
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 Digiorgio 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

Capitolo 3

Progettare la plastica. Dal materiale al prodotto nella transizione verso l'economia circolare

Autore Luca Casarotto

Affiliazione Università Iuav di Venezia



Dal materiale al prodotto nella transizione verso l'economia circolare, la plastica diventa terreno di indagine e sperimentazione per una nuova cultura del progetto. Attraverso il metodo del Waste Driven Design, la ricerca interpreta la complessità dei polimeri come opportunità per generare processi rigenerativi, ridefinire i cicli di vita della materia e tradurre le strategie dell'ecodesign in pratiche condivise di innovazione sostenibile.

Progettare la plastica.

Dal materiale al prodotto nella transizione verso l'economia circolare

Ogni prodotto che quotidianamente prendiamo in mano, e non solo, è costituito, in percentuali diverse, da componenti in materiale plastico. Anche volendo sostenere la tesi secondo cui stiamo passando da un mondo fisico e materiale a uno digitale, resta il fatto che gli stessi circuiti elettrici, i cablaggi e molti componenti che ci consentono di accedere al mondo immateriale e alla digitalizzazione sono oggi realizzati in plastica. Come sottolinea anche Busico (2023), la plastica è ormai indispensabile in numerosi settori.

Se si analizza infatti il mondo dei polimeri nel 2023 la produzione globale di plastica ha raggiunto 413,8 milioni di tonnellate (PlasticsEurope, 2024). Nonostante questo è risaputo che questa produzione non è sostenibile alla lunga e che le materie prime stanno scarseggiando.

Il mondo contemporaneo dei polimeri si trova infatti ad affrontare una profonda crisi legata alla disponibilità e alla gestione delle materie prime. Ogni anno vengono estratte e consumate oltre 100 miliardi di tonnellate di risorse naturali, ma più del 90% di esse non viene reimpresso nei cicli produttivi attraverso processi di recupero o riciclo (Banca Europea per gli Investimenti, 2023). Questo squilibrio rappresenta uno dei principali limiti del modello economico lineare attuale, fondato sull'estrazione, l'uso e lo smaltimento delle risorse.

Per questo negli anni sono stati molteplici i tentativi di ridurre o ottimizzare l'uso di questo materiale: da prima cercando di soluzioni con processi di riciclo e puntando ad aumentare della quota di materiale riciclato nei prodotti, come previsto anche dalle recenti normative, fino a cercare polimeri ottenuti da nuove fonti, nello specifico biologiche anziché basate sul petrolio. Ma se anche quest'ultima possa sembrare una soluzione, secondo uno studio di Carus (2025),

oggi i materiali bio-based riconosciuti e attualmente disponibili sul mercato sono "solo" 17 polimeri e nel 2024 la loro produzione complessiva è stata di circa 4,2 milioni di tonnellate, pari a circa l'1% della produzione totale di polimeri convenzionali, questo fa capire che la sostituzione della materia, seppur possa essere una soluzione, porta a risultati ma a lungo termine.

Anche per quanto riguarda i processi non sono così rapidi o automatici, delle oltre 400 milioni di tonnellate prodotte annualmente, soltanto l'8,7% viene effettivamente riciclato mentre la quota restante è destinata all'incenerimento o allo smaltimento in discarica (Plastics Europe, 2023).

Anche se tale dato non può essere interpretato come un rapporto diretto tra produzione e riciclo: una parte significativa dei manufatti plastici ha infatti cicli di vita molto lunghi, che rendono il bilancio annuale tra produzione e recupero parziale e fuorviante.

In generale, i prodotti plastici, non destinati all'imballaggio, presentano una vita media compresa tra 10 e 35 anni, con notevoli differenze tra i diversi settori di applicazione. Nell'edilizia, che comprende tubazioni, isolanti, infissi e pavimentazioni, la durata media varia tra 20 e 50 anni; nel comparto automotive si colloca tra 10 e 20 anni; mentre nei tessili, in particolare quelli tecnici e sintetici, scende a circa 2-5 anni (fonti dei dati: PlasticsEurope, 2023; United Nations Environment Programme, 2022; Ellen MacArthur Foundation, 2021). Queste stime evidenziano la complessità nel valutare in modo omogeneo il tasso di riciclo dei materiali plastici, ma anche come le cause e le soluzioni possano essere svariate.

