
Transizione verde e digitale per la manifattura

Materials



Transizione verde e digitale per la manifattura

Materials

Colophon

Questo volume e gli esiti di ricerca in esso pubblicati sono stati finanziati dall'Unione europea - NextGenerationEU attraverso il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) Missione 4 "Istruzione e ricerca" Componente 2 "Dalla ricerca all'impresa" Investimento 1.5 - Ecosistema ECS_00000043 "iNEST - Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem" (CUP F43C22000200006) - Spoke 3.

**Transizione verde e digitale
per la manifattura avanzata
Materials**

a cura di
Alberto Bassi
Davide Crippa

ISBN (cartaceo)
979-12-5953-219-0
ISBN (digitale)
979-12-5953-230-5
DOI
10.57623/979-12-5953-230-5



Il presente volume è pubblicato in modalità Open Access Gold. Il file è scaricabile dalla piattaforma Anteferma Open Books www.anteferma.it/aob/

Il testo è stato sottoposto a double-blind peer review, in conformità con i criteri definiti per la pubblicazione nella Collana

editore
Anteferma Edizioni
via Asolo 12, Conegliano, TV
edizioni@anteferma.it

progetto grafico
Giulia Ciliberto
Luca Coppola
Pietro Costa
Giacomo Dal Prà

copyright



Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale

iNEST	Spoke 3 Transizione verde e digitale per la manifattura avanzata Research Topic 3 Materials
Coordinatore scientifico	Lorenzo Fedrizzi
Coordinamento editoriale	Alberto Bassi (luav) Davide Crippa (luav) Raffaella Fagnoni (luav)

Nota per le attribuzioni:

Questo volume è frutto della collaborazione tra docenti e ricercatori di iNEST Spoke 3, Research Topic 3, appartenenti alle Università di Udine, di Bolzano, di Trento, luav di Venezia e Friuli Innovazione.

Nell'ambito di un'attività di ricerca condivisa, concezione e stesura generale del volume sono da attribuire ai curatori, con il coordinamento editoriale di Alberto Bassi, Davide Crippa e Raffaella Fagnoni e il coordinamento grafico di Francesca Maria Cimaglia. Per la redazione del volume sono stati invitati a collaborare gli studiosi che in questi anni hanno fatto parte del raggruppamento iNEST Spoke 3, Research Topic 3 di luav.

Alla stesura dei saggi di approfondimento hanno collaborato anche i tanti studiosi e soggetti che, a vario titolo, hanno partecipato alla ricerca: Alberto Bassi (A.B.), Luca Casarotto (L.C.), Massimiliano Cason Villa (M.C.V.), Francesca Maria Cimaglia (F.M.C.), Paolo Colombo (P.C.), Pietro Costa (P.C.), Davide Crippa (D.C.), Michele De Chirico (M.D.), Carmen Digiorgio Giannitto (C.D.G.), Gianluca Fabris (G.F.), Raffaella Fagnoni (R.F.), Filippo Gobbin (F.G.), Daniele Rolli (D.R.), Annapaola Vacanti (A.V.).

GRUPPO DI LAVORO

Università Iuav di Venezia

Alberto Bassi (coordinatore), Maria Antonia
Barucco, Luca Casarotto, Davide Crippa, Michele
De Chirico.

Indice

	Introduzione Alberto Bassi, Davide Crippa	p. 7
CAPITOLO 1	Waste Driven Design. Metodologie transdisciplinari per la trasformazione dei rifiuti in materia prima di seconda generazione Davide Crippa, Raffaella Fagnoni, Michele De Chirico, Francesca Maria Cimaglia	p. 10
CAPITOLO 2	Dal sistema tessile lineare alla rigenerazione materica: sperimentazioni WDD sui rifiuti post-consumo Carmen Digiorio Giannitto, Davide Crippa, Francesca Maria Cimaglia	p. 24
CAPITOLO 3	Progettare la plastica. Dal materiale al prodotto nella transizione verso l'economia circolare Luca Casarotto	p. 40
CAPITOLO 4	Il comparto lapideo in Italia: un'industria fatta di localismi e problemi comuni Davide Crippa, Gianluca Fabris, Massimiliano Cason Villa, Francesca Maria Cimaglia	p. 50
CAPITOLO 5	Murano 3D. Innovazione e sostenibilità per il vetro artistico Davide Crippa, Paolo Colombo, Daniele Rolli, Filippo Gobbin	p. 64
CAPITOLO 6	Simbiosi industriale: dalla circolarità dei materiali allo storytelling territoriale Raffaella Fagnoni, Davide Crippa, Pietro Costa, Annapaola Vacanti, Massimiliano Cason Villa, Francesca Maria Cimaglia	p. 74
CAPITOLO 7	Dalla ricerca al sistema: incubatori di innovazione sostenibile Davide Crippa, Massimiliano Cason Villa, Francesca Maria Cimaglia, Daniele Rolli	p. 84

Autori	Alberto Bassi Davide Crippa
Affiliazione	Università Iuav di Venezia



L'obiettivo principale del volume è restituire i risultati delle ricerche condotte nell'ambito dello Spoke 3 di iNEST, dedicate alla transizione verde e digitale delle filiere produttive del Nord-Est. Attraverso la cultura del design, intesa come pratica sperimentale e riflessiva, il libro esplora la materia come strumento di conoscenza, rigenerazione e innovazione. Le attività presentate dimostrano come il progetto possa agire da catalizzatore tra ricerca scientifica, impresa e territorio, promuovendo una trasformazione sistemica dei processi produttivi.

Introduzione

Questo volume raccoglie i risultati di una serie di ricerche sviluppate all'interno dello Spoke 3 del progetto iNEST – Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem, che ha tra i suoi obiettivi la transizione verde e digitale delle filiere produttive del Nord-Est. Il libro nasce come strumento di sintesi e di restituzione di un lavoro corale condotto negli ultimi anni dal gruppo di ricerca dell'Università Iuav di Venezia, attraverso dottorati, spin-off, laboratori e collaborazioni con imprese e istituzioni culturali del territorio.

