

ARTICLE INFO

Received	10 September 2024
Revised	10 October 2024
Accepted	11 October 2024
Published	30 December 2024

BIOMATERIALI E ZONE UMIDE

Filiere per l'edilizia e il tessile
dalla valorizzazione di ecosistemi locali

BIOMATERIALS AND WETLANDS

Supply chains for construction and textiles
through the enhancement of local ecosystems

Eugenia Morpurgo

ABSTRACT

I cambiamenti climatici e la conseguente perdita di biodiversità rappresentano una minaccia per l'umanità. In risposta emergono pratiche progettuali che integrano la conservazione degli ecosistemi e la produzione di biomateriali, promuovendo un design ecologico. Ne sono esempio due casi studio, uno nel settore edile e l'altro nel tessile, che evidenziano come il design possa contribuire allo scopo adattandosi alla specificità e complessità degli ecosistemi locali. I progetti dimostrano che l'interazione tra materiali, tecnologie e ambienti ecologici non solo favorisce la sostenibilità, ma crea anche opportunità economiche attraverso filiere produttive innovative e locali. Il confronto tra i due casi evidenzia approcci distinti ma complementari, suggerendo una possibile contaminazione tra settori produttivi per promuovere economie locali più sostenibili.

Climate change and the consequent loss of biodiversity pose a threat to humanity. In response, design practices that integrate ecosystem conservation and biomaterial production are emerging, promoting ecological design. Two case studies, one in the construction sector and the other in textiles, illustrate how design can contribute to this goal by adapting to the specificity and complexity of local ecosystems. The projects demonstrate that the interaction between materials, technologies, and ecological environments not only fosters sustainability but also creates economic opportunities through innovative and local production chains. The comparison between the two cases highlights distinct yet complementary approaches, suggesting potential cross-pollination between productive sectors to promote more sustainable local economies.

KEYWORDS

biomateriali, biodiversità, zona umida, filiera tessile, filiera edile

biomaterials, biodiversity, wetland, textile supply chain, construction supply chain



Eugenia Morpurgo is a PhD candidate in Design Sciences at the 'Iuav' University of Venice (Italy). Her research explores the existing and potential relationships between the ecological transition of agricultural systems and the design and production of biomaterials within bioregional supply chains. Mob. +39 339/80.56.887 | E-mail: emorpurgo@iuav.it

I cambiamenti climatici che il nostro pianeta si trova ad affrontare sono la manifestazione, e causa, di complessi fenomeni interconnessi che mettono a rischio la sopravvivenza dell'umanità (Richardson et alii, 2023; Fig. 1); tra questi l'esponenziale perdita di biodiversità, alla quale assistiamo da oltre sessant'anni (Carson, 1962), causata dall'impronta antropogenica sugli ecosistemi agricoli e urbani, che ha raggiunto livelli tali da essere stata denominata 'la sesta estinzione di massa' (Ceballos et alii, 2015). In risposta a questo fenomeno, diverse pratiche progettuali cercano di mettere al centro processi di mitigazione dei cambiamenti climatici, conservazione degli habitat e della loro biodiversità (Catalano and Balducci, 2022), dando forma, anche nella disciplina del Design, a un pensiero ecologico ed ambientalista, sia in pratiche sperimentali e speculative (Valenti, Trimarchi and Farresin, 2023) che in riflessioni teoriche (Boehner, 2018) e storiche (Fallan and Jørgensen, 2017).

Il presente contributo si inserisce in quel dibattito della disciplina del Design che guarda ai materiali e alla loro catalogazione, progettazione e utilizzo (Ferrara, 2021; Ferrara and Squatrito, 2022; Dal Palù and Lerma, 2023; Duarte Poblete, Romani and Rognoli, 2024); nello specifico si intende portare l'attenzione su quelle pratiche progettuali che si occupano della conservazione di ecosistemi complessi e della loro biodiversità, attraverso la produzione di biomateriali, intesi come materiali realizzati a partire da biomassa animale o vegetale, e la progettazione delle filiere locali necessarie per la loro produzione.

I progetti presentati propongono processi di transizione (Irwin, 2015) di filiera che intendono valorizzare la complessità degli ecosistemi attraverso la creazione di filiere locali di biomateriali sostenibili (Gaddi and Mastrolonardo, 2024). Attraverso un'analisi qualitativa comparata di due casi studio il contributo vuole comprendere le criticità e le potenzialità di questo approccio progettuale con l'obiettivo di presentare buone pratiche, per diffonderle e per individuare nuove linee di indirizzo per la ricerca e sperimentazione nell'ambito del progetto.

Biomateriali, semplificazione della complessità e agricoltura | Storicamente la produzione di artefatti e semilavorati realizzati con biomassa vegetale e animale è stata caratterizzata da una dimensione locale, dalle tipicità dei paesaggi e dalla loro diversità biologica. Ciò è accaduto fino ai grandi processi di delocalizzazione e globalizzazione dei mercati, a partire dal secondo dopoguerra in poi, che hanno visto da un lato l'introduzione di materiali provenienti dall'industria chimica e dall'altro biomateriali importati a costi inferiori di quelli prodotti localmente (Marot, 2019; Koolhaas and AMO, 2020; Scodeller, 2023).

Per quanto riguarda i biomateriali, di fronte alla ricchezza di risorse esistenti, si è storicamente scelto di semplificare, standardizzare e uniformare i materiali utilizzati, estraendoli dal loro contesto ecologico e culturale, un processo questo che ha portato alla semplificazione degli ecosistemi da cui vengono estratte le biomasse a scapito della salubrità del suolo, dell'acqua e dell'aria, con una crescente perdita di diversità biologica all'interno degli ecosistemi produttivi, tanto da essere denominato Plantationocene da Haraway e Tsing (Mitman, 2019, p. 6) che hanno definito la nostra epoca come l'era della piantagione, caratterizzata da «[...] radical simplification; substitution of peoples, crops, microbes, and life

forms». Ciò è riscontrabile in un'analisi relativa al mercato attuale delle fibre vegetali che, con 31,4 milioni di tonnellate, rappresentano solo il 25% delle fibre prodotte a livello mondiale nel 2023 (Fig. 2) e che derivano quasi esclusivamente soltanto da dieci piante diverse. Il cotone è il protagonista con il 78,6% del mercato, a seguire la iuta con il 11,09% e il restante 10,31% diviso tra otto piante principali (cocco, lino, canapa, sisal, abaca, kapok, fibre di agave e ramie) e altre fibre di taglio in parte minore (Textile Exchange, 2024; Figg. 3, 4).

Tuttavia i database che mappano le piante utili del mondo ne annoverano un numero molto più grande. Ad esempio la piattaforma Useful Tropical Plants Database cataloga 12.727 specie con informazioni sugli usi potenziali delle singole piante, dal campo alimentare a quello delle costruzioni, e ne riporta ben 1.375 da cui si possono estrarre fibre; la maggior parte di esse fa riferimento a usi artigianali tradizionali, senza una chiara descrizione dei processi di estrazione, tuttavia la pura discrepanza tra 10 e 1.375 appare degna di nota.

Questione analoga è rilevabile per il loro impiego nell'industria delle costruzioni: guardando al mercato europeo dei materiali termoisolanti, ad esempio, nel 2015 il 58% era occupato da lana minerale e il 41% da materiali plastici, lasciando solo un 1% del mercato alle risorse alternative, all'interno delle quali ricadono biomasse come la lana di pecora o, in maniera ancora più marginale, la canapa (Pavel and Blagoeva, 2018). Questi dati non lasciano spazio a interpretazioni e restituiscono l'immagine di una cultura dei materiali altamente uniforme e standardizzata che si confronta con una limitata diversità biologica delle risorse, trasversalmente nelle diverse filiere.

