

A cura di

MARIA CLAUDIA LUCCHETTI, MARIA FRANCESCA RENZI

QUALITÀ, INNOVAZIONE E SOSTENIBILITÀ NELLA FILIERA AGRO-ALIMENTARE

Il contributo delle Scienze Merceologiche



Roma TrE-Press
2025



Dipartimento di Economia Aziendale



- 1 *Analisi di bilancio. Un percorso di sintesi*
Marco Tutino
- 2 *Sindacati in un mondo globale*
Giampiero Bianchi
- 3 *Ideazione, sviluppo e marketing dei nuovi prodotti*
Carlo A. Pratesi, Andrea Geremicca
- 4 *Studi e ricerche del Dipartimento di Economia Aziendale 2023*
a cura di Alberto Pezzi
- 5 *Il consumatore: responsabile, attivo, partecipativo*
a cura di Fabio Bassan, Maddalena Rabitti
- 6 *Profili ragionieristici della contabilità nazionale*
Claudio Columbano
- 7 *Investment advice and sustainability. A survey on professional-client interactions*
Paola Soccorso, Massimo Caratelli
- 8 *Studi e Ricerche del Dipartimento di Economia Aziendale 2024*
a cura di Alberto Pezzi

Università degli Studi Roma Tre
Dipartimento di Economia Aziendale



9

COLLANA DEL DIPARTIMENTO
DI ECONOMIA AZIENDALE

QUALITÀ, INNOVAZIONE E SOSTENIBILITÀ NELLA FILIERA AGRO-ALIMENTARE

Il contributo delle Scienze Merceologiche

*Atti del Convegno dell'Associazione Italiana di Scienze Merceologiche
16-18 novembre 2023*

A cura di

MARIA CLAUDIA LUCCHETTI, MARIA FRANCESCA RENZI



Roma TrE-Press
2025

COLLANA DEL DIPARTIMENTO DI ECONOMIA AZIENDALE

Direttore

Alberto Pezzi

Comitato scientifico

Fabio Bassan, Elena Bellisario, Massimo Caratelli, Paolo Carbone, Marisa Cenci, Paola Demartini, Giustino Di Cecco, Franco Fiordelisi, Fabio Giulio Grandis, Maria Claudia Lucchetti, Michela Marchiori, Giuseppe Marini, Carlo Mottura, Tiziano Onesti, Mauro Paoloni, Alberto Pezzi, Carlo Alberto Pratesi, Daniele Previati, Sabrina Pucci, Maddalena Rabitti, Maria Francesca Renzi, Giuseppe Stemperini, Marco Tutino, Paolo Valensise.

Comitato editoriale

Giorgia Biferali, Massimo Caratelli, Rita Maria Michela D'Errico, Francesca Faggioni, Andrea Gheno, Lucia Marchegiani, Olimpia Martucci, Marco Tutino.

Coordinamento editoriale

Gruppo di Lavoro Roma TrE-Press©

Impaginazione e cura editoriale: Start Cantiere Grafico

Elaborazione grafica della copertina: Mosquito mosquitoroma.it MOSQUITO.

Edizioni: Roma TrE-Press©

Roma, marzo 2025

ISBN: 979-12-5977-448-4

<http://romatrepress.uniroma3.it>

Quest'opera è assoggettata alla disciplina Creative Commons attribution 4.0 International Licence (CC BY-NC-ND 4.0) che impone l'attribuzione della paternità dell'opera, proibisce di alterarla, trasformarla o usarla per produrre un'altra opera, e ne esclude l'uso per ricavarne un profitto commerciale.



L'attività della *Roma TrE-Press* è svolta nell'ambito della
Fondazione Roma Tre-Education, piazza della Repubblica 10, 00185 Roma.

Collana del Dipartimento di Economia Aziendale

Editorial Policy e descrizione dello scopo della Collana

La collana nasce con lo scopo di contribuire allo sviluppo e alla diffusione delle tematiche di gestione d'impresa: economico-aziendali, finanziarie, giuridiche e matematiche, valorizzando il pluralismo culturale e l'interdisciplinarietà presenti nel Dipartimento.

La collana è aperta a contributi che supportino il miglioramento della didattica dei corsi di studio universitari e post-universitari e favoriscano il dibattito tra il mondo delle imprese e il mondo accademico.

La collana accoglie contributi monografici e collettanei.

I volumi pubblicati nella collana sono sottoposti a referaggio affidato al Comitato editoriale.