L'intento non è solo documentare singole sperimentazioni sui materiali, ma mettere in evidenza un modo di fare ricerca che si fonda sulla cultura del design e sulle sue specifiche modalità di indagine: osservare, manipolare, prototipare, costruire senso a partire dalla materia. È un approccio diverso da quello tipico dell'ingegneria, più aperto alla complessità e alla sperimentazione, che trova nella dimensione del progetto il proprio metodo. Negli anni di iNEST, questa modalità è stata formalizzata in una metodologia riconoscibile: il Waste Driven Design (WDD), un modello di ricerca e innovazione che prende avvio dai rifiuti e dagli scarti per rigenerarli in nuove risorse materiali, culturali e produttive.

Il Waste Driven Design non si limita a ottimizzare processi o a migliorare le prestazioni dei materiali: parte dal rifiuto come condizione di progetto, ne studia la composizione, le potenzialità e i limiti, e ne esplora le trasformazioni attraverso cicli di sperimentazione iterativa. La materia diventa così non solo oggetto, ma interlocutore del progetto, capace di orientare decisioni e strategie. Questa metodologia, illustrata nel primo capitolo, costituisce la base teorica e operativa di tutte le ricerche raccolte nel volume.

A partire da questo quadro, il libro approfondisce quattro filoni materici principali, ciascuno rappresentativo di una sfida cruciale nella gestio-

ne e nella valorizzazione dei rifiuti industriali e post-consumo.

Il primo ambito è quello delle plastiche, e in particolare dei packaging monouso, uno dei nodi più critici del sistema dei materiali contemporaneo. La ricerca si muove su due direzioni complementari: da un lato, la prevenzione del problema attraverso la definizione di criteri per una progettazione dei packaging più consapevole e sostenibile; dall'altro, la sperimentazione di processi di trasformazione degli scarti plastici non riciclabili, come nel progetto Marble CAP, che riconverte film multistrato e tappi in lastre composite di seconda generazione.

Il secondo filone riguarda i tessuti e gli scarti del settore moda e arredo, affrontati non con logiche di separazione delle fibre ma di ricomposizione diretta, mediante processi di termo-pressione a bassa temperatura. Da queste sperimentazioni nascono pannelli semi-rigidi e materiali fonoassorbenti, capaci di valorizzare fibre eterogenee senza riportarle a materia prima vergine, secondo un principio di prossimità e responsabilità di filiera.

Il terzo ambito di ricerca è quello della pietra e dei fanghi di segazione, un rifiuto speciale di difficile gestione ambientale. Gli studi condotti hanno esplorato la possibilità di riutilizzare polveri e residui di lavorazione attraverso processi a freddo e leganti naturali, generando nuovi materiali per superfici e componenti modulari. L'obiettivo non è soltanto tecnico, ma anche culturale: restituire valore e continuità a una materia tradizionalmente legata al territorio, trasformandola da scarto in risorsa di progetto.

Infine, la ricerca sul vetro affronta la relazione tra tradizione e innovazione, esplorando processi di rifusione controllata e l'uso di stampi realizzati con tecnologie additive a partire da rifiuti edili. L'esperienza mostra come la sperimentazione sul

vetro possa diventare anche un campo di dialogo tra saperi artigianali e strumenti digitali, aprendo nuove possibilità per la manifattura sostenibile.

Questi quattro percorsi convergono verso una riflessione comune: la materia come medium di conoscenza e innovazione. Ogni esperimento diventa occasione per ridefinire i confini tra ricerca scientifica e pratica progettuale, tra rigore tecnico e costruzione di senso.

A chiusura del volume, due sezioni mettono in relazione le ricerche materiali con i dispositivi di rete e di trasferimento che le sostengono. La prima riguarda il collegamento con l'RT4 di iNEST, in particolare con il programma *Material Exploratory*, che sviluppa strumenti di storytelling al servizio della sostenibilità: un modo di comunicare e condividere le traiettorie dei materiali e i loro cicli di vita, in dialogo con i temi della simbiosi industriale e della cultura del riuso.

La seconda sezione evidenzia il ruolo del Cen-

tro Studi CTRL+Junk Lab dello Iuav e del Cluster NSBVN – Sustainable Exhibit, che rappresentano due infrastrutture complementari: il primo come luogo di ricerca e sperimentazione sui materiali sostenibili; il secondo come piattaforma applicativa dedicata ai processi espositivi e agli interni. Entrambi operano in sinergia con i LabVillage, le azioni trasversali di iNEST che mettono in connessione università, imprese e istituzioni, favorendo la circolazione della conoscenza e la disseminazione dei risultati.

Il libro intende così restituire non solo una raccolta di casi studio, ma la visione di un ecosistema di ricerca fondato sulla collaborazione tra attori diversi e sulla consapevolezza che la transizione ecologica passa anche attraverso la materia e le sue trasformazioni. Il design, in questo contesto, si conferma come strumento critico e operativo per costruire ponti tra ricerca e produzione, tra rifiuti e risorse, tra passato e futuro.



Capitolo 2

Dal sistema tessile lineare alla rigenerazione materica: sperimentazioni WDD sui rifiuti post-consumo

Autori	Carmen Digiorgio Giannitto Davide Crippa Francesca M. Cimaglia
--------	---

Affiliazione	Università Iuav di Venezia
--------------	-------------------------------



Il riciclo dei rifiuti tessili post-consumo rappresenta una delle sfide centrali della transizione verso un'economia circolare. La ricerca, fondata sul metodo del Waste Driven Design, esplora metodologie transdisciplinari per la trasformazione dei rifiuti in materia prima di seconda generazione, attraverso processi di pressatura a caldo e a freddo. Il design diventa pratica di mediazione tra sperimentazione materiale e conoscenza tecnica, costruendo nuovi modelli rigenerativi per il settore tessile.

Dal sistema tessile lineare alla rigenerazione materica: sperimentazioni WDD sui rifiuti post-consumo

Il riciclo dei rifiuti tessili post-consumo rappresenta una delle sfide più urgenti per la transizione verso un'economia circolare. Il settore tessile, fortemente industrializzato e orientato al profitto finanziario, si fonda su una logica estrattiva che ha a lungo ignorato le conseguenze sociali e ambientali delle proprie attività (Thomas, 2020). Secondo la Commissione Europea, è il quarto settore per consumo di materie prime e acqua e il quinto per emissioni di gas serra, responsabile di circa il 10% delle emissioni globali (European Commission, 2020; European Environment Agency [EEA], 2019).

