

## 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

Marinella Ferrara, Alessandro Squatrito

#### ABSTRACT

Negli ultimi anni il design ha rivolto l'attenzione all'Economia Circolare (EC) in cui le questioni relative ai materiali sono fondamentali. Sempre più aziende e designer rivolgono la propria ricerca verso i 'materiali circolari' provenienti dal riciclo di 'materiali tecnici' o creati da una base organica di scarti di lavorazione/produzione o consumo e reintegrabili nel ciclo biologico. L'articolo, focalizzato sui 'materiali circolari a base biologica', presenta la prima fase di una ricerca in corso di sviluppo, con l'obiettivo di mappare e sistematizzare le strategie utilizzate per l'ideazione, lo sviluppo, la progettazione, la produzione e la distribuzione dei nuovi materiali e dei relativi prodotti.

In recent years, design has turned its attention towards the Circular Economy where material issues are central. More and more companies and designers are turning their research towards 'circular materials' from the recycling of 'technical materials' or created from an organic base of processing/production or consumption waste and reintegrated into the biological cycle. The paper, focused on 'bio-based circular materials', presents the first phase of a research in progress, with the aim of mapping and systematising the strategies used for the conception, development, design, production and distribution of new materials and related products.

#### KEYWORDS

economia circolare, materiali circolari a base biologica, design sostenibile, design circolare, industrie creative

circular economy, bio-based circular materials, sustainable design, circular design, creative industries

**Marinella Ferrara**, PhD, is an Associate Professor of Industrial Design at Politecnico di Milano (Italy) and Head of MADEC, the Research Center on Material Design Culture. Her research aims to clarify the relationship between design and materials and to contribute to design theories and teaching methodologies. She is the Editor-in-chief of the online scientific Journal PAD. E-mail: [marinella.ferrara@polimi.it](mailto:marinella.ferrara@polimi.it)

**Alessandro Squatrito**, Designer, is a PhD Candidate at the Design Department of Politecnico di Milano (Italy). In addition to the design activity, he carries out research in the field of design, materials and circular economy, and supports teaching activities. E-mail: [alessandro.squatrito@polimi.it](mailto:alessandro.squatrito@polimi.it)

A causa delle crescenti problematiche ambientali, il concetto di Economia Circolare (EC) ha ricevuto una crescente attenzione in quanto modello intenzionalmente rigenerativo e riparativo (World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, 2016). Nell'EC l'idea di rifiuto tende a essere eliminata attraverso processi conservativi, di riutilizzo o riciclaggio, in modo che le risorse possano essere utilizzate più a lungo possibile (Milios, 2018). Alla luce di ciò, la European Commission (2020) ha recentemente proposto un Piano di Azione recepito da molti Stati membri che hanno, a loro volta, adottato una varietà di strategie di implementazione. Per chiarire il concetto di EC, dobbiamo riferirci alle prime teorizzazioni che risalgono agli anni '90, quando termini come 'metabolismo industriale' e 'industria ecologica' (Ayres, 1998), indicavano un sistema il più somigliante alla natura e ai suoi processi di creazione e rimessa in circolo (Bocken et alii, 2016). Attuare l'EC implica creare business e profitto non più solo dalla vendita di beni, ma anche dal riutilizzo nel tempo di materiali e prodotti (Bakker et alii, 2014); parallelamente si sviluppa il 'design out waste' (Kottaridou and Bofylatos, 2019) attraverso una serie di azioni e strategie – manutenzione, conservazione, riutilizzo, riciclo, riuso, ecc. – categorizzate e sistematizzate da diversi studiosi (Bakker et alii, 2014; Bocken et alii, 2016; Chapman, 2009; De los Rios and Charnley, 2017; Milios, 2018; Moreno et alii, 2016; Murray, Skene and Haynes, 2017).

La letteratura scientifica non lascia dubbi: poiché gran parte dell'impatto ambientale dei prodotti è definito già nella fase di progettazione e di selezione dei materiali (Mesa, Esparragoza and Maury, 2018), il design è chiamato ad anticipare il problema e proporre soluzioni per nuove sfide sociali, economiche e ambientali (Singh and Ordoñez, 2016). La comunità del design ha quindi rivolto la propria attenzione verso materiali sostenibili e materiali a base di sostanze naturali sono stati riconosciuti come una possibile strategia per la transizione verso l'EC. Si assiste a un cambio di passo della ricerca di design, che ha spostato il processo progettuale nella fase di concezione del materiale e ha visto i designer divenire 'agenti' del bio-manufacturing, con la creazione di start-up focalizzate sulla EC (Nigten and Beekman, 2015). Questo fenomeno design-driven contribuisce, seppur ancora parzialmente, alla risoluzione di problemi ambientali, creando nuove opportunità economiche basate sull'ecologia per manifatture, artigiani e comunità locali in molti contesti produttivi, guidando l'innovazione del prossimo futuro (Ferrara, 2021).

In quest'ottica il contributo ha lo scopo di identificare le strategie messe in atto dai designer nella transizione verso la EC evidenziando le opportunità, ma anche le difficoltà che si incontrano nello sviluppo di attività produttive basate sui materiali circolari bio-based di nuova sperimentazione. Dopo un primo paragrafo introduttivo sui 'materiali circolari a base biologica', il lavoro prosegue esplicitando la ricerca condotta, la sua metodologia e presentando cinque casi studio emblematici per l'approccio design-driven e le caratteristiche dei materiali e prodotti.

**Materiali circolari a base biologica, una possibile definizione** | Molti studiosi concordano sul fatto che gran parte delle strategie progettuali per la

sostenibilità si basino sull'utilizzo dei materiali (Liedtke, Baedeker and Borrelli, 2015; Ceschin and Gaziulusoy, 2016; Mesa, Esparragoza and Maury, 2020; Kottaridou and Bofylatos, 2019; Crabbé et alii, 2013). Un materiale può definirsi 'circolare' se a fine vita può essere tecnicamente riciclato, oppure se è completamente biodegradabile (anche attraverso compostaggio) senza il rilascio di sostanze nocive per l'ambiente; deve inoltre essere prodotto con tecnologie a impatto zero o quasi (di sintesi o meno) e quanto più possibile a livello locale (Dumée, 2022). L'interesse per nuovi materiali a base di sostanze naturali è emerso all'inizio degli anni '90 con la necessità delle aziende di trovare una soluzione alternativa all'uso eccessivo delle plastiche da fonti fossili; nel tempo ha preso corpo una consapevolezza etico-morale verso la sostenibilità, oltre che ambientale anche economica e sociale, senza voler rinunciare alle qualità estetico-funzionali dei prodotti (Morreale et alii, 2008) raggiunte dopo quasi un secolo di design di prodotti plastici. Un caso emblematico è il brevetto di Novamont per il Mater-Bi®, polimero a base di amido di mais ampiamente utilizzato fin dalla fine degli anni '90 per la produzione di imballaggi e oggetti di uso quotidiano.

Nell'ultimo decennio si è assistito a un radicale cambio di prospettiva poiché i designer puntano ad avere il controllo non solo sul prodotto, ma anche su tutta la filiera del processo produttivo e sul ciclo di vita del materiale (Ferrara, 2017; Camere and Karana, 2018). Di recente, i giovani progettisti, che sono cresciuti in un mondo quasi totalmente sintetico e hanno subito l'aggravarsi delle problematiche ambientali, hanno rivolto la loro attenzione alla possibilità di progettare materiali alternativi a partire da biomasse.

È da rilevare però che nella categoria dei materiali a base naturale possono convergere anche materiali nocivi o non biodegradabili oppure a base di sostanze naturali non rinnovabili, sintetizzati chimicamente da un materiale biologico o interamente biosintetizzati da organismi viventi (Smith, Moxon and Morris, 2016). Per questo motivo risulta indispensabile dare una definizione di 'materiali circolari a base biologica': essi sono materiali progettati a partire da una base naturale (risorse organiche vergini o di scarto, microrganismi o sostanze da loro prodotte) che a fine vita assicurano una totale biodegradabilità e/o compostabilità, oppure il riciclo, non contenendo additivi e solventi chimici nocivi all'uomo e all'ambiente; per quanto possibile, questi materiali devono essere sviluppati utilizzando risorse rinnovabili e locali, promuovendo valori correlati alla sostenibilità e al legame con la comunità che li produce.

