



ECONOMIA VERDE, CIRCOLARE E RIGENERATIVA: RICERCA, INNOVAZIONE E NUOVE *POLICIES*

- *Gestione e valorizzazione dei rifiuti*
- *Economia circolare entro le principali filiere industriali*
- *Gestione e valorizzazione della risorsa idrica*
- *Bonifica sostenibile e rigenerazione dei siti inquinati*
- *Bioeconomia: il settore foresta legno*
- *Monitoraggio e controllo ambientale*

www.ecomondo.com

Atti dei convegni aperti a *call for papers* a cura di Fabio Fava



Fabio Fava (1963), laurea in Chimica e Tecnologia Farmaceutiche, Dottorato Europeo in Biotecnologie ambientali e *Laurea Honoris Causa* in Ingegneria ambientale, è Professore ordinario di “Biotecnologie industriali ed ambientali” presso la Scuola di Ingegneria dell’*Alma Mater Studiorum*-Università di Bologna dal 2005. Si interessa dello sviluppo ed ottimizzazione di processi biotecnologici per la decontaminazione di matrici ambientali inquinate e per la produzione di composti chimici, materiali e combustibili biobased da sottoprodotti e scarti dell’agroindustria. Ha partecipato a diversi progetti di ricerca europei (FP7) e nazionali e la sua produzione scientifica è documentata da oltre 300 lavori di cui oltre 200 su riviste internazionali di medio-alto IF. È il Delegato del Comitato di Biosicurezza, Biotecnologie e Scienze della Vita della Presidenza del Consiglio dei Ministri nel *Working Party on Biotechnology, Nanotechnology and Converging Technologies* presso l’OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) e Delegato del Ministero dell’Università e della Ricerca nell’ambito delle iniziative per la crescita blu del Mediterraneo BLUEMED, EUSAIR e WESTMED. È stato membro del *High Level Group on Key Enabling Technologies* e del *Expert Group on Biobased products* entrambi della *DG GROW* (precedentemente *DG Enterprise and Industry*) della Commissione Europea ed è stato membro del *Expert Group on Eco-industries* del *JRC Directorate* della stessa Commissione. Inoltre è stato il Rappresentante italiano nel comitato di programma *Horizon2020 Societal Challenge 2: European Bioeconomy Challenges: Food Security, Sustainable Agriculture and Forestry, Marine, Maritime and inland water research* presso la Commissione Europea (DG RTD) e nell’ambito dello “*State Representative Group*” della “*Public Private Partnership (JTI) Biobased Industry*” ed ora è senior expert del Comitato di Programma del *Cluster 6: Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment* di *Horizon EU* e delegato italiano e vice chair dello *State Representative Group* della “*Public Private Partnership Circular Biobased Europe*”. In aggiunta è il coordinatore scientifico della strategia nazionale per la Bioeconomia e dell’annesso Piano di implementazione nonché il coordinatore del “Gruppo di Coordinamento Nazionale per la Bioeconomia” istituito presso il “Comitato di Biosicurezza, Biotecnologie e Scienza della Vita” della Presidenza del Consiglio dei Ministri. Infine è il Presidente del Comitato scientifico/tecnico di Ecomondo dal 2013.



© Copyright 2022 by Maggioli S.p.A.

Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.

Azienda con sistema di gestione qualità certificato ISO 9001: 2015

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8

Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

www.maggioli.it/servizioclienti

e-mail: clienti.editore@maggioli.it

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione
e di adattamento, totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

Codice: 978.88.916.6123.4

Indice

7	Editoriale
9	GESTIONE E VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR RECYCLING AND RECOVERY (INTERNATIONAL EVENT)
11	AraBat: a green hydrometallurgical process for recycling spent lithium-ion batteries by reusing agri-food waste <i>di Raffaele Nacchiero, Leonardo Binetti, Gian Maria Gasperi, Giovanni Miccolis, Leonardo Renna, Vincenzo Scarano, Francesco Contillo, Paolo Marasco, Mauro Marone, Deborah Racca, Matteo Francavilla</i>
18	CISUFLO: Circular Sustainable Flooring <i>di Ine De Vilder, Luca Bertamini, Madeira Scauri, Marco De La Feld</i>
24	Supercritical water precipitation for metal recovery and recycling: an advanced solution to improve the supply chain sustainability in the surface treatment industry <i>di Carlotta Micale, Dario Mosconi, Riccardo Momoli, Marco Bersani</i>
31	CIRCULAR BIOCARBON: Turning carbon of complex organic urban waste streams into value-added products <i>di Natalia Alfaro, María Luisa Álvarez</i>
38	Circular economy as a good answer to crises: the CESME project <i>di Valeria Stacchini</i>
45	LCA of Concrete Made with Recycled Peritoneal Dialysis Plastic as Aggregate Material <i>di Benedetta Copertaro, Rebecca Craine, Evangeline Buckmaster, Jakob Winkler, Vanessa O'Brien, Thomas Pickard, Olivia Flower, Louise Bardwell, Gianluca Magrini, Ryan Pike</i>
52	Informare i cittadini sulla raccolta differenziata in maniera smart: il caso junker app <i>di Noemi De Santis</i>
59	Analisi del comportamento dei cittadini nei processi di raccolta differenziata <i>di Sebastiano Mangiagli</i>
65	La transizione ecologica parte dalle scuole? Un approccio didattico all'economia circolare <i>di Francesca Realini, Giuseppa Cucchiara, Angelo Gulotta</i>
73	XXIV CONFERENZA NAZIONALE SUL COMPOSTAGGIO E LA DIGESTIONE ANAEROBICA