Metodologia e obiettivi | Concentrandosi su quelle esperienze che producono materiali a partire da una gestione ecologica del paesaggio l'analisi si pone l'obiettivo di comprendere quali relazioni si instaurano tra la complessità ecologica del contesto di produzione delle biomasse e la complessità delle filiere attuate per la progettazione e produzione di bio-materiali. La metodologia utilizzata si basa su un'analisi qualitativa comparata di due casi di studio in cui vengono sviluppati biomateriali a partire da biomassa da zona umida: il progetto di ricerca intitolato Wetlands and Construction – An opportunity for Berlin-Brandenburg realizzato dallo studio inglese Material Cultures (MC) nel 2023 e il progetto RietGoed, iniziato nel 2021 dalla designer olandese Iris Veentjer.

I casi studio sono stati selezionati, tra i diversi progetti di biomateriali prodotti da biomassa di zona umida, per similitudine nello stato di avanzamento del progetto, infatti entrambi sono progetti sperimentali non ancora presenti sul mercato, e per l'accessibilità delle fonti.

Sono stati usati i seguenti metodi di ricerca: un'intervista, un sopralluogo, l'analisi delle rispettive filiere e la revisione della letteratura dei due casi di studio e della produzione di biomateriali a partire da biomassa da zona umida (Muratovski, 2016). Per il progetto di MC gli stessi progettisti hanno condiviso un report approfondito del loro lavoro che permette la ricostruzione di un'analisi di filiera (Islam and Moatazed-Keivani, 2023). Per l'analisi del progetto RietGoed invece sono stati necessari un'intervista qualitativa e un sopralluogo. Nonostante i due casi di studio appartengano a due distinte filiere, rispetti-

vamente quella edile e quella del tessile, e siano stati sviluppati in due contesti geografici diversi, Germania e Olanda, la spinta motrice per la loro realizzazione è la stessa: la necessità di rendere le zone umide redditizie per incentivarne la conservazione e, in alcuni casi, la loro creazione.

In relazione alla comune caratteristica 'ecologica', si è scelto di svolgere un'analisi trasversale tra le due filiere, per evidenziare l'uso polivalente delle biomasse e le connessioni esistenti, o potenzialmente esistenti, tra i vari settori produttivi evidenziando analogie, specificità e potenzialità di contaminazione tra filiere. Infatti come hanno sapientemente già evidenziato Bisson et alii (2022) attraverso un'analisi critica di progetti che valorizzano materie prime locali con un'attenzione specifica alla salvaguardia della biodiversità, questi progetti spesso restano buoni esempi solo all'interno della propria filiera.

Il valore ecologico delle zone umide | Per apprezzare l'importanza dei casi di studio presi in esame è necessario comprendere il valore ecologico che le zone umide ricoprono nel contesto di superamento dei limiti planetari e di sesta estinzione di massa (Mace et alii, 2014). Questi ambienti infatti vengono definiti 'scrigni di biodiversità' perché ospitano quasi il 40% della biodiversità mondiale, sono degli accumulatori di CO₂ e, grazie all'alta porosità del terreno, sono in grado di assorbire notevoli quantità d'acqua (Mitsch et alii, 2013).

Tale caratteristica li rende strumenti di difesa contro eventi climatici estremi a cui siamo sempre più soggetti: in caso di forti piogge riescono a limitare possibili inondazioni, mentre in momenti di grande siccità trattengono acqua negli apparati radicali della loro vegetazione, diventando un'oasi per la biodiversità locale. Ciononostante negli ultimi cent'anni il 64% delle zone umide del mondo sono scomparse, con un'accelerazione particolare negli ultimi quarant'anni a un ritmo tre volte maggiore delle foreste, portando un quarto della biodiversità ospitata in questi ambienti a rischio di estinzione (Davidson, 2014).

In risposta a questi dati i 196 firmatari dell'Accordo di Parigi si sono posti l'obiettivo di ri-umidificare 2,5 milioni di chilometri quadrati di zone umide attualmente drenate entro il 2050 (Ramsar Convention on Wetlands, 2018). Una delle strategie individuate per facilitare questi processi è il rendere questi ecosistemi economicamente produttivi, nel rispetto delle caratteristiche che li rendono così preziosi dal punto di vista ecologico. Obiettivo dei due casi di studio è proprio quello di rendere redditizi questi ecosistemi, rispettando la complessità ecologica che li caratterizza e utilizzando la biomassa prodotta per la creazione di filiere locali di biomateriali.

Biomassa da zona umida per l'industria edile: Material Cultures | Wetlands and Construction è il risultato del Bauhaus Earth Fellowship Programme 2023, condotto da MC presso il Centro di ricerca Bauhaus Earth. La ricerca si sviluppa attorno alla torbiera Sernitz Torfwiese, nella regione del Brandeburgo, e su due livelli: l'analisi da un lato della biodiversità del sito, dall'altro delle infrastrutture produttive per componenti bio-edili in Germania: l'obiettivo è studiare come pratiche agricole che promuovono il mantenimento di una torbiera¹ possano contribuire alla decarbonizzazione dell'edilizia, generando benefici climatici, ecologici ed economici su larga scala (Islam and Moatazed-Keivani,

2023). Sernitz Torfwiese, con i suoi 80 ettari, viene considerato un modello sperimentale per sviluppare un processo replicabile in contesti simili.

L'analisi della biodiversità ha permesso a MC di identificare sei piante tipiche della paludicoltura² (Fig. 5), studiandone contesto ecologico, caratteristiche fisiche e usi nel settore edile e l'analisi delle infrastrutture produttive ha portato ad approfondire le tipologie tecnologiche utilizzate per produrre biomateriali edili nella regione tedesca. Le industrie di riferimento principali sono state la lavorazione della canapa con Hanffaser Uckermark e la produzione di pannelli termopressati a partire da erbe di palude con la ditta Zelfo.

L'unione di queste ricerche ha dato vita a una serie di sperimentazioni per la realizzazione di componenti edili, come materiali isolanti e pannellature, e la progettazione di sistemi costruttivi basati sull'utilizzo di tali componenti. Si è così quantificato il volume di materiali producibili in un anno da un sito come Sernitz Torfwiese e il numero di abitazioni costruibili con quei materiali, pari a 60 abitazioni isolate con pannelli rigidi in cannucciato e dotate di tetto in paglia, in ragione di 72 ettari coltivati e considerando un 10% della superficie del sito lasciata a riserva naturale. Sebbene siano state considerate sei piante, le componenti edili prototipate sono sedici, suddivise per applicazione (strutturale, isolante e di rivestimento) e per tecnologia utilizzata (fibra sciolta, triturrata e pressata). Questo approccio 'multi-biomassa / multi-uso', che sfrutta la varietà di biomassa presente in un ecosistema per diversi utilizzi, è comune nei progetti che studiano la gestione ecologica dei sistemi agricoli produttori di biomassa, si veda il progetto Possible Landscapes³ di Biobased Creation in Olanda, o il lavoro svolto da Atelier Luma⁴ ad Arles in Francia.