Se molti sono gli esempi di materiali sviluppati negli ultimi anni che rientrano nella suddetta definizione, quali passi sono stati condotti per la loro produzione e commercializzazione? Quali competenze sono state impiegate? Quali canali si utilizzano per la presentazione e la distribuzione dei prodotti? Quali certificazioni posseggono? A queste e altre domande il presente contributo (che si riferisce ai primi risultati di una ricerca dal titolo 'Narrowing the gap to biomaterials – Biomaterials applications for a circular approach within the furniture industry and domestic market'<sup>1</sup>) cercherà di dare delle risposte. Seppur esista una letteratura che evidenzia il ruolo dei designer come promotori della transizione verso la EC, attraverso

pratiche DIY per lo sviluppo di materiali bio-based (Rognoli et alii, 2015; Asbjørn Sørensen and Thyne, 2020; Ayala-Garcia and Rognoli, 2017), si rileva la carenza di attività di ricerca sui materiali circolari design-driven a base biologica che abbiano superato la fase sperimentale raggiungendo la fase produttiva e di distribuzione di questi materiali e prodotti.

**Metodologia di ricerca** | Per favorire la comprensione della complessità del fenomeno, dopo un'analisi della letteratura scientifica è stato condotto uno studio tematico della letteratura grigia<sup>2</sup> per l'individuazione di casi studio da indagare; sono stati selezionati 40 casi studio (Tab. 1) nel contesto europeo e dei Paesi associati. La selezione comprende PMI – che vanno da piccoli studi di progettazione ad aziende manifatturiere – identificabili come 'imprese creative' (Throsby, 2008) che producono materiali circolari a base biologica e relativi prodotti, oggetti d'uso quotidiano e componenti per l'interior. Sono stati selezionati e raccolti i dati dei soli casi che hanno superato la fase di sperimentazione, raggiunto quella di produzione e sono in fase di distribuzione-vendita sul mercato, così da includere, in modo indiretto, anche le aspettative e i valori di sostenibilità posseduti dagli oggetti, riconosciuti e apprezzati dai consumatori-utenti (Kumar and Noble, 2016). È stato predisposto un questionario semi-strutturato con domande a risposta aperta e scale di valutazione, per comprendere motivazioni e precisi punti di vista (Wilson, 2014) tenendo conto di una serie di criteri basati su un preciso quadro teorico come definito da Eisenhardt (1989).

L'indagine è stata realizzata presentando il questionario online ai titolari delle aziende o ai responsabili dei loro uffici ricerca e sviluppo (42 intervistati in totale); esso è composto da quattro sezioni: 1) Informazioni generali su organizzazione aziendale, competenze possedute, partecipazione a fiere ed eventi e tempistiche di sviluppo del progetto; 2) Domande su materiale e sua sostenibilità, tecnologie produttive, materie prime utilizzate, test per certificazioni e con consumatori/utenti; 3) Domande su prodotti, tipologia merceologica, certificazioni e test con gli utenti, canali di distribuzione e di assistenza; 4) Prospettive future, necessità e competenze che mancano per lo sviluppo di nuovi progetti e prodotti. Per brevità di trattazione si riportano i risultati dell'indagine facendo riferimento a cinque casi studio considerati emblematici perché includono le caratteristiche comuni alla maggior parte dei casi analizzati.

**Casi studio** | Miyuca<sup>3</sup> (Figg. 1-3) è uno studio di Bressanone (Italia), che progetta e produce artigianalmente oggetti con un nuovo materiale composito denominato LAAB, sviluppato internamente a base di un rifiuto verde urbano, le foglie caduche, con l'aggiunta di una resina di origine naturale. In natura le foglie si decompongono trasformandosi in nutrienti per il terreno, cosa che nelle aree urbane è estremamente limitata dalla cementificazione del suolo e richiede che gli sfalci siano raccolti; da qui l'idea di utilizzare questo scarto naturale per creare un nuovo materiale da foglie agglomerate. Il processo produttivo prevede la raccolta delle foglie, l'essiccazione, la triturazione, l'aggiunta della resina, la modellazione in stampi in legno, la sformatura e finitura. La designer ha svi-

| Company                | Origin         | Material  | Products   | Production     | Distribution and commercialization |
|------------------------|----------------|---|--|----------------|------------------------------------|
| Chips Board            | United Kingdom | Circular biomaterial from the recycling of potato production waste  | Semi-finished panels                                       | ✓              | ✓                                  |
| HuisVeendam            | Netherlands    | HuisVeendam produces starch-based biomaterials using agricultural production wastes   | Semi-finished panels                                       | ✓              | ✓                                  |
| Highsociety            | Italy          | Biobased material from circular supply chain using coffee, tobacco, hops, hemp and pomace waste   | Senilia and Highlight lamps                                | ✓              | ✓                                  |
| Miyuca                 | Italy          | LAAB is a biobased material using deciduous leaves  | Lamps and panels   | ✓              | ✓                                  |
| Gaurav mk Wali         | Netherlands    | Biobased materials from the collection and reuse of pine needles  | Items for the desk   | ✓              | Under development                  |
| Philipp Hainke         | Germany        | Organic is an adhesive, composed of calcium hydroxide and casein, is used to press hemp fibers and hemp shives into solid shapes by forming a sandwich material with a hemp fiber cover and a core of hemp shives               | Chairs   | ✓              | Under development                  |
| Christien Meindersma   | Netherlands    | Composite biomaterial created using four layers of an existing linen fabric and five layers of a new linen felted with dry needles with the addition of PLA   | Chairs   | ✓              | ✓                                  |
| Ottan studio           | Turkey         | Biobased materials created using organic material waste such as walnut shells, pistachios, rice processing waste, citrus peels  | Semi-finished panels                                       | ✓              | ✓                                  |
| Sulapac                | Finland        | Sulapac produces a range of bio-based materials that can be processed with common plastics tools (extrusion, molding, injection); the materials are all biodegradable and/or compostable and are used in the packaging industry | Granules for molding                                       | ✓              | ✓                                  |
| Krill design           | Italy          | Biopolymer based on orange peel scraps  | Lamps  | ✓              | ✓                                  |
| Grown.bio              | Netherlands    | Biomaterial from the growth of mycelium on a substrate of organic matter  | Furnishing accessories, lamps, chairs, packaging           | ✓              | ✓                                  |
| Treeplast              | Netherlands    | Lignin-based bioresin   | Furnishing accessories and moulding material               | ✓              | ✓                                  |
| Studio Atticus Durnell | United Kingdom | That's caffeine, biomaterial based on coffee residues   | Small furnishing accessories                               | ✓              | ✓                                  |
| Organoid               | Austria        | Organoid is a fully biodegradable material based on organic material waste such as clippings and prunings; the material produced is highly resistant and has excellent acoustic insulation qualities                            | Semi-finished panels and material for forming on 3D moulds | ✓              | ✓                                  |
| Kajkao                 | Italy          | Bio-base material from chocolate production waste   | Semi-finished panels                                       | ✓ upon request | ✓ upon request                     |
| Coffefrom              | Italy          | Bio-based material from coffee waste  | Coffe cups   | ✓              | ✓                                  |
| Ohoskin                | Italy          | Organic yarns and fabrics from cactus and oranges   | Textile  | ✓ upon request | ✓ upon request                     |
| Leap                   | Sweden         | Organic leather produced from apple processing waste with added natural rubber  | Leather  | ✓              | ✓                                  |

Tab. 1 | Synopsis of case studies selected for research.