La diffusione della fast fashion, basata su ritmi di produzione accelerati e cicli di consumo brevi, ha aggravato il problema, trasformando gli abiti in prodotti usa e getta (Brydges, 2021). Tra il 2000 e il 2015 la produzione tessile mondiale è quasi raddoppiata e potrebbe raggiungere 160 milioni di tonnellate entro il 2030 (European Technology Platform [ETP], 2024; Textile Exchange, 2023, 2024). Nell'UE vengono generati circa 7 milioni di tonnellate di rifiuti tessili all'anno, ma solo una piccola parte (4,4 kg pro capite) viene raccolta e riciclata (Bakowska *et al.*, 2025; Cobbing *et al.*, 2022; European Commission, 2023). Tra il 73% e l'87% dei rifiuti viene incenerito o smaltito, con una consistente perdita di valore materiale ed economico. Le principali barriere alla circolarità riguardano la carenza di infrastrutture, i costi elevati e la difficoltà di adozione di modelli produttivi sostenibili (Kazancoglu *et al.*, 2022; Vermunt *et al.*, 2019).

In risposta, la Strategia dell'UE per un Tessile Circolare e Sostenibile (European Commission, 2022a) propone un quadro ambizioso che include l'*Ecodesign for Sustainable Products Regulation* (European Commission, 2022b), il *Digital Product Passport* (Di Stefano, 2023; European Commission, 2022c; Rugi, 2024) e il principio di Ex-

tended Producer Responsibility (Di Stefano, 2022), per promuovere prodotti durevoli, riparabili e tracciabili (Berardi *et al.*, 2021; Minucci, 2023; Symbola, 2024). Tuttavia, il riciclo post-consumo resta complesso: le miscele di fibre, spesso incompatibili, limitano il riciclo meccanico (circa il 21% dei tessuti) e rendono poco sostenibile quello chimico per i suoi impatti ambientali (Harmesen, 2021; Sharkey, 2022; Van Duijn *et al.*, 2022). Superare tali barriere richiede un ripensamento del ruolo del design come pratica capace di mediare tra conoscenza tecnica, sperimentazione e contesto produttivo. In questa prospettiva, il *material design* si configura come ambito strategico in cui il progetto agisce direttamente sulla materia, facendo del materiale non solo un mezzo, ma l'oggetto stesso dell'invenzione e dell'innovazione (Ferrara e Lucibello, 2009). Alla luce di queste criticità, la ricerca esplora processi di trasformazione dei rifiuti tessili post-consumo attraverso tecniche di pressatura a caldo e a freddo, indagando il potenziale delle pratiche di design sperimentale per la generazione di materiali con nuove qualità estetiche e prestazionali. L'approccio si fonda sul metodo del *Waste Driven Design* (WDD) (Crippa *et al.*, 2025; De Chirico *et al.*, 2025), che sovverte la tradizionale sequenza risorsa-rifiuto, assumendo quest'ultimo come punto di partenza per un nuovo processo di esplorazione materiale, culturale e progettuale.

METODOLOGIA

Il presente studio adotta il metodo del *Waste Driven Design* (WDD) (Crippa *et al.*, 2025; De Chirico *et al.*, 2025) come quadro operativo per esplorare processi di trasformazione dei rifiuti tessili post-consumo in nuovi materiali e potenziali applicazioni. Il metodo è interpretato non come un protocollo prescrittivo, ma come una strut-

tura dinamica e riflessiva, capace di integrare sperimentazione pratica, osservazione empirica e valutazione tecnico-prestazionale.

La ricerca si è sviluppata attraverso la manipolazione diretta dei rifiuti tessili e la loro trasformazione mediante diverse strategie di lavorazione, in dialogo con contesti produttivi reali per valutarne la trasferibilità applicativa.

L'approccio si inserisce nel paradigma della *practice-based design research* e si fonda su dinamiche di *learning by doing* (Reese, 2011), in cui la conoscenza nasce dal contatto diretto con la materia e si traduce in competenze operative integrate nel processo progettuale. Come sottolineano Candy (2006) e Niedderer (2012), tale conoscenza emerge dall'interazione continua tra azione e riflessione, e dalla manipolazione dei materiali come forma di comprensione e orientamento dei processi di trasformazione.

In questa prospettiva, il progetto diviene al tempo stesso metodo e oggetto di ricerca: un dispositivo cognitivo capace di osservare in modo situato le relazioni tra materia, processo e forma. La struttura operativa del WDD si articola in una sequenza iterativa di fasi – analisi dei rifiuti, sperimentazione, validazione e valutazione della scalabilità – che non segue un ordine lineare, ma si configura come un sistema dinamico e aperto, in cui il progettista può avanzare, tornare indietro e riformulare ipotesi secondo il principio di iteratività tipico della pratica progettuale (World Design Organization, 2025).

RICERCA APPLICATA: SPERIMENTAZIONE CON I RIFIUTI TESSILI POST-CONSUMO

L'approccio sperimentale adottato si sviluppa attraverso una sequenza di fasi operative distinte ma interconnesse, volte a garantire coerenza tra obiettivi progettuali, caratteristiche del materiale e tecnologie di trasformazione impiegate. Il metodo prevede un'alternanza tra momenti di esplorazione e validazione (Crippa *et al.*, 2025; De Chirico *et al.*, 2025), in cui ogni fase informa e orienta la successiva, seguendo un processo iterativo e non lineare che consente continui ritorni per la modifica dei parametri o la riformulazione delle ipotesi (Bak-Andersen, 2021).

Le principali fasi comprendono:

- Operazioni preliminari, dedicate alla selezione e preparazione dei rifiuti tessili post-consumo (taglio, rimozione di componenti non tessili, sfilacciatura e valutazione di eventuali leganti);

- Selezione della tecnologia, volta a individuare il processo più idoneo in funzione della natura del materiale e dell'output atteso – in questo caso, pressatura a caldo e a freddo – bilanciando requisiti tecnici e obiettivi progettuali;

- Prove preliminari, condotte su piccola scala secondo logiche di material tinkering (Parisi *et al.*, 2017; Resnick & Rosenbaum, 2013) e approcci Do It Yourself (Rognoli *et al.*, 2015), per acquisire conoscenza diretta della materia e sperimentare soluzioni non convenzionali;

- Prove semi-definitive, finalizzate al consolidamento delle formulazioni più promettenti attraverso l'aumento delle quantità e delle dimensioni dei provini, la caratterizzazione dei materiali e un'analisi comparativa di performance, riproducibilità e scalabilità;

- Prove definitive, dedicate alla validazione e ottimizzazione del materiale, comprensive di test replicativi e, ove possibile, di prototipazione applicativa.

