



MD Journal
[Dossier]

DESIGN E FIBRE NATURALI

Atti del convegno scientifico internazionale

MEDIA MD

MD Journal
[Dossier]

DESIGN E FIBRE NATURALI

Atti del convegno scientifico internazionale

A cura di

Dario Scodeller
Marco Mancini

Editors

Essays

Massimo Brignoni, Rossana Carullo,
Niccolò Colafemmina, Marco Fioravanti,
Marco Mancini, Marco Manfra,
Francesco Mollica, Eugenia Morpurgo,
Valentina Mazzanti, Lucia Pietroni,
Dario Scodeller, Michela Toni,
Eleonora Trivellin

MD Journal [Dossier]

Allegato della rivista scientifica *MD Journal*
fondata nel 2016



Le immagini utilizzate nella rivista rispondono alla pratica del fair use (Copyright Act 17 U.S.C. 107) recepita per l'Italia dall'articolo 70 della Legge sul Diritto d'autore che ne consente l'uso a fini di critica, insegnamento e ricerca scientifica a scopi non commerciali.

Direzione scientifica
Alfonso Acocella, Veronica Dal Buono, Dario Scodeller

Redazione
Annalisa Di Roma, Graziana Florio, Eleonora Trivellin

Art direction
Giulia Pellegrini

Promotore
Laboratorio Material Design
Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara
Via della Ghiara 36, 44121 Ferrara
www.materialdesign.it

Edizioni Media MD, Ferrara, 2023
ISBN 9788885885219

DESIGN E FIBRE NATURALI

TERRITORI, MATERIALI, TECNOLOGIE

DESIGN AND NATURAL FIBRES

TERRITORIES, MATERIALS, TECHNOLOGIES

Convegno scientifico internazionale / Ferrara, 21-21 ottobre 2022
International Symposium / Ferrara, October 20-21, 2022

Responsabili scientifici / Scientific supervisors

Francesco Mollica
Dario Scodeller
Eleonora Trivellin
Davide Turrini
Università degli Studi di Ferrara

Comitato scientifico / Scientific Advisory Board

Filipe Alarcão *Politécnico de Leiria*
Rossana Carullo *Politecnico di Bari*
Marco Fioravanti *Università degli Studi di Firenze*
Gianni Montagna *Universidade de Lisboa*
Massimiliano Mazzanti *Università degli Studi di Ferrara*
Valentina Mazzanti *Università degli Studi di Ferrara*
Francesco Mollica *Università degli Studi di Ferrara*
Lucia Pietroni *Università degli Studi di Camerino*
Dario Scodeller *Università degli Studi di Ferrara*
Eleonora Trivellin *Università degli Studi di Ferrara*
Davide Turrini *Università degli Studi di Ferrara*
Riccardo Varini *Università degli Studi della Repubblica di San Marino*

Interventi di / Speeches by

Filipe Alarcão, Massimo Brignoni, Marco Capellini,
Rossana Carullo, Cristina Carvalho, Vincenzo Castorani,
Niccolò Colafemmina, Raffaella Fagnoni,
Marco Fioravanti, Giuseppe Grevi, Marco Mancini,
Marco Manfra, Massimiliano Mazzanti,
Valentina Mazzanti, Francesco Mollica, Gianni Montagna,
Eugenia Morpurgo, Lucia Pietroni, Pietro Russo,
Maria Antonietta Sbordone, Dario Scodeller,
Sergio Sfarra, Michela Toni, Eleonora Trivellin,
Mattia Trovato, Davide Turrini, Riccardo Varini

Segreteria scientifica / Scientific secretariat

Marco Mancini
Università degli Studi di Ferrara

Promotori



DA Dipartimento
Architettura
Ferrara

DE Department of
Engineering
Ferrara

sustainable
Communication design
for sustainability
lab

Con il patrocinio di



In collaborazione con



Con il sostegno di



MD Journal [Dossier]

Indice

- 6 **Design e fibre naturali: materia, ricerca e progetto**
Dario Scodeller, Marco Mancini
- Essays
- 14 **Le fibre vegetali: un'opportunità per il design sostenibile**
Marco Fioravanti
- 24 **Design tra agricoltura e industria**
Dario Scodeller
- 42 **Autarchie contemporanee e modelli di sviluppo meridiano**
Rossana Carullo
- 56 **AtelieRwanda, design e fibre vegetali**
Massimo Brignoni
- 70 **Dalla filiera alimentare al textile design**
Eleonora Trivellin
- 86 **Materiali sintropici**
Eugenia Morpurgo
- 96 **Scalarità della qualità nell'uso di materiali naturali**
Michela Toni
- 110 **Materiali compositi rinforzati con fibre naturali**
Valentina Mazzanti, Francesco Mollica
- 120 **I materiali biocompositi nell'economia circolare**
Niccolò Colafemmina, Marco Manfra, Lucia Pietroni
- 138 **La fibra di basalto: ricerche materiche applicate al design**
Marco Mancini

