



SEMESTRE 2026

# PACKAGING SCIENCE

*E' la Rassegna Scientifica Internazionale della **Fondazione Carta Etica del Packaging**.*

*Pubblicazione bimestrale in cui sono presentati 7 articoli multidisciplinari, afferenti al packaging, selezionati da diverse riviste del mondo scientifico digitale.*

*Packaging Science attraverso le tematiche sempre attuali ed aggiornate dei suoi articoli in diverse discipline, concorre ampiamente alla promozione e all'evoluzione della corretta cultura del packaging e dei **10 Valori della Carta Etica** per accompagnare il packaging verso un futuro più consapevole.*


## Determinazione di elementi inorganici in imballaggi alimentari di carta utilizzando tecniche convenzionali e in varie matrici utilizzando la spettrometria di emissione atomica al plasma a microonde (MP-AES): una revisione.

La carta, uno dei materiali di imballaggio più utilizzati al mondo, deve le sue proprietà al suo componente principale: il legno. Le variazioni delle specie legnose provocano variazioni nelle proprietà meccaniche della carta. L'industria della produzione di cellulosa e carta è nota per essere un'industria inquinante e un consumatore di una grande quantità di energia, ma rimane un'industria pesante essenziale a livello globale. La produzione di carta, basata in gran parte sul processo kraft, è destinata principalmente al settore dell'imballaggio alimentare e, pertanto, è associata a rischi di contaminazione. La mancanza di normative standardizzate e le diverse tecniche analitiche utilizzate rendono complesse le informazioni sull'argomento, in particolare per gli elementi inorganici dove sono disponibili poche informazioni in letteratura.



Review

### Determination of Inorganic Elements in Paper Food Packaging Using Conventional Techniques and in Various Matrices Using Microwave Plasma Atomic Emission Spectrometry (MP-AES): A Review

Maxime Chivaley <sup>1,2</sup>, Samia Bassim <sup>1</sup>, Vicmary Vargas <sup>1</sup>, Didier Lartigue <sup>2</sup>, Brice Bouyssiere <sup>1,\*</sup>   
and Florence Pannier <sup>1</sup>

- <sup>1</sup> Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, CNRS, IPREM, UMR5254, Technopôle Hélioparc, 2 Avenue du Président Angot, 64053 Pau, France; mchi-valey@gascognepapier.com (M.C.); samia.bassim@etud.univ-pau.fr (S.B.); vicmary.vargas@univ-pau.fr (V.V.); florence.pannier@univ-pau.fr (F.P.)  
<sup>2</sup> Gascogne Papier, 68 Rue de la Papeterie, BP8, 40200 Mimizan Cedex, France; dlartigue@gascognepapier.com  
\* Correspondence: brice.bouyssiere@univ-pau.fr

#### Abstract

As one of the world's most widely used packaging materials, paper obtains its properties from its major component: wood. Variations in the species of wood result in variations in the paper's mechanical properties. The pulp and paper production industry is known

## Compositi di origine biologica da amido e farina di noccioli di mango.

L'amido rappresenta un'alternativa promettente ai polimeri derivati dal petrolio grazie alla sua biodegradabilità e alla sua natura rinnovabile. Tuttavia, il suo diffuso utilizzo in applicazioni non alimentari solleva preoccupazioni etiche. I semi di mango, un importante sottoprodotto della lavorazione del mango, rappresentano una fonte di amido abbondante ma sottoutilizzata. Questo studio esplora lo sviluppo di biocompositi estrusi, utilizzando amido di mais e farina di semi di mango (MKF) come alternativa più sostenibile.



Article

### Biobased Composites from Starch and Mango Kernel Flour

Hálisson Lucas Ribeiro <sup>1</sup>, Matheus de Oliveira Barros <sup>2</sup>, Adriano Lincoln Albuquerque Mattos <sup>2</sup>,  
Morsyleide de Freitas Rosa <sup>2</sup>, Men de Sá Moreira de Souza Filho <sup>2</sup> and  
Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo <sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemical Engineering, Pici Campus, Building 709, Av. Mister Hull, Pici, Fortaleza 60455-760, CE, Brazil; halissonlucas@gmail.com

<sup>2</sup> Embrapa Tropical Agroindustry, R. Dra. Sara Mesquita, 2270, Pici, Fortaleza 60511-110, CE, Brazil; matheus\_barros@outlook.com (M.d.O.B.); adriano.mattos@embrapa.br (A.L.A.M.); morsyleide.rosa@embrapa.br (M.d.F.R.); men.souza@embrapa.br (M.d.S.M.d.S.F.)