- 75 Digitalizzazione del Biometano. Casi studio: Biometano 4.0 agricolo e da FORSU di *Gianluca Fusillo, Giuseppe Lorusso, Nicola Prunella, Miriam Sorbo*
- 81 Digestato da FORSU: valutazione della stabilità di nuovi materiali fertilizzanti di *Erika Sinisgalli, Mirco Garuti, Mariangela Soldano, Sergio Piccinini*
- 89 Risultati operativi di produzione di biogas da FORSU di *Pietro Paolo Cella Mazzariol, Gian Francesco Galanzino, Elisa Vittoria Ghiggini, Pierfrancesco Pitardi*
- 97 STRUMENTI OPERATIVI E DI VALUTAZIONE PER LA GESTIONE DI MATERIALI ED ENERGIA IN UN'ECONOMIA CIRCOLARE
- 99 Sistemi di Gestione Integrata per il recupero dei materiali da Veicoli Fuori Uso abbandonati di *Luca Pomili, Alessio Fabrizi*
- 105 Life cycle assessment of a decentralised approach to dairy by-product valorisation: opportunities for sustainable intensification and circularity di *Eric Mehner, Mentore Vaccari, Daniele Pizzichini, Valentina Fantin*
- 112 Materiale di Riporto e consumo di suolo: criticità della normativa italiana di *Eugenio Capponi*
- 118 Screening via drone di una discarica di RSU per la ricerca dei punti di emissione di metano di *Giuseppe Tassielli, Bruno Notarnicola, Pietro Alexander, Rosa Di Capua, Maurizio De Molfetta, Donatello Fosco*
- 124 Migliorare la sostenibilità ambientale. Il caso dei prodotti gicléeart di *Alfredo Ernesto Di Noia, Giuseppe Martino Nicoletti, Giulio Mario Cappelletti, Carlo Russo*
- 132 Pnrr, Pitesai e Crisi Ucraina, strumenti e acceleratori per la transizione ecologica: ma sarà davvero possibile? di *Tiziana Fiorella, Andrea Marega, Cristina Maria Celotto*
- 138 Piani di azione a supporto dei servizi per l'economia green e circolare di *Valeria Stacchini*
- 145 Il ruolo del green public procurement per favorire il riciclo e il recupero di *Alessandra Mascioli, Cristina Peretti*
- 152 Il Centro del Riutilizzo in una grande città: il caso Busto Arsizio (VA) di *Giorgio Ghiringhelli, Gianfranco Carraro, Claudia Colombo*
- 158 Gli obiettivi di riciclo nella pianificazione regionale: il caso della Regione Lombardia di *Giorgio Ghiringhelli, Michele Giavini, Elisa Amodeo, Silvia Colombo*
- 164 Il Testo Integrato della qualità del servizio di gestione dei rifiuti urbani (TQRIF) di ARERA: un'analisi empirica su un campione di gestioni di *Giorgio Ghiringhelli, Silvia Contri, Giuseppe Sbarbaro, Monica Benzi, Stefano Amandolesi*

- 171 La produzione dei rifiuti e influenza della tariffa puntuale *di Ernesto Infusino, Roberta Infusino*
- 178 L'economia circolare per la riqualificazione e l'innovazione dei mercati locali *di Marino Cavallo,*
- 185 Technical aspects in the evaluation of offshore CO₂ storage in depleted levels of hydrocarbon *di Romualdo Marrazzo, Francesco Astorri*
- 192 Recupero e valorizzazione di alghe infestanti per la produzione di sensori biocompatibili *di Massimo Mari, Carla Mazziotti, Antonella Macagnano*
- 199 **ECONOMIA CIRCOLARE ENTRO LE PRINCIPALI FILIERE INDUSTRIALI
LA SIMBIOSI INDUSTRIALE PER LA STRATEGIA NAZIONALE DI
ECONOMIA CIRCOLARE**
- 201 Circular economy application from the field to the net. Sustainable and innovative feeds from agricultural wastes for a resilient and high-quality aquaculture *di Germana Borsetta, Sauro Vittori, Alessandra Roncarati, Emanuela Frapiccini, Mauro Marini, Monica Panfili, Alessandra Campanelli, Pierluigi Penna, Giuseppe Meca, Khaled Taibi*
- 208 Misurare l'economia circolare nel settore agroalimentare: una panoramica delle review *di Valentino Tascione, Gavina Manca, Andrea Raggi, Luigia Petti*
- 215 L'importanza della co-progettazione nello sviluppo di un progetto di simbiosi industriale *di Elisa Amodeo, Giulia Detomati, Claudio Avella, Rita Trombin, Andrea Grillenzoni, Aleck Preti*
- 223 End of waste: l'esperienza applicativa *di Alessandra Carboni, Laura Conti, Francesca Sala*
- 229 **GESTIONE E VALORIZZAZIONE DELLA RISORSA IDRICA
ZERO POLLUTED AND CIRCULAR WATER - GESTIONE, TRATTAMENTO
E VALORIZZAZIONE DEI FANGHI DI DEPURAZIONE**
- 231 Bioconversion of urban sewage sludge mediated by larvae of black soldier fly, *Hermetia illucens* *di Silvia Arnone, Massimiliano De Mei, Francesco Petrazzuolo, Sergio Musmeci, Paolo Bonilauri, Annalisa Grisendi, Michele Curatolo, Francesco Defilippo, Lorenzo Tonelli, Andrea Salvicchi*
- 237 Potenziale dei trattamenti idrotermici propedeutici all'incenerimento dei fanghi di depurazione *di Federico Viganò, A. Conversano, M. Gabba, M. Zatti, M. Sbaffi, F. Cella*
- 245 **ZERO POLLUTED AND CIRCULAR WATER - INQUINANTI EMERGENTI
(PFAS E SOSTANZE CHIMICHE PERSISTENTI E/O MOBILI – PM, MICRO-
PLASTICHE, SOSTANZE ANTIBIOTICO-RESISTENTI): DIFFUSIONE, DE-
STINO, SALUTE E GESTIONE DEL RISCHIO AMBIENTALE**