Biomassa da zona umida per l'industria tessile:

Iris Veentjer | RietGoed nasce nel 2021 dalla volontà della designer olandese Iris Veentjer di comprendere come produrre un filato di alta qualità dalla biomassa di tifa⁵ (Fig. 6). In Olanda molte zone agricole, situate sotto il livello del mare, sono rese coltivabili da progetti ingegneristici che pompano le acque sotterranee; la trasformazione di questi terreni, da torbiere in campi agricoli intensivi, provoca l'ossidazione della torba rilasciando CO₂ e causando cedimenti del suolo. Per aderire alla Risoluzione XIII.13 (Ramsar Convention on Wetlands, 2018) sulla ri-umidificazione delle zone umide, il Governo olandese sta esplorando pratiche agricole che rendano produttivi questi ecosistemi; la tifa è al centro di sperimentazioni sia in contesti di coltivazione intensiva che ad alta biodiversità per la produzione alimentare (De Jong et alii, 2021).

Per contribuire a questo processo Veentjer sta cercando di produrre un filato compatibile con i sistemi di produzione tessile industriali presenti in Olanda (Fig. 7). Il progetto, ancora in fase di sviluppo, ha portato alla ideazione di un processo di estrazione e lavorazione della fibra e alla realizzazione dei macchinari necessari; dopo diverse sperimentazioni la designer si è concentrata sull'estrazione della fibra dalle foglie verdi, inizialmente attraverso la raschiatura manuale e successivamente con un macchinario che utilizza getti d'acqua (Fig. 8). Il macchinario, ancora in fase di prototipazione, promette l'automatizzazione parziale di una delle fasi più laboriose del processo. La fibra, una volta estratta ed essiccata, viene filata con una Hilo Spinning Machine⁶ (Fig. 9) customizzata, adattata per funzionare con fibre rigide come quelle della tifa.

Grazie all'open source hardware (Bonvoisin et alii, 2017) la customizzazione è stata relativamente sem-

plice e l'innovazione verrà ri-condivisa sotto licenze aperte, permettendo una diffusione rapida della tecnologia. In collaborazione con Studio Hilo, al corpo compatto della Hilo Spinning Machine tradizionale, è stato aggiunto un carrello che trasporta le fibre di tifa fino all'ugello del filatoio mantenendole compatte.

Finora Veentjer ha prodotto piccole quantità di filato e tessuti con ordito in lino o cotone e trama in tifa. La ricerca è stata possibile grazie a una serie di finanziamenti pubblici, uno dei quali assegnatole per il ruolo che il progetto ricopre in processi di ripristino del paesaggio nella zona delle torbiere. RietGoed si concentra esclusivamente sulla filiera tessile tuttavia, in sintonia con le pratiche di economia circolare (Mishra et alii, 2023) e in collaborazione con l'azienda Van Hier, sono stati realizzati pannelli decorativi attraverso l'utilizzo di una pressa a calore, senza l'aggiunta di collanti, e a partire dagli scarti di produzione del filato (Fig. 10).

Analogie, specificità e potenzialità di contaminazione tra i due approcci progettuali

Nonostante entrambi i progetti siano sperimentali e non commercializzati e nascano in risposta all'esigenza di sviluppare strategie mirate a rendere zone umide economicamente produttive, il rapporto con la diversità biologica dell'ecosistema di riferimento è radicalmente diverso. Mentre MC parte da un'analisi della diversità biologica e punta allo sviluppo di materiali a partire da essa, RietGoed si concentra sull'utilizzo di un'unica specie. Questo porta a una differenza sostanziale nella varietà di materiali e prodotti che i due progetti possono generare: viene da chiedersi se l'approccio sviluppato da MC non possa essere rilevante anche per il settore tessile.

Tradizionalmente anche sul territorio italiano sono stati prodotti molti artefatti a partire dalla diver-

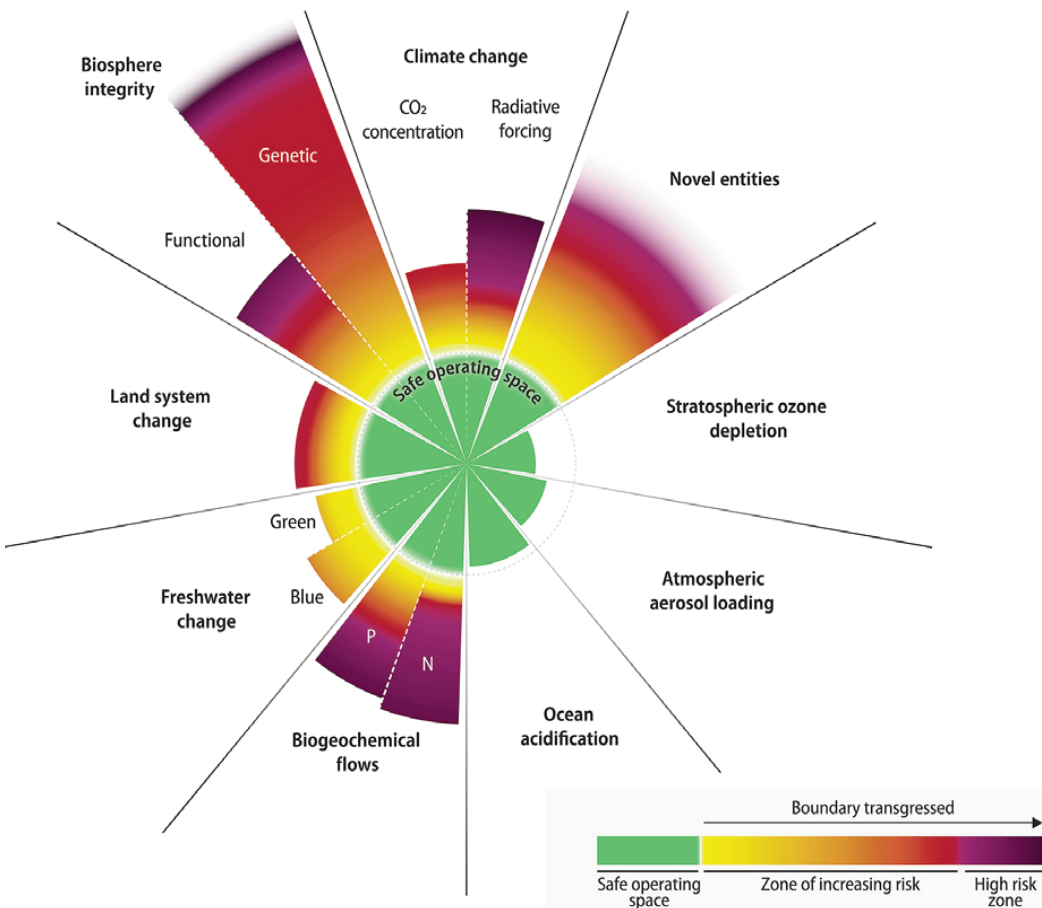


Fig. 1 | Current status of control variables for all nine planetary boundaries (source: Richardson et alii, 2023).

Next page

Figg. 2-4 | Fibre and plant fibre markets in 2023 (source: Textile Exchange, 2024).

Fig. 5 | Wetland landscape with the species identified by Material Cultures in the Sernitz Torfwiese site: connecting landscape biodiversity with materials prototyped from its biomass (credit: E. Morpurgo, 2024).

sità biologica caratteristica della zona umida, soprattutto con l'impiego della canna palustre (Fig. 11) per la produzione di arelle, le stuoie fatte di canne, tradizionalmente utilizzate in edilizia per controsoffitti e contropareti o nell'industria della seta come letti per l'allevamento dei bachi e per l'industria vivaistica (Fig. 12). Anche le altre erbe palustri trovavano impieghi diversi: dall'impagliatura delle sedie tradizionali in carice, alle corde e borse in tifa o le scope realizzate con specifiche parti della canna (Dall'Acqua, 2003; Toni, 2012; Figg. 13-15).