I materiali biocompositi nell'economia circolare

Prospettive di sviluppo per un design sostenibile

Niccolò Colafemmina *niccolo.colafemmina@unicam.it*

Marco Manfra *marco.manfra@unicam.it*

Lucia Pietroni *lucia.pietroni@unicam.it*

Università di Camerino, Scuola di Ateneo di Architettura e Design "E. Vittoria"

La progressiva consapevolezza relativa alle problematiche della salvaguardia ambientale sta stimolando il mercato a sostituire i diffusissimi compositi in resina sintetica rinforzati con fibre di carbonio, con i biocompositi, materiali in cui una o più "fasi" hanno origine biologica. Per svilupparli, i produttori hanno inevitabilmente attinto alle fibre naturali, a quelle del legno e ai polimeri a base biologica. Attraverso un'attenta analisi sullo stato dell'arte più aggiornato, il contributo indaga le nuove frontiere materiche e gli scenari consequenziali che si stanno diffondendo in relazione ai più recenti avanzamenti tecnici e di processo legati alla sostenibilità ambientale, economica e sociale di questi particolari materiali bio-based.

Materiali biocompositi
Economia rigenerativa e circolare
Design sostenibile
Design per i territori
Selezione dei materiali

Growing concerns and increased awareness about environmental issues are leading the market to try to replace the widely used carbon-fiber-reinforced synthetic resin composites with biocomposites, in which one or more "phases" have a biological origin. To develop them, manufacturers have inevitably drawn on natural fibers, wood fibers and bio-based polymers. Through a careful analysis of the most up-to-date state of the art, the paper investigates the new material frontiers and consequential scenarios that are emerging in relation to the latest technical and process advances related to the environmental, economic and social sustainability of these particular bio-based materials.

*Biocomposite materials
Regenerative and circular economy
Sustainable design
Design for territories
Material selections*

La crescente consapevolezza collettiva sulla limitatezza delle risorse sta producendo un profondo cambiamento nello scenario delle materie prime che approviggiano la produzione industriale. Infatti, 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 dei materiali a partire dal 2005, con incrementi equiparabili solo a quelli del periodo della Prima guerra mondiale. (MGI, 2022) [fig. 01]. Va peraltro sottolineato che tale tendenza rischia di non ridimensionarsi in maniera significativa nel prossimo futuro.

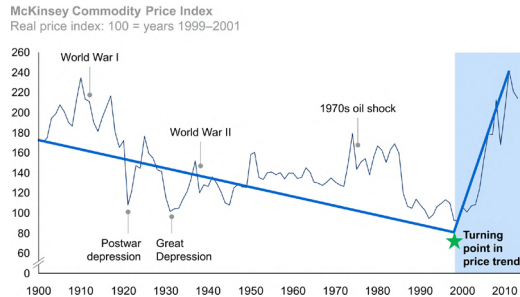
Le crescenti preoccupazioni generate dai problemi di salvaguardia ambientale, congiunte alle odierne recessioni economiche e alle cogenti questioni di sperequazione sociale, stanno di fatto re-direzionando i mercati, le imprese e gli enti di ricerca verso l'individuazione di percorsi alternativi, che scorgono, ad esempio, nei materiali "circolari" un fondamento concreto della nuova economia rigenerativa 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 anche impone un cambiamento sistemico che generi opportunità economiche, ambientali e sociali a lungo termine. 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 (Ellen MacArthur Foundation, 2022).

In tale direzione si muove Kate Raworth (2017), che con la teoria della "Doughnut economics" (Economia della Ciambella), illustra una visione estremamente significativa del benessere dell'umanità, seppure enucleata in relazione ai limiti ecologici e sociali. Il diagramma della Ciambella consiste, di fatto, in una coppia di cerchi concentrici [fig. 02]. Inscritte nella circonferenza più interna, che rappresenta la base sociale, si colloca un elenco di fattori la cui privazione è ritenuta critica per le popolazioni, come la mancanza di cibo, salute e lavoro. Al di fuori della circonferenza più esterna – il tetto ecologico – si trovano