- 247 Trattamento termico di PFAS in matrici liquide *di Mantovani Marco, Zanetti Nicola, Della Zassa Micol, Beltrame Davide, Zerlottin Mirco, Canu Paolo*
- 254 Rimozione del boro da acque di strato mediante lisciviato di ceneri pesanti e Ca(OH)_2 *di Carlo Limonti, Giulia Maria Curcio, Francesco Marchio, Alessio Siciliano*
- 261 O3 nei depuratori delle acque reflue: una nuova visione verso migliori prestazioni e minori costi *di Riccardo Calvi, Pier Luigi Radavelli*
- 269 WATER PROJECT EUROPE - CHALLENGES AND ECO-INNOVATION ACTIONS ADDRESSING WATER SCARCITY AND DROUGHT IN MEDITERRANEAN COUNTRIES (INTERNATIONAL EVENT)
- 271 A Water Utility Data- Driven Analytical Software for Water & Wastewater Networks *di Pietro Oliva, Cedric Macleod*
- 277 Measuring the water stress in the agricultural sector. An application for Mediterranean area towards Circular Economy *di Tiziana Crovella, Giovanni Lagioia, Annarita Paiano*
- 284 Assessing Sustainability in Reusing of a Treated Wastewater for Irrigation *di Carlo Russo, Piervito Bianchi, Giulio Mario Cappelletti, Alfredo Ernesto Di Noia, Luca Grilli*
- 291 BONIFICA SOSTENIBILE E RIGENERAZIONE DEI SITI INQUINATI
**STRATEGIE SOSTENIBILI PER LA BONIFICA DEI SITI INQUINATI:
ESEMPI VIRTUOSI E RECENTI EVOLUZIONI DELLA RICERCA
APPLICATA NAZIONALE E INTERNAZIONALE**
- 293 La bonifica di un sito inquinato con l'impiego di idonee soluzioni tecnico operative *di Antonella Lomoro, Gen. B.CC Giuseppe Vadalà, Magg. Aldo Papotto, Ten. Col. Nino Tarantino, ing. arch. Francesco Berardi*
- 301 BIOECONOMIA: IL SETTORE FORESTA LEGNO
**NUOVE FRONTIERE PER LE FILIERE FORESTALI: POLICY E
GOVERNANCE PER DARE VALORE AD UNA RISORSA STRATEGICA
PER IL NOSTRO PAESE**
- 303 Foreste metropolitane: strumenti e progetti sviluppati dalla Città metropolitana di Bologna *di Valeria Stacchini*
- 310 Tutela della Biodiversità per INWIT: impatti e opportunità - Position Paper *di Emanuele Cardinale, David Giraldi*
- 317 Biomateriali da nanotecnologie per il recupero di scarti della filiera agroforestali *di Antonella Macagnano, Massimo Mari, Fabrizio De Cesare, Daniele Bianconi*