| Company             | Origin         | Material  | Products   | Production     | Distribution and commercialization |
|---------------------|----------------|---|--|----------------|------------------------------------|
| Orangefiber         | Italy          | Organic yarns and fabrics from the waste of the processing of oranges   | Textile  | ✓ upon request | ✓ upon request                     |
| Biofaber            | Italy          | Bio-based leather from cellulose of bacterial origin  | Leather  | ✓              | Under development                  |
| Fulgar              | Italy          | Evo, bio-based yarn produced by cultivation of castor beans   | Yarn   | ✓              | ✓                                  |
| Kanesis-Ecopound    | Italy          | Thermoplastic materials filled with biomass from agricultural by-products, free of synthetic additives and dyes | 3D Printing Filaments, 3D Printed Products, and Thermoplastics for Molding | ✓              | ✓                                  |
| Caracara collective | Finland        | Bio-based materials from agro-food wastes   | Lamps and plates for tables or tops  | ✓              | ✓                                  |
| Kuori               | Switzerland    | Bio-based material from banana and walnut scraps  | Soles for shoes  | ✓              | Under development                  |
| Mogu                | Italy          | Mycelium-based bio-based material on a biological substrate from agro-food wastes                               | Acoustic panels  | ✓              | ✓                                  |
| Edvard & Steenfatt  | Denmark        | Material from ponds and cellulose   | Lamps and chairs   | ✓              | Under development                  |
| OVD design          | Netherlands    | Biopolymer based on coffee scraps   | Biopolymer granules  | ✓              | Under development                  |
| Decafè              | Spain          | Bio-based material produced from coffee waste   | Lamps and furnishing accessories   | ✓              | ✓                                  |
| Vegea               | Italy          | Organic leather produced from biomass from agriculture  | Leather and yarns  | ✓              | Under development                  |
| Honext              | Spain          | Panels from waste paper production sludge   | Insulation panels for construction   | ✓              | ✓                                  |
| Marinatex           | United Kingdom | Bio-based material from the waste of the catch chain  | Film   | ✓              | Under development                  |
| Shellworks          | United Kingdom | Biobased materials from chitin  | Packaging and granules for molding   | ✓              | ✓                                  |
| Polibyon            | Spain          | Bacterial cellulose skin  | Leather  | ✓              | Under development                  |
| Peelsphere          | Germany        | Bio-based materials from agro-food wastes   | Film   | ✓              | Under development                  |
| Woodoo              | France         | Bio-based lignin materials  | Surfaces e film  | ✓              | Under development                  |
| Biohm               | United Kingdom | Bio materials based on mycelium or agro-food scraps   | Lamps and panels   | ✓              | ✓                                  |
| Frumat              | Italy          | Leather from apple waste  | Leather  | ✓              | ✓ upon request                     |



Fig. 1-3 | LAAB Light Pendant designed by Studio Miyuca, 2019 (source: miyuca.it, 2020).

luppato una serie di semilavorati con cui produce basi per tavoli e alcune lampade. Tra i diversi oggetti prodotti vi è anche una serie di lampade, selezionate al German Design Award 2019 e al Green Product Award 2019, che sfruttano le qualità estetiche di traslucenza del composto e la variazione dei colori delle foglie; tutte le lampade possiedono la certificazione CE prevista per gli apparecchi elettrici.

KeepLife<sup>4</sup> di Caserta (Italia) produce dal 2017 un materiale composito di natura lignea, plasmabile e auto-indurente, che utilizza gusci di nocciole, noci, mandorle, pistacchi, arachidi e buccia di castagne, con l'aggiunta di lignina e senza cariche o riempitivi, solventi o formaldeide. L'azienda ha privilegiato risorse locali come lo scarto della nocciola irpina IGP e delle mandorle pugliesi, oltre a quelle delle mandorle sarde e dei pistacchi siciliani. Le fasi produttive vanno dalla selezione e pezzatura dei gusci al controllo del grado di umidità, che influisce sulle caratteristiche finali del prodotto; segue l'aggiunta di lignina, la formatura dentro appositi stampi e l'asciugatura a umidità controllata.

I prodotti possono essere ottenuti per stampaggio a pressa idraulica e ulteriormente lavorati con comuni attrezzi da falegnameria; per le loro proprietà fisico-chimiche sono paragonabili al truciolare e dipendono dalle materie prime selezionate e miscelate in formulazioni specificamente brevettate. L'azienda produce, oltre a sei materiali corrispondenti alle materie prime, una linea con quattro differenti colorazioni: 'giallo tufo', 'bianco fiano', 'nero vesuvio' e 'rosso pompeiano' utilizzando pigmenti derivati da terre locali. Oltre alla partnership con il territorio e le comunità produttive locali, l'azienda ha attivato delle collaborazioni con designer nazionali e internazionali (Fig. 4) – come Matali Crasset (Fig. 5), Sovrappensiero Design e Studio Irvine – attirando una community di giovani creativi con cui progetta e produce oggetti e complementi per la casa che commercializza attraverso la propria pagina web.

Ottan<sup>5</sup> (Figg. 6-8) è un'azienda con sede a Istanbul (Turchia) fondata da Ayse Yilmaz; nata nel 2016, vanta oggi numerose collaborazioni con ingegneri, designer ed esperti di marketing. Il primo passo per Ottan è stato lo sviluppo di una tecnologia di riciclo avanzata di rifiuti organici, grazie alla partnership con la società di rifiuti Fazla Gıda e con piccoli produttori del territorio. Ottan commercializza semilavorati in pannelli da 2-3 mm fino a 2 cm di spessore, prodotti a partire da scarti alimentari, agricoli o da sfalci e potature che utilizza come inerti e che agglomera utilizzando leganti di origine naturale. Il materiale può essere modellato attraverso stampaggio di materiale sfuso a iniezione o per stratificazione e i semilavorati così ottenuti possono essere fresati, tagliati e piallati. Il catalogo al momento conta venti diversi prodotti per rivestimenti di interni.

Dopo sei anni dalla produzione, i pannelli non hanno modificato le proprie caratteristiche chimico-fisiche ed estetiche; quelli testati per l'uso esterno, ancora non commercializzati, risultano resistenti all'acqua e ai raggi UV. Durante l'intervista l'azienda ha riconosciuto le difficoltà – dichiarate di livello medio – riscontrate nella ricerca e sviluppo del prodotto. Grazie all'ampia varietà di effetti superficiali, pattern, colorazioni, finiture e di lavorazioni a catalogo, Ottan sta ricevendo un grande apprezzamento da parte del mercato di riferimen-

to, e in particolare da architetti e interior designer del Regno Unito. Al momento Ottan non possiede alcuna certificazione riconosciuta, ma sta facendo i primi passi per la digitalizzazione dell'azienda incorporando un sistema integrato di AI, IoT e Machine Learning per calcolare automaticamente l'impronta di carbonio per ogni articolo dalla produzione alla spedizione. Attraverso il proprio sito internet, Ottan commercializza anche una piccola collezione di complementi d'arredo, per far conoscere il materiale a un pubblico sempre più vasto.

Mogu<sup>6</sup> è una delle poche aziende in Europa, con sede a Varese (Italia), che produce e commercializza prodotti a base di micelio per il mercato dell'architettura d'interni. Il prodotto più famoso dell'azienda è Acoustic (Figg. 9-12), un pannello fonoassorbente prodotto da un substrato di materiale organico (scarti della produzione agro-industriale e fibre di cotone e paglia) colonizzato dalle spore di un fungo e reso compatto negli stampi dalla sua parte radicale, il micelio. L'azienda, nata dalle idee e dalla ricerca di Maurizio Montalti (2017), dopo un lungo periodo di sperimentazione e perfezionamento del processo produttivo, oggi conta più di 30 persone tra cui designer, micologi, chimici e ingegneri.