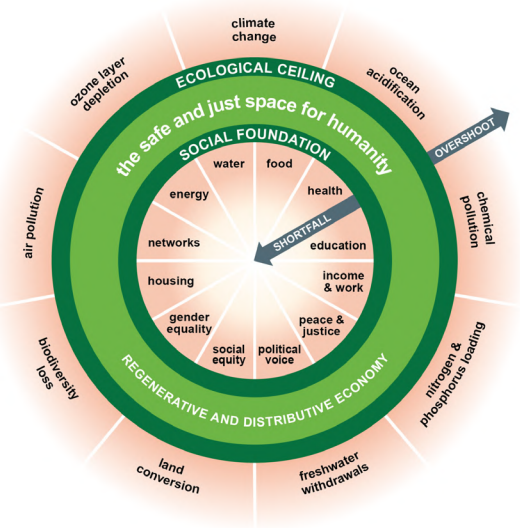
i fattori che descrivono il degrado ambientale, come ad esempio i cambiamenti climatici e la perdita di biodiversità. Lo spazio intermedio che si viene così a delimitare è quello entro cui possono essere soddisfatti i bisogni di tutti rispettando i limiti del pianeta. Pertanto, la sfida da cogliere consiste nel generare, oggi, economie e progettualità che contribuiscano a portare l'umanità nello spazio sicuro ed equo della Ciambella.

[01]



[fig. 01]
McKinsey Commodity Price Index.
Fonte: Dobbs Richard, *Resource Revolution: Tracking global commodity markets*, 2013

[02]



[fig. 02]
Il modello dell'Economia della Ciambella. Fonte: Raworth Kate, *Doughnut Economics*, 2017



[03]

Un diverso rapporto con le risorse primarie e il “milieu territoriale” (Magnaghi, 2020), come pure una rinnovata attenzione nei confronti degli scarti di filiera, della durata della vita utile e del fine vita dei prodotti, inizia a delinearsi timidamente anche nel settore dei materiali compositi, mirando a un duplice obiettivo: la sostituzione – nei compositi rinforzati con fibre di vetro o di carbonio – delle resine sintetiche con una o più “fasi” di origine biologica (Saba et al., 2021); [fig. 03] l’attuazione di logiche di upcycling e demanufacturing per il riutilizzo degli sfridi di tessuto secco o pre-impregnato in fibra di carbonio (Borjan et al., 2021).

Nel contesto delle più recenti sperimentazioni su questa tipologia di materiali e delle loro tecnologie di produzione e di recupero, sarà determinante il ruolo che il designer saprà ritagliarsi nella proposta di nuove soluzioni progettuali che generino prospettive di sviluppo territoriale e di filiera, con il valore aggiunto della sostenibilità ambientale.

Il presente contributo, tra indagine fenomenologica e revisione della letteratura, intende indagare le nuove frontiere materiche e gli scenari consequenziali che si stanno diffondendo in relazione ai più recenti avanzamenti tecnici e di processo legati alla circolarità dei materiali biocompositi di origine vegetale [fig. 04].

[fig. 03]
Laminazione di una chitarra Blackbird El Capitan. Fonte: Bio-prepreg guitar – The look, feel and acoustic quality of wood



[04]

[fig. 04]
Tavola da surf in biocomposito.
Fonte: ecoeosurf.com.au

Posizionamento dei materiali biocompositi nello scenario dei neomateriali circolari

Pur essendoci 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 delle fibre naturali (Bompan, Brambilla, 2021). 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" (Wimmer, Zust, 2001; McDonough, Braungart, 2002; Vezzoli, 2022). 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-ambientali (Ashby, Johnson, 2002). È proprio in quest'accezione che il "materiale", se rinnovato o rinnovabile, può essere definito "circolare" (Franklin, Till, 2018). È nel 2014, difatti, che l'espressione "circular materials" inizia ad affermarsi: la prima conferenza internazionale sul tema, dal titolo "Future Circular Materials Conference", tenutasi a Gothenburg (Svezia), ha di fatto rappresentato un punto di incontro per la discussione su definizioni, modelli, buone pratiche e visioni sulla circolarità della materia.

Secondo la letteratura più recente, i "neomateriali circolari" vengono definiti come materiali "rinnovati e rinnovabili" (Pellizzari, Genovesi, 2021) 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 (2021) 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 che sostituiscono, con prestazioni sempre più elevate, i tradizionali materiali plastici da fonte fossile (Calcagnini, Magarò, Mariani, 2018), nonché quelli "coltivati" a partire da batteri o miceli, in cui ai vantaggi della componente organica si aggiunge la sensibile riduzione dell'energia impiegata per la loro trasformazione (Coraglia, 2018).

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 elettronici (Corsini, Gusmerotti, Frey, 2020).

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 esempi gli scarti dell'industria alimentare e cosmetica, ma anche terre di spazzamento stradali, pneumatici, polveri da inceneritore e reflui liquidi e gassosi (Esposito et al., 2020).

