino, G., & Langella, A. (2009). *Materiali compositi: Tecnologie, progettazione, applicazioni*. Hoepli.

Dal Palù, D., & Lerma, B. (2023). How natural are the “natural” materials? Proposal for a quali-quantitative measurement index of naturalness in the environmental sustainability context. *Sustainability*, 15(5), 4349.

Dardi, D. (2005). *Il design di Alberto Meda: Una concreta leggerezza*. Electa.

De Fusco, R. (2009). *Storia del design*. Editori Laterza.

De Rossi, A. (Ed.). (2018). *Riabitare l'Italia – Le aree interne tra abbandoni e riconquiste*. Donzelli.

Del Curto, B., Marano, C., & Pedeferra, M. P. (2015). *Materiali per il design. Introduzione ai materiali e alle loro proprietà*. Hoepli.

Delicano, J. A. (2018). A review on abaca fiber reinforced composites. *Composite Interfaces*, 25(12), 1039-1066.

Designboom. (n.d.). *Layered Coconut Fiber Chair by Jorrit Taekema*. Recuperato da: <https://www.designboom.com/design/jorrit-taekema-layered-coconut-fiber-chair/> (ultima consultazione 19 ottobre 2024).

Devaraju, S., & Alagar, M. (2021). Polymer matrix composite materials for aerospace applications. In D. Brabazon (Ed.), *Encyclopedia of materials: Composites* (pp. 947-969). Elsevier.

Di Resta, S., Favaretto, G., & Pretelli, M. (2021). *Materiali autarchici: Conservare l'innovazione*. Il Poligrafo.

Donkor, L., Kontoh, G., Yaya, A., Bediako, J. K., & Apalangya, V. (2023). Bio-based and sustainable food packaging systems: Relevance, challenges, and prospects. *Applied Food Research*, 3(2), 100356.

Donolo, C. (2012). I beni comuni presi sul serio. In G. Arena & C. Iaione (Eds.), *L'Italia dei beni comuni* (pp. 13-54). Carocci.

Doveil, F. (1993). Verso un progetto post-ecologico. *Modo*, 149, 28.

Doveil, F. (2021). *Legno, potremo ancora chiamarlo così?* Recuperato da: <https://www.lifegate.it/legno-architettura-design-futuro> (ultima consultazione 24 marzo, 2024).

Drazin, A. (2015). Material transformations. In A. Drazin & S. Küchler (Eds.), *The Social Life of Materials: Studies in Materials and Society* (pp. 23-42). Routledge.

Dumée, L. F. (2022). Circular materials and circular design – Review on challenges towards sustainable manufacturing and recycling. *Circular Economy and Sustainability*, 2(1), 9-23.

Earley, R., & Hornbuckle, R. (Eds.). (2023). *Design Materials and Making for Social Change: From Materials We Explore to Materials We Wear*. Routledge.

Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR). (2023). Recuperato da: https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products_en (ultima consultazione 19 agosto 2024).

EconomiaCircolare.com. (ultima consultazione 2024, 14 febbraio). Materie prime critiche: L'impatto sull'acqua. Recuperato da: <https://economiecircolare.com/materie-prime-critiche-impatto-acqua/>

Ellen MacArthur Foundation. (2021). *How the circular economy tackles climate change*. Ellen MacArthur Foundation.

Ellen MacArthur Foundation. (2023). *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation.

Escobar, A. (2018). *Designs for the Pluriverse: Radical Interdependence, Autonomy, and the Making of Worlds*. Duke University Press.

Esposito B., Sessa M.R., Sica D., & Malandrino O. (2020). Towards Circular Economy in the Agri-Food Sector. A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 12(18), Article 7401.

European Bioplastics. (2023). *EU policy framework on biobased, biodegradable, and compostable plastics*. European Bioplastics e.V.

European Commission. (2022). *Ecodesign for Sustainable Products Regulation*. Publications Office of the European Union.

European Flax. (2024). European Flax® certification. Retrieved October 24, 2024, from <https://europeanflax.com>

Fagnoni, R. (2018). Da ex a next. Design e territorio, una relazione circolare basata sulle tracce. *MD Journal*, 5, 16-27.

Fagnoni, R. (2018). Practicescape. Orizzonti della pratica nella ricerca in design. In *Atti del convegno FRID 2017* (pp. 71-79). Mimesis Edizioni.

Falabrino, G. L. (2007). *Il design parla italiano: Vent'anni di Domus Academy*. Libri Scheiwiller.

Farrel, G., Thirion, S., & Soto, P. (1999). La competitività territoriale: costruire una strategia di sviluppo territoriale alla luce dell'esperienza LEADER. *Innovazione in ambito rurale*, 6, Fascicolo 1.

Fassio, F., Cionchi, E., & Tondella, A. (2020). The circular economy for food in future cities. Good practices that define Smart Food. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 8, 244-253.

Fernandez, L. V. (1979). A cortiça material polivalente. *Boletim Instituto Dos Produtos Florestais - Cortiça*, 487, 354-364.

Ferrara, M. (2005). *Materiali e innovazione nel design*. Gangemi Editore.

Ferrara, M. (2021). Circular materials: Bioplastics, creative industries, design practices, emerging materials, design for materials. In L. Clèries, V. Rognoli, S. Solanki, & P. Llorach (Eds.), *Material Designers. Boosting talent towards circular economies* (pp. 52-59). Creative Europe Programme of the European Union

Ferrara, M., & Bianco, B. (2023). Italia, anni Venti-novanta. Le plastiche nell'ambito del design: Dalla sostenibilità economica alla sostenibilità ambientale. *AIS/Design. Storia e Ricerche*, 10(19).