- 323 **MONITORAGGIO E CONTROLLO AMBIENTALE**
EMISSIONI ODORIGENE: DALLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO
ALLE NUOVE STRATEGIE DI CONTROLLO
- 325 Nuove frontiere nella caratterizzazione delle emissioni odorigene da cumuli di biomassa legnosa *di Francesca Tagliaferri, Marzio Invernizzi, Selena Sironi*
- 332 Analisi chimica di composti odorigeni mediante TD-GC-MS/FID/PFPD *di Elisa Polvara, Daniele Morosini, Marzio Invernizzi, Selena Sironi*
- 338 Il radon negli ambienti di vita confinati e gli interventi di efficientamento energetico degli edifici *di Francesca De Maio, Silva Brini, Elisabetta De Maio, Giuliana Giardi, Arianna Lepore, Daniela Santonico, Barbara Castrucci, Giuditta Garziano*
- 345 I controlli di ARPA Lombardia sulle spedizioni transfrontaliere di rifiuti inerti provenienti dal Canton Ticino (Svizzera - CH) *di Roberta Meroni, Lorena Cozzi, Marco Ciccarelli*
- 351 Il progetto S.AVA.GE.R. - Sorveglianza Avanzata Gestione Rifiuti *di Nadia Fibbiani, Dario Bellingeri, Alessandro Loda*
- 359 LA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR: LE SORGENTI DI EMISSIONI, I RICAMBI DELL'ARIA, L'EFFICIENZA ENERGETICA E LE NUOVE TECNOLOGIE NEL CONTROLLO E MONITORAGGIO
- 361 Analysis of the relationship between environmental fine PM concentrations and indoor air quality *di Lorena Nappa, Gian Marco Sabatucci, Alessandro Peruzzi, Andrea Lanna, Giuseppe Molinaro*
- 367 An indoor case study: analysis of fragrances in a house during cleaning operations and under normal conditions *di Serena Santoro, Marina Cerasa, Paola Romagnoli, Massimiliano Frattoni, Paolo Ceci, Catia Balducci*
- 374 Smart information on air quality: strengths and weaknesses of information circulating around the world *di Alessandra Fino, Francesca Vichi, Cristina Leonardi*
- 381 Inquinanti organici in ambienti indoor in università italiane *di Paola Romagnoli, Catia Balducci, Marina Cerasa, Mattia Perilli, Angelo Cecinato*
- 389 Andamento stagionale del PM_{2.5} e degli IPA in un appartamento ed effetti del lockdown da CoViD-19 *di Catia Balducci, Angelo Cecinato, Paolo Ceci, Paola Romagnoli, Mattia Perilli, Serena Santoro, Marina Cerasa*
- 396 Qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici: progetto SIAQ (School Indoor Air Quality) *di Claudio Bosio, Daniele Modonese, Valter Pellizzari, Elisa Cecere, Del Din., Gabriel Faustin, Mattia Franzoi, Ludovica Frascchetta, Devid Frasnelli, Syria Giacomini, Sirio Giovannini, Francesco Lazzarotto, Camilla Lazzeri, Daniele Manca, Martina Mazzarelli, Timoteo Tomio, Davide Volcan, Paolo Burzacca, Massimo Donegà, Werner Tirler, Enrico Vucemillo, Giovanni Pernigotto*

- 403 LA VALUTAZIONE DI IMPATTO SANITARIO (VIS): LA COLLABORAZIONE TRA LE ISTITUZIONI NAZIONALI E LE REGIONI NELL'APPROFONDIMENTO DELLE LINEE GUIDA ISS
- 405 Metodi e approcci per la gestione e tutela dei servizi ecosistemici dei suoli nei cantieri *di Andrea Monti, Elena Ballabio, Elena Castelli, Erika De Finis, Alessia Mariotto, Elisa Nava, Valeria Spirolazzi*
- 413 Indoor Air Quality e Smart Building: sinergie e opportunità *di Andrea Lanna, Giuseppe Santoro, Lorena Nappa, Luca Alberto Piterà, Michele Rossi, Nicolas Fernando Marrugo Cardenas, Umberto Paracchini*

Biomateriali da nanotecnologie per il recupero di scarti della filiera agroforestali

Antonella Macagnano (CNR - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico – Roma - antonella.macagnano@cnr.it); Massimo Mari (CNR - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico – Roma - massimo.mari@cnr.it); Fabrizio De Cesare (Università della Tuscia – DIBAF – Viterbo - fabrizio.decesare@iia.cnr.it); Daniele Bianconi (CNR - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico – Roma - bianconi@iia.cnr.it)

Riassunto

La Commissione Europea, in particolare attraverso la nuova PAC, intende garantire un'agricoltura e una selvicoltura sostenibile dal punto di vista economico, sociale e ambientale, riservando gran parte delle risorse per azioni per il clima. In questo contesto, l'eccezionale valore del capitale naturale nazionale offre terreno fertile per uno sviluppo esponenziale dei settori e delle filiere afferenti alla bioeconomia, orientato da un'accurata analisi socio-territoriale. L'Istituto sull'inquinamento atmosferico (IIA) del CNR, attraverso il proprio know-how, tecnologie e strutture, è in grado di permettere il recupero di molteplici tipologie di scarto agroalimentare e agroforestale attualmente destinate a smaltimento. La tecnologia dell'elettrofilatura permette il recupero di "materia prima seconda" da varie tipologie di scarto biologico da reinserire nel ciclo produttivo. Il processo è in grado di realizzare una pletora di combinazioni dei componenti residui in prodotti nanostrutturati, di particolare interesse per la creazione di coating attivi (es. a lento rilascio, proprietà antimicrobica, ecc.) anche per la protezione di manufatti lignei o di prodotti della filiera. Inoltre, con la medesima tecnologia, l'utilizzo degli stessi scarti, in miscele differenti, possono essere destinati allo sviluppo di sistemi multifunzionali intelligenti per una agricoltura sostenibile e competitiva, spesso senza l'utilizzo di solventi tossici e processi particolarmente energivori.

Summary

The European Commission, particularly through the new CAP, intends to ensure economically, socially and environmentally sustainable agriculture and forestry by reserving a large part of resources for climate actions. In this context, the exceptional value of national natural capital provides fertile ground for exponential development of sectors and supply chains related to the bioeconomy, guided by careful socio-territorial analysis. CNR's Institute on Air Pollution (IIA), through its know-how, technologies and facilities, is able to enable the recovery of multiple types of agribusiness and agroforestry waste currently destined for disposal. Electrospinning technology allows the recovery of "second raw material" from various types of biological waste to be reintroduced into the production cycle. The process is able to realize a plethora of combinations of the residual components into nanostructured products, which are of particular interest for creating active coatings (e.g., slow release, antimicrobial properties, etc.) also for the protection of wooden artifacts or supply chain products. In addition, with the same technology, the use of the same wastes, in different mixtures, can be used for the development of smart multifunctional

systems for sustainable and competitive agriculture, often without the use of toxic solvents and particularly energy-intensive processes.