A ciò si aggiunge anche il fatto che una grande parte dei prodotti oggi in circolazione, in particolare quelli appartenenti alle categorie a più

lungo ciclo di vita, è stata progettata senza considerare i principi dell'economia circolare. Molti artefatti risultano infatti composti da materiali non riciclabili o combinati in modo da rendere difficoltosa la separazione delle componenti, mentre raramente sono stati previsti sistemi di manutenzione, aggiornamento o riuso del prodotto.

FIGURA 01 – P. 48

Per queste ragioni, il divario tra produzione e riciclo appare destinato ad ampliarsi nei prossimi anni, almeno fino a quando non verranno introdotti modelli progettuali e industriali capaci di integrare in modo sistemico logiche di riuso e del riciclo dei materiali.

Non a caso, le normative contemporanee adottano misure specifiche che riguardano, in particolare, la responsabilità estesa del produttore (EPR) e la produzione di articoli monouso con percentuali obbligatorie di plastica riciclata. La Direttiva SUP, recepita in Italia con il D.lgs. 196/2021, richiede almeno il 25% di plastica riciclata nelle bottiglie in PET entro il 2025 e almeno il 30% di plastica riciclata nelle bottiglie in plastica (tutte) entro il 2030.

Un'attenzione crescente verso la gestione sostenibile dei materiali plastici si osserva così nei paesi Europei, ma anche nei Paesi asiatici, che nel complesso sono i produttori di oltre il 50% della plastica mondiale e rappresentano, al contempo, la principale fonte di rifiuti plastici. La Cina, in particolare, ha assunto un ruolo determinante in questa transizione: con la National Sword Policy, ha interrotto l'importazione di rifiuti plastici provenienti da altri Paesi; con il 14° Piano Quinquennale promuove la costruzione di impianti di riciclo avanzati e persegue obiettivi di decarbonizzazione e chiusura dei cicli entro il 2035. Inoltre, con la Legge sull'economia circolare impone alle imprese l'obbligo di ritirare e smaltire i propri prodotti a fine vita e con l'istituzione del China Resources Recycling Group, è anche stato creato un ente statale incaricato di gestire il sistema nazionale di recupero e riciclo. Oltre a ciò, la ricerca sta avviando nuovi filoni di sperimentazione volti a "digerire" la plastica attraverso processi enzimatici naturali, come l'utilizzo di LC-cutinasi e idrolasi IsPETasi. Tuttavia, tali approcci non hanno ancora prodotto risultati sufficientemente soddisfacenti da consentire l'applicazione su larga scala.

Ma come è possibile, allora, affrontare il problema?

Una delle soluzioni apparentemente più promettenti, sia nel breve sia nel lungo periodo, consiste nell'applicazione di processi di progettazione circolare alla realizzazione di prodotti e componenti polimerici. Come evidenziato dalla recente Regolamentazione europea sull'ecodesign (Regulation (EU) 2024/1781) e da un'ampia letteratura sul tema, a partire dai lavori della Ellen MacArthur Foundation, l'obiettivo è avviare pratiche progettuali orientate alla creazione di prodotti più duraturi, affidabili, riparabili, mantenibili e predisposti a futuri aggiornamenti. Analizzando la progettazione dei prodotti in materiale plastico, è necessario operare una chiara distinzione tra i prodotti monouso per imballaggi e gli altri manufatti. Nel primo caso, caratterizzato da cicli di vita estremamente brevi, la priorità risiede nel potenziamento del riciclo, nell'uso di materiali riciclati e, ove possibile, di biomateriali. Nel secondo caso, invece, è possibile adottare una gamma più ampia di strategie, che variano in funzione del tipo di prodotto, del progetto e delle modalità d'uso previste.

PRODOTTI POLIMERICI MONOUSO

Come detto, la progettazione dei prodotti polimerici si suddivide sostanzialmente in due grandi filoni: da un lato i prodotti monouso, costituiti principalmente da imballaggi, e dall'altro i prodotti con cicli di vita più lunghi.