Ferrara, M., & Squatrito, A. (2022). Design-driven innovation of bio-based circular materials. Design strategies and skills. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 11(online), 288-299.

Finaurini, M. (2022). *La grammatica dei tessuti*. Gribaudo.

Finessi, B. (2014). *Il design italiano oltre le crisi. Autarchia, austerità, autoproduzione*. Corraini.

Fiorani, E. (2000). *Leggere i materiali: Con l'antropologia, con la semiotica*. Lupetti.

Fioravanti, M. (2023). Le fibre vegetali: un'opportunità per il design sostenibile. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 42-55). Media MD. 1. Parente, M. (2017). Design for Territories as reflective practice. *PAD Journal*, 13, 10-27.

Fivet, C., & Brütting, J. (2020). Nothing is lost, nothing is created, everything is reused: Structural design for a circular economy. *The Structural Engineer*, 222.

FlaxComp. (2024). FlaxComp - Flax composite solutions. Retrieved October 24, 2024, from <https://www.flaxcomp.com/en>

Flichy, P. (1996). *L'innovazione tecnologica. Le teorie dell'innovazione di fronte alla rivoluzione digitale*. Feltrinelli.

Florea, R. M., & Carcea, I. (2012). Polymer matrix composites – Routes and properties. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 4(1), 59-68.

Foer, J. S. (2019). *Possiamo salvare il mondo, prima di cena. Perché il clima siamo noi*. Guanda.

Fragassa, C., Vannucchi de Camargo, F., & Santulli, C. (2024). Sustainable biocomposites: Harnessing the potential of waste seed-based fillers in eco-friendly materials. *Sustainability*, 16(4), 1526.

Franklin, K., & Till, C. (2019). *Radical Matter: Rethinking Materials for a Sustainable Future*. Thames & Hudson.

Frassine, R. (2021). *Tecnologie e proprietà dei materiali compositi*. Amazon.

Frassine, R. (2024). Composites sustainability: The EuCIA perspective. Recuperato da: <https://belgian-presidency.consilium.europa.eu/media/pdujnfca/break-out-arenberg-2-eucia.pdf> (ultima consultazione 19 agosto 2024).

Frassine, R., Marano, C., & Rink Sugar, M. E. (2015). Pannelli multistrato e sandwich. In B. Del Curto, C. Marano, & M. Pedferri (Eds.), *Materiali per il design: Introduzione ai materiali e alle loro proprietà* (pp. 326-354). Casa Editrice Ambrosiana.

Fuso, S. (2021). *Il segreto delle cose. Storie di uomini e materiali*. Carrocci.

Gallo, F. (2015). Modelli audiovisivi e prefigurazioni digitali nelle sperimentazioni sul medium esposizione: Les Immatériaux di Jean-François Lyotard. *Ricerche di S/Confine*, 6(1), 184-193.

Gay, D., Hoa, S. V., & Tsai, S. W. (2003). *Composite Materials, Design and Application*. CRC Press.

Genevaux, C., & Bounoure, G. (2017). *Cork in architecture, design, fashion, and art*. Gingko Press Inc.

Genovesi, E., & Pellizzari, A. (2021). *Neomateriali 2.0 nell'economia circolare*. Edizioni Ambiente.

Gil, L. (1998). *Cortiça: Produção, tecnologia e aplicação*. INETI.

Gómez-Gast, N., Rivera-Santana, J. A., Otero, J. A., & Vieyra, H. (2023). Simulation of a composite with a polyhydroxybutyrate (PHB) matrix reinforced with cylindrical inclusions: Prediction of mechanical properties. *Polymers*, 15(24), 4727.

Gorz, A. (1977). *Écologie et liberté*. Éditions Galilée.

Guinebault, M. (2020). Le filature di lino stanno rifiorendo in Europa (G. Bolelli, Trad. It.). Fashion Network. Recuperato da: <https://it.fashionnetwork.com/news/Le-filature-di-lino-stanno-rifiorendo-in-europa,1249805.html> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

Gunn, W., Otto, T., & Smith, R. C. (Eds.). (2013). *Design anthropology: Theory and practice*. Bloomsbury USA Academic.

Han, J. M., & Yoon, D. K. (2021). Advances in soft materials for sustainable electronics. *Engineering*, 7(5), 564-580.

Hardy, B. L., Moncel, M. H., Kerfant, C., Lebon, M., Bellot-Gurlet, L., Mélard, N., & Navarro, N. (2020). Direct evidence of Neanderthal fibre technology and its cognitive and behavioral implications. *Scientific Reports*, 10(1), 4889.

Hartung, D., Celevics, S., Hirsch, P., Jahn, I., Kneisel, L., Kölzig, K., Matthes, A., & Cebulla, H. (2023). Manufacturing and analysis of natural fiber-reinforced thermoplastic tapes using a novel process assembly. *Sustainability*, 15(7), 6250.

High Performance, Economical and Sustainable Biocomposite Building Materials. Recuperato da: <https://cordis.europa.eu/project/id/285689/reporting/it> (ultimo accesso 19 agosto 2024).

Hornbuckle, R. (2023). Hands-on hands-off: On proximities to materials and systems in design research. In R. Earley & R. Hornbuckle (Eds.), *Design materials and making for social change: From materials we explore to materials we wear* (pp. 46-69). Routledge.

Hu, L., Hecht, D. S., & Grüner, G. (2010). Carbon nanotube thin films: Fabrication, properties, and applications. *Chemical Reviews*, 110(10), 5790-5844.

Hudson, R. (2011). Critical political economy and material transformation. *Global Society*, 25(3), 373-397.