In relazione a questa classificazione, i materiali biocompositi – intesi in questo scritto come una particolare classe di compositi fibrorinforzati, già ampiamente industrializzati e commercializzati, in cui, immerse nella matrice termoindurente o termoplastica, trovano collocazione fibre di origine vegetale (Crivello Visconti, Caprino, Langella, 2009) – si posizionano nel nucleo dei materiali *bio-based* [fig. 05].

Pertanto, per quanto concerne l'effettiva "circolarità" del materiale biocomposito, essa sembra essere certamente garantita nella fase di "input", poiché le fibre vegetali comunemente utilizzate, estratte dallo stelo (come nel caso di iuta, lino, canapa, ibisco, ginestra), oppure dal seme (come il cotone e il kapok), ma anche dal frutto e dalla

[fig. 05]
Taglio di tessuti in
fibra di lino
per la realizzazione
di artefatti in
biocomposito.
Foto: Johannes
Nollmeyer, Bcomp,
2021



[05]



[06]

foglia (come le noci di varie piante, ad esempio il cocco, oppure le fibre di ananas, banana, palma e sisal), sono per loro stessa natura "rinnovabili" e dall'impronta di carbonio estremamente ridotta [fig. 06] (Balakrishnan et al., 2017). Di converso, la questione della "circolarità" applicata al materiale biocomposito a fine vita, in una visione "Cradle to Cradle", resta aperta e non ancora pienamente risolta, a causa del legame intrinseco tra la matrice – anche se termoplastica, dunque potenzialmente riutilizzabile – e il riempitivo/rinforzo, che rende la separazione a livello industriale costosa e complessa, per nulla vantaggiosa, oggi, per le aziende produttrici (Zhou et al., 2019). Appannaggio di chimici e ingegneri dei materiali, sono da tempo in corso sperimentazioni sul riciclo dei biocompositi fibrorinforzati aventi matrice di origine biologica, ad esempio con interfaccia PLA/canapa [fig. 07], PLA/lino, PHA/sisal o TPS+PLA/bambù, e riguardano sostanzialmente pratiche di riciclaggio meccanico e chimico o di compostaggio industriale (Shanmugam et al., 2021). Nondimeno, dal loro studio emergono ulteriori punti di criticità e limiti che ostacolano il percorso verso la "circolarità totale" di questi particolari materiali. Si tratta, da un lato, dell'accorciamento delle fibre durante il processo di macinazione e del deterioramento delle proprietà meccaniche complessive dei materiali separati (Chaithanya et al., 2019), dall'altro, del necessario utilizzo di solventi e catalizzatori chimici per separare la fibra senza intaccarla in lunghezza (Rybicka, Tiwari, Leeke, 2016).

Qualora, all'opposto, si optasse a fine vita per la non separazione del rinforzo dalla matrice, ecco che i biocompositi più innovativi – con matrice di derivazione naturale – possono allora essere sia compostabili industrialmente, sia triturabili e riutilizzabili, ad esempio, come riempitivi e

[fig. 06]
Fibre di lino.
Fonte:
www.bluecity.nl

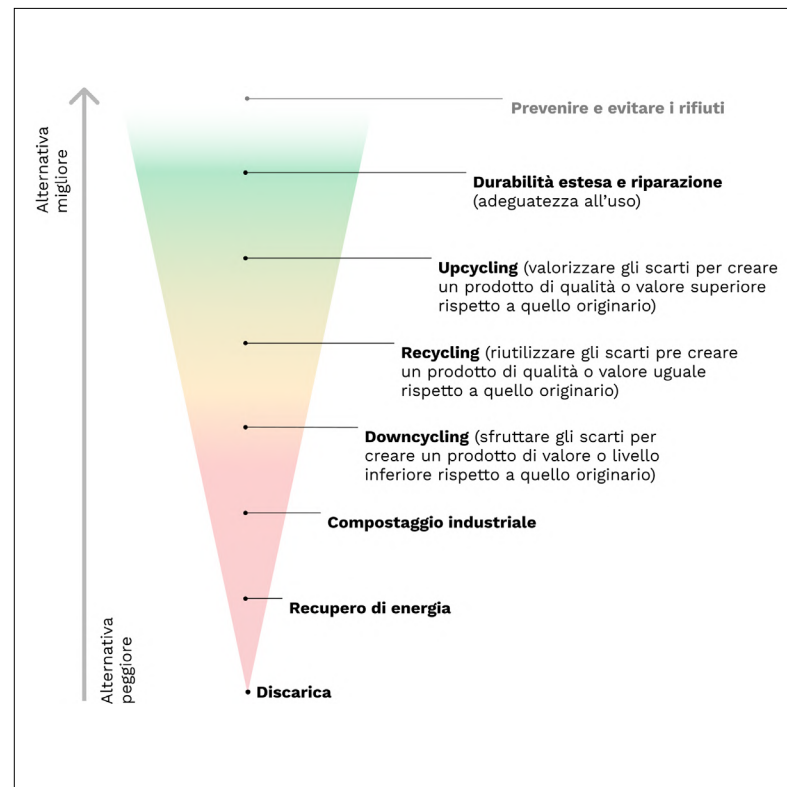


[07]