Molte sono state le difficoltà da superare in questa ricerca inedita per definire le compatibilità dei materiali di base con il micelio e i dosaggi dei componenti nelle miscele (quantità e densità delle fibre adatte alla resistenza e qualità ricercata, temperature e umidità adatte alla crescita del micelio in stampi, ecc.). Il fungo impiega tempi diversi per proliferare e colonizzare il substrato a seconda delle fibre utilizzate come base e, al termine del processo di crescita, il pannello ottenuto viene inserito in appositi forni per arrestare la proliferazione e asciugare il prodotto; in una fase successiva il prodotto è rifinito con vernici specifiche e sagomato in forme diverse. Il materiale possiede ottime proprietà acustiche e di resistenza al fuoco (classe bs2d0) e buone proprietà meccaniche mentre al tatto risulta simile al velluto, presentandosi con una texture fibrosa e compatta con leggere ondu-

lazioni superficiali. Un'altra caratteristica è la buona capacità d'invecchiamento poiché, se non esposto a forte umidità, conserva intatte le proprie qualità fisiche e meccaniche. A fine vita, i pannelli senza finitura superficiale sono compostabili, mentre i verniciati possono essere disassemblati e riutilizzati come fibre. Il materiale è stato testato da potenziali utenti per comprenderne l'accettazione e le reazioni, e definirne gli effetti superficiali.

Mogu ha ricevuto negli anni una serie di finanziamenti europei che ne hanno permesso sviluppo e studi per l'identificazione dei mercati di riferimento. Oggi, oltre ai pannelli acustici offerti in una grande varietà di forme, configurazioni e modelli, ottenuti anche grazie alla modellazione parametrica e la produzione robotizzata, il catalogo aziendale offre altri prodotti come Floor Flex, Floor Tiles (Fig. 13) e Ephea<sup>TM</sup> (Fig. 14): i primi due sono rivestimenti e piastrelle per pavimento ottenuti da materiale bio-based al 67% con una formulazione basata su risorse di scarto (dalle conchiglie ai fondi di caffè), senza solventi e completamente riciclabili; il terzo è una pelle alternativa a quella animale, anch'essa proveniente dal micelio.

In ultimo si riporta il caso di Coffeefrom<sup>7</sup>, progetto nato come spin-off da una cooperativa sociale della provincia di Milano (Italia) con l'obiettivo di portare a compimento i principi di Extended Producer Responsibility. Coffeefrom è un materiale privo di bisfenolo a marchio registrato composto da scarti di caffè che arrivano da produttori locali, il cui processo produttivo – completamente industrializzato grazie alla creazione di un'apposita catena produttiva che permette la standardizzazione evitando le fasi pilota – prevede l'essiccazione della polvere di caffè esausta e successivamente l'aggiunta di acido polilattico. Lo sviluppo del materiale, che ha impiegato due anni di test e modifiche del processo di stampaggio a iniezione, ha permesso la produzione di oggetti adatti a contenere cibo come tazze, bicchieri e packaging (anche su commissione) certificati per il contatto con il cibo, il tutto commercializzato attraverso uno store online.

Sebbene al momento si stia sviluppando anche una tazza da tè, il prodotto di punta è una tazzina da caffè con il suo piattino (Fig. 15) attraverso cui l'azienda intende rimarcare la natura del materiale di produzione. Il materiale si presenta liscio al tatto e di colore marrone scuro ricordando la materia prima di provenienza; ha una buona resistenza meccanica e può essere lavato a temperature che raggiungono i 50 °C. L'azienda sta lavorando allo sviluppo di un materiale meccanicamente e termicamente più resistente, che permetta di ridurre gli spessori favorendo la biodegradabilità e la resistenza al calore; anche il ciclo produttivo è in fase di perfezionamento per ridurre l'impronta ambientale misurata con la metodologia LCA.

**Discussione** | L'analisi dei casi studio offre una panoramica, seppur frammentaria, su una promettente realtà emergente, produttivamente diversificata, fatta di aziende dinamiche che hanno raggiunto stadi di sviluppo diversi ma comunque rilevanti per i traguardi in termini di produzione, commercializzazione e distribuzione di materiali e prodotti circolari innovativi e a base biologica. Grazie alle interviste sono stati identificati gli elementi significativi che caratterizzano questa realtà design-driven, e che si riportano di seguito.

**Distribuzione Geografica.** Sebbene la ricerca sia stata condotta tenendo in considerazione il territorio Europeo e dei Paesi associati, la presenza di queste realtà imprenditoriali è concentrata in Germania, Italia e nei Paesi Bassi. Il territorio italiano contribuisce con un cospicuo numero di casi studio, interessanti sia per tipologia di materiali e prodotti creati sia per il livello qualitativo raggiunto nello sviluppo aziendale, come dimostrato anche dal documento 100 Italian Circular Economy Stories 2021 (ENEL and Symbola, 2021).

**Mindset Creativo e Team Multidisciplinari.** Nei casi studio l'idea del materiale è guidata dall'approccio creativo nell'osservare la realtà secondo nuovi parametri, cioè a partire dalle risorse disponibili, riscoprendo materie povere e di scarto per valorizzarle. L'approccio sperimentale nei confron-



Figg. 4, 5 | Natty, nutcracker, designed by Ilaria Spagnuolo, produced by Keeplife; Planter, gardening object, designed by Matali Crasset, produced by Keeplife (credits: Keeplife, 2020).



**Fig. 6, 7** | Material samples designed by Ottan studio (credits: Ottan Studio 2022).

**Fig. 8** | 'Arceik' coffee bar, interiors with Ottan studio surfaces, designed by Ottan studio (credit: Ottan, 2022).

Next page

**Fig. 9, 10** | Forest acoustic systems designed by Mogu (source: mogu.bio, 2022).

ti delle tecniche da parte di designer che si sono impegnati nello sviluppo dei materiali è fondamentale come anche la determinazione che li ha spinti ad andare oltre la sperimentazione per proseguire nella fase produttiva e di mercato. Si evidenzia però la necessità, e spesso la difficoltà, di coinvolgere altre competenze dall'ingegneria chimica, meccanica e gestionale a esperti in sostenibilità, fondamentali per lo sviluppo del materiale, l'identificazione di processi produttivi standardizzati e la stabilizzazione delle caratteristiche chimiche e fisiche dei materiali; infatti nei casi studio, coloro che sono stati capaci di produrre e distribuire i propri prodotti hanno creato gruppi multidisciplinari in cui esperti in chimica, marketing, ingegneria, biologia, fisica collaborano guidati dalla creatività e dalla circolarità.

**Tipologie Merceologiche.** La ricerca sul materiale, in quanto focus progettuale, indirizza l'estetica e la scelta merceologica dei prodotti da produrre, al fine di raggiungere un ampio pubblico di utilizzatori e di aumentarne l'accettazione e la scelta. Tutti i casi studio riportati sfruttano abilmente le capacità di narrare il prodotto a partire dal materiale: infatti, mentre Miyuca punta su qualità sensoriali, trasparenze e palette colore collegate alle materie di base e Ottan su granulometrie, gamma dei colori e pattern esaltando le materie prime, Coffeefrom ha scelto la strategia di produrre dal caffè oggetti per gustare la bevanda e KeepLife sfrutta il legame con il territorio attraverso colori tipici e finiture legate al contesto di produzione.

**Legame con il Territorio e le Comunità Locali.** Nella maggior parte dei casi si riscontra un forte legame tra l'attività produttiva e il territorio. Ciò si riscontra in KeepLife, in cui la scelta delle materie prime è definita in base alle produzioni locali, riducendo i trasporti e facilitando la catena produttiva, e in Ottan, che ha condotto uno studio delle risorse territoriali, così da differenziarsi da possibili concorrenti. In KeepLife il binomio design/territorio si estende anche al campo dei semilavorati coinvolgendo nell'ideazione dei prodotti una rete di giovani designer. La circolarità non è soltanto una questione 'materiale' ma anche 'sociale' nell'ottica dell'innovazione nello sviluppo delle comunità (quindi innovazione della manodopera locale e della cultura materiale). Allo stesso tempo queste aziende creative utilizzano il volano del design per dare visibilità internazionale ai prodotti di uno specifico territorio e alla sua estetica identitaria.