IDIS. (2022). Les savoir-faire du lin textile. Recuperato da: <https://chaire-idis.fr/wp-content/uploads/2022/02/Les-savoir-faire-du-lin-textile-.pdf> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

IDIS. (2023). Les savoir-faire du chanvre textile. Recuperato da: <https://chaire-idis.fr/wp-content/uploads/2022/02/Les-savoir-faire-du-chanvre-textile-.pdf> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

Ikhwan, Y., Ibrahim, N., Mahmud, R., & Sulaiman, S. (2020). A review on kenaf fiber hybrid composites: Mechanical properties, potentials, and challenges in engineering applications. *Journal of Natural Fibers*, 17(6), 839-852.

Ingold, T. (2012). Toward an ecology of materials. *Annual Review of Anthropology*, 41, 427-442.

Ingold, T. (2019). *Making. Antropologia, archeologia, arte e architettura*. Raffaello Cortina Editore.

Islam, M. Z., Sarker, E., Rahman, M. M., Syduzzaman, M., Khan, M. A., Rahman, M., & Huq, T. (2022). Green composites from natural fibers and biopolymers: A review on processing, properties, and applications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 41, 5-23.

Istituto della Enciclopedia Italiana. (n.d.). *Fibra*. In Treccani.it.

Iuliano, L. A. (Ed.). (2010). *Semplificazione e razionalizzazione del processo tradizionale di estrazione della fibra di ginestra*. Centro Sperimentale e Dimostrativo di San Pietro Lametino di Lamezia Terme.

Jayanth, D., Kumar, P. S., Nayak, G. C., & Senthamarai Kannan, P. (2018). A review on biodegradable polymeric materials striving towards the attainment of green environment. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(2), 838-865.

Jefferson, A. J., & Dhakal, H. N. (2022). Sustainable biobased composites for advanced applications: Recent trends and future opportunities – A critical review. *Composites Part C: Open Access*, 7, 100220.

Jensen, J. P., & Skelton, K. (2018). Wind turbine blade recycling: Experiences, challenges and possibilities in a circular economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 165-176.

Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, 187, 108397.

Joustra, J. J. (2022). *Circular composites: Design strategies for products containing composite materials in a circular economy* [Doctoral dissertation, Delft University of Technology]. TU Delft Repositories. <https://repository.tudelft.nl>

Joustra, J. J., & Bessai, R. (2022). *Circular composites: A design guide for products containing composite materials in a circular economy*. Tu Delft OPEN.

Joustra, J. J., & Bessai, R. (2022). *Circular composites: A design guide for products containing composite materials in a circular economy*. Tu Delft OPEN.

Joustra, J. J., Bakker, C., Bessai, R., & Balkenende, R. (2022). Circular composites by design: Testing a design method in industry. *Sustainability*, 14(13), 7993.

Joustra, J. J., Flipsen, B., & Balkenende, R. (2021). Circular design of composite products: A framework based on insights from literature and industry. *Sustainability*, 13(13), 7223.

Julier, G., & Hodson, E. (2021). Value, Design, Scale: Towards a Territories and Temporalities Approach. In E. Brandt, T. Markussen, E. Berglund, G. Julier, & P. Linde (Eds.), *Nordes 2021: Matters of scale* (pp. 96-103). Kolding.

Kapsali, V. (2021). *Biomimetics for Designers: Applying Nature's Processes & Materials in the Real World*. Thames & Hudson.

Karana, E., Barati, B., Rognoli, V., & Zeeuw van der Laan, A. (2015). Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences. *International Journal of Design*, 9(sup2), 35-54.

Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V. (Eds.). (2013). *Materials experience: Fundamentals of materials and design*. Butterworth-Heinemann.

Karuppannan, G., & Kärki, T. (2020). A review on the recycling of waste carbon fibre/glass fibre-reinforced composites: Fibre recovery, properties and life-cycle analysis. *SN Applied Sciences*, 2(1), 433.

Kirkham, P., & Weber, S. (Eds.). (2013). *History of design: Decorative arts and material culture, 1400-2000*. Yale University Press.

Kish, B. (Eds.). (2019). *Gio Ponti*. Taschen.

Klöpfer, W., & Grahl, B. (2014). *Life cycle assessment (LCA): A guide to best practice (3a ed.)*. Wiley.

Knippers, C., & Gabler, L. (2011). *Atlante delle materie plastiche*. UTET.

Kong, U., Mohammad Rawi, N. F., & Tay, G. S. (2023). The potential applications of reinforced bioplastics in various industries: A review. *Polymers*, 15(10), 2399.

Krauklis, A. E., Karl, C. W., Gagani, A. I., & Jørgensen, J. K. (2021). Composite material recycling technology—State-of-the-art and sustainable development for the 2020s. *Journal of Composites Science*, 5(1), 28.

Küchler, S. (2015). Materials: The story of use. In A. Drazin & S. Küchler (Eds.), *The social life of materials: Studies in materials and society* (pp. 200-212). Routledge.

LAC News24. (n.d.). *Unical, il docente che estrae fibre dalla ginestra: "Abbiamo trovato il metodo, ora tocca alle industrie"*. Recuperato da: https://www.lacnews24.it/attualit/unical-il-docente-che-estrapae-fibre-dalla-ginestra-abbiamo-trovato-il-metodo-ora-tocca-alle-industrie_147924/ (ultima consultazione 19 ottobre 2024).

Lacy, P., Long, J., Spindler, W., & Orneli, S. (2021). *Il manuale della circular economy*. Egea.

Latouche, S. (2009). *Usa e getta. Le follie dell'obsolescenza programmata*. Bollati Boringhieri.

Lave, J., & Wenger, E. (1990). *Situated Learning: Legitimate Periperal Participation*. Cambridge University Press.

