



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Le fibre vegetali. Un opportunità per il design sostenibile

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

Le fibre vegetali. Un opportunità per il design sostenibile / Marco Fioravanti. - ELETTRONICO. - MD-Journal (Dossier):(2023), pp. 14-23.

Availability:

The webpage <https://hdl.handle.net/2158/1349251> of the repository was last updated on 2024-01-31T14:05:48Z

Publisher:

MEDIA MD

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

La data sopra indicata si riferisce all'ultimo aggiornamento della scheda del Repository FloRe - The above-mentioned date refers to the last update of the record in the Institutional Repository FloRe

(Article begins on next page)

Le fibre vegetali

Un'opportunità per il design sostenibile

Marco Fioravanti

Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali
marco.fioravanti@unifi.it

In questo contributo [1] sono richiamate le elevate potenzialità tecnologiche delle fibre vegetali, la loro predisposizione a formare compositi con polimeri plastici e biopolimeri, la sostenibilità ambientale e socioculturale delle filiere produttive, il ruolo che possono svolgere nella sostituzione dei materiali non sostenibili e non rinnovabili, nel contenimento dei cambiamenti climatici e nel raggiungimento di percorsi virtuosi di circolarità.

Fibre vegetali
Sostenibilità
Economia circolare

This contribution recalled the high technological potential of plant fibres, their predisposition to form composites with plastic polymers and biopolymers, the environmental and socio-cultural sustainability of production chains, the role they can play in replacing non-sustainable and non-renewable materials, in containing climate change and in achieving virtuous circularity paths.

*Plant fibres
Sustainability
Circular economy*

Le peculiarità tecnologiche

Le fibre vegetali sono una delle risorse più abbondanti in natura grazie all'attività di innumerevoli specie aventi portamento erbaceo, arbustivo ed arboreo. Tale ricchezza di specie si riflette in una forte variabilità nelle caratteristiche tecnologiche, un aspetto questo che le differenzia sia da altre fibre naturali sia da quelle di sintesi. All'interno di questa ampia variabilità specifica un elemento unificante è rappresentato dalla struttura della parete cellulare. Questa, con piccole differenze, presenta tratti comuni alla maggior parte delle specie vegetali, a partire dai polimeri costitutivi che sono in larga parte rappresentati da cellulosa emicellulose e lignina. L'arrangiamento di questi polimeri nella composizione ultrastrutturale della parete è il risultato di un lungo percorso evolutivo nel corso del quale la natura ha saputo mettere a punto i modelli strutturali più adeguati allo svolgimento di funzionalità biologiche quali la conduzione idraulica e il sostentamento meccanico. La struttura della parete cellulare si compone di fibrille di cellulosa organizzate in elementi di natura semi cristallina ed aventi dimensioni di pochi nm (Salmen, Burgert, 2009), che si trovano dispersi in una matrice etero polimerica costituita da emicellulose e lignina. Le fibrille di cellulosa presentano un comportamento fortemente anisotropo, con differenze spiccate fra la direzione longitudinale e quelle trasversali, e sono disposte secondo un certo angolo di inclinazione rispetto all'asse cellulare (angolo di inclinazione microfibrillare MFA). Tale angolo determina il comportamento fisico-meccanico della parete cellulare e la sua disposizione è utilizzata dalle piante per dare luogo a risposte strutturali adattative in funzioni dell'età (come nel caso del legno giovanile nelle piante superiori), della posizione nel fusto o degli stimoli esterni a cui la pianta può essere sottoposta al momento della formazione della parete (strutture di reazione). Questa capacità di adattamento strutturale alle sollecitazioni esterne costituisce un ulteriore importante fonte di variabilità nelle proprietà fisico meccaniche delle fibre vegetali, la cui importanza non è meno rilevante rispetto a quella dovuta alla diversità di specie.