inerti nella produzione di malte cementizie polimeriche per l'edilizia a basso costo (Shanmugam et al., 2021).

Ciò detto, appare evidente come, nonostante questi materiali possano essere definiti "circolari", per la loro stessa natura organica e rinnovabile, essi si inseriscono con modalità diverse nei percorsi previsti dall'economia circolare, a seconda della tipologia specifica della materia progettata e, di converso, dal manufatto a cui vengono applicati (Jefferson Andrew, Dhakal, 2022). A titolo esemplificativo, un portello per automobili da racing in fibra di lino/epossidica termoindurente, seppur potrebbe essere tecnicamente reindirizzato al recupero della fibra, ha oggi il suo fine vita nello scenario meno preferibile dell'economia circolare, ovvero nell'incenerimento o nella termovalorizzazione; diverso è il caso di un packaging ottenuto da scarti della filiera agroalimentare, il quale rientra senza troppe difficoltà nella filiera del compostaggio.

[fig. 07]
Compound di PLA
con fibre di canapa.
Fonte: canapuglia.it



[08]

Come prima conclusione sullo stato dell'arte appena delineato, si evince come nella ricerca applicata sia maggiore l'impegno sulle soluzioni di riciclo e di recupero delle fibre, nonché sulla biodegradabilità e compostabilità della materia, a scapito di più ampi ragionamenti concernenti, in ordine di preferibilità, l'adeguatezza d'uso del materiale, l'aumento della durata utile del prodotto, la possibilità di manutenzione e di riparazione, e, infine, il riutilizzo dell'intero componente in applicazioni diverse (seguendo logiche di *upcycling*) [fig. 08].

[fig. 08]
Le alternative preferibili nella gestione
del rifiuto. Rielaborazione: Marco
Manfra, Niccolò Colafemmina, 2022



[09]

Fibre vegetali meno comuni: un'opportunità per la ricerca nel settore dei biocompositi

Molteplici sono le piante che, da sempre, diventano materia prima per scopi diversi dall'alimentare, approdando così in diversi settori: dalla moda all'imballaggio, dalle costruzioni – sia in elementi strutturali, sia di isolamento termico – all'arredo, dall'*automotive* ai prodotti di largo consumo. Oltre alle piante d'alto fusto, tipicamente da legname, si coltivano graminacee, come per esempio la canna da zucchero per biomasse, o piante da cui estrarre lattici e gomme, ma anche arbusti da cui ricavare fibre tessili come il cotone, il lino e la canapa.

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, come fonte alternativa di materia prima, sia per la rapidità con cui si sviluppano, sia per la ridotta quantità di energia necessaria per farle crescere (Peruccio, Vrenna, 2019).

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 [fig. 09].

Consolidate le peculiarità – e industrializzati i processi – del lino, della canapa, della sisal e del bambù, come rinforzi per i “biocompositi standard”, è durante l'ultima

[fig. 09]
Tecnologia per
la tessitura di lino
nello stabilimento
produttivo
Bcomp di Friburgo
(Svizzera).
Fonte: Bcomp /
Flurin Efinger, 2021

decade che i ricercatori dei materiali hanno iniziato a 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 [fig. 10] (*Ferula Communis*) o della canna comune (*Arundo donax L.*), che crescono spontaneamente nei terreni poveri del bacino del Mediterraneo, oppure del carciofo, del boraso, dell'erba di Napier, del *Cissus quadrangularis* o della *Grewia optiva* (Saradini, Fiore, 2018). 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, è bene sottolineare che, allo stato di fatto, queste fibre potrebbero offrire vantaggi alla so-



[10]

[fig. 10]
Ferula communis
spontanea nell'Area
Archeologica del
“Castellaccio”
di Lentini (SR).
Fonte: facebook.com/
parcastellacientini,
2016

cietà in modo particolare da un punto di vista socioeconomico. 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 creatività (Morpurgo, 2022; Cardini, 2022).