Lecce, C. (2014). Abet Laminati: Il design delle superfici. *AIS Design Journal*, 2(4), 151-193.

Leclercq, E., & Smit, M. (2023). Circular Communities: The circular value flower as a design method for collectively closing resource flows. *Tu Delft OPEN*.

Lemmonier, P. (2012). *Mundane objects: Materiality and non-verbal communication*. Routledge.

Lerma, B., & Bruno, E. V. (2021). Industrial reconversion in productive clusters. Design and active preservation of local know-how. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 9, 194–203.

Lerma, B., De Giorgi, C., & Allione, C. (2011). *Design e materiali. Sensorialità, sostenibilità, progetto*. Franco Angeli.

Leroi-Gourhan, A. (1943). *Évolution et techniques I: L'homme et la matière*. Albin Michel.

Liew, K. B., Goh, C. F., Asghar, S., & Syed, H. K. (2021). Overview of mechanical and physicochemical properties of polymer matrix composites. In D. Brabazon (Ed.), *Encyclopedia of materials: Composites* (pp. 565-576). Elsevier.

Lin, A., & Meyers, M. A. (2005). Growth and structure in abalone shell. *Materials Science and Engineering: A*, 390(1-2), 27-41.

Linen and Hemp, (2024). CELC: The technical section. Recuperato da: https://issuu.com/linenandhemp/docs/celc_the_technical_section_1 (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

Linen and Hemp. (2012). Le lin Européen: La fibre verte d'avenir, créative et innovante. Recuperato da: https://issuu.com/linenandhemp/docs/argu-dp-fren-a3__21.08.2012 (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

Liu, P., & Barlow, C. Y. (2017). Wind turbine blade waste in 2050. *Waste Management*, 62, 229-240.

Longana, M. L., Ong, N., Yu, H., & Potter, K. D. (2016). Multiple closed loop recycling of carbon fibre composites with the HiPerDiF (High Performance Discontinuous Fibre) method. *Composite Structures*, 153, 271-277.

Lovegrove, R., & Brayer, M. A. (2017). *Convergence: Ross Lovegrove*. Buro Sieveking Gmbit.

Lucatelli, S., & Sonzogno, G. V. (2021). Confini, sviluppo locale e relazioni aree interne/aree urbane. L'esperienza Snai e i legami tra territori. In F. Barbera & A. De Rossi (Eds.), *Metromontagna: un progetto per riabitare l'Italia* (pp. 128-132). Donzelli.

Lyotard, J. F. (Ed.). (1985). *Les immatériaux: Album et inventaire*. Centre Pompidou.

Machado, N., & Morioka, S. N. (2021). Contributions of modularity to the circular economy: A systematic review of literature. *Journal of Building Engineering*, 44, 103322.

Magnaghi, A. (2010). *Il progetto locale: verso la coscienza del luogo*. Torino: Bollati Boringhieri.

Magnaghi, A. (2017). *La conscience du lieu*. Editions Etérotopia.

Magnaghi, A. (2020). *Il principio territoriale*. Bollati Boringhieri.

Maldonado, T. (1970). *La speranza progettuale*. Ambiente e società. Einaudi.

Maldonado, T. (1988). Che cosa c'è di vero nella dematerializzazione? In AA.VV. (Ed.), *Metamorfosi delle materie (Suppl. a Alfa bis, 2, p. III)*. Alfabeta.

Maldonado, T. (2015). *Reale e virtuale*. Feltrinelli.

Mancini, M. (2023). *Basalt Fiber: Material, Design, Art*. Springer.

Manu, T., Nazmi, A. R., Shahri, B., Emerson, N., & Huber, T. (2022). Biocomposites: A review of materials and perception. *Materials Today Communications*, 31, 103308.

Manu, T., Nazmi, A. R., Shahri, B., Emerson, N., Müssig, J., & Huber, T. (2023). Designing with biobased composites: understanding digital material perception through semiotic attributes. *Design Science*, 9, e6.

Manzini, E. (1986). *La materia dell'invenzione*. Arcadia Edizioni.

Manzini, E. (1987). Alberto Meda. Le sedie Light Light per Alias. Domus, 686, 45-52.

Manzini, E. (1990). *Artefatti: Verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale*. Arcadia.

Manzini, E. (1994). Un'economia sostenibile tra qualità e quantità e qualità sociale. In S. Omodeo Salè (Ed.), *Architettura & Natura. Cose e luoghi per abitare il pianeta* (pp. 28-32). Mazzotta.

Manzini, E. (2004). Un localismo cosmopolita: Prospettive per uno sviluppo locale sostenibile ed ipotesi sul ruolo del design. In R. Fagnoni, P. Gambaro, & C. Vannicola (Eds.), *Me.design_ forme del mediterraneo* (pp. 103-109). Alinea.

Manzini, E. (2008). Nuovi materiali e ricerca progettuale. In A. Branzi (Eds.), *Il design italiano 1964-2000* (325-333). Mondadori Electa.

Manzini, E. (2010). Small, local, open, and connected: Design for social innovation and sustainability. *The Journal of Design Strategies*, 4(1), 8–11.

Manzini, E., & Petrillo, E. (1991). *Neolite: Metamorfosi delle plastiche*. Edizioni Domus Academy.

Mariz, J., Guise, C., Silva, T. L., Rodrigues, L., & Silva, C. J. (2024). Hemp: From field to fiber—a review. *Textiles*, 4(2), 165–182. 7.

Markaide Arana, N. (2022). Design, production and characterization of high performance 3R composites based on dynamic chemistry for the aerospace industry. *Composites Science and Technology*, 227, 109634.

Martina, R. A., & Oskam, I. F. (2021). Practical guidelines for designing recycling, collaborative, and scalable business models: A case study of reusing textile fibers into biocomposite products. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128542.