Un'altra differenza chiave risiede nelle tecnologie di trasformazione utilizzate. MC si affida all'industria esistente per facilitare l'adozione dei suoi prodotti innovativi nella filiera edile, in linea con la tendenza a utilizzare nuove tipologie di materiali come surrogati di materiali tradizionali per facilitarne l'adozione, senza metterne in discussione il sistema produttivo (Duarte Poblete, Romani and Rognoli, 2024). Tuttavia nel report (Islam and Moatazed-Keivan, 2023), MC evidenzia la mancanza di un'infrastruttura locale per la produzione di componenti edili che li spinge a collaborare con aziende nazionali in attesa di individuare un futuro campo d'intervento del progetto per la realizzazione di una filiera interamente locale, dall'estrazione della biomassa al processo produttivo.

D'altro canto Veentjer si è trovata obbligata a sviluppare i propri strumenti perché le industrie nel settore di lavorazione filati si sono rifiutate di sperimentare con la tifa per il rischio di compromettere i macchinari; aprendosi all'open source hardware per affrontare un gap conoscitivo legato a tecnologie complesse, Veentjer ha progettato strumenti in piccola scala, che sono riproducibili e distribuibili sul territorio, aprendosi involontariamente a quei possibili modelli economici auspicati da MC.

Un ulteriore fattore da considerare è il rapporto tra RietGoed e l'organizzazione Voedsel Moeras che sta testando in due piccoli siti le capacità produttive di una zona umida per una filiera agroalimentare. L'integrazione di questa filiera con una di biomateriali, a partire da un contesto ad alta biodiversità, risulta interessante dal punto di vista economico per entrambe le esperienze analizzate, offrendo una potenziale doppia rendita, come già visto per molte filiere circolari di biomateriali (Diamantidis and Koukios, 2000). Ciò risulta rilevante per evitare di proporre soluzioni di bioeconomia in competizione nelle quali la produzione di biomassa per l'una o l'altra filiera di materiali rischia di venire privilegiata a discapito della produzione alimentare o viceversa (Kershaw et alii, 2021).

Conclusioni | L'analisi presentata illustra come una transizione verso l'applicazione di un design bioregionale (Thackara, 2019) possa partire anche dalla valorizzazione di ecosistemi complessi e della loro biodiversità, permettendo al design, che si occupa di progettare biomateriali, di contribuire ai processi di conservazione della biodiversità e di mitigazione dei cambiamenti climatici.

Un approfondimento su questo tipo di esperienze, all'interno del contesto ecologico della zona umida, per la sua caratteristica fragilità e ricchezza biologica, mette in evidenza ulteriori aspetti significativi che, se messi a sistema, possono influenzare anche la progettazione di filiere corte per biomateriali in contesti ecologici diversi. Chi studia la produzione di materiali a partire da biomassa da zona umida sottolinea infatti il forte legame che si instaura tra materiali, tecnologie ed ecosistemi territoriali ad alta biodiversità: economie locali fondate su saperi e culture tradizionali che mettono al centro la cura del

territorio e la sua biodiversità, proponendo modelli di sviluppo e processi tecnologici alternativi a quelli caratteristici del mondo occidentale contemporaneo, risultano più sostenibili dal punto di vista ecologico, culturale e anche economico in una visione a lungo termine (Toni, 2012; Watson, 2019; Balducci and Camilli, 2022).

Nonostante le realtà che presentano questo approccio attualmente siano poche e spesso legate al mondo della ricerca, si reputa importante valorizzare queste esperienze per la visione che propongono, in radicale discontinuità con le pratiche progettuali e produttive che hanno caratterizzato gli ultimi cinquant'anni. Si tratta di nicchie di innovazione (Bisson et alii, 2022) che hanno però il potenziale di attivare processi di transizione nel breve / medio termine, fortemente necessari all'interno della complessa crisi ecologica che stiamo vivendo.

The climate changes our planet is facing are both a manifestation and cause of complex interconnected phenomena that threaten humanity's survival (Richardson et alii, 2023; Fig. 1). Among these, the exponential loss of biodiversity, which has been ongoing for over sixty years (Carson, 1962), driven by the anthropogenic impact on both agricultural and urban ecosystems, has reached such levels that it has been termed 'the sixth mass extinction' (Ceballos et alii, 2015). In response to this phenomenon, various design practices aim to prioritise processes which mitigate climate change and conserve habitats and their biodiversity (Catalano and Balducci, 2022), shaping ecological and environmental thinking within the Design discipline, both in experimental and speculative practices (Valenti,

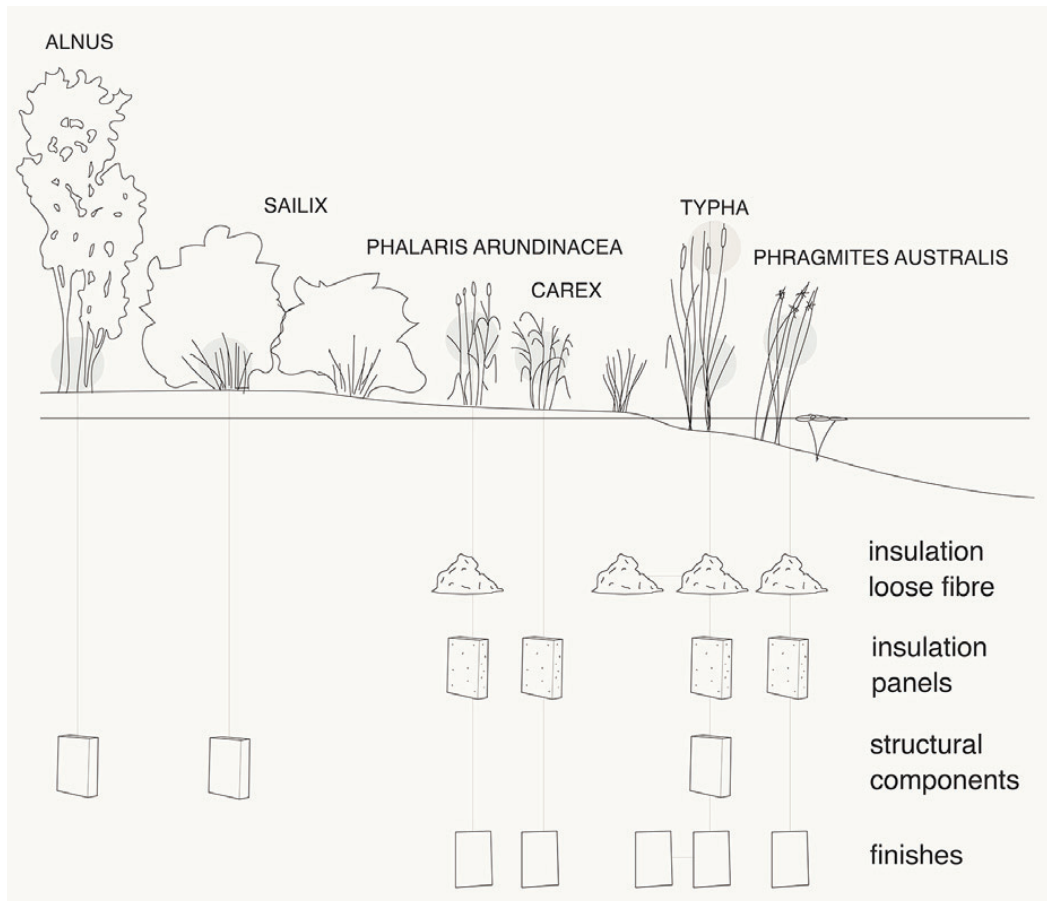
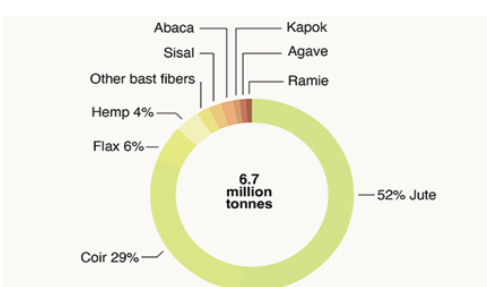
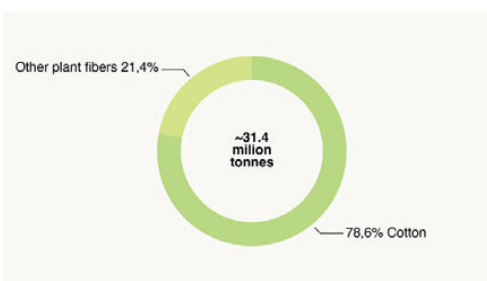
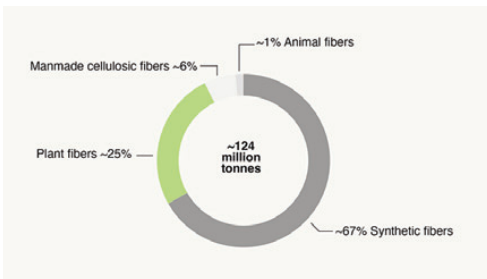