Nei paragrafi successivi vengono descritte nel dettaglio le diverse fasi del percorso sperimentale: il paragrafo seguente illustra le operazioni preliminari comuni ai due processi di trasformazione, mentre i successivi approfondiscono le sperimentazioni condotte mediante pressatura a caldo e, successivamente, a freddo con leganti di origine biologica.

Operazioni preliminari

Il primo step dell'approccio sperimentale ha riguardato la selezione e classificazione dei rifiuti tessili post-consumo, inizialmente suddivisi in capi con e senza etichetta. In assenza di sistemi automatizzati di sorting, come la spettroscopia NIR (*Near-Infrared Spectroscopy*), la classificazione è stata eseguita manualmente sulla base delle informazioni disponibili, distinguendo tra miste a prevalenza lana, cotone e fibre sintetiche, e isolando, ove possibile, fibre mono-componenti. Tale metodo, pur adeguato in fase esplorativa, presenta limiti di attendibilità, poiché le etichette non sempre rispecchiano la reale composizione delle fibre (Van Duijn *et al.*, 2022). I capi sono stati quindi privati delle componenti non tessili (bottoni, cerniere, decorazioni) e sottoposti a sfilacciatura meccanica, ottenendo fiocchi tessili successivamente omogeneizzati in un mescolatore a pale per uniformare la distribuzione delle fibre. Questo processo ha consen-

tito di preparare diverse matrici rappresentative della varietà dei rifiuti post-consumo, destinate alle successive fasi di trasformazione.

La sperimentazione è stata sviluppata attraverso due principali tecnologie: pressatura a caldo, che sfrutta le proprietà termoplastiche delle fibre sintetiche senza aggiunta di leganti, e pressatura a freddo, per la quale sono stati selezionati biocollanti naturali capaci di garantire la coesione del materiale. La scelta delle formulazioni è stata guidata da una ricerca su fonti open-source e repertori di *material making*, come *The CHE-MARTS Cookbook* (Kääriäinen *et al.*, 2020), *Material Designers* (Clèries *et al.*, 2021) e la piattaforma *Materiom* (Materiom, 2025).

FIGURA 01 – P. 33

FIGURA 02 A-B – P. 33

FIGURA 03 – P. 34

Processo di pressatura a caldo

La prima fase sperimentale ha riguardato prove di pressatura a caldo, realizzate con l'ausilio di una termopressa e senza aggiunta di leganti, per verificare la capacità delle fibre sintetiche di agire come matrice termoplastica coesiva. Temperatura e tempo di pressatura sono stati assunti come principali variabili di controllo, al fine di valutare la compattazione e la stabilità dei materiali dopo il raffreddamento.

Sono stati analizzati inizialmente quattro gruppi di sfilacciati: misti a prevalenza di lana, cotone, fibre sintetiche e materiali privi di etichetta. Poiché alcune miscele mostravano un potere plastificante limitato, è stato avviato un secondo ciclo di test su combinazioni di fibre differenti e su fibre monocomponenti, per comprenderne il comportamento termico e la capacità di coesione. La figura 04 mostra in modo sintetico le diverse fasi che hanno caratterizzato il percorso sperimentale nelle lavorazioni a caldo, mentre le figure 05a-b mostrano due esempi di prove esplorative con uno spessore di 1 mm circa. Le miscele contenenti poliestere, viscosa, acrilico e poliammide hanno mostrato la miglior risposta, con un buon grado di fusione e adesione inter-fibra. Anche le miscele cotone-poliestere hanno evidenziato risultati parzialmente positivi, grazie alla formazione di legami superficiali indotti dal calore.

FIGURA 04 – P. 34

FIGURA 05 A-B – P. 35

Sulla base di queste evidenze, è stato condotto un

secondo gruppo di prove per produrre campioni di maggiore spessore (circa 5-6 cm post-pressatura), impiegando un controstampo metallico per migliorare la distribuzione della pressione e ottenere materiali più compatti e omogenei.

La sperimentazione si è poi concentrata sul poliestere, scelto per la sua ampia disponibilità, testando quattro lotti di riferimento con variazioni di temperatura tra 220-250 °C e tempi di 15-30 minuti. I risultati hanno tuttavia mostrato una certa disomogeneità, dovuta alle differenze compositive delle miscele di partenza, confermando la necessità di ulteriori ottimizzazioni per stabilizzare il processo.

I dati raccolti hanno permesso di individuare le condizioni più efficaci di trasformazione del materiale, approfondite nella sezione dedicata ai risultati.

FIGURA 06 – P. 35

FIGURA 07 – P. 36

FIGURA 08 – P. 36

Processo di pressatura a freddo

Parallelamente alle prove di pressatura a caldo, è stata condotta una seconda fase di sperimentazioni finalizzata a esplorare processi di coesione a bassa temperatura, con l'obiettivo di ridurre l'impatto energetico e testare l'efficacia di leganti naturali per fibre tessili post-consumo. La sperimentazione è iniziata utilizzando come matrice principale i materiali tessili privi di etichetta, caratterizzati da composizione incerta e difficilmente gestibile nei processi termici; successivamente, per confronto, sono stati realizzati campioni con matrice in poliestere 100%. Sono state testate tre bioplastiche autoprodotte di diversa natura chimico-funzionale: amido di mais, agar agar e alginato di sodio con CaCl₂. Le prove pilota, condotte in stampi di piccole dimensioni (10×10×10 cm), hanno previsto la modulazione delle proporzioni delle ricette (±50%) per individuare il dosaggio minimo di legante necessario a garantire coesione e stabilità.

FIGURA 09 – P. 37

FIGURA 10 – P. 37

Ogni formulazione è stata documentata in schede tecniche riportanti ingredienti, tempi di preparazione e parametri fisici (peso, densità, tempi di asciugatura, caratteristiche superficiali). In una fase successiva, le ricette più promettenti – una per ciascun legante – sono state replicate su provini di dimensioni maggiori, consentendo di

confrontare il comportamento delle due matrici tessili (no label e poliestere 100%) e di consolidare i parametri di formulazione più efficaci. Questa fase ha permesso di valutare il potenziale dei processi a freddo come alternativa a basso impatto per la produzione di materiali compositi da rifiuti tessili post-consumo, evidenziandone al contempo le opportunità e le criticità legate all'impiego di leganti bio-based.

