

Dai rifiuti ai materiali del futuro: biomateriali degradabili dalle filiere agroalimentari

In un'epoca di transizione ecologica, gli scarti non sono più scarti: diventano risorse rigenerabili capaci di generare valore, innovazione e nuovi materiali sostenibili.

DOI 10.12910/EAI2025-066

di Valerio Miceli, Chiara Nobili, Luciana Di Gregorio – Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili – Laboratorio innovazione delle Filiere Agroalimentari – ENEA

Nell'attuale contesto di transizione ecologica, il concetto di "rifiuto" sta perdendo significato. Ciò che fino a pochi anni fa veniva considerato un materiale scarso oggi è riconosciuto come una risorsa rigenerabile, capace di generare valore e innovazione. Tra gli esempi più concreti di questo cambiamento spicca la realizzazione di biomateriali degradabili e funzionalizzati derivati dagli scarti delle filiere agroalimentari: un ambito in cui biotecnologia, chimica verde e design dei materiali si incontrano per dare forma a una nuova idea di sostenibilità (Merino et al., 2022; Carnaval et al., 2024).

Dallo scarto alla risorsa: un ciclo che si chiude

Le lavorazioni agroalimentari producono ogni anno grandi quantità di residui vegetali come bucce, semi, polpe, fibre, gusci che spesso vengono eliminati con costi ambientali e gestionali elevati. Tuttavia, questi scarti contengono una ricchezza di molecole naturali come polisaccaridi, proteine, lignina, cellulosa, amidi e composti fenolici, tutti utilizzabili

come base per lo sviluppo di materiali a basso impatto ambientale. (Banu & Sharmila, 2023; Kossalbayev et al., 2025). Il primo passo consiste nella caratterizzazione dei residui: si analizzano la composizione e le proprietà chimico-fisiche per individuare le frazioni più promettenti. Da qui si passa all'estrazione e alla purificazione dei componenti, che vengono poi combinati in miscele polimeriche attraverso processi di gelificazione, casting o estrusione. Il risultato sono film, bioplastiche e biocompositi completamente biodegradabili e, in molti casi, compostabili (Arriaga et al., 2025). L'ENEA si colloca all'interno del panorama nazionale come eccellenza nella ricerca e nello sviluppo di biomateriali innovativi, con particolare attenzione alla progettazione e alla realizzazione di imballaggi biodegradabili, compostabili e funzionalizzati. In parallelo, l'attenzione si estende alla valutazione delle interazioni di questi materiali con i microrganismi, studiando il loro potenziale effetto nella prevenzione della formazione di biofilm su superfici alimentari e industriali, un aspetto cruciale per la sicurezza e la qualità dei prodotti.

Funzionalizzare per dare nuove proprietà

La vera evoluzione rispetto alle bioplastiche tradizionali sta nella possibilità di funzionalizzare i materiali, cioè di arricchirli con sostanze naturali capaci di conferire proprietà specifiche: attività antiossidante, antibatterica, strutturale, idrofobica o sensibile a stimoli ambientali come variazioni di pH o temperatura (Kossalbayev et al., 2025). Un esempio concreto è rappresentato dall'aggiunta di biomolecole con capacità antimicrobica, antiossidante, strutturante o di composti bioattivi ottenuti dal recupero di scarti agroalimentari come il melograno, il mallo di noce, le siero proteine, le foglie d'olivo, le acque di vegetazione o i residui del dragon fruit (Merino et al., 2022; Banu & Sharmila, 2023). Questi principi attivi possono essere incorporati in membrane ottenute tramite elettrofilatura, inglobati in inchiostri bioattivi per la manifattura additiva, oppure utilizzati nella produzione di pellicole e film biodegradabili tramite la tecnica del casting (Carnaval et al., 2024). L'integrazione di estratti naturali con azione antibatterica e anti-biofilm,

ad esempio derivati da sottoprodotti ricchi in polifenoli o peptidi bioattivi, consente di ottenere superfici capaci di limitare l'adesione microbica e la formazione di biofilm, fenomeno tra i principali responsabili della contaminazione e della riduzione della shelf-life degli alimenti (Arriaga et al., 2025). In questo modo, il packaging non si limita più a offrire una semplice protezione fisica ma diventa un involucro funzionale e "vivo", capace di rilasciare sostanze bioattive e antiossidanti, inibire la formazione di biofilm, contrastare la proliferazione microbica e prolungare la conservazione degli alimenti. Ciò si traduce anche in un contributo concreto alla riduzione degli sprechi alimentari domestici.