Mather, R. R., & Wardman, R. H. (2023). *The Chemistry of Textile Fibres*. Royal Society of Chemistry.

Maturana H. R., & Varela F. J. (1980). *Autopoiesis and cognition. The realization of the living*. Reidel.

Mayer, N. J. (1974). *Engineering applications of composites*. Academic Press.

Mazzanti, V., & Mollica, F. (2023). Materiali compositi rinforzati con fibre naturali. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 110-119). Media MD.

Meda, A. (2023). *Tensione e leggerezza*. Electa.

Mela, A., Belloni, M. C., & Davico, L. (2000). *Sociologia e progettazione del territorio*. Carocci.

Mestre, A., & Cooper, T. (2017). Circular Product Design. A Multiple Loops Life Cycle Design Approach for the Circular Economy. *The Design Journal*, 20(sup1), S1620–S1635.

Mingotto, L. (Eds.) (1999). *Marco Vitruvio Pollione. De architectura*. Einaudi.

Miodownik, M. (2015). *La sostanza delle cose: Storie incredibili dei materiali meravigliosi di cui è fatto il mondo*. Bollati Boringhieri.

Miodownik, M., & Tempelman, E. (2014). *Light Touch Matters: The product is the interface*. Light.Touch.Matters.

Mion, A. (2020). Come la tempesta Vaia sia diventata tangibile poesia. Design e cambiamento climatico si incontrano in un cubo di legno. *Officina*, (31), 90-93.

Mobaraki, M., Ghaffari, M., & Mozafari, M. (2020). Self-healing polymers for composite structural applications. In A. Khan, M. Jawaidd, S. N. Raveendran, & A. M. A. Asiri (Eds.), *Self-healing composite materials* (pp. 33-51). Woodhead Publishing.

Montagna, G., & Carvalho, C. (Eds.). (2020). *Textiles, identity and innovation: In touch: Proceedings of the 2nd International Textile Design Conference (D_TEX 2019), June 19-21, 2019, Lisbon, Portugal*. University of Minho.

Moore, H. L., Davies, M., Mintchev, N., & Woodcraft, S. (Eds.). (2023). *Prosperity in the twenty-first century: Concepts, models and metrics*. UCL Press.

Morelli, N., & Sbordone, M. A. (2018). Il territorio delle relazioni: Il design infrastructuring per i contesti locali. *MD Journal*, 5, 176–185.

Morelli, N., De Götzen, A., & Simeone, L. (2020). *Service Design Capabilities*. Springer. p. 45.

Morgan, P. (2005). *Carbon fibers and their composites*. 1r.

Morozzi, C. (1995). Ecologia come creazione. *Modo*, 166, 14–15.

Morpurgo, E. (2022). Syntropic Materials. Designing Forests to Design Natural Materials. In L. Arboritanza, A. C. Benedetti, K. R. Costa, S. Gheduzzi, R. Grasso, I. Gorzanelli, S. Rinaldi, I. Ruggeri, L. Succini, & I. M. Zedda (Eds.), *The Ecological Turn. Design, architecture and aesthetisc beyond “Anthropocene”*, (pp. 223-239). TU Delft Open.

Moulaert, F., & Sekia, F. (2003). Territorial Innovation Models: a critical survey. *Regional Studies*, 3, 289-302.

Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369-380.

Muthu, S. S. (2020). *End-of-life management of textile products: Circular economy and sustainable development*. Springer.

Naqvi, S. R., Prabhakara, H. M., Bramer, E. A., Dierkes, W., Akkerman, R., & Brem, G. (2018). A critical review on recycling of end-of-life carbon fibre/ glass fibre reinforced composites waste using pyrolysis towards a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 118-129.

Neri, G. (2021). *Vico Magistretti. Architetto milanese*. Electa.

NI comp. Recyclable Composites. Recuperato da: <https://northernlightcomposites.com/> (ultimo accesso 19 agosto 2024).

Nurra, N. (2022). *Plasticene. L'epoca che riscrive la nostra storia sulla Terra*. Il Saggiatore.

Olivetti, A. (2013). *Il cammino delle comunità*. Edizioni di Comunità.

Osservatorio Economia Circolare. *Cresce il mercato delle bioplastiche compostabili*. Retrieved from <https://www.osservatorioeconomiecircolare.it/cresce-il-mercato-delle-bioplastiche-compostabili/> (ultima consultazione 19 ottobre 2024).

Osti, G. (2016). *Storage and scarcity: new practices for food, energy and water*. Routledge.