Fig. 6, 7 | *Typha angustifolia* Linnaeus; Sample of textile made with typha fibres made by RietGoed (source: floraofalabama.org; credit: E. Morpurgo, 2024).

Trimarchi and Farresin, 2023) and in theoretical (Boehnert, 2018) and historical reflections (Fallan and Jørgensen, 2017).

This contribution fits into the ongoing debate within the field of Design, which focuses on materials and their cataloguing, design, and use (Ferrara, 2021; Ferrara and Squatrito, 2022; Dal Palù and Lerma, 2023; Duarte Poblete, Romani and Rogno, 2024). Specifically, it aims to draw attention to design practices that address the conservation of complex ecosystems and their biodiversity through the production of biomaterials, defined as materials made from animal or plant biomass, and the design of local supply chains necessary for their production.

The projects presented propose supply chain transition processes (Irwin, 2015) that aim to enhance ecosystem complexity through the creation of local, sustainable biomaterial supply chains (Gaddi and Mastrodonardo, 2024). Through a comparative qualitative analysis of two case studies, this contribution seeks to understand the challenges and opportunities of this design approach, to present best practices to spread them and identify new directions for research and experimentation in the design field.

Biomaterials, simplification of complexity, and agriculture | Historically, the production of artefacts and semi-finished products made from plant and animal biomass has been characterised by local dimensions, the specificity of landscapes, and their biological diversity. This continued until the major processes of market offshoring and globalisation, beginning after World War II, which led to the introduction of materials from the chemical industry on the one hand, and cheaper imported biomaterials than those produced locally on the other (Marot, 2019; Koolhaas and AMO, 2020; Scodeller, 2023).

As for biomaterials, despite the abundance of existing resources, there has been a historical trend toward simplifying, standardising, and homogenising the materials used, extracting them from their ecological and cultural context. This process has led to the simplification of the ecosystems from which biomasses are extracted at the expense of the health of soil, water, and air, resulting in a growing loss of biological diversity within productive ecosystems. Haraway and Tsing have referred to this phenomenon as the Plantationocene, defining our era as the plantation age, characterised by «[...] radical simplification; substitution of peoples, crops, microbes, and life forms» (Mitman, 2019, p. 6). This trend can be seen in the analysis of the current vegetable fibre market, which, with 31.4 million tons, represents only 25% of the world's fibres produced in 2023 (Fig. 2) and comes almost exclusively from just ten different plants. Cotton dominates with 78.6% of the market, followed by jute at 11.09%, and the remaining 10.31% is divided among eight main plants (coconut, flax, hemp, sisal, abaca, kapok, agave fibres, and ramie) and other minor bast fibres (Textile Exchange, 2024; Figg. 3, 4).

However, databases that map useful plants worldwide record a much larger number. For example, the Useful Tropical Plants Database catalogues 12,727 species with information on the potential uses of individual plants, from food to construction, and lists 1,375 from which fibres can be extracted. Most of these references pertain to traditional artisanal uses, without a clear description of extraction processes, yet the sheer discrepancy between 10 and 1,375 is noteworthy.



Fig. 8 | Typha fibres extraction samples made by RietGoed (credit: E. Morpurgo, 2024).

Fig. 9 | Hilo spinning machine (credit: Studio Hilo, 2022).

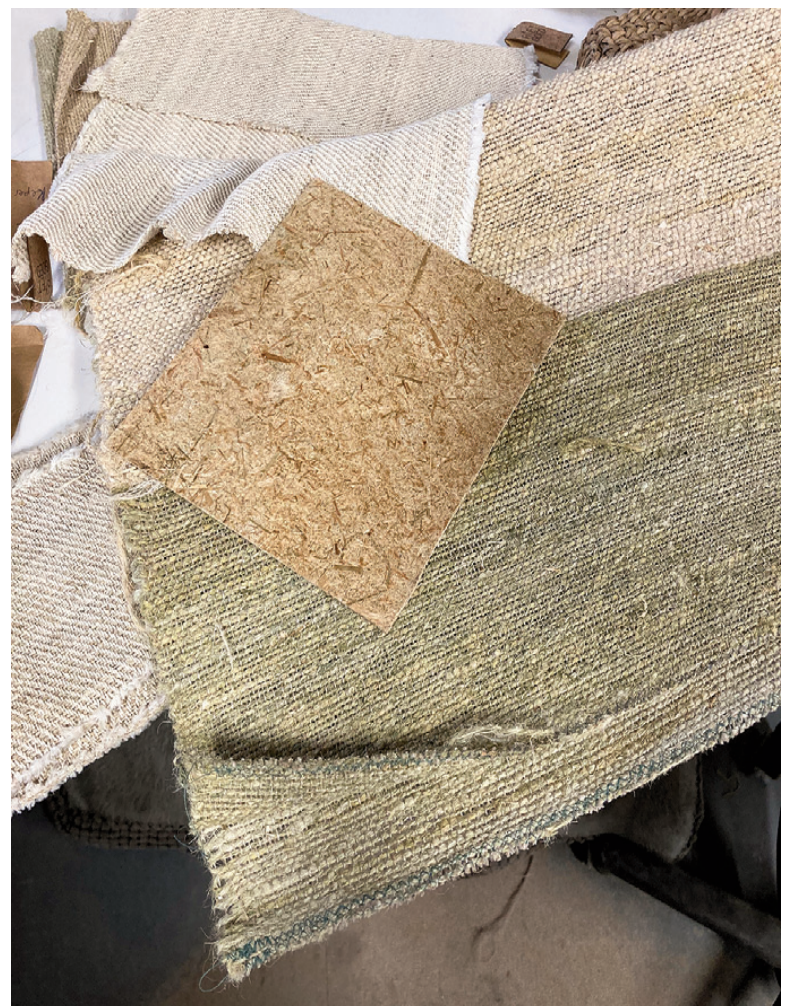


Fig. 10 | Samples of materials made with typha by RietGoed and Van Hier (credit: E. Morpurgo, 2024).