Nei culmi o nei fusti le sollecitazioni meccaniche a cui le cellule sono sottoposte sono prevalentemente di natura assiale, parallele cioè all'asse cellulare. Per questa ragione la natura ha scelto soluzioni strutturali che massimizzassero la resistenza delle fibre in direzione assiale, conferendo loro un'efficienza statica (rapporto fra resistenza e densità) che le pongono ai valori più alti in una ipotetica scala di resistenza comparativa sia con altre fibre naturali sia con materiali di sintesi.

Un'altra caratteristica fisica peculiare delle fibre vegetali è rappresentata dall'igroscopicità – che si esprime nella ricerca continua di un equilibrio termo-igrometrico con l'ambiente. La ragione di questo comportamento risiede nella presenza nella frazione delle emicellulose di numerosi gruppi ossidrilici che rimangono liberi da legami strutturali (inter e intra catena). La presenza di questi gruppi, caratterizzati da forte reattività e forte affinità con sostanze polari, fa sì che la struttura della parete cellulare possa scambiare continuamente acqua con l'ambiente circostante attraverso fenomeni di adsorbimento e desorbimento. Al di sotto del punto di saturazione la variazione del contenuto di umidità provoca anche delle variazioni dimensionali (ritiri e rigonfiamenti) che si manifestano secondo le caratteristiche di anisotropia richiamate in precedenza (variazioni quasi nulle in direzione longitudinale e molto pronunciate in quelle trasversali).

Per ridurre o eliminare l'igroscopicità le fibre possono essere sottoposte a processi di modificazione che consistono in trattamenti sia chimici che fisici, e che contemplano la eliminazione (termo-trattamenti) o l'impegno permanente dei gruppi ossidrilici delle emicellulose.

Il comportamento igroscopico delle fibre vegetali, e le conseguenze che questo può avere sulle caratteristiche di comportamento fisico meccanico, possono infatti rappresentare una limitazione all'impiego di questa risorsa, in particolare quando queste devono combinarsi per costituire strutture con polimeri plastici quali polietilene o altre plastiche derivate dal petrolio.

Alle fibre di origine vegetale è riconosciuto infatti un elevato potenziale di sostituzione di fibre sintetiche all'interno di compositi a varia matrice. In particolare, la combinazione con termo plastiche quali polipropilene (PP) o polietilene (PE, HDPE) consente la formazione di compositi che si prestano ad essere lavorati per iniezione, stampaggio ed estrusione. Questo unitamente alla grande disponibilità di questi polimeri, al loro carattere termoplastico che li rende idonei ad essere riciclati più volte (in particolare PE e HDPE), conferisce ai compositi ottenibili un grande interesse anche in termini di circolarità delle risorse. Alcune problematiche specifiche ne hanno però limitato gli impieghi: in primo luogo la variabilità nelle caratteristiche fisico meccaniche delle fibre, a seconda della loro origine, del metodo di stoccaggio e della natura (Asiraf et al. 2022, Frey et al. 2019), e la scarsa adesione fibra-matrice. Questa è dovuta alla già ricordata presenza nelle fibre naturali di emicellulosa, pectina e lignina, componenti che presentano una spiccata idrofilia, mentre la matrice è solitamente idrofoba, il che riduce

l'adesione all'interfaccia fra fibra e polimero plastico e rende i compositi facilmente alterabili nelle loro applicazioni in ambienti esterni o umidi. La mancanza di legame nell'interfaccia fra matrice e fibre e l'assorbimento di umidità da parte di quest'ultime fanno sì che i compositi con i polimeri termoplastici, verso i quali si era riposta una grande aspettativa, risultino ancora poco efficienti nel trasferimento delle sollecitazioni e abbiano una bassa durabilità.