- Oxman, N. (2010). *Material-based design computation* (Tesi di dottorato, Massachusetts Institute of Technology).
- Oxman, N. (2016). Age of Entanglement. *Journal of Design and Science*. <https://doi.org/10.21428/7e0583ad>
- Oxman. (n.d). *Silk Pavilion I*. Recuperato da: <https://oxman.com/projects/silk-pavilion-i> (ultima consultazione 19 ottobre 2024).
- Paoletti, I. (2021). *Siate materialisti!*. Einaudi.
- Papanek, V. (1971). *Design for the real world*. Pantheon Books.
- Parente, M., & Sadini, C. (Eds.) (2017). *Teoria/Pratica – Dialoghi sul design per i territori | 01, D4t Design for territories*. Politecnico di Milano.
- Parente, M., & Sadini, C. (Eds.). (2018). *D4T: Design per i territori: Approcci, metodi, esperienze*. ListLab.
- Parente, M., Sadini, C., & Simonelli, G. (2016). Regeneration through design: Comparing old and new phases of urban renewal strategies. In B. H. Ortuño (Ed.), *Proceedings of the 6th International Forum of Design as a Process Systems & Design: Beyond Processes and Thinking* (pp. 118–133). Editorial Universitat Politècnica de València.
- Pauli, G. (2017). *The blue economy 3.0: The marriage of science, innovation and entrepreneurship creates a new business model that transforms society*. Xlibris US.
- Pérez-Pacheco, E., Canto-Pinto, J. C., Manuel Moo-Huchin, V., Estrada-Mota, I. A., Estrada-León, R. J., & Chel-Guerrero, L. (2016). Thermoplastic starch (TPS)-cellulosic fibers composites: Mechanical properties and water vapor barrier: A review. *Composites Science Review*, 58(3), 150-175.
- Perry, N., Bernard, A., Laroche, F., & Pompidou, S. (2012). Improving design for recycling – Application to composites. *CIRP Annals*, 61(1), 151-154.
- Peruccio, P. P. and Vrenna, M. (2019) “Design and microalgae. Sustainable systems for cities”, *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 6(online), pp. 218–227.
- Perullo, N. (2020). *Estetica ecologica: Percepire saggio, vivere corrispondente*. Mimesis Edizioni.
- Pietroni, L. (2001). Il dibattito italiano su design e ambiente. In *Op. Cit.* 112, 36-59.
- Pietroni, L., Di Stefano, A., & Galloppo, D. (2023). Modular design towards the circular economy – From ‘making to unmake’ to ‘making to remake’. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 14, 274–283.
- Plackett, D. V., Mummery, J., & Melrose, J. (1992). Fibre-based composites in New Zealand: Past developments and future opportunities. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 21(2), 246-255.

- Ploeg, J. D. van der. (2009). *I nuovi contadini: le campagne e le risposte alla globalizzazione*. Donzelli.
- Poe, A. (2011). Review essay: Things-beyond-objects. *Journal of French and Francophone Philosophy*, 19(1), 53-64.
- Pokharel, A., Falua, K. J., Babaei-Ghazvini, A., & Acharya, B. (2022). Biobased polymer composites: A review. *Journal of Composite Science*, 6(9), 255.
- Poletto, M. (Ed.). (2016). *Composites from renewable and sustainable materials*. InTechOpen.
- Poli, D. (2020). Tracciare la rotta per iscrivere i servizi ecosistemici nella pianificazione bioregionale. In D. Poli (Ed.), *I servizi ecosistemici nella pianificazione bioregionale* (pp. 129-135). Firenze University Press.
- Post, N. L., Lesko, J. J., & Case, S. W. (2005). The role of durability in reliability-based design of composite materials for civil structures. *Journal of Composite Materials*, 39(2), 5-26.
- Post, W., Susa, A., Blaauw, R., Molenveld, K., & Knoop, R. J. I. (2019). A Review on the Potential and Limitations of Recyclable Thermosets for Structural Applications. *Polymer Reviews*, 60(2), 359–388.
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Circular economy: Measuring innovation in product chains*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Pradhan, D., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2022). Emerging technologies for the production of nanocellulose from lignocellulosic biomass. *Carbohydrate Polymers*, 285, 119258.
- Prasad, V., Alliyankal Vijayakumar, A., Jose, T., & George, S. C. (2024). A comprehensive review of sustainability in natural-fiber-reinforced polymers. *Sustainability*, 16(3), 1223.
- Rahm, P. (2023). *Le style anthropocène*. HEAD Publishing.
- Raimondo, C. (2006). Design dei materiali. In E. Manzini, & P. Bertola (Eds.), *Design Multiverso* (pp. 165-178). Edizioni POLI.design.
- Rameshkumar, S., Shaiju, P., O'Connor, K., & P less, R. (2020). Bio-based and biodegradable polymers: State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Green and Sustainable Chemistry*.
- Ranalli, P. (Ed.). (2020). *La canapa: Miglioramento genetico, sostenibilità, utilizzi, normativa di riferimento*. Edagricole.
- Rau, T., & Oberhuber, S. (2022). *Material Matters: Developing Business for a Circular Economy*. Routledge.
- Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st-century economist*. Random House Business.

- Real, M., Earley, R., & Goldsworthy, K. (2019). Practices, places, projects: Enrolling stakeholders for circular fashion. In *Proceedings of the Global Fashion Conference: What's going on?* (pp. 1-22). Global Fashion Conference 2018.
- Renzi, E. (2008). *Comunità concreta. Le opere e il pensiero di Adriano Olivetti*. Guida.
- Riccio, A. (2008). Delamination in the context of composite structural design. In S. Sridharan (Ed.), *Delamination behaviour of composites* (pp. 28-64). Woodhead Publishing.
- Rittel, H. W. J., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155–169.
- Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J., & Gabarrell Durany, X. (2011). Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in Southern Europe (Catalonia - Spain). *Journal of Cleaner Production*, 7.
- Rognoli, V., & Levi, M. (2013). *Il senso dei materiali per il design*. FrancoAngeli.
- Rosenboom, J. G., Langer, R., & Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials*, 7(2), 117–137.
- Rostos da Aldeia. (n.d.). Coruche: Tiradores de cortiça. Recuperato da: <https://www.rostosdaaldeia.pt/santarem/coruche/coruche-tiradores-de-cortica/> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).
- Ruckus Composites. (n.d.). *Precision carbon fiber bicycle frame repair & inspection*. Recuperato da: <https://ruckuscomp.com/> (ultima consultazione 21 agosto 2024).
- Rullani, E. (2004). *Economia della conoscenza. Creatività e valore nel capitalismo delle reti*. Carocci.
- Rutherglen, C., & Burke, P. (2009). Nanoelectromagnetics: Circuit and electromagnetic properties of carbon nanotubes. *Small*, 5(7), 796-804.
- Saba Naheed, Mohammad Jawaid, & Mohamed Thariq (Eds.). (2021). *Biopolymers and biocomposites from agro-waste for packaging*. Elsevier.
- Sabatino, M. (2016). Economic crisis and resilience: Resilient capacity and competitiveness of the enterprises. *Journal of Business Research*, 69(5), 1924–1927.
- Sacchetti, V., & Wang, E. (2023). *Driving the Human: Seven Prototypes for Eco-social Renewal*. Mousse Publishing.
- Sachs, W. (2023). *Economia della sufficienza: Appunti per resistere all'Antropocene*. Castelvecchi.
- Saeed, U., Dawood, U., & Ali, A. M. (2021). Cellulose triacetate fiber-reinforced polystyrene composite. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 34(5), 707-721.