Per i primi, la normativa che ne determina in modo più diretto le caratteristiche e le restrizioni è la Direttiva (UE) 2019/904, nota come Single Use Plastics Directive (SUP).

Se si considera che nel 2021 ogni cittadino dell'Unione Europea ha generato in media 36,1 kg di rifiuti di imballaggio in plastica, circa 8 kg in più rispetto al 2012, e che nel 2022 la quantità complessiva di rifiuti plastici prodotti nell'UE ha raggiunto 16 milioni di tonnellate, di cui solo il 40,7% (6,58 milioni di tonnellate) è stato effettivamente riciclato, appare evidente quanto il tema del riciclo sia centrale in questo contesto (Eurostat, 2023).

Non a caso, il tasso medio di riciclaggio degli imballaggi in plastica è cresciuto in modo costante nel tempo: dal 25,2% nel 2005 si è passati appunto al 40,7% nel 2022, e il dato continua a mostrare una tendenza positiva.

Va inoltre considerato che le normative vigenti non si limitano a incrementare i tassi di riciclo, ma mirano anche a ridurre la produzione complessiva di rifiuti di imballaggio pro capite, fissando obiettivi di riduzione progressiva: -5%

entro il 2030, -10% entro il 2035 e -15% entro il 2040 (European Commission, 2023).

Sono state inoltre introdotte restrizioni più severe per le esportazioni di rifiuti plastici verso Paesi non membri dell'OCSE; è inoltre previsto che alcuni imballaggi monouso vengano vietati dal 2030 e che, a partire dal 2029, la raccolta dei contenitori per bevande monouso sia effettuata separatamente rispetto agli altri prodotti polimerici, al fine di migliorarne l'efficienza nel recupero e nel riciclo.

In questo contesto, sorge spontanea una domanda: che ruolo può assumere la progettazione?

Un'interessante proposta proviene dal CONAI (Consorzio Nazionale Imballaggi), che nel 2017 ha avviato il progetto Progettare Riciclo, una piattaforma dedicata alla diffusione e consultazione pubblica di linee guida per il design for recycling degli imballaggi.

FIGURA 02 – P. 48

L'obiettivo del consorzio è stato quello di strutturare uno strumento operativo capace di suggerire buone pratiche di progettazione degli imballaggi realizzati in diversi materiali, fornendo un supporto concreto a progettisti e aziende.

Le Linee guida per la facilitazione delle attività di riciclo degli imballaggi in materiale plastico, sviluppate dal gruppo di ricerca dell'Università Iuav di Venezia, hanno proprio lo scopo di fornire indicazioni progettuali e tecniche per migliorare la riciclabilità dei prodotti plastici.

Partendo dall'analisi del processo di selezione e riciclo degli imballaggi in materiale polimerico, dalla raccolta differenziata, alla selezione, fino al riciclo vero e proprio, il documento consente al progettista di comprendere tutte le fasi di questo processo complesso, mettendo in evidenza le principali criticità e i potenziali punti di errore. La fase conclusiva del progetto è rappresentata dalle checklist per progettisti e aziende, che forniscono una serie di suggerimenti pratici per migliorare la riciclabilità. Tra questi, l'impiego di adesivi solubili in acqua o facilmente removibili durante il lavaggio, la scelta coerente dei materiali tra flacone e tappo, oppure, nel caso delle bottiglie in PET, la preferenza per colorazioni trasparenti e per forme che consentano di eliminare l'aria interna senza ridurre eccessivamente la superficie del contenitore. Quest'ultima, infatti, è un elemento importante per facilitare l'identificazione del materiale durante le fasi di selezione automatizzata del riciclo.

FIGURA 03 – P. 49

Se, in generale, l'indicazione progettuale più importante è che i materiali siano facilmente riconoscibili, spesso anche attraverso la differenziazione cromatica, e che non vengano mescolati nel processo di riciclo, occorre tuttavia sottolineare che, in gran parte di questi riferimenti progettuali, le bioplastiche rimangono escluse.