FIGURA 11 A-B – P. 38

RISULTATI

I risultati ottenuti mostrano un andamento complessivamente eterogeneo, con esiti che in alcuni casi confermano le ipotesi iniziali e in altri ne mettono in luce i limiti. Nelle sezioni seguenti, i risultati vengono analizzati separatamente per ciascun processo sperimentale.

Risultati processo di pressatura a caldo

Le sperimentazioni condotte con pressatura a caldo hanno confermato solo parzialmente l'ipotesi iniziale. L'elevata eterogeneità dei rifiuti tessili post-consumo – dovuta alla variabilità delle miscele e ai trattamenti pregressi – ha prodotto risultati disomogenei e di difficile replicabilità. In numerosi campioni si sono riscontrate differenze nel grado di fusione e coesione inter-fibra, con aree eccessivamente plastificate e altre parzialmente non compattate. Anche la distribuzione irregolare della temperatura tra le piastre della termopressa ha inciso sulla qualità dei provini, generando difformità morfologiche e cromatiche dovute all'alterazione dei pigmenti tessili. Nonostante tali criticità, i campioni in poliestere 100% (mix 1, 2, 3 e 8) hanno mostrato le migliori prestazioni e sono stati selezionati per la caratterizzazione acustica secondo la norma ISO 10534-2:2023. I risultati hanno evidenziato un comportamento tipico dei materiali porosi e fibrosi, con basso assorbimento alle basse frequenze (≤ 250 Hz) e un incremento progressivo alle alte, fino a valori di α prossimi a 0,9-1,0 oltre i 2000 Hz. È emersa inoltre una correlazione diretta tra spessore e capacità fonoassorbente: i campioni più spessi hanno mostrato prestazioni superiori e più stabili, confermando il potenziale di tali compositi per applicazioni leggere di fonoassorbimento, pur nei limiti tipici dei materiali a bassa densità.

FIGURA 12 – P. 38

FIGURA 13 – P. 39

Risultati processo di pressatura a freddo

Le sperimentazioni condotte con pressatura a freddo hanno confermato l'ipotesi iniziale, dimostrando che leganti di origine biologica possono garantire una buona coesione del fluff tessile post-consumo. Sono state testate due matrici: una composta da fibre senza etichetta, di composizione incerta, e una in poliestere 100% proveniente da rifiuti aziendali, per confrontare condizioni opposte di tracciabilità e purezza delle fibre.

Tra i leganti impiegati, l'amido di mais ha offerto la maggiore stabilità meccanica, l'agar agar la miglior flessibilità, mentre l'alginato di sodio con CaCl_2 ha generato strutture più rigide ma con scarsa stabilità dimensionale e tendenza alla formazione di muffe. Le prove di assorbimento idrico, condotte secondo un protocollo adattato da Sen *et al.* (2017), hanno evidenziato un comportamento fortemente igroscopico in tutti i campioni, con equilibrio più stabile per l'amido e imbibizione molto elevata per l'alginato.

La caratterizzazione acustica, eseguita secondo la ISO 10534-2:2023, ha mostrato un comportamento tipico dei materiali porosi e fibrosi, con scarso assorbimento alle basse frequenze (≤ 250 Hz) e incremento progressivo alle alte (2000-6000 Hz), dove i valori di α si attestano tra 0,6 e 0,7. I campioni in poliestere 100% hanno ottenuto prestazioni migliori rispetto ai mix non etichettati, con una risposta più regolare e stabile. Nel complesso, i risultati confermano la potenzialità dei compositi bio-based e waste-based come materiali fonoassorbenti, pur evidenziando limiti in termini di prestazioni acustiche e durabilità. La sensibilità alle variabili di composizione e processo suggerisce la necessità di ulteriori ottimizzazioni e test di lungo periodo per valutarne la reale applicabilità.

FIGURA 14 – P. 39

CONCLUSIONI

Le sperimentazioni condotte hanno permesso di indagare il potenziale del Waste Driven Design (WDD) (Crippa *et al.*, 2025; De Chirico *et al.*, 2025) come strumento operativo per la trasformazione dei rifiuti tessili post-consumo in materiali compositi. Più che un protocollo tecnico, il WDD si configura come un processo di esplorazione e apprendimento, in cui la conoscenza emerge dal dialogo continuo tra materia, processo e contesto. Il confronto tra pressatura a caldo e a freddo non evidenzia una distinzione tra successo

e insuccesso, ma la necessità di sviluppare una competenza progettuale capace di negoziare con l'incertezza. Progettare con gli scarti significa infatti accettare la variabilità e l'instabilità della materia come parte integrante del processo, riconoscendo che il valore risiede tanto nei risultati quanto nell'apprendimento che essi generano. In questa prospettiva, il material design assume un ruolo strategico: non solo esplora la trasformazione del rifiuto, ma costruisce un sapere operativo sulle condizioni in cui esso può riacquistare significato e funzione. Il WDD di-

venta così un dispositivo che intreccia dimensione empirica e teorica, tecnica e territoriale, attivando forme di simbiosi tra attori e risorse locali. Pur evidenziando limiti di replicabilità e standardizzazione, la ricerca contribuisce a ridefinire il ruolo del design come pratica di mediazione tra sperimentazione materiale e conoscenza tecnica. Più che produrre nuovi materiali, essa costruisce una conoscenza situata sulle condizioni in cui la materia può essere rigenerata e reinserita nei cicli produttivi.