I volumi pubblicati dalla collana sono liberamente accessibili in formato elettronico sul sito dell'editore Roma TrE-Press. La versione a stampa è acquistabile in modalità "Print on demand".

Le pubblicazioni hanno una numerazione progressiva ed eventuali richiami o citazioni ad essi devono riportare la denominazione estesa del contributo a cui si fa riferimento.

Indice

Smart Farming and Industry 5.0: enabling technologies and total productive maintenance for human-machine collaboration and sustainable production	15
di Cristina Ciliberto, Katarzyna Szopik-Depczyńska, Giuseppe Ioppolo	
Life cycle assessment of soilless systems: a systematic literature review	31
di Antonio Licastro, Roberta Salomone, Giovanni Mondello, Grazia Calabrò	
Analysis of the ship recycling market. Enabling factors to advance a new european ship recycling market	51
di Francesco Tola, Enrico Maria Mosconi, Mattia Gianvincenzi, Mariarita Tarantino, Alessio Matarcera	
Increasing circularity: a systematic review of the sustainable packaging transition towards the european regulation	65
di Mariarita Tarantino, Enrico Maria Mosconi, Francesco Tola, Mattia Gianvincenzi, Alessio Matarcera	
Automazione e machine learning per la tracciabilità e rintracciabilità del caffè	85
di Leonardo Agnusdei	
Biodistricts, model for local development: a bibliometric analysis	103
di Mariagrazia Provenzano, Francesco Pacchera, Stefano Poponi, Alessandro Ruggieri	
Blockchain technology applied to food chains to avoid counterfeiting. The case of the Consortium Etna Doc	121
di Agata Matarazzo, Sergio Arfò, Grzegorz Suwała, Carla Zarbà, Gaetano Chinnici	
Antioxidant value and functional properties of a traditional senegalese food flour	141
di Chiara Vita, Gabriele Feligioni, Leonardo Borsacchi, Patrizia Pinelli	
Eco-Industrial Park towards Eco-Agricultural Park: the implementation of the symbiotic relationships in a dairy farm	151
di Maria Rosaria Sessa, Ornella Malandrino, Enzaemilia Cavallaro	
Dall'Agricoltura 4.0 all'Agricoltura 5.0: le tecnologie	169
di Angela Carelli, Ilenia Bravo, Patrizia Papetti	
Dall'Agricoltura 4.0 all'Agricoltura 5.0: principali progetti di ricerca italiani	183
di Angela Carelli, Ilenia Bravo, Patrizia Papetti	

Circular economy in the agri-food sector: an environmental and social analysis from portuguese companies di Federica Scandurra, Roberta Salomone, Sandra Caeiro, Ana Pinto de Moura	207
Enoturismo e promozione dei vini del territorio. Indagine presso le aziende vitivinicole della provincia di Torino in Piemonte di Giovanni Peira, Riccardo Beltramo, Alessandro Bonadonna, Giacomo Pasino	221
Successful factors of the European Union Renewable Energy Communities: an overview di Leonardo Orsitto, Melania Riefolo, Mariarosaria Lombardi, Nicola Faccilongo	237
Focus sull'analisi di ciclo di vita applicata all'olio di girasole di Rosalia Stella Evola, Enrica Vesce, Riccardo Beltramo	259
I benefici delle certificazioni ISO 14001 ed EMAS nel settore delle carni in Italia: un'analisi empirica di Andrea Del Chicca, Andrea Apicella, Biasino Farace, Angela Tarabella	277
I nuovi Standard GRI nel settore agroalimentare. Una content analysis sulla rendicontazione di una società multinazionale italiana di Angela Tarabella, Serena Sebastiani	293
I polifenoli come indicatori di qualità di vini autoctoni siciliani di Mattia Rapa, Vanessa Giannetti, Maurizio Boccacci Mariani, Martina Di Fabio	313
Il mercato italiano del cibo pronto per animali di affezione: un settore merceologico in continua evoluzione di Giancarlo Palumbo	323
Il Progetto ILCIDAF per lo sviluppo di un database italiano di Life Cycle Inventory dei prodotti agroalimentari: la fase di panificazione di Bruno Notarnicola, Pietro Alexander Renzulli, Francesco Astuto, Rosa Di Capua, Gianfranco Umile Spizzirri, Maurizio De Molfetta, Donatello Fosco	337
Il settore vitivinicolo tra innovazione e sostenibilità: una mappatura dello stato della ricerca di Maria Giovina Pasca, Giulia Padovani	353
Impatto della tostatura sulla composizione del caffè: valutazione della qualità attraverso specifici marcatori di prodotto e di processo di Vanessa Giannetti, Maurizio Boccacci Mariani, Mattia Rapa	373
Indagine sull'atteggiamento dei consumatori italiani nei confronti di origine e sostenibilità dei prodotti alimentari e sulla conoscenza dei marchi regionali di qualità del Friuli Venezia Giulia di Paola Geatti, Alberto Bertossi, Francesco Marangon	385