Questi materiali, oltre ad essere biodegradabili, consentono di prolungare la durata di conservazione dei prodotti riducendo al contempo l'uso di additivi chimici. In altri casi, la funzionalizzazione dà vita a biomateriali intelligenti, capaci di modificare colore o aspetto per segnalazione di eventuali alterazioni del contenuto: una sorta di etichetta sensoriale integrata nel materiale stesso (Aguiló-Aguayo et al., 2024).

Un approccio sistemico: scienza, territorio e industria

La realizzazione di biomateriali da scarti agricoli non è un processo isolato, ma un tassello di una bioeconomia circolare che unisce ricerca, filiere produttive e sviluppo locale. Ogni territorio genera residui con caratteristiche uniche: le bucce di pomodoro nel Sud Italia, i gusci di nocciola nel Piemonte, le fibre di carciofo in Puglia e Sicilia o le vinacce nelle regioni vitivinicole. Valorizzare questi sottoprodotti significa creare catene

di valore territoriali, dove agricoltura e industria collaborano per ridurre gli sprechi e gli impatti ambientali (Kossalbayev et al., 2025). L'integrazione di questi materiali nelle filiere agroalimentari apre inoltre nuove prospettive per il controllo biologico e la sicurezza alimentare, grazie alla possibilità di sviluppare superfici attive capaci di contrastare microrganismi patogeni e biofilm senza l'impiego di sostanze chimiche di sintesi. Allo stesso tempo, questo modello apre nuove prospettive occupazionali per giovani ricercatori, tecnici e imprese innovative, offrendo un'alternativa concreta ai materiali di origine fossile. La ricerca pubblica e il trasferimento tecnologico diventano così strumenti per accelerare l'applicazione industriale di soluzioni nate in laboratorio.

Vantaggi e sfide per la sostenibilità

L'utilizzo di biomateriali di origine naturale comporta diversi vantaggi (Merino et al., 2022; Carnaval et al., 2024; Kossalbayev et al., 2025):

- Riduzione dei rifiuti organici e delle emissioni di gas serra;
- Diminuzione della dipendenza dal petrolio e dalle plastiche convenzionali;
- Compatibilità con i cicli biologici, grazie alla biodegradabilità e compostabilità;
- Possibilità di personalizzazione funzionale a seconda dell'applicazione.
- Potenziale nel controllo della contaminazione microbica e della formazione di biofilm, migliorando la sicurezza e la qualità dei prodotti agroalimentari (Arriaga et al., 2025; Aguiló-Aguayo et al., 2024).

Tuttavia, la strada verso una diffusione su larga scala richiede ancora ottimizzazione tecnologica e sostenibili-

tà economica. I costi di produzione, la stabilità dei materiali e la necessità di standard normativi chiari rappresentano sfide ancora aperte. È necessario un equilibrio tra innovazione e accessibilità, affinché i biomateriali non restino una nicchia sperimentale ma diventino parte integrante del mercato (Kossalbayev et al., 2025).