- Bak-Andersen, M. (2021) Reintroducing materials for sustainable design: Design process and educational practice. Routledge.
- Bakowska, O., Mora, I., Walsh, S., van Duijn, H., Novak, M., Cherubini, G., ... Holicky, M., & Huygens, D. (a cura di) (2025) Fate and composition of textile waste from Italy, the Czech Republic and Romania. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/3332076>
- Berardi, D., Pergolizzi, A., & Valle, N. (2021) Rifiuti tessili: occorrono strategie e strumenti economici (Position paper n°143) Laboratorio Ref Ricerche. Laboratorio SPL Collana Ambiente. <https://laboratorioref.it/rifiuti-tessili-occorrono-strategia-e-strumenti-economici/>
- Berardi, D., Pergolizzi, A., & Valle, N. (2023) Tessili: verso una nuova responsabilità (Position paper n° 243). Laboratorio Ref Ricerche. Laboratorio SPL Collana Ambiente. <https://laboratorioref.it/tessili-verso-una-nuova-responsabilita/>
- Brydges, T. (2021) Closing the loop on take, make, waste: Investigating circular economy practices in the Swedish fashion industry. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126245.
- Candy, L. (2006) Practice based research: A guide. CCS Report, 1(2), 1-19.
- Clèries, L., Rognoli, V., Solanki, S., & Llorach, P. (2021) Material designers: Boosting talent towards circular economies.
- Cobbing, M., Kopp, M., Daaji, S., & Wohlgemuth, V. (2022) Poisoned gifts: From donations to the dumpsite. Textiles waste disguised as second-hand clothes exported to East Africa. Greenpeace International. <https://policycommons.net/artifacts/2391223/>
- Crippa, D., Di Giorgio Giannitto, C., Di Prete, B., & Villa, M. C. (2025) Waste-Driven Design (WDD): A transdisciplinary approach to raw material development—A case study on transforming food packaging waste into a second-generation material. *Sustainability*, 17(20), 9144.
- De Chirico, M. (2025) Waste Driven Design: Il progetto nelle metamorfosi della materia (Tesi di dottorato) Università Iuav di Venezia, Venezia, Italia.
- Di Stefano, D. (2022) Aspettando la responsabilità estesa del produttore, arrivano i consorzi. In *EconomiaCircolare.com*, Sfide per un tessile circolare. Dall'ecodesign alla seconda vita dei materiali. I Quaderni di Economia circolare, Collana Dossier n. 1, 26-28.
- Di Stefano, D. (2023, 2 marzo) Novità per i rifiuti tessili: la bozza di decreto sulla responsabilità estesa del produttore (EPR) *EconomiaCircolare.com*. <https://economiecircolare.com/rifiuti-tessili-bozza-decreto-epr/>
- European Commission. (2020) Circular economy action plan. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/45cc30f6-cd57-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-en>
- European Commission. (2022a) Strategia dell'UE per prodotti tessili sostenibili e circolari (COM (2022) 141 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0141>
- European Commission. (2022b) Ecodesign for Sustainable Products Regulation. https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation_en
- European Commission. (2022c) Proposta di Regolamento Europeo e del Consiglio che stabilisce il quadro per l'elaborazione delle specifiche di progettazione ecocompatibile dei prodotti sostenibili (COM (2022) 142 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022PC0142>
- European Commission. (2023) Circular economy for textiles: Taking responsibility to reduce, reuse and recycle textile waste and boosting markets for used textiles. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_3635
- European Environment Agency [EEA]. (2019a) Textiles in Europe's circular economy. <https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-in-europes-circular-economy>
- European Technology Platform [ETP]. (2024, luglio) Textile of the future. Partnership under Horizon Europe. Strategic Research & Innovation Agenda. https://cms.extranet.textile-platform.eu/uploads/Final_Draft_SRIA_90cfe269e8.pdf
- Ferrara, M., & Lucibello, S. (2009) Design follows materials. *Alinea*.
- Harmsen, P., Scheffer, M., & Bos, H. (2021) Textiles for circular fashion: The logic behind recycling options. *Sustainability*, 13(17), 9714.
- International Organization for Standardization. (2023) ISO 10534-2:2023 – Acoustics – Determination of acoustic properties in impedance tubes. <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/12/81294.html>
- Kääriäinen, P., Tervinen, L., Vuorinen, T., & Riutta, N. (2020) The CHEMARTS cookbook. Aalto University.
- Kazancoglu, I., Kazancoglu, Y., Kahraman, A., Yarimoglu, E., & Soni, C. (2022) Investigating barriers to circular supply chain in the textile industry from stakeholders' perspective. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 25(4-5), 521-548.
- Materiom. (2025, 23 ottobre) Materiom platform. <https://www.materiom.org/>
- Minucci, B. (2023) La strategia europea per il tessile sostenibile: un passo in avanti verso l'economia circolare. DPCE Online, 58(SP2) <https://www.dpceonline.it/index.php/dpceonline/article/view/1902>
- Parisi, S., Rognoli, V., & Sonneveld, M. (2017) Material Tinkering: An inspirational approach for experiential learning and envisioning in product design education. *The Design Journal*, 20(supl), 1167-1184.
- Reese, H. W. (2011) The learning-by-doing principle. *Behavioral Development Bulletin*, 17(1), 1.
- Resnick, M., & Rosenbaum, E. (2013) Design for Tinkerability. In M. Honey & D. E. Kanter (a cura di), *Design, Make, Play: Growing the next generation of STEM innovators* (pp. 63-181) Routledge.
- Rognoli, V., Bianchini, M., Maffei, S., & Karana, E. (2015) DIY materials. *Materials & Design*, 86, 692-702.
- Rugi, T. (2024, 13 maggio) Passaporto digitale dei prodotti: i fattori di successo e le barriere secondo CircThread. *EconomiaCircolare.com*. <https://economiecircolare.com/passaporto-digitale-prodotti-circthread/>
- Sen, R., Maan, A., & Pandel, U. (2017) Synthesis and testing of corn starch based biodegradable plastic and composite. *Proceedings of the 8th International Conference on Science, Social Science and Management*.
- Sharkey, M., & Coggins, M. (2022) The invisible barrier to safe textile recycling. *Frontiers in Sustainability*, 3, 876683.
- Symbola. (2024) GreenItaly 2024. Un'economia a misura d'uomo contro le crisi. I Quaderni di Symbola. <https://www.iris.sssup.it/bitstream/11382/57242/1/Green%20Italy%202024.pdf>
- Thomas, D. (2020) Fashionopolis: The price of fast fashion and the future of clothes. Bloomsbury Publishing PLC.
- Van Duijn, H., Papú Carrone, N., Bakowska, O., Huang, Q., Akerboom, M., Rademan, K., & Vellanki, D. (2022) Sorting for circularity Europe: An analysis of post-consumer textiles to drive fibre-to-fibre recycling. *Fashion for Good & Circle Economy*. <https://www.fashionforgood.com/case-study/sorting-for-circularity-europe-an-evaluation-and-commercial-assessment-of-textile-waste-across-europe/>
- Vermunt, D. A., Negro, S. O., Verweij, P. A., Kuppens, D. V., & Hekkert, M. P. (2019) Exploring barriers to implementing different circular business models. *Journal of Cleaner Production*, 222, 891-902.
- World Design Organization. (2025, 4 ottobre) Iterative Design. <https://wdo.org/glossary/iterative-design/>



FIGURA 01

Macchina sfilaciatrice SF2CA nei laboratori di Insieme Cooperativa Sociale, utilizzata per la trasformazione degli indumenti in sfilacciato (crediti: C. Digiorgio Giannitto).