Riflessione sulla progettazione dei materiali biocompositi: la dimensione sociale e territoriale della sostenibilità

L’incremento continuo del numero di nuovi materiali compositi, dovuto anche all’utilizzo di nuove materie prime, che siano esse bio-based o meno, seconde o riciclate, riapre e riattualizza la questione dell’iperscelta del materiale, già introdotta da Ezio Manzini nel suo volume “La materia dell’invenzione” (1986).

La problematica della selezione del materiale continua a essere un fattore cruciale nel settore dei compositi, poiché sono di fatto materiali “a genesi combinatoria” e dal comportamento anisotropico, che richiedono una progettazione sartoriale per giungere al prodotto finito. Inoltre, l’iperscelta è divenuta negli anni più complessa sia per la crescente importanza della valutazione della loro sostenibilità ambientale sia per i numerosi avanzamenti tecnologici relativi alle materie prime e ai loro processi produttivi: emerge da un lato, l’importanza del valore della durata e dell’adeguatezza all’uso di questi materiali nell’intero ciclo di vita del prodotto – consapevolezza già consolidata per le materie plastiche – dall’altro, l’avanzamento tecnologico relativo alla qualità dell’interfaccia tra fibra naturale e matrice, raggiunta soprattutto con i recenti sviluppi nanotecnologici.

In tale direzione, il crescente scambio di conoscenze interdisciplinari nella progettazione dei materiali compositi ha fatto emergere la necessità dello sviluppo di pratiche di Concurrent Engineering (CE), come metodologie ad oggi imprescindibili per la fabbricazione di questi particolari materiali, anche se la loro adozione fatica a decollare nella pratica (Sapuan, 2017). Nei contesti di CE, l’utilizzo di software per la valutazione e la scelta dei materiali (Computerized Materials Selection systems, CMS) risulta essenziale. Dal loro avvento, questi strumenti si sono evoluti attraverso una maggiore potenza computazionale e l’utilizzo di sistemi esperti cooperanti con le Artificial

Neural Networks (ANN). Questi sistemi sono utilizzati per lo più nei problemi di ottimizzazione dei materiali biocompositi in fibra naturale (Ahmed Ali et al., 2015) e hanno permesso di efficientare la classificazione di questi materiali semplificando i processi di selezione e di progettazione delle prestazioni.

Tuttavia, sebbene siano in grado di risolvere in modo estremamente efficiente le problematiche tecnico-prestazionali richieste dalle specifiche di progetto, restano poco efficaci nella generazione di risposte innovative – e alternative – che tengano ben presente il contesto socio-territoriale delle filiere produttive, auspicabilmente corte, in cui il manufatto viene progettato e realizzato.

Un approccio alla progettazione del materiale biocomposito, completamente estraneo dalle possibilità e peculiarità territoriali rischia di portare a soluzioni sfavorevoli e non sostenibili, non correlate al tessuto produttivo locale. Sulla base di ciò, il design, tra le varie discipline coinvolte, può svolgere un ruolo di “attante” (Niessen, 2007), affinché possa stabilire un dialogo progettuale che permetta di integrare, alla prestazione ingegneristica, aspetti altri come la cultura materiale, le tracce di saperi locali – taciti o espliciti – (Morelli, Sbordone, 2018), la storia del luogo e delle tradizioni (Fagnoni, 2018), aprendo all’opportunità di connessione di nuove filiere e nuovi prodotti, innescando processi di cambiamento radicale a favore della conservazione e rigenerazione della biodiversità territoriale.

Il problema della progettazione e selezione del materiale biocomposito, dunque, non può trovare risposta attraverso la sola analisi prestazionale, ma necessita di nuove metodologie e strumenti ben integrati, capaci di coadiuvare i processi di design nell’ottenimento di risposte coerenti con l’adeguatezza all’uso e la durata del prodotto, ma soprattutto innovative per la valorizzazione delle risorse territoriali a base locale.

Conclusioni

Nel contesto delineato, si è tentato di far emergere una visione economica rigenerativa che, nel produrre utili e ricchezza per i territori ove è applicata, ponga al centro del proprio sviluppo la sostenibilità ambientale, economica e sociale, favorendo maggiormente i processi di integrazione della manodopera locale e la riduzione del consumo di risorse non rinnovabili, sfruttando invece ciò che fino a poco prima era considerato solo uno “scarto” (Antonioni, 2021), oppure (ri)valorizzando materie prime naturali, da tempo dimenticate, che si stanno oggi riscoprendo (Finessi, 2014). 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 della stessa, dai produttori di attrezzature alle università, dagli artigiani di differente maestria alle industrie di lavorazione. Per ambire a ciò sarà utile adottare un approccio progettuale che parta da quello che è presente in una data area geografica (esplorazione territoriale), svolgendo ricerche sul campo con il supporto di attori locali, impostando ogni azione sulla base della capacità delle risorse territoriali – tangibili e intangibili – favorendo la partecipazione di soggetti e ruoli diversi. È fondamentale, infatti, considerare la valorizzazione dei territori – e dei suoi distretti produttivi – come ambito d’intervento del design sostenibile non solo dal punto di vista di soluzioni innovative di prodotto, certamente necessarie, ma come risorsa capace di attivare tutte quelle relazioni che determinano un incremento di valore complessivo (Villari, 2012; Parente, Sedini, 2018), ovvero 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 virtuosi (Sironi, 2018).