L'esigenza di poter disporre di materiali *bio-based* rinnovabili e sostenibili che possano sostituire i compositi sintetici è certamente una priorità verso la quale la ricerca sui materiali ed il design sono chiamati ad operare, per mettere a disposizione soluzioni caratterizzate da leggerezza, sostenibilità e riciclabilità (Frey 2021). In aggiunta alla ricerca su nuove tipologie di matrice, quali ad esempio biocompositi, negli ultimi anni attenzione è stata posta anche alla possibilità di intervenire modificando il comportamento della superficie delle fibre (per esempio con trattamenti di delignificazione) al fine di aumentare la forza di legame tra le fibre e riducendo in certi casi anche la necessità di ricorrere a matrici aggiuntive sfruttando, come nel caso del legno, la struttura nativa del materiale e la sua sofisticata struttura gerarchica (Frey 2021). La struttura della parete cellulare, con la sua organizzazione in strati successivi, è stata anche oggetto di numerose sperimentazioni di design biomimetico (Stanzl-Tschegg 2011). Queste esperienze stanno anche beneficiando dei vantaggi forniti dalle nuove tecnologie additive le quali, unitamente alle ricerche sui bio-polimeri, possono mettere a disposizione del designer soluzioni di grande efficacia strutturale (si veda in questo senso i numerosi esempi legati alla replica della struttura del Bambù) (Bonamici et al., 2020).

Le filiere di produzione

Esistono quindi fondati motivi tecnologici a favore dell'impiego delle fibre di origine vegetale per la realizzazione di prodotti e compositi fortemente innovativi e sostenibili. Tuttavia, in un'ottica di approccio di design sistemico, il progetto deve considerare anche gli aspetti legati alle filiere di produzione, ed eventualmente sviluppare soluzioni che sappiano farsi carico delle loro criticità. Considerando abbastanza marginale il contributo che può venire dalla raccolta di materiale proveniente da piante a crescita spontanea, si deve fare riferimento agli approvvigionamenti che possono venire dallo sfruttamento di risorse che si originano da filiere agro-forestali. Queste filiere possono essere declinate in sistemi di

agricoltura e selvicoltura industriale, le quali richiedono capacità infrastrutturali e finanziarie importanti e che presuppongono una redditività del prodotto finito che possa compensare gli investimenti fatti. In questa ottica, il mercato della fibra deve risultare economicamente competitivo rispetto ad altre produzioni annuali o poli annuali alternative quale ad esempio l'impiego delle biomasse per le produzioni energetiche.

In alcuni contesti territoriali la presenza di filiere produttive assume, oltre alla valenza economica, anche una valenza socio-culturale in quanto queste rappresentano un elemento di identità e di accumulo di patrimonio intangibile. Il territorio è il prodotto della interpretazione e della modificazione dell'ambiente operato da un gruppo umano, per il quale diventa anche la dimensione nella quale si sviluppa la costruzione di conoscenza, di formazione e di apprendimento, un complesso culturale fatto di sapere tecnico, di pratiche, di credenze, spiritualità e visione condivisa del mondo (Galeotti, 2020), indicato con la definizione di sistema di conoscenze tradizionali.

In questi contesti la rivitalizzazione delle filiere non costituisce soltanto il modo per migliorare l'economia delle comunità, aspetto per altro importantissimo, ma anche quello attraverso il quale è possibile la ricostruzione di uno spazio di sviluppo umano, personale e collettivo, mediante il riallacciarsi di quei legami che riguardano la complessità delle variabili biologiche, psicologiche, socioculturali ed ambientali sulle quali questo si fonda.

Il progetto di design che intenda operare sul territorio deve farsi carico di questa responsabilità partendo dal presupposto che le possibili soluzioni tecnologiche da sole potrebbero non essere sufficienti, e che è necessaria la capacità di disvelare l'esistenza di un sottile, e spesso invisibile, sistema di relazioni fra i diversi sistemi biologici, sociali e culturali che si sono stabiliti nei diversi contesti territoriali nel corso del tempo, rendendo urgente la definizione di metodologie in grado di rilevarne l'esistenza e ricostruirne la complessità dei legami fra le componenti sistemiche che li caratterizzano (Fioravanti, 2022).