- Salomone, R. (2020). *Industrial Symbiosis for the Circular Economy: Operational Experiences, Best Practices and Obstacles to a Collaborative Business Approach*. Springer.
- Sangeeta, D., & Shubhajit, D. (2021). Properties of polymer, metal, and ceramic based composite materials. In D. Brabazon (Ed.), *Encyclopedia of materials: Composites* (pp. 785-806). Elsevier.
- Santachiara, D. (1985). *La neomerce: Il design dell'invenzione e dell'estasi artificiale*. Electa.
- Santachiara, D. (1991). Design e materiali compositi. *Interni*, 407, 74–75.
- Sapuan, S. M. (2010). *Concurrent Engineering for Composites*. CRC Press.
- Sapuan, S. M. (2017). *Materials Selection for Composites: Concurrent Engineering Perspective*. Elsevier.
- Sarasini, F., & Fiore, V. (2018). A systematic literature review on less common natural fibres and their biocomposites. *Cleaner Production*, 95, 240-267.
- Sathish Kumar, T. P., Satheesh Kumar, S., & Rajesh Kumar, L. (2022). Jute fibers, their composites and applications. In S. M. Rangappa, J. Parameswaranpillai, S. Siengchin, T. Ozbakkaloglu, & H. Wang (Eds.), *Plant fibers, their composites, and applications* (pp. 253-282). Woodhead Publishing.
- Saxena, M., Pappu, A., Haque, R., & Sharma, A. (2023). Sisal fiber based polymer composites and their applications. In M. L. Z. M. W. Kumar, M. H. Ahmed, & H. N. Mahajan (Eds.), *Cellulose fibers: Bio- and nano-polymer composites* (pp. 589-659). Springer.
- Sbordone, M. A., Amato, C. I., & Orlacchio, M. (2022). Prepararsi ora! Design riparatore e autosufficienza programmata. *MD Journal*, 14, 72-83.
- Schittich, C. (1999). *Atlante del vetro*. UTET.
- Schniewind, A. P. (1989). *Concise encyclopedia of wood and wood-based material*. Pergamon Press.
- Schön, D. A. (1993). *Il professionista riflessivo. Per una nuova epistemologia della pratica professionale*. Dedalo.
- Schumacher, E. F. (1973). *Piccolo è bello. Uno studio di economia come se la gente contasse qualcosa*. Mondadori.
- Scodeller, D. (2023a). Design tra agricoltura e industria. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 24-41). Media MD.
- Scodeller, D. (2023b). *Design, community e limiti delle risorse. Dalla civiltà contadina alla società digitale*. Media MD.

Scodeller, D., & Mancini, M. (2023). Design e fibre naturali: materia, ricerca e progetto. In D. Scodeller & M. Mancini (Eds.), *Design e fibre naturali* (pp. 6-13). Media MD.

Selby, S. (2003). *Archery traditions of Asia*. Honk Kong University press.

Shahbazi, S., & Jönbrink, A. K. (2020). Design guidelines to develop circular products: Action research on Nordic industry. *Sustainability*, 12(9), 3679.

Shanmugam, V., Das, O., Neisiany, R. E., & others. (2020). Polymer recycling in additive manufacturing: An opportunity for the circular economy. *Materials Circular Economy*, 2(11), 113.

Shanmugam, V., Mensah, R. A., Försth, M., Sas, G., Restás, Á., Addy, C., Xu, Q., Jiang, L., Neisiany, R. E., Singha, S., George, G., Jose, T. E., Berto, F., Hedenqvist, M. S., Das, O., & Ramakrishna, S. (2021). Circular economy in biocomposite development: State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Composites Part C: Open Access*, 5, 100138

Silva, S. P., Sabino, M. A., Fernandes, E. M., Corrello, V. M., Boesel, L. F., & Reis, R. L. (2005). *Cork: Properties, capabilities and applications*. Maney Publishing.

Sposini, R. (2018). *Neomateriali nell'economia circolare. Automotive*. Edizioni Ambiente.

Sridharan, S. (2008). Delamination failure under compression of composite laminates and sandwich structures. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(7), 1151-1160.

Stahel, W. R. (2010). *The performance economy*. Palgrave Macmillan.

Su, T., Zhao, D., Khodadadi, M., & Len, C. (2020). Lignocellulosic biomass for bioethanol: Recent advances, technology trends, and barriers to industrial development. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 24, 56-60.

Sweet FM. (2024). Vers une filière complète du chanvre textile en Normandie. Retrieved from <https://www.sweetfm.fr/vers-une-filiere-complete-du-chanvre-textile-en-normandie> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

Szatkowski, P., Gralewski, J., Suchorowiec, K., Kosowska, K., Mielan, B., & Kisilewicz, M. (2024). Aging process of biocomposites with the PLA matrix modified with different types of cellulose. *Materials*, 17(1), 22.