FIGURA 02 A-B

Materiale fibroso ottenuto dopo il processo di sfilacciatura (crediti: C. Digiorgio Giannitto).

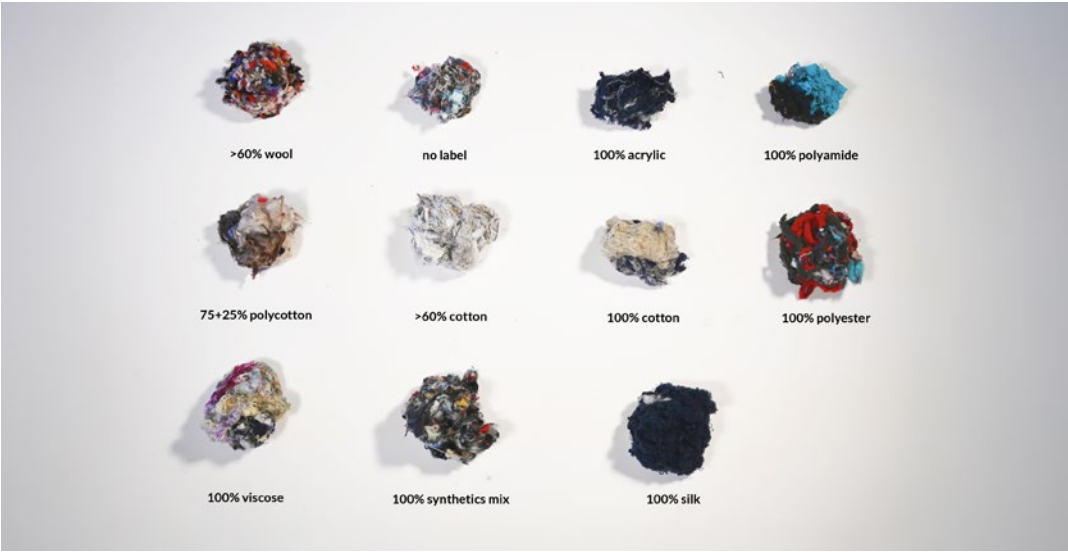


FIGURA 03
Le undici matrici di rifiuti tessili testate durante le sperimentazioni (crediti: D. Crippa).

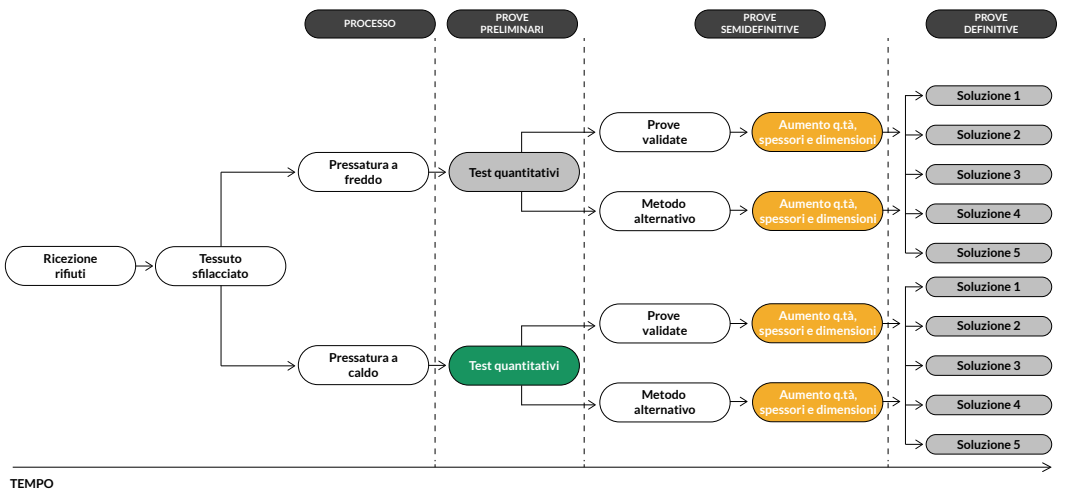


FIGURA 04
Schema dell'iter sperimentale con alcuni provini ottenuti con tecnica di pressatura a caldo (crediti: D. Crippa)..

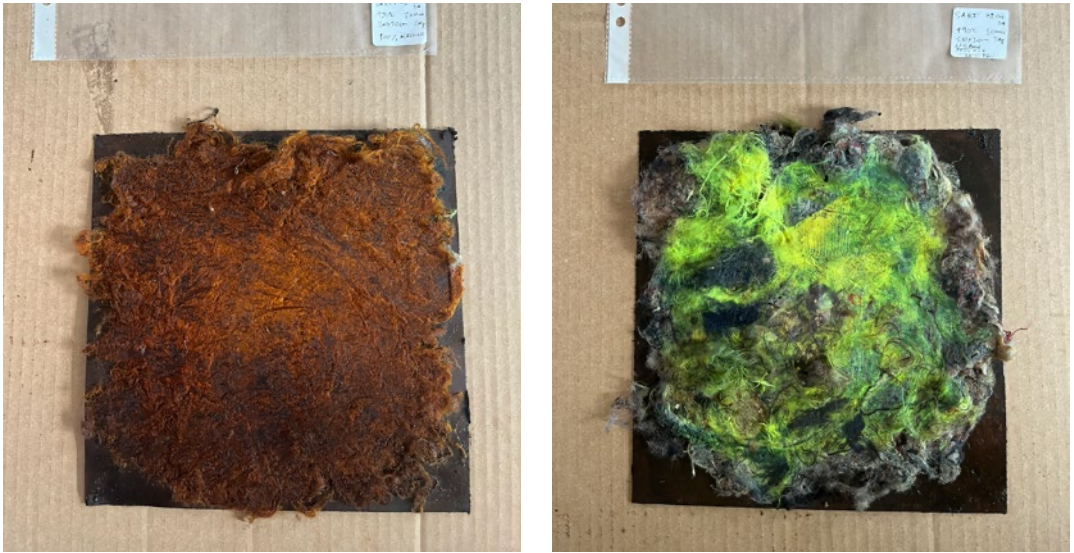


FIGURA 05 A-B

(a) Provino ottenuto sottoponendo a una temperatura di 190° per 30 minuti lo sfilacciato composto al 100% da acrilico; (b) Provino ottenuto sottoponendo a una temperatura di 190° per 30 minuti lo sfilacciato composto da 50% poliestere e da 50% mix di fibre senza etichetta.