Indagine sulle attitudini dei consumatori residenti in Sardegna all'acquisto di prodotti locali	403
di Giusy Lai, Gavina Manca, Giacomo Del Chiappa	
Survey on purchasing methods of food products in different european regions	417
di Agata Matarazzo, Sergio Arfò, Grzegor Suwała	
Improving sustainability in the agri-food sector: circular economy indicators as tools for evaluation and optimization	445
di Flavia Capolini, Alessia Acampora, Olimpia Martucci, Maria Claudia Lucchetti	
Indicators for circular waste management in the agri-food sector: the application to a bio-district	461
di Francesco Pacchera, Stefano Poponi, Gabriella Arcese, Alessandro Ruggieri	
Piloting change: exploring the SIRCLES project's circular economy model for biowaste in the mediterranean	475
di Leonardo Borsacchi, Gabriele Feligioni, Camilla Guasti, Daniela Tacconi	
Innovazione e automazione dei processi di vendita dei prodotti alimentari della GDO	489
di Carlo Amendola, Simone La Bella, Alessandro Gennaro, Francesco Crenca	
Innovazione, sinergia e circolarità nel settore agro-forestale: il Progetto PS-GO BIOACTAM	505
di Gabriele Simone, Margherita Campo, Chiara Cassiani, Francesca Ieri, Nadia Mulinacci, Silvia Urciuoli, Rodolfo Picchio, Rachele Venanzi, Lorenzo Moncini	
Water and its (un)conscious consumption: consumers and their water footprint in food products	527
di Erica Varese, Maria Chiara Cesarani, Szymon Jarosz, Magdalena Wojnarowska	
L'applicazione della sostenibilità nelle PMI agroalimentari digitalizzate: il caso Sfera Agricola	543
di Biasino Farace, Angela Tarabella	
L'economia circolare quale vettore della sostenibilità finanziaria: un'analisi empirica nel settore agroalimentare	561
di Benedetta Esposito, Daniela Sica, Stefania Supino, Ornella Malandrino	
The impact of precision agriculture ecosystems on farming sustainability: an empirical analysis of italian winemakers	575
di Marco Savastano	
The integration of Blockchain technologies in the cocoa supply chain: state of art and emerging opportunities	589
di Andrea Apicella, Angela Tarabella	

La carne coltivata nella società: percezione dei consumatori e fattori chiave abilitanti di Federica Bisceglia, Laura Di Pietro, Roberta Guglielmetti Mugion, Veronica Ungaro	603
LCA in agricultural experimentation: the case of the tomato production di Giulio Mario Cappelletti, Giuseppe Martino Nicoletti, Carlo Russo	629
The measurement of circularity in the agri-food sector by the UNI/TS 11820:2022 di Christian Bux, Biasino Farace, Andrea Apicella	641
La percezione dei giovani adulti dell'impatto ambientale del sistema alimentare e la loro disponibilità a modificare la propria dieta verso modelli più sostenibili: uno studio empirico di Barbara Campisi, Gianluigi Gallenti, Matteo Carzedda, Paolo Bogoni	663
La sostenibilità nel settore agroalimentare: una sintesi bibliometrica della letteratura di Veronica Ungaro, Atifa Amin, Federica Bisceglia, Roberta Guglielmetti Mugion	691
La Supply Chain dei prodotti della catena del fresco: impatti ambientali e opportunità di miglioramento di Sara Toniolo, Ilenia Bravo, Ivan Russo, Patrizia Papetti	713
Le strategie di economia circolare applicate al settore dell'acquacoltura: analisi dello stato dell'arte di Maria Cozzolino, Roberta Salomone, Giovanni Mondello, Teresa Gulotta	735
Life cycle inventory della produzione di clementine in Calabria: modellizzazione dell'inventario della fase agricola attraverso la raccolta di dati primari di Giacomo Falcone, Giovanni Gulisano, Maria Ranieri, Alfio Strano	763
Lo sviluppo del mercato della carne sintetica: rassegna sulle potenzialità e sui limiti di Ilenia Bravo, Ilenia Colamatteo, Angela Carelli, Patrizia Papetti, Lucio Cappelli	785
Improving quality and compliance of fruit juice processing: a case study of a women-led social enterprise in Senegal di Leonardo Borsacchi, Gabriele Feligioni, Camilla Guasti	805
Improving sustainability in the food supply chain of the healthcare sector: the ISO 22000 and ISO 28000 adoption di Carlotta D'Alessandro, Uwakmfon Promise Offiong, Katarzyna Szopik-Depczyńska, Giuseppe Ioppolo	817