**Varietà nel Livello di Artigianalità e Industrializzazione.** I casi studio presentano molte differenze sul piano della produzione; se Miyuca produce esclusivamente a mano un materiale di grande qualità estetica applicato a piccole collezioni, Mogu si caratterizza per una struttura altamente specializzata nel design, un'elevata innovazione tecnologica applicata alla progettazione e una varietà di prodotti a catalogo, sebbene il processo produttivo presenti un livello di industrializzazione basso, con delle fasi artigianali e tempi lunghi, ad esempio nella messa in forma e nella crescita del micelio. Lo stesso avviene nel processo produttivo dei prodotti di KeepLife, in particolare nelle fasi di formatura e asciugatura dei materiali, mentre Coffeefrom può vantare un processo produttivo industrializzato, alla pari di qualsiasi altra produzione industriale con convenzionali polimeri termoplastici, determinando una varietà di target parecchio differenziata.

Brevetti, Certificazioni, Finanziamenti e Modelli di Sviluppo. I casi studio hanno affrontato lunghi periodi di ricerca per raggiungere certificazioni che ne attestino provenienza, basso impatto ambientale e sicurezza in relazione all'uso. Data la particolarità dei materiali e dei processi produttivi, nel 75% dei casi sono state attivate forme di tutela del marchio attraverso la loro registrazione o brevetti. Dalle interviste è emerso che diverse aziende hanno partecipato a bandi europei allo scopo di acquisire fondi per lo sviluppo dei propri progetti, a dimostrazione che la promozione e l'incentivazione da parte delle Istituzioni pubbliche è fondamentale per lo sviluppo di nuove attività produttive correlate all'EC. In generale, dai casi studio si evince che le strategie bottom-up hanno permesso a nuove realtà di poter scalare l'innovazione in modo meno rischioso e più sostenibile proseguendo nella ricerca e nello sviluppo di materiali e prodotti con un approccio 'centrato sulla soddisfazione dell'utente', per acquisire fette maggiori di mercato che consentano una reale pratica sostenibile e circolare.

**Conclusioni** | Il contributo presenta gli esiti della prima fase di una ricerca che ha l'obiettivo di tracciare lo stato dell'arte di progettisti e aziende nate con l'obiettivo di creare, sviluppare e distribuire materiali e prodotti sostenibili con un approccio circolare e design-driven, evidenziando strategie, necessità e difficoltà incontrate. Quella presentata è solo una parte di un sistema più ampio fatto di realtà produttive ognuna con le proprie specificità, legate al territorio di appartenenza e capaci di creare innovazione unendo capacità progettuali e necessità ambientali con approcci tipici del design. La prima fase della ricerca mette comunque in luce una realtà produttiva nuova, scaturita dalla creatività di designer che si fanno interpreti dell'emergenza ambientale e che hanno fatto dei principi di circolarità una forma di business.

Attraverso i dati raccolti è stato possibile definire le caratteristiche principali delle aziende, dei materiali e dei prodotti, le modalità di comunicazione, gli approcci e gli specialisti coinvolti, le qua-

lità e le certificazioni possedute, i processi produttivi e i canali di distribuzione, ma anche ricostruire la storia, gli sviluppi, le difficoltà, i limiti e le peculiarità. La ricerca prosegue con la raccolta di casi studio e dei dati ad essi connessi per poter restituire la fotografia di una tendenza che merita di essere studiata e compresa. Nelle successive fasi si cercherà di comprendere metodi e strumenti per raggiungere gli utenti e aumentare il valore e l'accettazione da parte di un pubblico sempre più vasto. I dati raccolti e sistematizzati contribuiranno a comprendere appieno strategie e modelli di sviluppo, tenendo in considerazione altri attori oggi coinvolti nello sviluppo industriale come incubatori, aziende di consulenza, fondazioni ed Enti di sviluppo.

Due to growing environmental issues, the concept of Circular Economy (CE) has received increasing attention as an intentionally regenerative and restorative model (World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, 2016). In CE, the idea of waste tends to be eliminated through conservation, reuse or recycling processes, so that resources can be used for as long as possible (Milios, 2018). In light of this, the European Commission (2020) has recently proposed an Action Plan that has been taken up by the many Member States that have, in turn, adopted a variety of implementation strategies. In order to clarify the concept of CE, we have to refer to early theorisations dating back to the 1990s, when terms such as 'industrial metabolism' and 'industrial ecology' (Ayres, 1998), indicated a system as close as possible to nature and its processes of creation and re-circulation (Bocken et alii, 2016). Implementing CE implies creating business and profit no longer only from the sale of goods, but also from the reuse of materials and products over time (Bakker et alii, 2014); in parallel, 'design out waste' (Kottaridou and Bofylatos, 2019) is developed through a series of actions and strategies – maintenance, conservation, reuse, recycling, etc.

– categorised and systematised by different scholars (Bakker et alii, 2014; Bocken et alii, 2016; Chapman, 2009; De los Rios and Chamley, 2017; Milios, 2018; Moreno et alii, 2016; Murray, Skene and Haynes, 2017).

The scientific literature leaves no doubt: since much of the environmental impact of products is already defined at the material design and selection phase (Mesa, Esparragoza and Maury, 2018). Design is called upon to anticipate the problem and propose solutions for new social, economic and environmental challenges (Singh and Ordoñez, 2016). The design community has therefore turned its attention towards sustainable and natural materials recognised as a possible strategy for the transition to CE. There is a step-change in design research, which has shifted the design process to the material conception phase and has seen designers become 'agents' of bio-manufacturing, with the creation of CE-focused start-ups (Nigten and Beekman, 2015). This design-driven phenomenon contributes, albeit still partially, to the resolution of environmental problems, creating new economic opportunities based on the ecology of manufacturers, artisans and local communities in many production contexts, driving the innovation of the near future (Ferrara, 2021).

In this perspective, the contribution aims to identify the strategies implemented by designers in the transition towards CE by highlighting the opportunities, but also the difficulties encountered in the development of production activities based on the newly tested bio-based circular materials. After a first introductory paragraph on 'bio-based circular materials', the paper goes on to explain the research conducted and its methodology and presents five emblematic case studies for the design-driven approach and the characteristics of the materials and products.

**Bio-based circular materials, a possible definition** | Many scholars agree that most design strategies for sustainability are materials-based (Liedtke, Baedeker and Borrelli, 2015; Ceschin and Gazizulsoy, 2016; Mesa, Esparragoza and Maury, 2020;







Figg. 11, 12 | Wave, acoustic panel, designed by Mogu; Fields, acoustic panel, designed by Mogu (source: mogu.bio, 2022).

Kottaridou and Bofylatos, 2019; Crabbé et alii, 2013). Material can be defined as 'circular' if at the end of its life it can be technically recycled, or if it is completely biodegradable (including through composting) without the release of substances harmful to the environment; it must also be produced with zero or near-zero impact technologies (synthetic or otherwise), and as locally as possible (Dumée, 2022). Interest in new materials based on natural substances emerged at the beginning of the 1990s with the need for companies to find an alternative solution to the excessive use of plastics from fossil sources; over time, ethical-moral awareness of sustainability has taken shape, not only environmentally but also economically and socially, without wanting to give up the aesthetic-functional qualities of products (Morreale et alii, 2008) achieved after almost a century of designing plastic products. An emblematic case is Novamont's patent for Mater-Bi®, a cornstarch-based polymer widely used since the late 1990s for the production of packaging and objects of daily use.

The last ten years have witnessed a radical change in perspective as designers aim to have control not only over the product but also over the whole chain of the production process and the life cycle of the material (Ferrara, 2017; Camere and Karana, 2018). Recently, young designers, who have grown up in an almost entirely synthetic world and have suffered from worsening environmental issues, have turned their attention to the possibility of designing alternative materials from biomasses.

It should be noted, however, that the category of natural-based materials can also include materials that are harmful or non-biodegradable or based on non-renewable natural substances, chemically synthesised from a biological material or entirely biosynthesised by living organisms (Smith, Moxon and Morris, 2016). For this reason, it is essential to define 'bio-based circular materials': they are materials designed from a natural base – virgin or waste organic resources, microorganisms or substances produced by them – that at the end of

their life ensure total biodegradability and/or compostability, or recycling, as they do not contain chemical additives and solvents harmful to humans and the environment. As far as possible, these materials should be developed using renewable and local resources, promoting values related to sustainability and connection with the community that produces them.