Le bioplastiche sono infatti materiali biodegradabili e compostabili che si decompongono industrialmente in acqua, anidride carbonica e sali minerali, oppure si trasformano in compost utile per l'agricoltura. Il loro impiego è ormai diffuso in numerose applicazioni: sacchetti, stoviglie, capsule da caffè, vaschette per alimenti e diversi tipi di imballaggi. Tuttavia, come già evidenziato, ad oggi ne esistono solo 17 tipologie riconosciute, a fronte delle 48 tipologie di polimeri tradizionali (ISO 1043-1).

Non tutte le bioplastiche sono però uguali. La normativa EN 13432:2002 definisce infatti i criteri che un materiale deve rispettare per essere considerato biodegradabile o compostabile: i materiali biodegradabili devono degradarsi almeno per il 90% in 180 giorni in ambiente controllato, mentre quelli disintegrabili devono ridursi in frammenti inferiori ai 2 mm in un periodo di 12 settimane di compostaggio, lasciando meno del 10% della massa iniziale. Questo filone di ricerca presenta dunque ampi margini di miglioramento, anche se permangono numerose criticità.

Una delle principali riguarda l'errata gestione del fine vita: la denominazione stessa di "bioplastiche" porta molti utenti, in modo inconsapevole, a conferirle nel sistema di riciclo tradizionale, con il rischio che si mescolino ai polimeri non bio, compromettendo la qualità dei materiali riciclati e, di conseguenza, dei prodotti che da essi derivano.

ALTRI PRODOTTI POLIMERICI

Se l'impiego delle bioplastiche rappresenta una soluzione applicabile anche ai prodotti non monouso, e dunque non legati al packaging, nella fase di progettazione è fondamentale considerare che l'elemento principale non riguarda soltanto la fase conclusiva del ciclo di vita del prodotto, ma la vita stessa dell'artefatto.

Riprendendo i principi dell'economia circolare e dell'ecodesign, è utile sottolineare la necessità di passare dal modello lineare di produzione e consumo (*"produci-usa-getta"*) a un modello ciclico e rigenerativo, basato sulla riduzione delle

risorse impiegate e sull'estensione del ciclo di vita dei prodotti. Quest'ultimo aspetto, in particolare, si fonda su diverse strategie, ciascuna delle quali comporta scelte e soluzioni progettuali specifiche.

Dal punto di vista progettuale, la riduzione e ottimizzazione dei materiali implica per il designer la necessità di alleggerire i componenti senza comprometterne la funzionalità, ad esempio progettando strutture a nido d'ape o studiando forme strutturalmente più efficienti dal punto di vista della resistenza. Allo stesso modo, rimuovere elementi superflui o non necessari consente di ridurre il peso complessivo e la complessità del prodotto.

Un'altra strategia chiave è il *Design for Disassembly* (DfD), che mira a favorire la separazione meccanica dei componenti attraverso fissaggi reversibili, e a promuovere la modularità per facilitare la manutenzione, la sostituzione delle parti usurate o danneggiate e l'aggiornamento del prodotto nel tempo.

Centrale è infatti la valutazione della durabilità e riparabilità dei prodotti, perseguibile attraverso l'impiego di materiali resistenti all'usura in relazione alle sollecitazioni d'uso. Anche rendere i componenti facilmente accessibili, standardizzabili e sostituibili permette di avere meno elementi che diventano rifiuti allungando la vita se non di tutto il prodotto, almeno della maggior parte di esso. Ad esempio, nei prodotti digitali, è essenziale che le componenti elettroniche possano essere estratte e sostituite con facilità rendendo più lunga la vita del resto del prodotto; non solo, è anche possibile immaginare che siano forniti manuali di riparazione accessibili agli utenti o ai centri di assistenza.

In un'ottica più ampia, questi approcci richiedono un cambio di paradigma, considerando il prodotto come parte di una rete dinamica di attori, flussi di materia, energia e informazioni (Barbero, Lanzavecchia, e Tamborrini, 2021). La progettazione circolare non può infatti limitarsi a un contesto ristretto, ma deve assumere una prospettiva sistemica, capace di integrare diverse dimensioni produttive e sociali.