A similar issue is evident in their use in the construction industry. Looking at the European market for thermal insulating materials, for example, in 2015, 58% was occupied by mineral wool and 41% by oil-based materials, leaving only 1% of the market to alternative resources, which include biomasses like sheep's wool or, even more marginally, hemp (Pavel and Blagoeva, 2018). These data leave little room for interpretation and depict an image of a highly uniform and standardised material culture that faces limited biological diversity in resources, across various supply chains.

Methodology and objectives | Focusing on experiences that produce materials through ecological landscape management, the analysis aims to understand the relationships between the ecological complexity of the biomass production context and the complexity of the supply chains involved in the design and production of biomaterials. The methodology is based on a comparative qualitative analysis of two case studies where biomaterials are developed from wetland biomass: the research project titled *Wetlands and Construction – An Opportunity for Berlin-Brandenburg* by the British studio *Material Cultures (MC)* in 2023 and the project *RietGoed*, initiated in 2021 by Dutch designer *Iris Veentjer*.

The case studies were selected from various wetland biomass biomaterial projects due to similarities in project progress, as both are experimental and not yet available in the market, and due to the accessibility of sources. The following research methods were used: an interview, a site visit, an analysis of the

respective supply chains, and a literature review on the two case studies and the production of biomaterials from wetland biomass (Muratovski, 2016). For the MC project, the designers shared a detailed report of their work, enabling the reconstruction of a supply chain analysis (Islam and Moatazed-Keivani, 2023). For the analysis of the *RietGoed* project, a qualitative interview and a site visit were necessary. Although the two case studies belong to two distinct supply chains, the construction and textile sectors respectively, and were developed in different geographic contexts, Germany and the Netherlands, the driving force behind their realisation is the same: the need to make wetlands economically viable to encourage their conservation and, in some cases, their creation.

Given their common 'ecological' characteristic, a cross-sector analysis was conducted to highlight the versatile use of biomass and the existing, or potentially existing, connections between various production sectors, emphasising similarities, specificities, and the potential for cross-pollination between supply chains. As Bisson et alii (2022) have pointed out through a critical analysis of projects that enhance local raw materials with specific attention to biodiversity conservation, these projects often remain good examples only within their supply chains.

The ecological value of wetlands | To appreciate the importance of the case studies examined, it is necessary to understand the ecological value that wetlands hold within planetary boundaries and the sixth mass extinction (Mace et alii, 2014). These en-

vironments are considered 'biodiversity treasure troves' as they host nearly 40% of the world's biodiversity, are CO₂ accumulators, and, thanks to their highly porous soil, can absorb significant amounts of water (Mitsch et alii, 2013).

This characteristic makes them effective defences against the extreme climatic events to which we are increasingly subjected: in the case of heavy rainfall, they can limit potential flooding, while during periods of severe drought, they retain water in the root systems of their vegetation, becoming an oasis for local biodiversity. Nevertheless, 64% of the world's wetlands have disappeared over the past hundred years, with a particular acceleration over the past forty years at a rate three times faster than forests, leading a quarter of the biodiversity hosted in these environments to face extinction (Davidson, 2014).

In response to these data, the 196 signatories of the Paris Agreement have set the goal of re-humidifying 2.5 million square kilometres of currently drained wetlands by 2050 (Ramsar Convention on Wetlands, 2018). One strategy identified to facilitate these processes is making these ecosystems economically productive while respecting the characteristics that make them so ecologically valuable. The goal of the two case studies is precisely to make these ecosystems profitable, respecting the ecological complexity that characterises them and using the biomass produced to create local supply chains for biomaterials.

Wetland biomass for the construction industry: Material Cultures | Wetlands and Construction is the



Fig. 11 | Marsh reed landscape in the Mincio Valleys, Mantua (credit: F. Floriani, 2022).



Fig. 12-15 | Arella and Craft artefacts made from marsh grasses, Ethnographic Museum of River Crafts in Rivalta sul Mincio, Mantua, Italy (credits: F. Floriani, 2022).

result of the Bauhaus Earth Fellowship Programme 2023, conducted by MC at the Bauhaus Earth Research Center. The research focuses on the Sernitz Torfwiese peatland in the Brandenburg region and operates on two levels: analysing the site's biodiversity and examining the productive infrastructure for bio-construction components in Germany. The objective is to study how agricultural practices that promote the maintenance of peatlands¹ can contribute to the decarbonisation of construction, generating large-scale climatic, ecological, and economic benefits (Islam and Moatazed-Keivani, 2023). With its 80 hectares, Sernitz Torfwiese is considered an experimental model for developing a replicable process in similar contexts.

The biodiversity analysis allowed MC to identify six plants typical of paludiculture² (Fig. 5), studying their ecological context, physical characteristics, and uses in the construction sector. The analysis of productive infrastructures delved into the technological types used to produce construction biomaterials in the German region. The main reference industries were hemp processing with Hanfaser Uckermark and the production of thermo-pressed panels from wetland grasses with the company Zelfo.

Combining these studies led to a series of experiments to create construction components, such as insulating materials and panels, and to design building systems based on the use of these components. They quantified the volume of materials that could be produced annually from a site like Sernitz Torfwiese and the number of houses that could be built with those materials: 60 houses insulated with rigid reed panels and equipped with thatched roofs, based on 72 hectares of cultivated land and considering 10% of the site left as a nature reserve. Although six plants were considered, the prototyped construction components amounted to sixteen, divided by application (structural, insulating, and cladding) and the technology used (loose fibre, crushed, and pressed).

This 'multi-biomass / multi-use' approach, which leverages the variety of biomass present in an ecosystem for different uses, is common in projects that study the ecological management of biomass-producing agricultural systems, such as the Possible Landscapes project³ by Biobased Creation in the Netherlands, or the work carried out by Atelier Luma⁴ in Arles, France.

Biomass from wetlands for the textile industry:

Iris Veentjer | RietGoed was founded in 2021 by Dutch designer Iris Veentjer to understand how to produce high-quality yarn from cattail biomass⁵ (Fig. 6). In the Netherlands, many agricultural areas located below sea level are made arable through engineering projects that pump groundwater. The conversion of these lands from peat bogs to intensive agricultural fields causes peat oxidation, releasing CO₂ and causing soil subsidence. To comply with Resolution XIII.13 (Ramsar Convention on Wetlands, 2018) on the rewetting of wetlands, the Dutch government is exploring agricultural practices that make these ecosystems productive. Cattail is at the centre of experiments both in intensive cultivation and high-biodiversity contexts for food production (De Jong et alii, 2021).

To contribute to this process, Veentjer is attempting to produce a yarn compatible with the existing industrial textile production systems in the Netherlands (Fig. 7). The project, still in development, has led to the design of a process for fibre extraction and pro-

cessing and the creation of the necessary machinery. After several experiments, the designer focused on extracting fibre from green leaves, initially through manual scraping and later with a machine that uses water jets (Fig. 8). The machine, still in the prototyping phase, promises to partially automate one of the most labour-intensive stages of the process. Once extracted and dried, the fibre is spun using a custom Hilo Spinning Machine⁶ (Fig. 9), adapted to work with stiff fibres like the cattail.

Thanks to the open-source hardware (Bonvoisin et alii, 2017), the customisation was relatively simple, and the innovation will be shared under open licenses, allowing for rapid technology dissemination. In collaboration with Studio Hilo, a trolley was added to the traditional compact body of the Hilo Spinning Machine to transport cattail fibres to the spinning nozzle, keeping them compact.