Un nuovo modo di pensare la materia

Creare biomateriali a partire dagli scarti agroalimentari non significa semplicemente sviluppare alternative ecologiche: significa rivedere il concetto stesso di materia. Ogni residuo può diventare il punto di partenza per qualcosa di nuovo, in un ciclo dove nulla si perde davvero. Questi materiali incarnano una visione più umana della tecnologia, dove la scienza non si limita a migliorare le prestazioni, ma cerca armonia con i processi naturali (Merino et al., 2022). In questo senso, il valore dei biomateriali non è solo tecnico, ma anche culturale: rappresentano una nuova forma di progettazione consapevole, capace di coniugare innovazione, estetica e responsabilità ambientale (Banu & Sharmila, 2023). In un futuro prossimo, film biodegradabili, biocompositi e biopolimeri provenienti da residui agricoli potranno trovare applicazione nel packaging alimentare, nella biomedicina, nel design circolare e persino nell'edilizia sostenibile (Kossalbayev et al., 2025; Arriaga et al., 2025). Ognuna di queste ambizioni contribuirà, a modo suo, a un obiettivo comune: trasformare gli scarti in valore e la conoscenza in rigenerazione.

per info: valerio.miceli@enea.it

Bibliografia

1. Merino, D., Quilez-Molina, A. I., Perotto, G., Bassani, A., Spigno, G., & Athanassiou, A. (2022). A second life for fruit and vegetable waste: a review on bioplastic films and coatings for potential food protection applications. *Green Chemistry*, 24, 4703-4727. <https://doi.org/10.1039/D1GC03904K>.
2. Banu J., R., & Sharmila V., G. (2023). Review on food waste valorization for bioplastic production towards a circular economy: sustainable approaches and biodegradability assessment. *Sustainable Energy & Fuels*, 7, 3165-3184. <https://doi.org/10.1039/D3SE00500C>.
3. Carnaval, L. de S. C., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2024). Agro-Food Waste Valorization for Sustainable Bio-Based Packaging. *J. Compos. Sci.*, 8(2), 41. <https://doi.org/10.3390/jcs8020041>.
4. Kossalbayev, B. D., Belkozhaev, A. M., Abaildayev, A., Kadirshe, D. K., Tastambek, K. T., Kurmanbek, A., & Toleutay, G. (2025). Biodegradable Packaging from Agricultural Wastes: A Comprehensive Review of Processing Techniques, Material Properties, and Future Prospects. *Polymers*, 17(16), 2224. <https://doi.org/10.3390/polym17162224>.
5. Arriaga, M., Pinar, F. J., Izarra, I., del Amo, J., Vicente, J., Fernández-Morales, F. J., & Mena, J. (2025). Valorization of Agri-Food Waste into PHA and Bioplastics: From Waste Selection to Transformation. *Applied Sciences*, 15(3), 1008. <https://doi.org/10.3390/app15031008>.
6. Rabbia Hussain 1, Athar Aziz 2, Rashid Amin 3, Asma Khurshid. Development and Characterization of Polymeric-based Biomaterial from Agro-food Waste: A Sustainable and Eco-friendly Approach Towards Plastic Pollution". (2024). [PubMed]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38847261/>.
7. Pinku Chandra Nath 1, Ramesh Sharma 2, Shubhankar Debnath 3, Prakash Kumar Nayak 4, Rupak Roy 5, Minaxi Sharma 6, Baskaran Stephen Inbaraj 7, Kandi Sridhar. Recent advances in production of sustainable and biodegradable polymers from agro-food waste: Applications in tissue engineering and regenerative medicines". (2024). [PubMed]. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.129129.
8. Aguiló-Aguayo, I., Albaladejo, P., Gallur, M., Abadías M., J. Ortiz, I. Viñas & T. Lafarga (2024). High Added Value Products from Agroindustrial Residues: Study on Microfibrillated Cellulose for Food Applications. *Waste and Biomass Valorization*, 15, 6723-6743. doi: 10.1007/s12649-024-02605-1.
9. Bishwambhar Mishra, Yugal Kishore Mohanta, C. Nagendranatha Reddy, S. Deepak Mohan Reddy, Sanjeeb Kumar Mandal, Rajasri Yadavalli, Hemen Sarma. Valorization of agro-industrial biowaste to biomaterials: An innovative circular bioeconomy approach. (n.d.). *Circular Economy*. DOAJ. Doi: doi.org/10.1016/j.cec.2023.100050.