Infatti, la progettazione di prodotti basati su componenti standardizzati favorisce la condivisione di risorse e competenze, promuovendo scelte non più vincolate agli interessi di una singola azienda o fornitore, ma orientate a di-

namiche collaborative e strategie di rete. Tale riprogettazione può generare sinergie tra imprese, territori e comunità, contribuendo alla creazione di cicli autopoietici, auto-organizzati e rigenerativi, e favorendo forme di simbiosi industriale e collaborazione intersettoriale.

CONCLUSIONE

Il percorso evolutivo della plastica, dai polimeri tradizionali alle bioplastiche e ai materiali riciclati, evidenzia come la vera sfida contemporanea non risieda unicamente nella sostituzione della materia, ma nella ridefinizione dei processi progettuali. La transizione verso modelli più sostenibili non può quindi limitarsi all'adozione di nuovi materiali o tecnologie di riciclo, ma deve coinvolgere l'intero sistema che regola la vita dei prodotti: dalla concezione al fine vita, passando per l'uso, la manutenzione e la riutilizzabilità.

In questo contesto, la progettazione assume un ruolo strategico, non solo tecnico ma anche culturale. Ripensare la plastica significa, infatti, riconsiderare i paradigmi stessi del design industriale, spostando l'attenzione dal prodotto come oggetto finito al prodotto come parte di un sistema circolare e rigenerativo.

Parallelamente, esperienze come quelle promosse dal CONAI dimostrano come sia possibile tradurre i principi della sostenibilità in strumenti operativi e criteri progettuali concreti. Tali esperienze confermano che la transizione ecologica non è un processo meramente tecnico, ma un percorso di apprendimento collettivo che coinvolge progettisti, imprese, istituzioni e cittadini in un processo condiviso di trasformazione. Poiché la fase di progettazione condiziona fino all'80% degli impatti ambientali dei prodotti (European Commission, 2024), anche per quelli in materiale plastico è necessario rivedere i modelli di produzione, uso e consumo. Solo attraverso un cambio di prospettiva, orientato all'estensione della vita utile dei prodotti, non solo di quelli con componenti polimeriche, sarà possibile trasformare questi cambiamenti in occasioni di innovazione sostenibile, capaci di ripensare gli artefatti all'interno del ciclo della materia e, più in generale, di ridefinire il nostro rapporto con il progetto e con il mondo materiale.

Riferimenti bibliografici

- ANSA (2023, settembre 15) Busico: "La plastica è troppo importante per potervi rinunciare". ANSA Scienza & Tecnica.
- Badalucco, L., Casarotto, L., Costa, P. (2017) Linee guida per la facilitazione delle attività di riciclo degli imballaggi in materiale plastico. Venezia: Università Iuav di Venezia.
- Banca Europea per gli Investimenti. (2023) Rapporto annuale sulla sostenibilità 2023. Lussemburgo: BEI.
- Barbero, S., Lanzavecchia, C., & Tamborini, P. (2021) Design sistmico: Strategie e strumenti per la transizione circolare. Torino: Slowd Edizioni.
- Comitato Europeo di Normazione (CEN) (2002) EN 13432:2002 – Requisiti per imballaggi recuperabili mediante compostaggio e biodegradazione. Bruxelles: CEN.
- Commissione Europea (2023) Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on packaging and packaging waste (COM/2022/677 final) Bruxelles: Commissione Europea.
- CONAI – Consorzio Nazionale Imballaggi. (2017) Progettare Riciclo: Linee guida per il design for recycling degli imballaggi. Milano: CONAI.
- Direttiva (UE) 2019/904 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 giugno 2019, sulla riduzione dell'incidenza di determinati prodotti di plastica sull'ambiente. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 155, 12 giugno 2019, pp. 1-19.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019) Completing the picture: How the circular economy tackles climate change. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation.
- Ellen MacArthur Foundation. (2021) The circular economy in detail: Plastics and material flows. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation.
- Ellen MacArthur Foundation. (2021) Circular design: Redefining products and systems for a circular economy. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation.
- European Environment Agency. (2024) The role of plastics in Europe's circular economy (Briefing)
- European Parliament and Council of the European Union. (2024) Regulation (EU) 2024/1781 on ecodesign for sustainable products. Official Journal of the European Union, L, 2024.
- Eurostat (2023) Packaging waste statistics: Recycling rates and generation of plastic packaging waste in the European Union. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Bioplastics (2024) Bioplastics market data 2024: Global production capacities and trends. Berlino: European Bioplastics. <https://www.european-bioplastics.org>
- Goverse, T., et al. (2020) National guidance for plastic pollution hotspotting and shaping action: Introduction report. United Nations Environment Programme & International Union for Conservation of Nature.
- International Organization for Standardization (ISO) (2011) ISO 1043-1:2011 – Plastics – Symbols and abbreviated terms – Part 1: Basic polymers and their special characteristics. Ginevra: ISO.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2022) Global plastics outlook: Economic drivers, environmental impacts and policy options. OECD Publishing.
- PlasticsEurope. (2023) Plastics – The Facts 2023: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Bruxelles: PlasticsEurope.
- Plastics Europe (2024) The circular economy for plastics – A European analysis (2024 ed.) Brussels.
- United Nations Environment Programme (2022) Global plastic pollution report: Towards a circular plastics economy. Nairobi: UNEP.
- United Nations Environment Programme. (2023) Plastics science: A journey through the life-cycle of plastics (SEAKnowledgeBank)
- Tournier, V., et al. (2020) An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles. Nature, 580(7802), 216-219.