<sup>3</sup> Embrapa Instrumentation, R. 15 de Novembro, 1452, Centro, São Carlos 13561-206, SP, Brazil

\* Correspondence: henriette.azeredo@embrapa.br; Tel: +55-(16)-2107-2800

#### Abstract

Starch is a promising alternative to petroleum-based polymers due to its biodegradability and renewable nature. However, its widespread use in non-food applications raises ethical concerns. Mango kernels, a major byproduct of mango processing, represent an abundant yet underutilized starch source. However, conventional starch extraction requires costly purification steps with significant environmental impact. This study explores the development of extruded biocomposites, using corn starch and mango kernel flour (MKF) as a more sustainable alternative. The influence of lignin, extractives, amylose, and amylopectin content on the material properties was assessed. MKF was obtained by removing both tegument and endocarp from the mango kernels, grinding them in a colloidal mill, and finally drying the ground kernels. The resulting flour was blended with corn starch, processed in an internal mixer, and injection-molded. The composites were characterized through mechanical testing, water absorption analysis, colorimetry, and UV absorption assays. Notably, the composite containing ~20% MKF exhibited mechanical properties comparable to commercial polyethylene (PE-PB 208), with a tensile strength of 9.53 MPa


## Materiali intelligenti avanzati di origine biologica per il confezionamento alimentare: applicazioni, sicurezza e sostenibilità.

I maggiori problemi che l'umanità deve affrontare oggi sono la sicurezza alimentare, la protezione e la gestione dei rifiuti, nonché gli impatti dannosi del cambiamento climatico ambientale. Pertanto, lo sviluppo di tecnologie intelligenti relative alla salubrità dei prodotti alimentari o al loro spreco è essenziale. Le plastiche a base di petrolio utilizzate nei materiali di imballaggio alimentare, che hanno recentemente sollevato numerose preoccupazioni in merito all'inquinamento ambientale e alla salute dei consumatori, potrebbero essere sostituite in futuro da queste tecnologie.



*Editorial*

### Advanced Bio-Based Smart Materials for Food Packaging: Applications, Safety, and Sustainability

Ioannis Konstantinos Karabagias 

Department of Food Science and Technology, School of Agricultural Sciences, University of Patras, G. Seferi 2, 30100 Agrinio, Greece; [ikaraba@upatras.gr](mailto:ikaraba@upatras.gr); Tel.: +30-697-828-6866

#### 1. Introduction

The greatest issues facing humanity today are food security, safety, and waste management, as well as the pernicious impacts of environmental climate change. Thus, the development of intelligent technologies pertaining to the wholesomeness of food products or their waste is essential. The petroleum-based plastics used in food packaging materials, which have recently raised numerous concerns regarding environmental pollution and consumer health, may be replaced by these technologies in the future, which could potentially lead to a complete recharacterization of the quality of the product from production to packaging and distribution [1].

Advanced packaging materials better qualities and sensors for that can track the condition of food in storage are just two examples of the “smart” features that sophisticated technology and materials science have introduced to food packaging. Recently, smart packaging has been used to extend the shelf life of foods. This includes time–temperature indicators, modified atmosphere packaging sensors for monitoring CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>, total volatile base nitrogen sensors for detecting food deterioration, fruit ripeness indicators, pathogen sensors [2], and protocols for food tracking and authentication that have not yet been studied in detail.

*Foods* **2025**, *14*, 3462

<https://doi.org/10.3390/foods14203462>

<https://www.mdpi.com/2304-8158/14/20/3462>

## Film a doppio strato a base di complesso furcellarano/chitosano: caratteristiche strutturali e funzionali dei materiali di imballaggio.

Questo studio ha coinvolto la creazione e la caratterizzazione di film a doppio strato a base di complessi di furcellarano (FUR) e chitosano (CHIT)-furcellarano. Sebbene i film di chitosano siano ampiamente descritti, una doppia membrana CHIT-FUR con elevata solubilità e permeabilità al vapore acqueo è raramente riportata in letteratura. I film a doppio strato ottenuti hanno il potenziale per sostituire le plastiche tradizionali negli imballaggi alimentari e possono anche fungere da nuovo materiale per capsule medicinali nell'industria farmaceutica.



International Journal of  
*Molecular Sciences*



Article

### Double-Layer Films Based on Furcellaran/Chitosan Complex—Structural and Functional Characteristics of Packaging Materials

Ewelina Nowak <sup>1,\*</sup>, Justyna Żak <sup>1</sup>, Magdalena Janik <sup>2</sup>, Agnieszka Cholewa-Wójcik <sup>3</sup>, Lesław Juszczak <sup>4,5</sup>, Michał Szuwarzyński <sup>6</sup>, Tomasz Mazur <sup>6</sup>, Anna Konieczna-Molenda <sup>1</sup> and Ewelina Jamróz <sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemistry, University of Agriculture, ul. Balicka 122, 30-149 Kraków, Poland; justyna08200@gmail.com (J.Ż.); anna.konieczna-molenda@urk.edu.pl (A.K.-M.); ewelina.jamroz@urk.edu.pl (E.J.)