Migliorare lo sviluppo locale nelle aree montane marginali attraverso i prodotti alimentari tipici. Il caso del Bettelmatt nelle alpi italiane nord-occidentali	831
di Alessandro Bonadonna, Stefano Duglio	
Mitigating climate change through soil carbon sequestration: a literature synthesis on agricultural LCAs	845
di Rossana Strippoli, Silvia Zingale, Teodoro Gallucci, Paolo Guarnaccia, Carlo Ingraio, Giovanni Lagioia	
Monitoraggio di IPA in distillato di legno per l'applicazione in campo agronomico	861
di Chiara Vita, Lorenzo Venturini, Samuel Pelacani, Marco Sarti, Giovanni Cappelli, Nicola Mucci, Giulio Arcangeli, Riccardo Gori, Stefano Dugheri	
Multifunzionalità di scarti agroindustriali della filiera del melograno applicando principi di economia circolare	873
di Chiara Vita, Leonardo Borsacchi, Patrizia Pinelli, Annalisa Romani	
Nutrition and sustainability in the agro-industrial supply chain. A comparative approach for conventional, organic and functional pasta production	883
di Nicola Minafra, Tiziana Crovella, Giovanni Lagioia, Annarita Paiano	
Olivicoltura circolare: prodotti innovativi funzionali per la salute e lo sport	899
di Silvia Urciuoli, Chiara Cassiani, Pamela Vignolini, Patrizia Pinelli	
Online Food Delivery and sustainability: what is the consumer perception? An empirical analysis among italian consumers	917
di Federica Murmura, Giada Pierli, Laura Bravi, Lolita Liberatore	
Possibili effetti benefici del consumo di Feijoa: studio multidisciplinare di frutti di diverse cultivar per potenziali applicazioni in settori merceologici differenziati	937
di Margherita Campo, Pamela Vignolini, Patrizia Pinelli, Chiara Cassiani, Irene Falsetti, Gaia Palmi, Teresa Iantomasi, Maria Luisa Brandi, Carolina Santilli, Stefano Biricolto, Edgardo Giordani, Massimo Gori	
Realizzazione di una polvere lievitante innovativa per la preparazione di biscotti funzionali	957
di Donatella Restuccia, Gianfranco Umile Spizzirri, Maria Lisa Clodoveo, Pasquale Crupi, Maria Martuscelli, Luigi Esposito, Francesca Aiello	
On the recovery of wastewater from anaerobic digestion and composting plants of organic waste by material flow analysis	983
di Giovanni Lagioia, Teodoro Gallucci, Christian Bux, Maria Pia Spinelli, Vera Amicarelli	