So far, Veentjer has produced small quantities of yarn and fabrics with linen or cotton warp and cattail weft. The research has been made possible through public funding, one of which was awarded for the project's role in landscape restoration processes in peatland areas. RietGoed focuses exclusively on the textile supply chain; however, in line with circular economy practices (Mishra et alii, 2023), and in collaboration with the Van Hier company, decorative panels have been made using a heat press, without adhesives, and from production waste from the yarn (Fig. 10).

Analogies, specificities, and potential cross-pollination between the two design approaches

Although both projects are experimental, not commercialised, and respond to the need to develop strategies to make wetlands economically productive, their relationship with the biological diversity of the ecosystem in question is radically different. While MC starts from an analysis of biological diversity and aims to develop materials based on it, RietGoed focuses on using a single species. This leads to a substantial difference in the variety of materials and products that the two projects can generate. One wonders if the approach developed by MC could also be relevant to the textile sector.

Traditionally, many artefacts were also produced from the biological diversity of wetlands in Italy, especially with the use of reeds (Fig. 11) for the production of mats made of reeds traditionally used in construction for ceilings and walls, or the silk industry as beds for silkworms and in the plants nursery industry (Fig. 12). Other marsh plants found different uses: from traditional rush chair weaving to ropes and bags made of cattail, or brooms made with specific parts of the reed (Dall'Acqua, 2003; Toni, 2012; Figg. 13-15).

Another key difference lies in the transformation technologies used. MC relies on the existing industry to facilitate the adoption of its innovative products in the construction supply chain, in line with the trend of using new types of materials as substitutes for traditional ones to facilitate their adoption without questioning the production system (Duarte Poblete, Romani and Rognoli, 2024). However, in the report (Islam and Moatazed-Keivan, 2023), MC highlights the lack of local infrastructure for producing construction components, which drives them to collaborate with national companies while waiting to identify a future project area for creating a fully local supply chain, from biomass extraction to the production process.

On the other hand, Veentjer was forced to develop her own tools because the yarn processing

industries refused to experiment with cattails due to the risk of damaging the machinery. By embracing open-source hardware to address the knowledge gap related to complex technologies, Veentjer has designed small-scale tools that are reproducible and distributable in the region, unintentionally opening up to the economic models envisioned by MC.

Another factor to consider is the relationship between RietGoed and the Voedsel Moeras organisation, which is testing the productive capacities of a wetland for an agro-food supply chain at two small sites. The integration of this supply chain with one for biomaterials, starting from a high-biodiversity context, is economically interesting for both experiences, offering potential double income, as seen in many circular biomaterial supply chains (Diamantidis and Koukios, 2000). This is relevant to avoid proposing competing bioeconomy solutions where biomass production for one supply chain risks being prioritised over food production or vice versa (Kershaw et alii, 2021).

Conclusions | The analysis presented illustrates how a transition towards the application of bio-regional design (Thackara, 2019) can begin by valuing complex ecosystems and their biodiversity. This allows design, particularly in biomaterial development, to contribute to biodiversity conservation processes and climate change mitigation.

A closer examination of these experiences highlights additional significant aspects, due to the characteristic fragility and biological richness of wetlands. If these aspects are integrated into a broader system, they could also influence the design of short supply chains for biomaterials in different ecological settings. Researchers focusing on material production from wetland biomass emphasise the strong connection between materials, technologies, and high-biodiversity ecosystems. Local economies based on traditional knowledge and cultures that prioritise care for the landscape and its biodiversity offer alternative development models and technological processes, distinct from those typical of the contemporary Western world. These models prove to be more sustainable ecologically, culturally, and economically in the long term (Toni, 2012; Watson, 2019; Balducci and Camilli, 2022).

Although few current initiatives embody this approach and are often tied to the research world, it is important to promote these experiences for the vision they offer, which marks a radical departure from the design and production practices that have dominated the last fifty years. These are innovation niches (Bisson et alii, 2022) that have the potential to trigger transition processes in the short to medium term, something urgently needed in the face of the complex ecological crisis we are currently experiencing.

Notes

- 1) Wetland characterised by the presence of peat.
- 2) Paludiculture is a form of wetland agriculture.
- 3) The research project Possible Landscapes explores the productive potential of specific landscapes for producing building components. The project brings together various stakeholders who can make a local biomaterial supply chain possible. For more information, visit the website: possible-landscapes.com/ [Accessed 28 September 2024].
- 4) Atelier LUMA is a transdisciplinary laboratory interested in creating new sustainable ways to use natural and cultural resources within the bioregional context of the Camargue. For more information, see the following publications: Atelier LUMA, 2023; Boelen, Sacchetti and Atelier LUMA (2019).
- 5) Marsh plants are widespread in America, Africa, Europe, and Asia.
- 6) Refers to the open-source electric spinning wheel designed by Studio Hilo.