La circolarità della risorsa

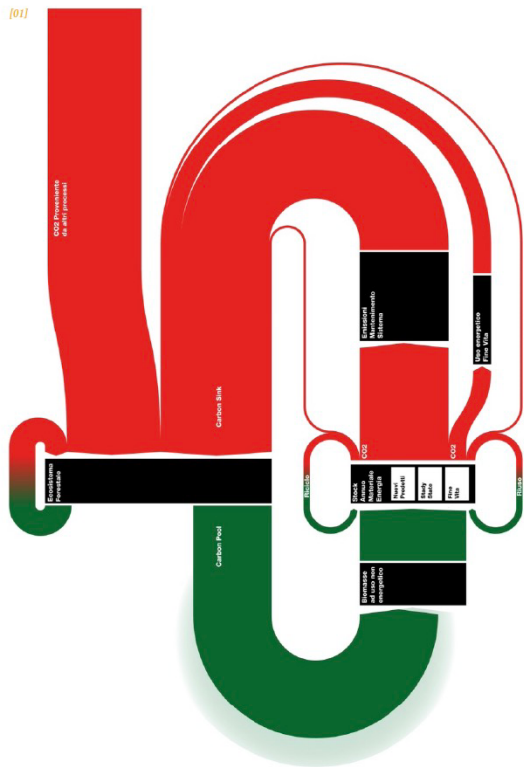
Il riferimento alle filiere produttive deve infine considerare anche i cambiamenti paradigmatici che riguardano il passaggio da una economia lineare a quella circolare. La circolarità delle materie prime è una delle strategie portanti di cui la Commissione Europea si è dotata per il raggiungimento degli obiettivi della transizione ecologica. Così come per altri materiali anche nel caso delle bio-fibre la circolarità è strettamente dipendente dalla determi-

nazione dello stock dei materiali, che esprime il bilancio del flusso delle diverse materie prime dalla costruzione/produzione di beni, al loro uso, fino alla gestione fine vita (EOL). La conoscenza delle dinamiche sistemiche degli stock in uso, del loro tempo di vita, della loro dinamica evolutiva (mantenimento-espansione), della gestione del fine vita (riuso, riciclo, rifiuto), costituisce un pilastro preliminare importante per definire strategie di gestione sostenibile dei flussi di materiali ed energia degli ecosistemi urbani, nella prospettiva della costituzione di strutture di economia circolare (EC) (Wiedenhofer, 2015). Le dinamiche di variazione degli stock sono conseguenti al funzionamento del cosiddetto metabolismo sociale, che tende a far ridurre o aumentare i quantitativi di materiale in uso. Costituire sistemi rigenerativi nei quali il ricorso alle materie prime, lo smaltimento, le emissioni, ed i fabbisogni energetici sono minimizzati grazie al rallentamento, alla chiusura ed al ridimensionamento di cicli chiusi di materiali ed energia, rappresenta una soluzione in grado di garantire il mantenimento del livello di stock negli ambienti urbani, utile a contrastare l'incremento dovuto alla crescita di domanda di prodotti, e a favorire l'uso di materiali rinnovabili.

Trattandosi di una materia prima rinnovabile, caratterizzata da bassa energia di processo, e che offre molteplici possibilità di riuso e riciclo, l'aumento dello stock di fibre di origine vegetale e prodotti legnosi con sostituzione nell'uso di altri materiali, è considerata da molti come una strategia per aumentare la sostenibilità ambientale dei sistemi e di quelli urbani in particolare.

A differenza di quanto avviene per altri materiali nel caso delle bio-fibre la definizione delle sole dinamiche di funzionamento degli stock e dei flussi di riuso e riciclo non è sufficiente e si rende necessario che vengano valutati altri elementi prima di poter declamare la sostenibilità di un processo.