Revisione dei percorsi di Carbon Neutrality alla luce della futura norma ISO 14068: limiti e prospettive di ricerca per la sua efficace implementazione di Alessandro Manzardo, Filippo Zuliani, Andrea Fedele, Alessandro Marson, Saverio De Franceschi	999
Ristorazione collettiva nelle scuole e negli ospedali: monitoraggio della qualità della dieta mediante colorimetria a riflettanza di Antonella Calabretti, Giulio Barocco, Barbara Campisi, Paola Masotti, Paolo Bogoni	1013
Wastes and by-products of the olive oil supply chain: state of art of treatment technologies and eco-efficiency assessment tools di Eleonora Recupero, Giuseppe Saija, Giovanni Mondello	1031
Selezione di estratti naturali da economia circolare come potenziali ingredienti attivi per la produzione di polimeri per il food packaging di Pamela Vignolini, Margherita Campo, Silvia Urciuoli, Andrea Lombardi, Roberta Bernini	1059
Synergies between the agri-food sector and the cosmetic industry through circular economy: evidences from a literature review di Alice Mondello, Roberta Salomone, Giovanni Mondello	1075
Blockchain based solutions for food traceability: a scoping review di Irina Gorelova, Francesco Bellini, Marco Ruggeri, Fabrizio D'Ascenzo	1091
Sostenibilità nella filiera bovina piemontese: la percezione dei giovani consumatori nei confronti dei prodotti ottenuti da bovini alimentati ad erba-fieno di Giorgio Mina, Rosalia Stella Evola, Enrica Vesce, Alessandro Bonadonna, Giovanni Peira	1121
Sustainability or greenwashing? The role of Life Cycle Assessment in the ESG narratives of the agrifood sector di Giuliana Vinci, Fabrizio D'Ascenzo, Marco Ruggeri, Mary Giò Zaki	1131
Stime regionalizzate delle emissioni enteriche di metano da bovini allevati sul territorio italiano di Bruno Notarnicola, Gianfranco Umile Spizzirri, Pietro Alexander Renzulli, Francesco Astuto, Rosa Di Capua, Maurizio De Molfetta, Donatello Fosco	1143
Responsible communication strategies in the beer industry: an analysis of communication practices on major brewing companies' websites in Italy di Andrea Apicella, Biasino Farace, Angela Tarabella	1165
Consumer perception studies on cultured meat: a critical systematic review di Tommaso Vito, Caterina Tricase, Roberto Leonardo Rana	1181
Development of regionalised inventory data for Life Cycle Assessment in agri-food sector: the case of italian olive production di Giovanni Mondello, Teresa Maria Gulotta, Roberta Salomone, Patrizia Primerano, Giuseppe Saija	1199

Development of innovative supply chains for the valorization of Carob cultivation	1219
di Giulio Paolo Agnusdei, Federica De Leo, Marcello Ruberti, Stefania Mas-sari, Pier Paolo Miglietta	
An empirical analysis of consumers to understand the importance of labelling and traceability in extra virgin olive oil	1233
di Francesco Pacchera, Mariagrazia Provenzano, Cecilia Silvestri, Alessandro Ruggieri	
A theoretical eco-design framework toward the european battery regulation	1249
di Mattia Gianvincenzi, Marco Marconi, Enrico Maria Mosconi, Francesco Tola, Mariarita Tarantino, Alessio Matacera	
Valore merceologico e indice di gradimento dei prodotti ittici trasformati forniti nella refezione scolastica	1265
di Giancarlo Palumbo, Isabella Maria De Clemente	
Valutazione degli impatti sociali secondo l'approccio LCT: best practices per la filiera agroalimentare	1277
di Gabriella Arcese, Stefano Poponi, Maria Giovina Pasca, Francesco Pac-chera, Giulia Padovani, Laura Di Pietro, Maria Claudia Lucchetti	
Valutazione dell'impatto ambientale e dei vantaggi economici della pro-duzione di bioidrogeno da rifiuti agroalimentari	1291
di Ilaria Goglia, Alessia Acampora, Roberto Merli	
Verso la costruzione di dataset italiani per l'LCA del vino: la fase di vini-ficazione	1307
di Manuela D'Eusanio, Ioannis Arzoumanidis, Andrea Raggi, Lolita Libera-tore, Luigia Petti	
L'economia digitale e il settore agroalimentare in Italia	1319
di Alessio Tola	
Metaverso e Denominazioni di Origine nel food: modelli applicativi di innovazione tecnologica	1325
di Alessio Tola	
Book of Abstracts	1333
L'etichettatura ambientale nel settore alimentare. Analisi delle di-namiche evolutive a livello italianonale	1333
di Agata Lo Giudice, Maria Rosaria Sessa, Ornella Malandrino	
Le Zes: uno strumento per lo sviluppo dell'agri-food innovativo e sostenibile	1334
di Candida Laquale, Roberto Rana, Nicola Faccilongo, Caterina Tricase	

Multi-actor Network in literature. Tools and techniques of research di Annalisa Angeloni, Cecilia Silvestri	1335
Perceived vs Actual Water Footprint: analysis of the consumers' awareness related to agrifood products di Giulio Paolo Agnusdei	1335

Le strategie di economia circolare applicate al settore dell'acquacoltura: analisi dello stato dell'arte

Maria Cozzolino
Università degli Studi di Messina
Roberta Salomone
Università degli Studi di Messina
Giovanni Mondello
Università degli Studi di Messina
Teresa Gulotta
Università degli Studi di Messina