1. Introduzione

La pandemia da Covid-19 ha avuto gravi ripercussioni a livello economico e sociale, che hanno reso necessaria un'azione urgente da parte delle Istituzioni europee. A tal fine, è stato messo a disposizione il *Next Generation EU* (NGEU) che ha l'obiettivo di stimolare la ripresa dell'Europa in un'ottica più moderna e sostenibile. In Italia il *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza* (PNRR) prevede lo stanziamento di risorse specifiche per l'innovazione *green* dei sistemi agricoli e agroalimentari. Sono previsti, ad esempio, interventi per il potenziamento del riciclo dei rifiuti, programmi di investimento per le fonti di energia rinnovabili e per la gestione sostenibile delle risorse. In sinergia con il *Green Deal* la Commissione Europea, in particolare attraverso la nuova PAC, intende garantire un'agricoltura e una selvicoltura sostenibile dal punto di vista economico, sociale e ambientale, riservando gran parte delle risorse per azioni per il clima. La nuova PAC dovrà contribuire alla maggior ambizione ambientale dell'UE, attraverso un'ampia gamma di interventi mirati a esigenze specifiche e risultati tangibili, in modo particolare al *Green Deal*. Per raggiungere tale target il 40% del bilancio della PAC dovrà essere destinato a spese a favore di clima e ambiente, e il 10% agli obiettivi di biodiversità entro fine periodo 2021-2027.

La nuova riforma della PAC impegna gli agricoltori verso obiettivi molto ambiziosi. Sotto il profilo ambientale viene chiesto loro di accelerare ulteriormente lo sforzo verso la riduzione della chimica in agricoltura e degli antimicrobici negli allevamenti. A tal fine, per esempio, è stato inserito il tema "ECO 2 - Inerbimento delle colture arboree" tra i 5 *eco-schemi* citati come priorità del PSN. L'ECO2 riguarda le superfici agricole destinate a colture permanenti (legnose agrarie) e ad altre specie arboree permanenti a rotazione rapida. Attraverso questo strumento verranno incentivati gli agricoltori all'adozione di pratiche più ambiziose, allo scopo di mitigare l'effetto dei cambiamenti climatici, implementare il sequestro di carbonio e diminuire, per quanto possibile, l'erosione del suolo [1].

L'architettura della nuova PAC si basa su un modello secondo cui l'UE stabilisce obiettivi e i requisiti di base, mentre gli Stati membri sono responsabili del modo con cui raggiungere gli obiettivi e i target finali, con l'elaborazione di un piano strategico nazionale (PSN). Il PSN italiano contiene 31 impegni agro-ambientali tra cui possiamo sottolineare:

- l'ACA4 - Apporto di sostanza organica nei suoli. L'intervento prevede un aiuto per i beneficiari che si impegnano a migliorare le caratteristiche strutturali e chimico-fisiche dei suoli agricoli mediante l'apporto e il mantenimento diretto di sostanza organica;
- l'ACA19 - Riduzione impiego fitofarmaci. L'intervento intende ridurre la deriva di prodotti fitosanitari durante la loro distribuzione e la eliminazione/riduzione dei fitofarmaci individuati come più pericolosi nel "Piano di azione nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari" (DM 22 gennaio 2014);
- l'ACA24 - Pratiche di agricoltura di precisione. L'intervento prevede un pagamento annuale per ettaro di SAU per l'adozione di tecniche di agricoltura di precisione ("Linee Guida Nazionali per lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione in Italia", approvate con D.M. del 22 dicembre 2017). La raccolta, la gestione e l'integrazione di dati satellitari, meteorologici, da droni e da sensori in campo con i dati relativi alle operazioni colturali, riduce il rischio di inquinamento e degrado ambientale connesso all'uso dei prodotti fitosanitari e dei fertilizzanti e promuove l'uso razionale dell'acqua per l'irrigazione.

2. Relazione

Nel contesto brevemente descritto il CNR ha individuato delle Linee Guida derivanti “dall’analisi dei settori su cui vi è maggiore necessità di impiego di tecnologie per consolidare e potenziare filiere economiche, per garantire un miglioramento della qualità della vita dei cittadini, per creare le condizioni per uno sviluppo innovativo e sostenibile di settori portanti per l’economia italiana e per fronteggiare emergenze ambientali” che sottolineano come l’agricoltura sia uno dei settori maggiormente colpiti dalla pandemia, risultando presente in almeno due delle tematiche dei Piani Strategici. Uno di questi evidenzia al riguardo l’urgenza di “Riprogrammare le filiere agro-alimentari dopo la pandemia COVID-19” a partire da conoscenze interdisciplinari per implementare un’agricoltura più efficiente e produttiva e che garantisca l’uso sostenibile delle risorse scarse e che presumibilmente diventeranno sempre più limitanti a causa dei cambiamenti climatici e dell’aumento della popolazione (acqua, suolo, fertilizzanti, energia). Per dare attuazione alle Linee guida del CNR le attività di ricerca dell’Istituto sull’Inquinamento Atmosferico (IIA) del CNR si sono maggiormente concentrate sull’ideazione di progetti di “bioeconomia circolare” che, grazie all’utilizzo di tecnologie innovative, possano permettere la rivalutazione di scarti di origine agro alimentare e agroforestale ai fini di un loro pronto reinserimento nei cicli di produzione e consumo. Il progetto strategico “TERRE”, di seguito illustrato, intende conseguire un duplice obiettivo, in termini di circolarità: la prevenzione di rifiuti inquinanti (ad es. plastici) e il recupero degli scarti agro alimentari ed agroforestali che potranno essere reinseriti nel ciclo produttivo, con conseguenti vantaggi in termini sia ambientali che economici. Le soluzioni proposte nel presente lavoro si configurano in linea con i principi cardine in materia di economia circolare [2][3][4][5]