If there are many examples of materials developed in recent years that fall under the above definition, what steps have been taken for their production and commercialisation? What skills have been employed? Which channels are used for the presentation and distribution of products? What certifications do they have? To these and other questions this paper (which refers to the first results of a research project entitled 'Narrowing the gap to biomaterials – Biomaterials applications for a circular approach within the furniture industry and domestic market'<sup>1</sup>) will try to give answers. Although there is a literature that highlights the role of designers as promoters of the transition to CE, through DIY practices for the development of bio-based materials (Rognoli et alii, 2015; Asbjørn Sørensen and Thyni, 2020; Ayala-Garcia and Rognoli, 2017), there is a lack of research activities on bio-based circular materials that have moved beyond the experimental phase reaching the production and distribution phase of design-driven materials and products.

**Research methodology** | In order to advance the understanding of the complexity of the phenomenon after an analysis of the scientific literature, a thematic study of the grey literature<sup>2</sup> was carried out to identify case studies to be investigated. Forty case studies were selected (Tab. 1) in the European context and associated Countries. The selection includes SMEs – ranging from small design studios to manufacturing companies – identified as 'creative industries' (Throsby, 2008) that produce bio-based circular materials and related products, objects of daily use and interior compo-

nents. Data were selected and collected only from those cases that have passed the testing phase, reached the production phase and are in the sales & distribution phase on the market, so as to include, in an indirect way, also the expectations and values of sustainability possessed by the objects, as well as recognised and appreciated by consumers-users (Kumar and Noble, 2016). A semi-structured questionnaire with open-ended questions and rating scales was prepared to understand motivations and precise views (Wilson, 2014) taking into account a set of criteria based on a precise theoretical framework as defined by Eisenhardt (1989).

The survey was carried out by administering the online questionnaire to the owners of the companies or the heads of their research and development departments (42 respondents in total). The questionnaire is made up of four sections: 1) General information on company organisation, skills possessed, participation in trade fairs and events and project development timeframes; 2) Questions on materials and their sustainability, production technologies, used raw materials, tests for certifications and with consumers/users; 3) Questions on products, product type, certifications and tests with users, distribution and service channels; 4) Future perspectives, needs and missing skills for the development of new projects and products. For the sake of brevity, the results of the survey are reported concerning five case studies that are considered emblematic because they include the characteristics common to most of the analysed cases.

**Case studies** | Miyuca<sup>3</sup> (Figg. 1-3) is a studio in Bressanone (Italy), which designs and handcrafts objects with a new composite material called LAAB, developed in-house and based on urban green waste, deciduous leaves, with the addition of a resin of natural origin. In nature, leaves decompose, turning into nutrients for the soil, which in urban areas is extremely limited by the cement-

ing of the soil and requires that the clippings be collected. Hence the idea of using this natural waste to create a new material from agglomerated leaves. The production process involves collecting the leaves, drying them, shredding them, adding resin, shaping them in wooden moulds, demoulding and finishing. The designer has developed a series of semi-finished products with which she produces table bases and some lamps. Among the various objects is a series of lamps, selected for the German Design Award 2019 and the Green Product Award 2019, which exploit the aesthetic qualities of transparency of the compound and the variation in the colours of the leaves. All lamps are CE-certified for electrical appliances.

KeepLife<sup>4</sup> of Caserta (Italy) has been producing since 2017 a composite material of wooden nature, mouldable and self-hardening, using hazelnut, walnut, almond, pistachio, peanut, and chestnut shells, with the addition of lignin and without fillers, solvents or formaldehyde. The company has favoured local resources such as the scrap of IGP-certified Irpinia hazelnuts and Apulian almonds, as well as Sardinian almonds and Sicilian pistachios. The production phases range from the selection and sizing of the shells to controlling the degree of humidity, which influences the final characteristics of the product; this is followed by the addition of lignin, shaping in special moulds and drying at controlled humidity.

The products can be obtained by hydraulic press moulding and further processed with common joinery tools. The physical and chemical properties are comparable to chipboard and depend on the raw materials selected and mixed in specifically patented formulations. In addition to six materials corresponding to the raw materials, the company produces a line with four different colours: 'giallo tufo', 'bianco fiano', 'nero vesuvio' and 'rosso pompeiano' using pigments derived from local soils. In addition to its partnership with the local territory and local manufacturing communities, the company has set up collaborations with national and international designers (Fig. 4), such as Matali Crasset (Fig. 5), Sovrappensiero Design and Studio Irvine. The company attracted a community of young creatives with whom it designs, produces household objects and complements that it markets through its website.

Ottan<sup>5</sup> (Fig. 6-8) is a company located in Istanbul (Turkey) founded by Ayse Yilmaz; established in 2016, it now boasts numerous collaborations with engineers, designers and marketing experts. The first step for Ottan was the development of an advanced organic waste recycling technology, thanks to the partnership with the waste management company Fazla Gida and small producers in the area. Ottan sells semi-finished products in panels from 2-3 mm up to 2 cm thick, produced from food and agricultural waste or clippings and prunings that it uses as aggregates and agglomerates adopting binders of natural origin. The material can be shaped by injection moulding of bulk material or by layering. The semi-finished products thus obtained can be milled, cut and planed. The catalogue currently contains twenty different products for interior cladding.

Six years after production, the panels have not changed their chemical-physical and aesthetic characteristics; those tested for outdoor use, which are not yet marketed, are resistant to water

and UV rays. During the interview, the company acknowledged the difficulties – declared to be of medium level – encountered in the research and development of the product. Thanks to the wide variety of surface effects, patterns, colours, finishes and processes in the catalogue, Ottan is receiving great appreciation from the target market, and in particular from architects and interior designers in the UK. With no recognised certification at the moment, Ottan is taking the first steps towards digitalisation. Furthermore, it is incorporating an integrated AI, IoT and Machine Learning systems to automatically calculate the carbon footprint for each item from production to shipping. Through its website, Ottan also sells a small collection of furnishings, to bring the material to a wider audience.

Mogu<sup>6</sup> is one of the few companies in Europe, based in Varese (Italy), that produces and markets mycelium-based products for the interior design market. The company's most famous product is Acoustic (Fig. 9-12), an acoustic panel produced from a substrate of organic material (waste from agro-industrial production and cotton and straw fibres) colonised by the spores of a fungus and made compact in the moulds by its radical part, the mycelium. The company, born from Montalti's ideas and research, after a long period of experimentation and refinement of the production process, now employs more than 30 people including designers, mycologists, chemists and engineers (Montalti, 2017).

Many difficulties had to be overcome in this unprecedented research to define the compatibility of the base materials with the mycelium and the dosages of the components in the mixtures (quantity and density of the fibres suitable for the strength and desired quality, temperatures and humidity suitable for the growth of the mycelium in the moulds, etc.). The fungus takes different amounts of time to proliferate and colonise the substrate depending on the fibres used as a base and, at the end of the growth process, the resulting panel is placed in special ovens to stop proliferation and dry the product. At a later stage, the product is shaped and refined with specific paints. The material has excellent acoustic and fire resistance properties (class bs2d0) and good mechanical properties. It feels similar to velvet, with a compact fibrous texture and slight surface waviness. Another characteristic is the good ageing capacity since, if not exposed to high humidity, it keeps its physical and mechanical qualities intact. At the end of its life, panels without a surface finish are compostable, while painted panels can be disassembled and reused as fibres. The material has been tested by potential users to understand its acceptance and reactions, and to define its surface effects.

Over the years, Mogu has received a series of European grants that have enabled it to develop and study the identification of its target markets. Today, in addition to the acoustic panels offered in a wide variety of shapes, configurations and models, obtained also thanks to parametric modelling and robotized production, the company catalogue offers other products such as Floor Flex, Floor Tiles (Fig. 13) and Ephea™ (Fig. 14): the first two products are floor coverings and tiles obtained from 67% bio-based material with a formulation based on waste resources (from shells to

coffee grounds), without solvents and completely recyclable; the third product is an alternative skin to animal skin, also derived from mycelium.