Esempio di processo di selezione

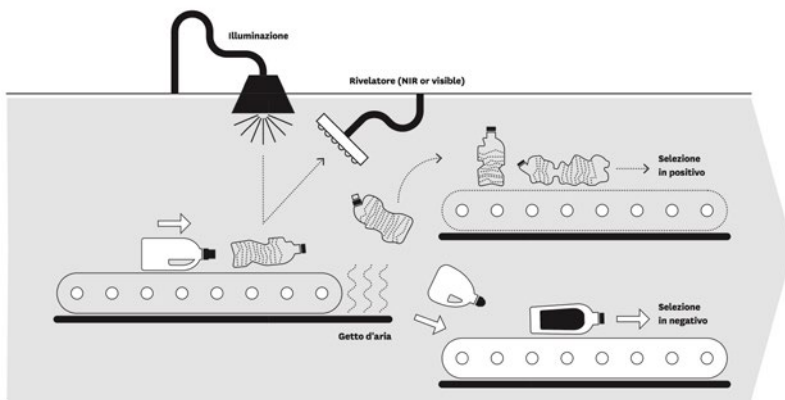


FIGURA 01

Schema della prima fase di selezione di prodotti polimerici monouso. Immagine: Linee guida per la facilitazione delle attività di riciclo degli imballaggi in materiale plastico, CONAI.

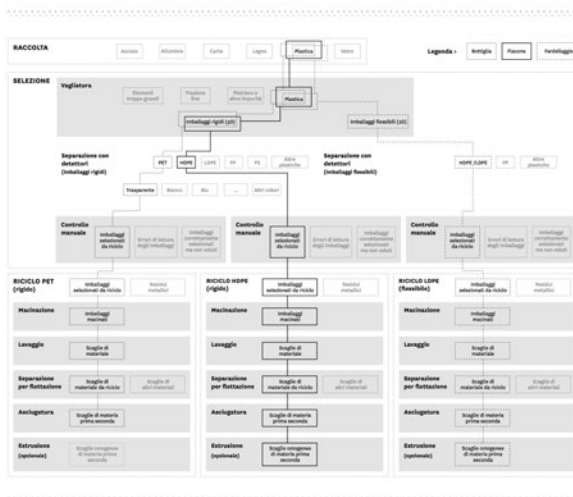


FIGURA 02

Schema delle fasi di riciclo, con evidenziato il percorso di un flacone in HDPE. Immagine: Linee guida per la facilitazione delle attività di riciclo degli imballaggi in materiale plastico, CONAI.



FIGURA 03

www.goodplastic.eu – Pagine iniziali delle tre checklist utili alla progettazione consapevole di prodotti polimerici, dedicate a: organizzazione aziendale, progettazione dei prodotti e progettazione della comunicazione. (Illustrazioni di Gioia Ghezzi).





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.