In questo contesto, infatti, la dinamica dello stock deve essere posta in relazione con la struttura e la funzionalità sistemica degli ecosistemi agro-forestali da cui il materiale trae origine. Il legno e i tessuti vegetali in generale, insieme ai loro derivati e al suolo, costituiscono uno dei grandi serbatoi per la immobilizzazione di carbonio (*carbon pool*) di cui gli ecosistemi agro-forestali possono disporre, ed il cui tempo di ritorno, identificabile con la gestione dello stock, influenza la funzionalità biologica dei sistemi e le scelte di gestione forestale (Dewar, 1991). Questo implica che il prelievo di biomassa debba avvenire nel rispetto delle funzionalità biologiche e temporali dei sistemi che le generano [fig. 01].



[fig. 01]
 Schema di flusso di materie prime
 derivanti da biomasse e relative
 implicazioni sul ciclo della CO₂
 atmosferica (composizione grafica
 a cura di Francesco Cantini)

A questa limitazione deve poi essere aggiunta un'altra importante condizione al contorno legata alla funzione di mitigazione del cambiamento climatico cui i sistemi agro-forestali sono chiamati. Nel corso della produzione di biomassa i sistemi vegetali svolgono un'azione di fissazione dell'anidride carbonica che prende il nome di *carbon sink*. Essendo gli unici sistemi in grado di garantire un aumento potenziale nell'assorbimento della CO₂ in eccesso, questo determina una dicotomia nelle funzionalità dei sistemi agro-forestali che sono chiamati allo stesso tempo a svolgere un compito doppio: quello di produrre materia prima rinnovabile e sostenibile e quello di contribuire al raggiungimento degli obiettivi di contenimento del cambiamento climatico, funzioni queste parzialmente in antitesi fra loro. Ancora una volta il progetto di design è chiamato a confrontarsi con elementi di complessità sistemica dalla cui analisi e comprensione preliminare (analisi di contesto) non si può prescindere.

Nel caso delle biomasse la creazione di sistemi rigenerativi in grado di mantenere la stabilità degli stock in uso – al fine di contrastare gli effetti dell'innalzamento del metabolismo sociale – ed eventualmente espanderlo per la sostituzione di materiali non rinnovabili, richiede lo sviluppo di soluzioni e servizi volti a massimizzare le 3R (Riuso, Riciclo, Riduzione) tipiche della struttura organizzativa delle EC. In questo ambito alcune linee di possibile interesse progettuale sono rappresentate da:

1. rafforzamento di riutilizzo e riciclo di prodotti giunti all'EOL attraverso un design del sistema prodotto nel quale si possa concepire un mix fatto di prodotti, servizi e comunicazione finalizzato al perseguimento di un obiettivo strategico (design strategico) che vede la sostenibilità quale elemento di riferimento (design per la sostenibilità);
2. innovazione tecnologica focalizzata ai prodotti ottenibili dal riciclo; allo stato attuale i prodotti derivati dal riciclo di legno e biomasse possiedono caratteristiche tecnologiche modeste che limitano fortemente la loro capacità di sostituzione di altri materiali e prodotti. È necessario lavorare al miglioramento della loro funzionalità tecnologiche per consentire loro di sostituire un numero crescente di categorie di prodotti mantenendone le capacità prestazionali e, se possibile, garantendone la loro ulteriore riciclabilità.

Ma la sfida più grande che attende il progetto di design è certamente quella di "progettare il vuoto". Come questo excursus ha tentato di dimostrare, le fibre vegetali rappresentano la soluzione ideale a tante sfide che la ricerca della sostenibilità ci sta proponendo, favorendo talvolta

risposte semplici che non tengono conto della reale complessità sistemica che caratterizza i sistemi bio-culturali da cui vengono ricavate. L'invito a progettare il vuoto non è un invito a non progettare, tutt'altro, è un invito che si ispira agli insegnamenti che ci vengono dalla fisica delle particelle che ha compreso che nel vuoto apparente del cosmo si celano i segreti dell'universo (Xuan Thuan, *La pienezza del vuoto*, 2017). Dare pienezza al vuoto vuol dire allora raccogliere la sfida che la complessità ci costringe ad affrontare, sforzandosi di non dare risposte semplici a problemi complessi e, nel caso specifico delle fibre vegetali, contribuire a dematerializzare le nostre abitudini e i nostri stili di vita, per aiutare i sistemi biologici a svolgere quelle preziose funzioni che da sempre ci garantiscono.