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 maggiormente anche gli aspetti della durata programmata – per mezzo di un’adeguata selezione del materiale –, stimolando e coadiuvando altresì 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.

REFERENCES

Manzini Ezio, *La materia dell’invenzione*, Milano, Arcadia, **1986**, pp. 255.

Wimmer Wolfgang, Züst Rainer, *Ecodesign pilot. Product investigation, learning and optimization tool for sustainable product development*, London, Kluwer Academic Publishers, **2001**, pp. 112.

McDonough William, Braungart Michael, *Cradle to Cradle. Remaking The Way We Make Things*, New York, North Point Press, **2002**, pp. 192.

Ashby Mike, Johnson Kara, *Materials and design: the art and science of material selection in product design*, Oxford, Butterworth-Heinemann, **2002**, pp. 381.

Niessen Maria Bertram, *Città creative: una rassegna critica sulla letteratura e sulle definizioni*, Milano, University of Milano-Bicocca, **2007**, pp. 20.

Crivelli Visconti Ignazio, Caprino Giancarlo, Langella Antonio, *Materiali compositi: tecnologie, progettazione, applicazioni*, Milano, Hoepli, **2009**, pp. 298.

Villari Beatrice, *Design per il territorio: un approccio community centred*, Milano, FrancoAngeli, **2012**, pp. 131.

Finessi Beppe (a cura di), *Il design italiano oltre la crisi. Autarchia, austerità, autoproduzione*, Mantova, Corraini, **2014**, pp. 394.

Basheer Ahmed Ali, Sapuan Salit Mohd, Zainudin Edi Syams, Othman Mohamed, “Integration of Artificial Neural Network and Expert System for Material Classification of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites”, *American Journal of Applied Sciences*, n. 12 (3), **2015**, pp. 174-188.

Rybicka Justyna, Tiwari Ashutosh, Leeke Gary A., “Technology readiness level assessment of composites recycling technologies”, *Cleaner Production*, n. 112, **2016**, pp. 1001-1012.

Balakrishnan Asaithambi, Gowri Shankar Ganesan, Srinivasan Ananda Kumar, “Banana/sisal fibers reinforced poly(lactic acid) hybrid biocomposites, influence of chemical modification of BSF towards thermal properties”, *Polymer COMPOSITES*, n. 38 (6), **2017**, pp. 1053-1062.

Raworth Kate, *L’economia della ciambella*, Milano, Ed. Ambiente, **2017**, pp. 302.

Sapuan Salit Mohd, “Materials Selection for Composites: Concurrent Engineering Perspective”, *Composite Materials Concurrent Engineering Approach*, n. 7, **2017**, pp. 209-271.

Calcagnini Laura, Magarò Antonio, Mariani Massimo, “Biopolimeri dagli scarti della filiera agroalimentare. Bioplastiche e biopolimeri come alternative ai materiali tradizionali: stato dell’arte e prospettive future della ricerca”, *Officina**, n. 21, **2018**, pp. 22-27.

Coraglia Valentina, “Natura 4.0, Avanguardie bio-ispirate per il design del futuro. Imitazione, collaborazione, ingegnerizzazione, manipolazione: nuovi metodi produttivi basati su sistemi viventi”, *Officina**, n. 21, **2018**, pp. 28-27.

Franklin Kate, Till Caroline, *Radical Matter: Rethinking Materials for a Sustainable Future*, London, Thames & Hudson, **2018**, pp. 256.

Sarasini Fabrizio, Fiore Vincenzo, “A systematic literature review on less common natural fibres and their biocomposites”, *Cleaner Production*, n. 95, **2018**, pp. 240-267.

Fagnoni Raffaella, “Da Ex a Next. Design e territorio, una relazione circolare basata sulle tracce”, *MD Journal*, n. 5, **2018**, pp. 16-27.

Sironi Marco, “Neo-local design. Esperienze di progetto a dialogo coi luoghi”, *MD Journal*, n. 5, **2018**, pp. 82-93.