2.1 Il progetto di ricerca applicata “TERRE”

TERRE propone un modello bioispirato multifunzionale implementabile con una tecnologia basata sui principi dell’elettrofilatura polimerica per ottenere dei dispositivi nanofibrosi versatili e modulabili in una pletera di architetture (garze, tessuti, reti, vasi) e combinazioni chimiche per applicazioni in sistemi agricoli [6,7]. Tali dispositivi potranno essere facilmente sviluppabili utilizzando come risorse principali alcune categorie di scarti agro-industriali ed agroforestali. Essi saranno attivati sia con agenti nano-biostimolanti (dedicati allo sviluppo delle coltivazioni), sia con agenti “sensibili” (sviluppo di sensori) alle variazioni gassose/volatili (volatolomica) dell’ecosistema suolo-pianta, divenendo un modello innovativo per migliorare l’infrastruttura tecnologica delle pratiche agricole. Infatti, la combinazione di prodotti innovativi per l’agricoltura con sensori in grado di monitorare il loro stesso funzionamento, manterrà la competitività dei raccolti e delle aziende agricole, migliorando, nello stesso tempo, la protezione delle risorse naturali e del suolo. Il modello proposto in TERRE è inoltre guidato da un approccio waste-to-wealth, dove tutti i prodotti vengono riutilizzati, come in natura, in un modello circolare di valorizzazione dei rifiuti. Quindi, per esempio, scarti agro-industriali (gusci di frutta secca) o biomasse infestanti (macroalghe nelle lagune) o residui di processi biotecnologici (pareti di lieviti e funghi) diventeranno la base per nuove risorse “intelligenti” da riutilizzare in sistemi agricoli sostenibili e controllati.

2.2 La tecnologia dell’elettrofilatura

L’eccezionale flessibilità dell’elettrofilatura permette di ottenere materiali polimerici nanostrutturati ad architettura controllata a partire da microorganismi, piante, alghe e da numerosissimi scarti del settore agroalimentare (Fig.1). I prodotti possono essere progettati con spessore (da mm a cm) e dimensioni modulabili (da alcuni cm a decine di metri), e presentano un intricato network di fibre tridimensionali interconnesse tra di loro. La tecnica risulta assai vantaggiosa in quanto è molto rapida e permette di ottenere un campione già secco (cioè senza

la presenza di solvente) in modo da poter evitare successivi e costosi processi di essiccazione. Inoltre, i materiali elettrofilati (ESNf) offrono molti vantaggi, sia strutturali che funzionali, grazie all'elevato rapporto superficie-volume. D'altra parte, alcuni loro vantaggi funzionali risiedono in una maggiore stabilità delle molecole bioattive e la possibilità di ottenere un rilascio controllato delle molecole incorporate. L'elettrofilatura è inoltre una tecnologia riproducibile, a costi contenuti e scalabile a livello industriale: attraverso l'applicazione di un campo elettrico, è in grado di produrre nano-microfibre a partire da soluzioni polimeriche normali o composite.

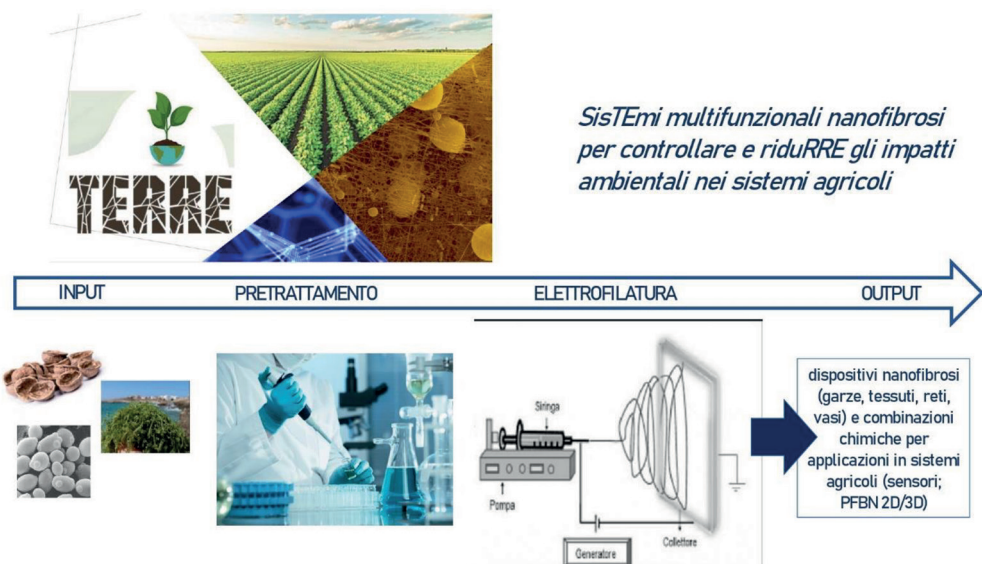


Fig. 1 – Rappresentazione grafica del trattamento con electrospinning di alcuni esempi di scarti agro alimentari per la realizzazione di polimeri ecocompatibili da reinserire nel ciclo produttivo.