NOTE

[1] Lavoro svolto nell'ambito del progetto PNRR-MICS-Spoke 2 e 3.

REFERENCES

- Dewar Roderick C., "Analytical model of carbon storage in the trees, soils, and wood products of managed forests", in *Tree Physiology*, Volume 8, Issue 3, April 1991, pp. 239-258. <https://doi.org/10.1093/treephys/8.3.239>
- Salmén Lennart, Burgert Ingo, "Cell wall features with regard to mechanical performance. A review", in *Holzforshung* Vol. 63, 2008, pp 121-129. <https://doi.org/10.1515/HF.2009.011>
- Stanzl-Tschegg Stephanie E., "Wood as a bioinspiring material", pp. 1174-1183, in *Materials Science and Engineering* Volume 31, Issue 6, 12 August 2011, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2010.12.001>
- Wiedenhofer Dominik, Steinberger Julia K, Eisenmenger Nina, Haas Willi, "Maintenance and Expansion: Modeling Material Stocks and Flows for Residential Buildings and Transportation Networks in the EU25", pp. 538-551, in *Journal of Industrial Ecology*, 19, 2015, <https://doi.org/10.1111/jiec.12216>
- Xuan Thuan Trinh, *La pienezza del vuoto*, Milano, Ponte alle Grazie, 2017, pp. 320.
- Frey Marion, Zirkelbach Meri, Dransfeld Clemens, Faude Eric, Trachsel Etienne, Hannus Mikael, Burgert Ingo, Keplinger Tobias, "Fabrication and Design of Wood-Based High-Performance Composites", in *J. Vis. Exp.* 2019 Nov 9;(153). doi: 10.3791/60327.
- Buonamici Francesco, Volpe Yari, Furferi Rocco, Carfagni Monica, Signorini Giovanni, Goli Giacomo, Governi Lapo, Fioravanti Marco, "Bamboo's Bio-inspired Material Design Through Additive Manufacturing Technologies", pp. 809-826, in Bianconi Fabio, Filippucci Marco (a cura di), *Digital Wood design Innovative Techniques of Representation in Architectural Design*, Springer 2020, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-03676-8>

Galeotti Glenda, *Educazione ed innovazione sociale. L'apprendimento trasformativo nella formazione continua*, Firenze University Press, Firenze 2020, pp. 143.

Frey Marion, Schneider Livia, Razi Hajar, Trachsel Etienne, Faude Eric, Koch Sophie Marie, Masania Kunal, Fratzi Peter, Keplinger Tobias, Burgert Ingo, "High-Performance All-Bio-Based Laminates Derived from Delignified Wood" pp. 9638-9646, in *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 9(29), 2021, <https://doi.org/10.1021/acsschemeng.0c08373>

Asyraf Muhammad Rizal Muhammad, Syamsir Agusni, Zahari Nazrul Mubim, Mohd Suplan Abu Bakar, Mohamad Ridwan Ishak, Mohd Sapuan Salit, Shubham Sharma, Rashedi Ahmad, Razman Muhammad Rizal, Sharifah Zarina Syed Zakaria, Rushdan Ahmad Ilyas, Rashid Mohamad Zakir Abd, "Product Development of Natural Fibre-Composites for Various Applications: Design for Sustainability", in *Polymers* 2022, 14(5), 920 <https://doi.org/10.3390/polym14050920>

Fioravanti Marco, "Metodo (alla ricerca di)", pp. 36-45, in Fiesoli Irene, Ballerini Fabio, Vacca Margherita (a cura di), *Togtherness, Design con le imprese sociali*, Firenze, DIDA Press 2022, pp. 136.