Finally, it is reported the case of Coffeefrom<sup>7</sup>, a project created as a spin-off from a social cooperative in the province of Milan (Italy) with the aim of implementing the principles of Extended Producer Responsibility. Coffeefrom is a trademarked bisphenol-free material made from coffee waste from local producers, whose production process – completely industrialised thanks to the creation of a special production chain that allows standardisation, avoiding pilot phases – involves drying the spent coffee powder and then adding polylactic acid. The development of the material, which took two years of testing and modifications of the



**Fig. 13** | Floor Tiles, floor tiles, design by Mogu (source: mogu.bio, 2022).

**Fig. 14** | Ephea, mycelium leather, design by Mogu (source: mogu.bio, 2022).

**Fig. 15** | Coffeefrom, coffee cup, design by Coffeefrom (credit: Coffeefrom, 2022).

injection moulding process, has enabled the production of objects suitable for containing food such as cups, glasses and packaging (also on commission) certified for contact with food, all marketed through an online store.

Although a teacup is also being developed at the moment, the flagship product is a coffee cup and saucer (Fig. 15) through which the company intends to emphasise the nature of the production material. The material is smooth to the touch and dark brown in colour, reminiscent of the raw material; it has good mechanical strength and can be washed at temperatures of up to 50 °C. The company is working on the development of a mechanically and thermally more resistant material, which makes it possible to reduce thicknesses, favouring biodegradability and resistance to heat. The production cycle is also being perfected to reduce the environmental footprint measured with the LCA methodology.

**Discussion** | The analysis of the case studies offers an overview, albeit fragmented, of a promising emerging reality, productively diversified, made up of dynamic companies that have reached different stages of development but are nonetheless relevant for their achievements in terms of production, marketing and distribution of innovative and bio-based materials and circular products. Thanks to the interviews, the significant elements that characterise this design-driven reality were identified and are reported below.

**Geographical Distribution.** Although the research was carried out taking into account the European territory and associated countries, the presence of these entrepreneurial realities is concentrated in Germany, Italy and the Netherlands. The Italian territory contributes with a conspicuous number of case studies, interesting both for the type of materials and designed products and for the qualitative level reached in the business development, as also demonstrated by the document 100 Italian Circular Economy Stories 2021 (ENEL and Symbola, 2021).

**Creative Mindset and Multidisciplinary Teams.** In the case studies, the idea of the material is guided by the creative approach in observing reality according to new parameters, i.e. starting from available resources, and rediscovering poor and waste materials to enhance them. The experimental approach to techniques on the part of designers who have been involved in the development of materials is fundamental, as is the determination that has driven them to go beyond experimentation to continue in the production and marketing phases. However, the need, and often the difficulty, to seek multidisciplinary skills from chemical, mechanical, and management engineering to experts in sustainability, is highlighted. They are fundamental for the development of the material, the identification of standardised production processes, and the stabilisation of the chemical and physical characteristics of the materials. In fact, in the case studies, those who have been able to produce and distribute their products have created multidisciplinary teams in which experts in chemistry, marketing, engineering, biology and physics collaborate, guided by creativity and circularity.

**Product categories.** Material research, as a design focus, directs the aesthetics and merchandise choice of the products to be produced, in or-

der to reach a wide audience of users and increase their acceptance and choice. All the case studies reported make skilful use of the ability to narrate the product from the material. Miyuca focuses on sensory qualities, transparencies and colour palettes linked to the base materials and Ottan on grain sizes, colour range and patterns enhancing the raw materials. Coffeefrom has chosen the strategy of producing objects from coffee to enjoy the drink and KeepLife exploits the link with the territory through typical colours and finishes of the production context.

**Link with the Territory and Local Communities.** In most cases, there is a strong link between productive activity and territory. This can be seen in KeepLife and Ottan. In KeepLife the choice of raw materials is defined on the basis of local production, reducing transport and facilitating the supply chain, while Ottan has conducted a study of territorial resources to differentiate itself from possible competitors. In KeepLife, the design/territory binomial also extends to the field of semi-finished products, involving a network of young designers in product design. Circularity is not only a 'material' but also a 'social' issue to develop social innovation (i.e. innovation of the local workforce and material culture), but it is also motivated by minimising the use of energy and primary resources and reducing production costs. At the same time, these creative companies use design to give international visibility to the products of a specific territory and its aesthetic identity.

**Variation in the level of craftsmanship and industrialisation.** The case studies present many differences in terms of production. While Miyuca produces exclusively by hand material of great aesthetic quality applied to small collections, Mogu is characterised by a highly specialised structure in design, a high level of technological innovation applied to the design and a variety of products in the catalogue, although the production process presents a low level of industrialisation, with hand-crafted phases and long lead times, for example in the shaping and growth of the mycelium. The same is true for the production process of KeepLife's products, particularly in the forming and drying phases of the materials, whereas Coffeefrom can boast a highly industrialised production process, on a par with any other industrial production with conventional thermoplastic polymers. This results in a very diverse range of targets.

**Patents, Certifications, Financing and Development Models.** The case studies have gone through long periods of research to achieve certifications attesting to their origin, low environmental impact and safety in relation to their use. Given the particularity of the materials and production processes, in 75% of the cases, forms of brand protection were activated through their registration or patents. From the interviews it emerged that several companies participated in European calls for tenders to acquire funds for the development of their projects, demonstrating that the promotion and incentivisation by public institutions are fundamental for the development of new productive activities related to CE. In general, the case studies show that bottom-up strategies have enabled new realities to scale up innovation in a less risky and more sustainable way by pursuing research and development of materials and products with a 'user satisfaction centred' approach to

acquire larger market shares allowing a real sustainable and circular practice.

**Conclusion** | The contribution presents the results of the first phase of a research project that aims to trace the state of the art of designers and companies produced with the objective of creating, developing and distributing sustainable materials and products with a circular and design-driven approach, highlighting strategies, needs and difficulties encountered. This is just one part of a wider system made up of productive realities, each with its specificities, linked to the territory they belong to and capable of creating innovation by combining planning skills and environmental needs with typical design approaches. However, the first phase of the research highlights a new productive reality, born from the creativity of designers who interpret the environmental emergency and have turned the principles of circularity into a form of business.

The collected data made it possible to define the main characteristics of the companies, materials and products, the communication methods, the approaches and specialists involved, the qualities and certifications held, the production processes and distribution channels, but also to reconstruct the company history, developments, difficulties, limits and peculiarities. The research continues with the collection of case studies and related data to provide a snapshot of a trend that deserves to be studied and understood. In the following phases, an attempt will be made to understand methods and tools to reach users and increase the value and acceptance of an increasingly wide audience. The data collected and systematised will contribute to a full understanding of strategies and development models, taking into account other actors currently involved in industrial development such as incubators, consultancies, foundations and development agencies.

## Notes

1) The research is carried out within the XXXVII cycle of the PhD Program in Design of the Politecnico di Milano, in connection with the themes developed in the MADEC Centre, Centre of Competence in Material Design Culture.

2) The research was carried out through online material using the keywords 'biobased material', 'material design', 'biomaterial', 'circular material', 'circular economy', 'sustainable material'. Online magazines, blogs and webpages were consulted including Salone del Mobile, Dezeen, Designboom, Domus, Interni, Inhabitat, and Core 77. The online pages of the following material libraries were also consulted Materialconnexion, Materially, Future Materials Bank and Material District. Instagram and LinkedIn were also used for the research.

3) For more information, see the webpage: miyuca.it [Accessed 15 April 2022].

4) For more information, see the webpage: keeplife.it [Accessed 15 April 2022].

5) For more information, see the webpage: ottanstudio.com [Accessed 15 April 2022].

6) For more information, see the webpage: mogu.bio [Accessed 15 April 2022].

7) For more information, see the webpage: coffeefrom.it [Accessed 15 April 2022].