FIGURA 06

(a) Prove semi-definitive ottenute con matrice 100% viscosa, impiegando 400 g di fluff tessile; (b) Prove semi-definitive ottenute con matrice 100% acrilico, impiegando 400 g di fluff tessile.



FIGURA 07

Stampo e controstampo utilizzati per le prove semi-definitive, aumentando quantità di sfilacciato e spessori dei campioni.



100% poliestere
Mix 2



100% poliestere
Mix 8



100% poliestere
Mix 1



100% poliestere
Mix 3

FIGURA 08

Risultati delle prove di pressatura a caldo condotte su quattro lotti differenti di poliestere, dall'alto a sx verso il basso a sx: mix 8, mix 3, mix 1, mix 2.



FIGURA 09

Sperimentazione con processi di pressatura a freddo, con l'impiego di bio collanti autoprodotti.



FIGURA 10

Provini ottenuti attraverso le composizioni A, A.1 e A.2 a base di amido di mais, a granulometria normale e granulometria ridotta.



FIGURA 11 A-B

Provini ottenuti attraverso la composizione A.1 a base di amido di mais, aumentando le dimensioni e la quantità di sfilacciato utilizzato.



FIGURA 12

Provini 10x10 di tessuti misti non divisi post consumo lavoratori con un collante a base di amido di mais..

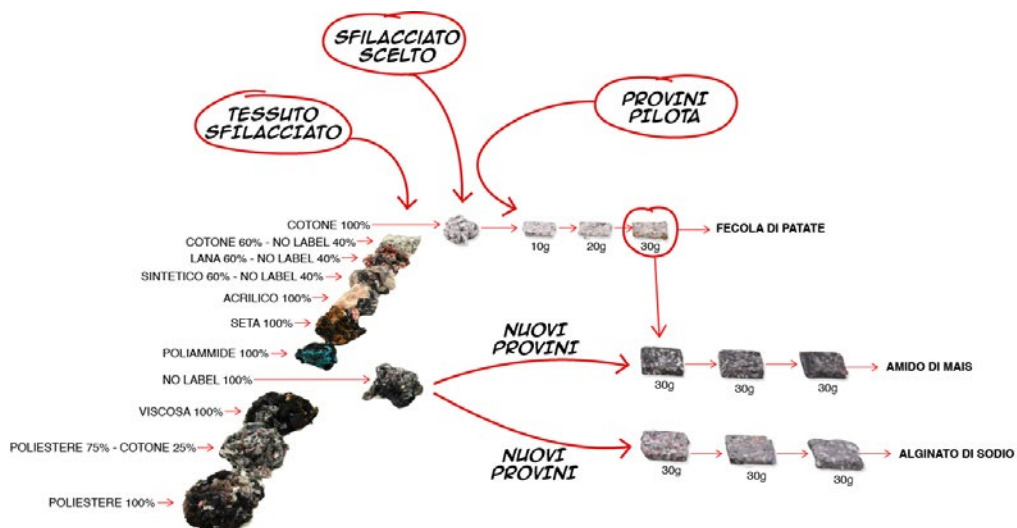


FIGURA 13

Diagramma delle prove svolte sulla metodologia a freddo con lo sviluppo degli esiti (crediti: D. Crippa).



FIGURA 14

Evidenza della comparsa di muffe superficiali sul campione C.1, realizzato con matrice tessile 100% poliestere e legante a base di alginato di sodio.

Volume 1	Spoke 3 Transizione verde e digitale per la manifattura avanzata
	Research Topic 3 Materials
A cura di	Alberto Bassi Davide Crippa

L'obiettivo principale del volume è restituire in forma sistematica e critica i risultati delle ricerche condotte nell'ambito dello Spoke 3 di iNEST, dedicato alla transizione verde e digitale delle filiere manifatturiere del Nord-Est. Attraverso la cultura del design, intesa come pratica sperimentale, riflessiva e material-driven, il libro indaga la materia non solo come componente tecnica, ma come dispositivo conoscitivo, narrativo e rigenerativo. I contributi evidenziano come il progetto agisca da catalizzatore tra ricerca scientifica, impresa e territorio, generando processi di innovazione in grado di ridefinire modelli produttivi, logiche di valorizzazione dello scarto e forme di cooperazione tra attori. Il volume documenta un approccio transdisciplinare nel quale il design opera come mediatore epistemico tra discipline scientifiche, processi industriali e dimensione culturale del fare, promuovendo il passaggio da sistemi lineari a ecosistemi rigenerativi e data-driven. Attraverso sperimentazioni applicative, casi studio e scenari di trasferibilità, viene dimostrato come strategie waste-based, material thinking e simbiosi industriale possano riconfigurare la materia di scarto in risorsa attiva - tecnica, progettuale e culturale - orientando la trasformazione delle filiere verso modelli circolari, tracciabili e territorialmente radicati. Le sperimentazioni illustrate non si limitano alla generazione di nuovi materiali, ma costruiscono una grammatica operativa per la transizione, in cui la materia diventa strumento di apprendimento, innovazione e responsabilità ambientale. In questo quadro, il design emerge come motore cognitivo e strategico della trasformazione, capace di integrare dimensione tecnica, intelligenza digitale e visione sistemica, contribuendo alla definizione di nuovi paradigmi industriali fondati sulla cooperazione tra accademia, impresa e territorio. Il volume rappresenta pertanto una piattaforma critica e propositiva per comprendere come il design possa guidare la trasformazione delle materie, dei processi e delle filiere produttive, accompagnando la transizione verde e digitale verso sistemi rigenerativi, consapevoli e capaci di produrre impatto duraturo.