<sup>2</sup> NanoLab, University of Agriculture, ul. Balicka 122, 30-149 Kraków, Poland

<sup>3</sup> Department of Product Packaging, Cracow University of Economics, ul. Rakowicka 27, 31-510 Kraków, Poland; cholewaa@uek.krakow.pl

<sup>4</sup> Department of Food Analysis and Evaluation of Food Quality, University of Agriculture, ul. Balicka 122, 30-149 Kraków, Poland; rruszcz@cyf-kr.edu.pl

<sup>5</sup> Department of Dietetics and Food Studies, Faculty of Science and Technology, Jan Długosz University in Częstochowa, ul. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa, Poland

<sup>6</sup> Academic Centre for Materials and Nanotechnology, AGH University of Krakow, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland; szuwarzy@agh.edu.pl (M.S.)

\* Correspondence: ewelina.nowak@urk.edu.pl; Tel: +48-12-662-47-69

#### Abstract

This study involved the creation and characterisation of double-layer films based on furcellaran (FUR) and chitosan (CHIT)—furcellaran complexes. Although chitosan films are quite widely described, a double CHIT-FUR membrane with high solubility and water vapour permeability is seldom reported in the literature. In this work, the physicochemical, mechanical and thermal properties of the obtained double-layer films were examined. The structural properties and morphology of the prepared films were presented using



Academic Editor: Iuliana Deleanu

*Int. J. Mol. Sci.* **2025**, *26*, 10049

<https://doi.org/10.3390/ijms262010049>

<https://www.mdpi.com/1422-0067/26/20/10049>

## Acido ferulico e acido poliferulico nei polimeri: sintesi, proprietà e applicazioni.

L'acido ferulico (FA), insieme ai suoi polimeri e derivati, sta attirando una crescente attenzione come elemento costitutivo di materiali polimerici avanzati sostenibili grazie alla sua origine rinnovabile, all'attività antiossidante intrinseca e al potenziale di biodegradabilità. Vengono discusse le caratteristiche fisico-chimiche di questi materiali, con particolare enfasi sulla stabilità termica, sulle prestazioni antiossidanti, sul rilascio controllato di agenti attivi e sul loro impatto sulle proprietà meccaniche e di barriera delle matrici polimeriche. Inoltre, vengono esaminati i principali domini applicativi, tra cui la biomedicina, l'imballaggio alimentare e l'ingegneria ambientale, evidenziando sia i vantaggi che gli attuali limiti associati all'utilizzo di FA.



Review

### Ferulic Acid and Polyferulic Acid in Polymers: Synthesis, Properties, and Applications

Mateusz Leszczyński <sup>1,\*</sup>, Mariusz Ł. Mamiński <sup>1</sup> and Paweł G. Parzuchowski <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Wood Sciences and Furniture, Warsaw University of Life Sciences, Building No. 34, 159 Nowoursynowska St., 02-776 Warsaw, Poland; mariusz\_maminski@sggw.edu.pl

<sup>2</sup> Faculty of Chemistry, Warsaw University of Technology, 3 Noakowskiego St., 00-664 Warsaw, Poland; pawel.parzuchowski@pw.edu.pl

\* Correspondence: mateusz\_leszczyński@sggw.edu.pl

#### Abstract

Ferulic acid (FA), together with its polymers and derivatives, has been attracting growing attention as a building block for advanced sustainable polymeric materials due to its renewable origin, intrinsic antioxidant activity, and potential for biodegradability. This review aims to provide a comprehensive overview of recent progress in the synthesis and functionalization of FA-based polymers, covering polymerization strategies, enzymatic modifications, and grafting approaches. The physicochemical characteristics of these materials are discussed, with particular emphasis on thermal stability, antioxidant performance, controlled release of active agents, and their impact on the mechanical and barrier properties of polymer matrices. Furthermore, key application domains—including biomedicine, food packaging, and environmental engineering—are examined, highlighting both the advantages and current limitations associated with FA utilization. Finally, perspectives are outlined regarding the necessity for further research to enhance bioavailability, stability, and synthetic efficiency, as well as the potential of FA-derived polymers in the development of next-generation, functional, and environmentally sustainable materials.