## References

- Asbjørn Sørensen, C. and Thyni, E. (2020), "A qualitative study of the challenges faced by material designers when developing DIY-materials", in Lyndon, B. Bohemia, E. and Grierson, H. (eds), *The Value of Design & Engineering Education in a Knowledge Age – Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering and Product Design Education, VIA Design, VIA University in Herning, Denmark, 10th-11th September 2020*, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.35199/EPDE.2020.76 [Accessed 15 April 2022].
- Ayala-Garcia, C. and Rognoli, V. (2017), "The new aesthetic of DIY-materials", in *The Design Journal*, vol. 20, issue sup. 1, pp. S375-S389. [Online] Available at: doi.org/10.1080/14606925.2017.1352905 [Accessed 15 April 2022].
- Ayres, R. U. (1998), "Industrial metabolism – Work in progress", in Bergh J. C. J. M. and Hofkes M. W. (eds), *Theory and Implementation of Economic Models for Sustainable Development*, Springer, Netherlands, pp. 195-228. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-94-017-3511-7\_10 [Accessed 15 April 2022].
- Bakker, C. A., den Hollander, M., van Hinte, E. and Zijlstra, Y. (2014), *Products that last – Product design for circular business models*, TU Delft Library, Delft. [Online] Available at: research.tudelft.nl/en/publications/products-that-last-product-design-for-circular-business-models [Accessed 15 April 2022].
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C. and van der Grinten, B. (2016), "Product design and business model strategies for a circular economy", in *Journal of Industrial and Production Engineering*, vol. 33, issue 5, pp. 308-320. [Online] Available at: doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124 [Accessed 15 April 2022].
- Camere, S. and Karana, E. (2018), "Fabricating materials from living organisms – An emerging design practice", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 186, pp. 570-584. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.081 [Accessed 15 April 2022].
- Ceschin, F. and Gaziulusoy, I. (2016), "Evolution of design for sustainability – From product design to design for system innovations and transitions", in *Design Studies*, vol. 47, pp. 118-163. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002 [Accessed 15 April 2022].
- Chapman, J. (2009), "Design for (Emotional) Durability", in *Design Issues*, vol. 25, issue 4, pp. 29-35. [Online] Available at: doi.org/10.1162/desi.2009.25.4.29 [Accessed 15 April 2022].
- Crabbé, A., Jacobs, R., Van Hoof, V., Bergmans, A. and Van Acker, K. (2013), "Transition towards sustainable material innovation – Evidence and evaluation of the Flemish case", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 56, pp. 63-72. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.023 [Accessed 15 April 2022].
- De los Rios, I. C. and Charnley, F. J. S. (2017), "Skills and capabilities for a sustainable and circular economy – The changing role of design", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 160, pp. 109-122. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.130 [Accessed 15 April 2022].
- Dumée, L. F. (2022), "Circular Materials and Circular Design – Review on Challenges Towards Sustainable Manufacturing and Recycling", in *Circular Economy and Sustainability*, vol. 2, pp. 9-23. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s43615-021-00085-2 [Accessed 15 April 2022].
- Eisenhardt, K. M. (1989), "Building Theories from Case Study Research", in *The Academy of Management Review*, vol. 14, n. 4, pp. 532-550. [Online] Available at: doi.org/10.2307/258557 [Accessed 15 April 2022].
- ENEL and Symbola (2021), *100 Italian Circular Economy Stories 2021*. [Online] Available at: bit.ly/3lq5b5y [Accessed 15 April 2022].
- European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A new EU Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe*, document 52020DC0098, 98 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN [Accessed 15 April 2022].
- Ferrara, M. (2021), "Circular Material for Creative Industries – The Emerging Bioplastics", in Cléries, L., Rognoli, V., Solanki, S. and Llorach, P. (eds), *Material Designers – Boosting talent towards circular economies*, pp. 52-59. [Online] Available at: materialdesigners.org/wp-content/uploads/2021/03/MaDe-Book-1.pdf [Accessed 15 April 2022].
- Ferrara, M. (2017), "Shifting to Design-Driven Material Innovation", in Ferrara, M. and Ceppi, G. (eds), *Ideas and the Matter – What will we made of and will the world be made of?*, ListLab, Trento, pp. 173-185. [Online] Available at: researchgate.net/publication/328874643\_SHIFTING\_TO\_DESIGN-DRIVEN\_MATERIAL\_INNOVATION [Accessed 15 April 2022].
- Kottaridou, A. and Bofylatos, S. (2019), "Design out waste methodology for circular economy", in Markou-poulou, A. (ed.), *Responsive Cities – Disrupting through circular desing – Symposium Proceedings 2019*, Institut d'Arquitectura Avançada de Catalunya, Barcelona, pp. 204-217. [Online] Available at: iaac.net/wp-content/uploads/pdf/RCS\_19\_Proceedings.pdf [Accessed 15 April 2022]. [Accessed 15 April 2022].
- Kumar, M. and Noble, C. H. (2016), "Beyond form and function – Why do consumers value product design?", in *Journal of Business Research*, vol. 69, issue 2, pp. 613-620. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.05.017 [Accessed 15 April 2022].
- Liedtke, C., Baedeker, C. and Borrelli, L. M. (2015), "Transformation Towards a Sustainable Society – Key Intervention Areas", in *Innovative Energy Policies*, vol. 4, issue 2, article 1000117, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.4172/ier.1000117 [Accessed 15 April 2022].
- Mesa, J., Esparragoza, I. and Maury, H. (2018), "Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 196, pp. 1429-1442. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.131 [Accessed 15 April 2022].
- Milios, L. (2018), "Advancing to a Circular Economy – Three essential ingredients for a comprehensive policy mix", in *Sustainability Science*, vol. 13, issue 3, pp. 861-878. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11625-017-0502-9 [Accessed 15 April 2022].
- Montalti, M. (2017), "The growing lab – Fungal futures", in Ferrara, M. and Ceppi, G. (eds), *Ideas and the Matter – What will we made of and what will the world be made of?*, ListLab, Trento, pp. 71-90.
- Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z. and Charnley, F. (2016), "A Conceptual Framework for Circular Design", in *Sustainability*, vol. 8, issue 9, article 937, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su8090937 [Accessed 15 April 2022].
- Morreale, M., Scaffaro, R., Maio, A. and La Mantia, F. P. (2008), "Mechanical behaviour of Mater-Bi®/wood flour composites – A statistical approach", in *Composites Part A – Applied Science and Manufacturing*, vol. 39, issue 9, pp. 1537-1546. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.05.015 [Accessed 15 April 2022].
- Murray, A., Skene, K. and Haynes, K. (2017), "The Circular Economy – An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context", in *Journal of Business Ethics*, vol. 140, pp. 369-380. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2 [Accessed 15 April 2022].
- Nigten, A. and Beekman, N. (2015), *A sense of green*. [Online] Available at: researchgate.net/publication/277917455\_A\_Sense\_of\_Green [Accessed 15 April 2022].
- Rognoli, V., Bianchini, M., Maffei, S. and Karana, E. (2015), "DIY materials", in *Materials & Design*, vol. 86, pp. 692-702. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.020 [Accessed 15 April 2022].
- Singh, J. and Ordoñez, I. (2016), "Resource recovery from post-consumer waste – Important lessons for the upcoming circular economy", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 134, part A, pp. 342-353. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.020 [Accessed 15 April 2022].
- Smith, A. M., Moxon, S., and Morris, G. A. (2016), "Biopolymers as wound healing materials", in *Wound Healing Biomaterials*, vol. 2, pp. 261-287. [Online] Available at: doi.org/10.1016/B978-1-78242-456-7.00013-1 [Accessed 15 April 2022].
- Throsby, D. (2008), "From cultural to creative industries – The specific characteristics of the creative industries", in *Troisième Journées d'Economie de La Culture – Nouvelles Frontières de l'Economie de La Culture – Conférence Held at Musée Du Quai Branly, Paris, 2-3 October 2008*, pp. 1-11. [Online] Available at: jec.culture.fr/Throsby.doc [Accessed 15 April 2022].
- Wilson, C. (2014), *Interview Techniques for UX Practitioners*, Elsevier. [Online] Available at: doi.org/10.1016/C2012-0-06209-6 [Accessed 15 April 2022].
- World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company (2016), *The new plastics economy – Rethinking the future of plastics*. [Online] Available at: emf.thirdlight.com/link/faarmdpz93ds-5vmvdf/@/preview/1?o [Accessed 15 April 2022].