Tale tecnologia permette di selezionare i materiali di scarto oggetto del trattamento funzionale e la loro reintroduzione nel ciclo produttivo in base alla loro reale disponibilità sul territorio ed al livello di criticità connesso alle modalità di smaltimento del rifiuto. Questo, specie nel lungo periodo, favorisce senza alcun dubbio la massimizzazione dei risultati attesi in termini di benefici ambientali e vantaggi economici per il sistema. Un ulteriore contributo alla riduzione dell'impatto ambientale viene dato dall'utilizzo di solventi eco-friendly durante la procedura di produzione.

2.3 Scarti agroalimentari selezionati

Diverse considerazioni in merito alla natura ed alle caratteristiche proprie dello scarto agro alimentare considerato, nonché il livello di disponibilità territoriale e di problematicità connessa al trattamento dello stesso, hanno orientato la selezione dei rifiuti da sottoporre a trattamento con elettrofilatura funzionale al recupero nell'ambito dei progetti di ricerca dell'IIA. Alcune delle biomasse di scarto selezionate sono: alghe marine infestanti (ricche di biopolimeri quali alginati, polimeri solforati (es. carragenani) e polifenoli (es. flavonoidi) con proprietà funzionali e strutturali); scarti derivanti dalla lavorazione delle noci e delle nocciole (contenenti residui ligneo-cellulosici (emicellulosa, cellulosa, lignina), tannini e oli, cere vegetali); scarti di origine vegetale (contenenti residui di cellulosa, emicellulosa e lignina, mono- ed oligosaccari-

di); antocianine, clorofille, polifenoli, carotenoidi, tannini (componenti funzionali)); pareti di lieviti e funghi (chitina, chitosano).

2.4 Innovazione ed Applicazioni proposte

Considerando che il campo applicativo è quello agricolo, i prodotti proposti in questo progetto come innovazioni rispetto a quelli presenti in commercio ricadono nelle categorie dei nano(bio)fertilizzanti e nano(bio)stimolanti.

1. Nanomateriali. La notevole flessibilità e adattabilità della tecnologia adottata è in grado di generare una molteplicità di forme e soluzioni 2D/3D, con vario grado di porosità e superficie specifica, consentendo la realizzazione di un'ampia varietà di polimeri nanofibrosi per varie necessità applicative (dal supporto alla nutrizione al contrasto di patologie).

2. Microrganismi. I biotessuti nanofibrosi possono essere progettati per creare un ambiente protetto per le popolazioni microbiche selezionate ed in esso inglobate, garantendo un maggior successo di sopravvivenza nell'ambiente, e quindi dell'efficacia, del dispositivo prodotto, rispetto ai preparati commerciali.

3. Molteplicità di prodotti. La variabilità e numerosità dei biopolimeri e dei biostimolanti ricavabili dai rifiuti/scarti in funzione della loro tipologia e disponibilità (variabile anche in base alla stagionalità e alla regionalità) consentirà loro una molteplicità di utilizzazioni (strutturali o funzionali), ampliando grandemente la tipologia dei tessuti realizzabili.

2.5 Ecosostenibilità ed Ecocompatibilità

La possibilità di creare in TERRE dei tessuti 2D/3D (ESNf) per vari utilizzi in ambito agricolo, realizzati con componenti biodegradabili naturali, permetterà strategie costruttive mirate ad un lento rilascio dei componenti bioattivi funzionali e di conseguenza consentirà di ottenere degli strumenti per l'agricoltura con un impatto molto basso sugli ecosistemi quindi ecocompatibili ed ecosostenibili. I principali vantaggi, nel breve e nel lungo periodo sono riportati nell'analisi SWOT (Fig.2).

Progetto «TERRE» - analisi S.W.O.T.			
Strengths (punti di forza nel breve periodo)		Weaknesses (punti di debolezza nel breve periodo)	
✓ Riduzione rifiuti biologici provenienti da attività del settore agroalimentare ✓ Riduzione dell'inquinamento prodotto dalle attività agricole coinvolte ✓ Rafforzamento di filiere di produzione agricola a ridotto impatto ambientale ✓ Acquisizione ed ampliamento di conoscenze in materia di ricerca industriale, di ecodesign, innovazione produttiva e sfruttamento di risorse biologiche ecocompatibili ✓ Valorizzazione di materiale organico di scarto		✓ Eventuali problematiche tecniche legate al processing, alla funzionalizzazione ed alla caratterizzazione degli scarti biologici utilizzati (da risolvere grazie all'esperienza e le competenze del personale di ricerca coinvolto)	
Opportunities (opportunità nel medio-lungo periodo)		Threats (minacce nel medio-lungo periodo)	
✓ Minimizzazione rifiuti biologici provenienti da attività del settore agroalimentare ✓ Riduzione dell'inquinamento prodotto dall'uso di fertilizzanti e pesticidi in agricoltura ✓ Contributo al raggiungimento degli obiettivi nazionali in materia di economia circolare e trattamento rifiuti ✓ Rafforzamento filiera locale di gestione rifiuti del settore agroalimentare ✓ Innovazione del processo produttivo delle aziende coinvolte ✓ Contributo alla crescita/innovazione sostenibile dei settori afferenti alla bioeconomia		✓ Assoluta rispondenza dei prodotti realizzati attraverso l'ecodesign in progettazione alle esigenze di carattere tecnico, da verificare attraverso specifici test tecnici e di mercato ✓ Costi per innovazioni di processo (nell'ambito del trasferimento dei risultati su scala industriale)	