Tambyrajah, D. (2015). *Indulge & Explore Natural Fiber Composites. An invitation to product designers*. NFCdesign platform.

Teneggi, G. (2018). Cooperative di comunità: fare economia nelle aree interne. In A. De Rossi (Ed.), *Riabitare l'Italia – Le aree interne tra abbandoni e riconquiste* (pp. 297-306). Donzelli.

Terre de Lin. (2024). Terre de Lin: Risorse e informazioni sul settore del lino. Recuperato da: <https://www.terredelin.com/HP/HPInternet.aspx> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

Thompson, R. (2012). *Il manuale per il design dei prodotti industriali*. Hoepli.

Tilley, C., Keane, W., Küchler-Fogden, S., Rowlands, M., & Spyer, P. (Eds.). (2006). *Handbook of material culture*. SAGE Publications Ltd.

Tironi, M., Chilet, M., Marín, C. U., & Hermansen, P. (Eds.). (2024). *Design for more-than-human futures: Towards Post-Anthropocentric Worlding*. Routledge.

Tola, A. (2012). *Innovazione tecnologica, ecosostenibilità e sviluppo competitivo nel settore del sughero*. Franco Angeli.

Tonolini, M. (2015). *L'Architettura contemporanea del Vorarlberg – Un fenomeno di sostenibilità non solo architettonica nel cuore dell'Europa*, Edizioni Accademiche Italiane.

Trini Castelli, C. (1999). *Transitive design: A design language for the zeroes. Eine Designsprache für die Jahre Null*. Electa.

Trini Castelli, C., & Petrillo, A. (1986). *Il lingotto primario: Progetti di design primario alla Domus Academy*. Arcadia.

Vattimo, G. (1985). *La fine della modernità*. Garzanti.

Veit, D. (2023). *Fibers: History, Production, Properties, Market*. Springer.

Venkatesh, N., Mohan, K., & Kaup, V. (2022). A review on natural fiber composite material in automotive applications. *Engineered Science*, 18, 1-10.

Venturi, G., & Amaducci, M. T. (1999). *Le colture da fibra*. Edagricole.

Verganti, R. (2009). *Design-Driven innovation. Cambiare le regole della competizione innovando radicalmente il significato dei prodotti e dei servizi*. Harvard Business School Press.

Verma, D., Gope, P. C., Shandilya, A., Gupta, A., & Maheshwari, M. K. (2013). Coir fibre reinforcement and application in polymer composites: A review. *Journal of Materials and Environmental Science*, 4(2), 263-276.

Vezzoli, C. (Ed.) (2022). *System design for sustainability in practice: Methods, tools and guidelines to design Sustainable Product-Service Systems applied to Distributed Economies*. Maggioli editore.

Villari, B. (2013). *Design, comunità, territori. Un approccio community-centred per progettare relazioni, strategie e servizi*. Libraccio.

Viotti, C., Albrecht, K., Amaducci, S., Bardos, P., Bertheau, C., Blaudez, D., Bothe, L., Cazaux, D., Ferrarini, A., Govilas, J., Gusovius, H.-J., Jeannin, T., Lühr, C., Müssig, J., Pilla, M., Placet, V., Puschenreiter, M., Tognacchini, A., Yung, L., & Chalot, M. (2022). Nettle, a long-known fiber plant with new perspectives. *Materials*, 15(12), 4288.

Virgocoop. (2024). Virgocoop. Recuperato da: <https://virgocoop.fr/> (ultima consultazione 24 ottobre 2024).

Wahl, D. C., & Baxter, S. (2008). The Designer's Role in Facilitating Sustainable Solutions. *Journal of Cleaner Production*, 16(12), 1216-1223.

Wilkes, S., Wongsriruksa, S., Howes, P., Gamester, R., Witchel, H., Conreen, M., Laughlin, Z., & Miodownik, M. (2015). Design tools for interdisciplinary translation of material experiences. *Journal of Materials & Design*, 85, 451-461.

Wu, G., Zhang, L., Fang, Y., Zheng, N., Zhang, M., Song, X., Yuan, H., Cheng, L., & Chen, S. (2023). The status, problems and development trend of China's industrial hemp. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 15(2), 112-127.

Yildizhan, Ş., Çalık, A., Özcanlı, M., & Serin, H. (2018). Bio-composite materials: A short review of recent trends, mechanical and chemical properties, and applications. *Composite Structures*, 202, 42-59.

Zarafshani, H., Watjanatepin, P., Lepelaar, M., Verbruggen, J., Ouagne, P., De Luca, R., Li, Q., Scarpa, F., Placet, V., & Van Acker, K. (2023). Environmental assessment of woven hemp fibre reinforced epoxy composites and potential applications in aerospace and electric scooter industries. *Results in Materials*, 20, 100474.

Zhang, S., Hao, A., Nguyen, N., Oluwalowo, A., Liu, Z., Dessureault, Y., Park, J. G., & Liang, R. (2019). Carbon nanotube/carbon composite fiber with improved strength and electrical conductivity via interface engineering. *Composites Science and Technology*, 169, 137-143.

Zhang, Y., Yuan, Z., & Xu, C. (2017). Bio-based resins for fiber-reinforced polymer composites. In A. K. Lau & A. P.-Y. Hung (Eds.), *Natural fiber-reinforced biodegradable and bioresorbable polymer composites* (pp. 137-162). Woodhead Publishing.

Zhou, Y., Stanchev, P., Katsou, E., Awad, S., & Fan, M. (2019). A circular economy use of recovered sludge cellulose in wood plastic composite production: Recycling and eco-efficiency assessment. *Waste Management*, 99, 42-48.

Zurlo, F. (2012). *Le strategie del design. Disegnare il valore oltre il prodotto*. Libraccio Editore.