## Riciclo di tappi di bottiglia in HDPE post-consumo in nuovi tappi per il contatto con gli alimenti.

I tappi in HDPE vengono raccolti insieme alle bottiglie in PET, che da decenni vengono riciclate in nuove bottiglie. A causa dei sistemi di restituzione del deposito, i tappi delle bottiglie sono ordinati per tipo e sono adatti per essere riciclati nuovamente per applicazioni sensibili, ad esempio il contatto con gli alimenti. Sebbene esistano criteri di valutazione per i processi di riciclo meccanico del PET, non sono stati pubblicati criteri di valutazione per i tappi in HDPE riciclato a contatto con gli alimenti. Le efficienze di pulizia richieste rientrano in un intervallo tecnicamente fattibile per gli odierni processi di riciclo meccanico dell'HDPE. I criteri di valutazione possono essere utilizzati per una valutazione preliminare dell'HDPE riciclato post-consumo a contatto con gli alimenti. Sulla base della valutazione, il riciclo dei tappi in HDPE deve essere presentato come nuova tecnologia ai sensi del R. (UE) 2022/1616.



Article

### Recycling of Post-Consumer HDPE Bottle Caps into New Caps for Food Contact

Frank Welle

Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging (IVV), Giggenhauser Straße 35,  
85354 Freising, Germany; frank.welle@ivv.fraunhofer.de

#### Abstract

HDPE caps are collected together with PET bottles, which have been recycled into new bottles for decades. Due to Deposit Return Schemes, the bottle caps are sorted by type and are suitable to be recycled again for sensitive applications e.g., food contact. While there are evaluation criteria for mechanical PET recycling processes, no such evaluation criteria have been published for recycled HDPE caps in food contact. As part of the study, possible evaluation criteria are derived from other polymers or applications and critically discussed. Recycling of post-consumer caps from beverage bottles into new HDPE caps in direct contact with food is realistic even if worst-case considerations on the evaluation criteria are applied. The required cleaning efficiencies are within a range that is technically

*Recycling* **2025**, *10*, 197

<https://doi.org/10.3390/recycling10060197>

<https://www.mdpi.com/2313-4321/10/6/197>

## Waste-Driven Design (WDD): un approccio transdisciplinare allo sviluppo delle materie prime: uno studio di caso sulla trasformazione degli scarti degli imballaggi alimentari in un materiale di seconda generazione.

Questo lavoro indaga le potenzialità progettuali dei rifiuti plastici post-consumo attraverso il metodo Waste Driven Design (WDD), sviluppato presso l'Università IUAV di Venezia e implementato sia in contesti sperimentali che semi-industriali. WDD propone un approccio localizzato e transdisciplinare, in cui i rifiuti non sono più considerati come un materiale da scartare, ma come una risorsa da esplorare, trasformare e valorizzare. Vengono esaminate le fasi del processo, dalla raccolta e catalogazione dei rifiuti alla produzione delle lastre pressate, che vengono testate in varie condizioni e finiture.



sustainability



Article

### Waste-Driven Design (WDD): A Transdisciplinary Approach to Raw Material Development—A Case Study on Transforming Food Packaging Waste into a Second-Generation Material

Davide Crippa <sup>1,\*</sup>, Carmen Digiorio Giannitto <sup>1,2</sup> , Barbara Di Prete <sup>1,3</sup> and Massimiliano Cason Villa <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Design Cultures, Università Iuav di Venezia, 30135 Venice, Italy;

cdigiorgiannitto@iuav.it (C.D.G.); barbara.diprete@polimi.it (B.D.P.); mcasonvilla@iuav.it (M.C.V.)

<sup>2</sup> Department of Architecture and Industrial Design, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, 81100 Caserta, Italy

<sup>3</sup> Department of Design, Politecnico di Milano, 20133 Milano, Italy

\* Correspondence: dcrippa@iuav.it

#### Abstract

This paper investigates the design potential of post-consumer plastic waste through the Waste Driven Design (WDD) method, developed at IUAV University of Venice and implemented in both experimental and semi-industrial contexts. WDD proposes a situated and transdisciplinary approach, where waste is no longer regarded as a material to be discarded, but as a resource to be explored, transformed, and valorised. Using the Marble CAP case study—a new material derived from non-recyclable food packaging—the paper presents an iterative and scalable design process that combines technical experimentation, material storytelling, and application potential. The stages of the process are examined, from waste collection and cataloguing to the production of pressed sheets, which are tested



Via Cosimo Del Fante 10 - 20122 Milano - Tel. +39 02 58319624

C.F: 97870780158

[segreteria@fondazionepackaging.org](mailto:segreteria@fondazionepackaging.org) - [www.fondazionecartaeticapackaging.org](http://www.fondazionecartaeticapackaging.org)