Fig. 2 – L'analisi S.W.O.T. relativa a TERRE consente di rilevare sinteticamente le principali caratteristiche, i vantaggi attesi e le possibili criticità connesse all'implementazione delle attività progettuali previste, con un orizzonte temporale sia di breve che di medio-lungo periodo (>5 anni)

TERRE è caratterizzato da un approccio sistemico volto alla valorizzazione di scarti di natura organica nonché all'innovazione dei cicli produttivi in applicazione dei principi e dei fondamenti propri dell'economia circolare. Tale approccio è da considerarsi ancora più virtuoso in quanto gli output del progetto terre trovano uno sbocco di mercato, dando luogo ad una valorizzazione degli scarti selezionati (c.d. upcycling). Il recupero di sostanze da scarti agro-alimentari e agro-industriali consentirà di restituire valore a tali scarti non solo prolungandone il ciclo vitale ma assegnando ad essi anche un notevole valore aggiunto costituito dalla loro partecipazione a prodotti funzionali avanzati (bio)tecnologici non presenti sul mercato. Inoltre, dagli scarti agroalimentari verranno creati prodotti riutilizzabili nello stesso contesto produttivo da cui sono stati generati (coltivazione agricola → scarto agricolo → ESNf → coltivazione agricola), con un utilizzo cioè tipologicamente identico a quello originario.

3. Conclusioni

Il progetto “TERRE” mira alla prevenzione ed alla minimizzazione del rifiuto, attraverso una progettazione ispirata all'ecodesign. Il progetto, da un lato, permetterà la rivalutazione di scarti organici di varia origine, selezionati in base al loro grado di disponibilità temporale/locale e di problematicità ambientale, da reintrodurre nel ciclo produttivo, dall'altro, consentirà la sostituzione di prodotti tradizionali impattanti con gli output generati.

Il progetto TERRE permetterà il conseguimento di evidenti vantaggi economici e sociali diretti dovuti al risparmio di risorse tradizionali nonché all'azzeramento dei costi di smaltimento. Vi saranno poi dei vantaggi economici indiretti connessi al rafforzamento ed al potenziamento dei settori legati alla bioeconomia. Il principale valore aggiunto di TERRE risiede nel collegare più innovazioni fra loro. In particolare la realizzazione di prodotti (bio)tecnologici efficienti (biofilm/lento rilascio/costo inferiore) creati per supportare la produttività dei sistemi agricoli viene coniugata con la riduzione dell'impatto ambientale (biodiversità, inquinamento, sostenibilità ecc) e con la necessità di prolungare il ciclo vitale dei beni di consumo (bioeconomia/economia sostenibile) restituendo valore a prodotti di scarto (rifiuti).

Bibliografia

- [1] La nuova PAC 2023-2027 – Il piano strategico nazionale dell'Italia – (2020). Coldiretti
- [2] **McKinsey, Ellen MacArthur foundation** (2015). Growth within a circular economy vision for a competitive Europe; <https://ellenmacarthurfoundation.org/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe>
- [3] **Ellen MacArthur foundation** (2013). Towards the circular economy Economic and business rationale for accelerated transition; https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport_McKinsey-Towards_A_Circular_Economy.pdf
- [4] **Mari M., Macagnano A., Mazziotti C., Renzi M., Spiga O., Santucci A., Fardelli A.** (2021). Exploitation of overrun macroalgae as model to lead the circular economy transition and the bioeconomy growth, CNR press monography; ISBN.978-88-622-4021-5
- [5] **De Cesare F. Di Mattia E., Zussman E., Macagnano A.** (2020). A 3D soil-like nanostructured fabric for the development of bacterial biofilms for agricultural and environmental uses, *Env Sci Nano* 7 (9) 2546-2572
- [6] **Macagnano, A.; Mari, M.; Scarascia-Mugnozza, G. ; De Cesare, F.** (2020). A sustainable model for agriculture based on nanofibrous biodegradable polymers mimicking natural strategies. 22nd EGU General Assembly, held online 4-8 May, 2020, id.19686. DOI. 10.5194/egusphere-egu2020-19686
- [7] **De Cesare, F., Pietrini, F., Zacchini, M., Scarascia Mugnozza, G., Macagnano A.** Catechol-Loading Nanofibrous Membranes for Eco-Friendly Iron Nutrition of Plants (2019) *Nanomaterials* 9(9), 1315; <https://doi.org/10.3390/nano9091315>.