References

- Atelier LUMA (2023), *Pratiques biorégionales de design | Bioregional design practices*, LUMA, Arles.
- Balducci, B. and Camilli, F. (2022), “Progettare l’ecologia – Il vegetale come paradigma possibile di un’architettura sostenibile e resiliente | Designing ecology – The organic as a possible paradigm of a sustainable and resilient architecture”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 84-93. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1172022 [Accessed 28 September 2024].
- Bisson, M., Palmieri, S., Ianniello, A. and Botta, L. (2022), “Transition product design – Una proposta di framework per un approccio olistico alla progettazione sistemica | Transition product design – A framework proposal for a holistic approach to systemic design”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 202-211. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12182022 [Accessed 7 October 2024].
- Boehnert, J. (2018), *Design, Ecology, Politics – Towards the ecocene*, Bloomsbury Academic, New York.
- Boelen, J., Sacchetti, V. and Atelier LUMA (2019), *Le design comme outil de transition – L’approche d’Atelier LUMA*, Luma Foundation, Arles.
- Bonvoisin, J., Mies, R., Boujut, J.-F. and Stark, R. (2017), “What is the ‘Source’ of Open Source Hardware?”, in *Journal of Open Hardware*, vol. 1, issue 1, article 5, pp. 1-18. Online available at: doi.org/10.5334/joh.7 [Accessed 28 September 2024].
- Carson, R. (1962), *Silent spring*, Penguin Classics, London.
- Catalano, C. and Balducci, A. (2022), “Analisi ambientale e progettazione ecosistemica – Sondaggi, criticità e soluzioni applicative | Environmental analysis and ecosystemic design – Survey, critical issues and application solutions”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 246-257. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11222022 [Accessed 28 September 2024].
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., Garcia, A., Pringle, R. M. and Palmer, T. M. (2015), “Accelerated modern human-induced species losses – Entering the sixth mass extinction”, in *Science Advances*, vol. 1, issue 5, pp. 1-5. [Online] Available at: doi.org/10.1126/sciadv.1400253 [Accessed 28 September 2024].
- Dal Palù, D. and Lerma, B. (2023), “How Natural Are the ‘Natural’ Materials? Proposal for a Quali-Quantitative Measurement Index of Naturalness in the Environmental Sustainability Context”, in *Sustainability*, vol. 15, issue 5, article 4349, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su15054349 [Accessed 28 September 2024].
- Dall’Acqua, A. (2003), *Giunchi e fili di seta – Rivalta sul Mincio – Società ed economia di valle*, Tre lune, Mantova.
- Davidson, N. C. (2014), “How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area”, in *Marine and Freshwater Research*, vol. 65, issue 10, pp. 934-941. [Online] Available at: doi.org/10.1071/MF14173 [Accessed 28 September 2024].
- de Jong, M., van Hal, O., Pijlman, J. and van Eekeren, N. and Junginger, M. (2021), “Paludiculture as paludifuture on Dutch peatlands – An environmental and economic analysis of Typha cultivation and insulation production”, in *Science of The Total Environment*, vol. 792, article 148161, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148161 [Accessed 28 September 2024].
- Diamantidis, N. D. and Koukios, E. G. (2000), “Agricultural crops and residues as feedstocks for non-food products in Western Europe”, in *Industrial Crops and Products*, vol. 11, issues 2-3, pp. 97-106. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/S0926-6690\(99\)00045-X](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(99)00045-X) [Accessed 28 September 2024].
- Duarte Poblete, S. S., Romani, A. and Rognoli, V. (2024), “Emerging materials for transition – A taxonomy proposal from a design perspective”, in *Sustainable Futures*, vol. 7, article 100155, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.sfsf.2024.100155 [Accessed 28 September 2024].
- Fallan, K. and Jørgensen, F. A. (2017), “Environmental Histories of Design – Towards a New Research Agenda”, in *Journal of Design History*, vol. 30, issue 2, pp. 103-121. [Online] Available at: doi.org/10.1093/jdh/epx017 [Accessed 28 September 2024].
- Ferrara, M. (2021), “Circular Material for Creative Industries – The Emerging Bioplastics”, in Clères, L., Rognoli, V., Solanki, S. and Llorach, P. (eds), *Material Designers – Boosting talent towards circular economies*, Creative Europe Programme of the European Union, pp. 52-59. [Online] Available at: re.public.polimi.it/handle/11311/1168768 [Accessed 28 September 2024].
- Ferrara, M. and Squatrito, A. (2022), “L’innovazione design-driven dei materiali circolari a base biologica – Strategie e competenze per la progettazione | Design-driven innovation of bio-based circular materials – Design strategies and skills”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 288-299. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11262022 [Accessed 28 September 2024].
- Gaddi, R. and Mastrodonato, L. (2024), “Micro-reti locali per la transizione verde della filiera della lana | Local micro-networks for green transition of the wool supply chain”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 344-353. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15292024 [Accessed 28 September 2024].
- Irwin, T. (2015), “Transition Design – A Proposal for a New Area of Design Practice, Study, and Research”, in *Design and Culture | The Journal of the Design Studies Forum*, vol. 7, issue 2, pp. 229-246. [Online] Available at: doi.org/10.1080/17547075.2015.1051829 [Accessed 28 September 2024].
- Islam, S. and Moatazed-Keivani, D. (2023), *Wetlands and Constructions – An opportunity for Berlin-Brandenburg*, Material Cultures. [Online] Available at: materialcultures.org/2023-wetlands-and-construction-report/ [Accessed 28 September 2024].
- Kershaw, E. H., Hartley, S., McLeod, C. and Polson, P. (2021), “The Sustainable Path to a Circular Bioeconomy”, in *Trends in Biotechnology*, vol. 39, issue 6, pp. 542-545. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.10.015 [Accessed 28 September 2024].
- Koolhaas, R. and AMO (2020), *Countryside – A report*, Taschen, Köln.
- Mace, G. M., Reyers, B., Alkemade, R., Biggs, R., Chapin III, F. S., Cornell, S. E., Diaz, S., Jennings, S., Leadley, P., Mumby, P. J., Purvis, A., Scholes, R. J., Seddon, A. W. R., Solan, M., Steffen, W. and Woodward, G. (2014), “Approaches to defining a planetary boundary for biodiversity”, in *Global Environmental Change*, vol. 28, pp. 289-297. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.07.009 [Accessed 28 September 2024].
- Marot, S. (2019), *Taking the country’s side – Agriculture and architecture*, Ediciones Polígrafa, Lisbona and Barcelona.
- Mishra, B., Mohanta, Y. K., Reddy, C. N., Reddy, S. D. M., Mandal, S. K., Yadavalli, R. and Sarma, H. (2023), “Valorization of agro-industrial biowaste to biomaterials – An innovative circular bioeconomy approach”, in *Circular Economy*, vol. 2, issue 3, article 100050, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ccc.2023.100050 [Accessed 28 September 2024].
- Mitman, G. (2019), *Reflections on the Plantationocene – A conversation with Donna Haraway & Anna Tsing – Moderated by Gregg Mitman*, Edge Effects Magazine. [Online] Available at: edgeeffects.net/wp-content/uploads/2019/06/PlantationoceneReflections_Haraway_Tsing.pdf [Accessed 28 September 2024].
- Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. J., Jørgensen, S. E. and Brix, H. (2013), “Wetlands, carbon, and climate change”, in *Landscape Ecology*, vol. 28, pp. 583-597. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10980-012-9758-8 [Accessed 28 September 2024].
- Muratovski, G. (2016), *Research for designers – A guide to methods and practice*, SAGE, Thousand Oaks.
- Pavel, C. and Blagoeva, D. T. (2018), *Competitive landscape of the EU’s insulation materials industry for energy-efficient buildings*, JRC Technical Reports, JRC108692, EUR 28816 EN. [Online] Available at: doi.org/10.2760/750646 [Accessed 28 September 2024].
- Ramsar Convention on Wetlands (2018), *Resolution XI-II.13 – Restoration of degraded peatlands to mitigate and adapt to climate change and enhance biodiversity and disaster risk reduction – 13th Meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Ramsar Convention on Wetlands – Wetlands for a Sustainable Urban Future – Dubai, United Arab Emirates, 21-29 October 2018*, COP13, Ramsar. [Online] Available at: ramsar.org/sites/default/files/documents/library/xiii.13_peatland_restoration_e.pdf [Accessed 28 September 2024].
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huijskamp, W., Kummer, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Wang-Erlandsson, L., Weber, L. and Rockström, J. (2023), “Earth beyond six of nine planetary boundaries”, in *Science Advances*, vol. 9, issue 37, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1126/sciadv.adh2458 [Accessed 28 September 2024].
- Scodeller, D. (2023), “Design tra agricoltura e industria”, in Scodeller, D. and Mancini, M. (eds), *Design e Fibre Naturali – Atti del Convegno scientifico internazionale, Ferrara, Italia, 20-21 Ottobre 2022*, Media MD, Ferrara, pp. 24-41. [Online] Available at: hdl.handle.net/11392/2537934 [Accessed 28 September 2024].
- Textile Exchange (2024), *Materials Market Report*, September 2024. [Online] Available at: textileexchange.org/app/uploads/2024/09/Materials-Market-Report-2024.pdf [Accessed 03 October 2024].
- Thackara, J. (2019), “Bioregioning – Pathways to Urban-Rural Reconnection”, in *She Ji | The Journal of Design, Economics, and Innovation*, vol. 5, issue 1, pp. 15-28. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.sheji.2019.01.002 [Accessed 28 September 2024].
- Toni, M. (2012), *Un materiale e il suo ambiente – Utilizzo della canna palustre nelle costruzioni*, Alinea Editrice, Firenze.
- Valenti, A., Trimarchi, A. and Farresin, S. (2023), “Design e pensiero ecologico – Le nuove narrative del progetto contemporaneo che mettono la Terra in primo piano | Design and ecological thinking – The new narratives of contemporary design placing Earth on centre stage”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 19-30. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1312023 [Accessed 28 September 2024].
- Watson, J. (2019), *Lo-TEK – Design by Radical Indigenism*, Taschen, Köln.