Morelli Nicola, Sbordone Maria Antonietta, “Il territorio delle relazioni. Il Design infrastructuring per i contesti locali”, *MD Journal*, n. 5, **2018**, pp. 176-185.

Parente Marina, Sedini Carla (a cura di), *D4T: design per i territori: approcci, metodi, esperienze*, Trento, ListLab, **2018**, pp. 281.

Yonghui Zhou, Peyo Stanchev, Evina Katsou, Said Awad, Mizi Fan, "A circular economy use of recovered sludge cellulose in wood plastic composite production: Recycling and eco-efficiency assessment", *Waste Management*, n. 99, **2019**, pp. 42-48.

Chaitanya Saurabh, Singh Inderdeep, Song Jung Il, "Recyclability analysis of PLA/Sisal fiber biocomposites", *Compos. Part B*, n. 173, **2019**, Article 106895.

Peruccio Pier Paolo, Vrenna Maurizio, "Design and microalgae. Sustainable systems for cities", *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, n. 6, **2019**, pp. 218-227.

Magnaghi Alberto, *Il principio territoriale*, Torino, Bollati Borinighieri, **2020**, pp. 328.

Corsini Filippo, Gusmerotti Natalia Marzia, Frey Marco, "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*, n. 12(24), **2020**, Article 10443.

Vigneshwaran Shanmugam, Osik Das, Rasoul Esmaeely Neisiany, Karthik Babu, Sunpreet Singh, Mikael S. Hedenqvist, Filippo Berto, Seeram Ramakrishna, "Polymer recycling in additive manufacturing: an opportunity for the circular economy", *Mater. Circular Econ.*, n. 2 (11), **2020**, Article 3455.

Esposito Benedetta, Sessa Maria Rosaria, Sica Daniele, Mandrino Ornella, "Towards Circular Economy in the Agri-Food Sector. A Systematic Literature Review", *Sustainability*, n. 12(18), **2020**, Article 7401.

Antoniol Emilio, "Nuove economie dagli scarti. Processi circolari per la ricostruzione e lo sviluppo socio-economico in Africa e Medio Oriente", *Officina*, n. 33, **2021**, pp. 68-71.

Borjan Dragana, Knez Željko, Knez, Maša Knez, "Recycling of Carbon Fiber-Reinforced Composites-Difficulties and Future Perspectives", *Materials (Basel)*, n. 14 (15), **2021**, Article 4191.

Naheed Saba, Mohammad Jawaid, Mohamed Thariq (a cura di), *Biopolymers and biocomposites from agro-waste for packaging applications*, Amsterdam, Elsevier, **2021**, pp. 300.

Pellizzari Anna, Genovesi Emilio (a cura di), *Neomateriali 2.0 nell'economia circolare*, Milano, Ed. Ambiente, **2021**, pp. 211.

Shanmugam Vigneshwaran, et al., "Circular economy in biocomposite development: State-of-the-art, challenges and emerging trends", *Composites Part C*, n. 5, **2021**, Article 100138.

Bompan Emanuele, Brambilla Ilaria Nicoletta, *Che cos'è l'economia circolare*, Milano, Ed. Ambiente, **2021**, pp. 236.

Morpurgo Eugenia, "Syntropic Materials. Designing Forests to Design Natural Materials", pp. 223-239, in Loreno Arboritanza, Anna Chiara Benedetti, Karilene Rochnik Costa, Simone Gheduzzi, Rosa Grasso, Ivano Gorzanelli, Simona Rinaldi, Ilaria Ruggeri, Laura Succini, Ilaria Maria Zedda (a cura di), *The Ecological Turn. Design, architecture and aesthetic beyond "Anthropocene"*, TU Delft Open – CPCL Journal, Delft-Bologna, **2022**.

Vezzoli Carlo (a cura di), *System design for sustainability in practice. Methods, tools and guidelines to design Sustainable Product-Service Systems applied to Distributed Economies*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli, **2022**, pp. 272.

Jefferson Andrew J., Dhakal Hom Nath, "Sustainable biobased composites for advanced applications: recent trends and future opportunities. A critical review", *Composites Part C*, n. 7, **2022**, Article 100220.

Cardini Paolo, "Endogenesis", *DIID – Disegno Industriale Industrial Design*, n. 76, **2022**, pp. 16-21.

Ellen MacArthur Foundation, *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*, <https://emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/@/preview/1?o> [ottobre **2023**]

McKinsey Global Institute, *Growth within. A circular economy vision for a competitive Europe*, <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Circular%20economy%203.pdf> [ottobre **2023**]