ABSTRACT

Il settore dell'acquacoltura esercita una pressione sulle risorse terrestri, acquatiche e sugli ecosistemi, minacciando la biodiversità e il cambiamento climatico. In tale ambito, la Commissione Europea, con la comunicazione COM/2021/236, ha proposto alcune strategie che potrebbero rendere l'acquacoltura più sostenibile e competitiva, includendo anche quelle volte all'economia circolare (EC). Lo scopo di questo studio è di proporre un'analisi bibliometrica e sistematica della letteratura scientifica relativa alle pratiche di EC applicate nell'ambito dell'acquacoltura, al fine di identificare i principali drivers che orientano la transizione circolare del settore. In particolare, lo studio ha permesso di valutare: a) l'interesse del mondo accademico verso l'EC in acquacoltura; b) le principali pratiche circolari applicate nel settore (es., riduzione delle risorse; trattamento dei rifiuti; etc.); c) i principali principi dell'EC applicati secondo il paradigma delle 4R; d) i principali strumenti di valutazione usati per misurare i potenziali benefici ambientali dell'EC nel settore. Applicando il protocollo PRISMA, sono stati identificati 99 articoli pubblicati tra il 2015-2022. I principali risultati hanno evidenziato un crescente interesse da parte della comunità scientifica sulle tematiche di EC applicate ai sistemi produttivi nell'ambito dell'acquacoltura, con particolare riferimento alla riduzione dell'uso di risorse naturali. Inoltre, i concetti di riciclo e riuso sono tra i principali principi considerati tra quelli previsti nel paradigma delle 4R. Dall'analisi si evince anche che il metodo *Life Cycle Assessment* appare come uno dei principali strumenti potenzialmente applicabili per misurare le performance ambientali generate dall'EC in acquacoltura.

PAROLE CHIAVE: analisi della letteratura, acquacoltura, Economia Circolare, 4R, strumenti di valutazione, strategie.

1 Introduzione

L'acquacoltura è l'insieme delle attività umane, distinte dalla pesca, praticate per la produzione controllata di organismi acquatici (FAO 1998). Nello specifico, il presente studio considera le attività acquicole di tipo intensivo, dove l'intervento umano accompagna tutte le fasi del processo. L'acquacoltura intensiva, inoltre, è praticata in ambiente artificiale, quali gabbie in mare, vasche in terraferma, o installazioni fisse o flottanti, maggiormente utilizzate per l'allevamento di molluschi. L'acquacoltura ha contribuito a bilanciare la contrazione dell'offerta ittica proveniente dalla pesca e destinata al consumo umano (FAO 2010). Infatti, nel 2020, dei 178 milioni di tonnellate di prodotti acquicoli, il 49% (88 milioni di tonnellate) proviene dall'acquacoltura (FAO 2022b). Inoltre, la crescita di quest'ultima è destinata ad aumentare nei prossimi anni ad un tasso medio del 2.1%, e, nel 2031, raggiungerà un volume stimato pari al 52% del totale della produzione ittica mondiale (OECD/FAO 2022). Però, sebbene l'acquacoltura contribuisca al miglioramento della sicurezza alimentare e della nutrizione (Colombo et al. 2022; Oosting et al. 2022), la sua crescita provocherà un aumento di densità della biomassa nelle installazioni (Bohnes et al. 2019) e ciò genera preoccupazioni, dovute all'aumento dei connessi impatti sull'ambiente (Borrello, Pascucci, and Cembalo 2020) e all'aumento dei consumi di farine e olio di pesce, ottenute da stock ittici limitati, alcuni dei quali sono già classificati come completamente sfruttati, sovrasfruttati o esauriti (Naylor et al. 2002). In aggiunta, l'acquacoltura deve affrontare le sfide poste dalle aspettative dei consumatori, che richiedono prodotti più sostenibili e responsabili (Baldi et al. 2022; Freitas, Vaz-Pires, and Câmara 2020). Per questo, l'acquacoltura dovrebbe riconfigurare i suoi modelli di approvvigionamento e produzione, per utilizzare al massimo le risorse disponibili, con il minimo impatto sull'ecosistema (Alonso, Álvarez-Salgado, and Antelo 2021; C. Lopes et al. 2015). A fronte di siffatte sfide, vige un quadro normativo debole e frammentario, non sempre pianificato (Ahmad, W. Hassan, and Banat 2022; Smith et al. 2010), che rappresenta una barriera per avviare processi basati su un approccio olistico, per un'acquacoltura più eco-friendly. Considerando tutto ciò, l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) ha avviato un dialogo internazionale per considerare il ruolo dell'acquacoltura nella Blue Economy e di come tale attività possa continuare a svilupparsi, attraverso processi di produzione più sostenibili e inclusivi (FAO 2010). In questo contesto, l'economia circolare (EC), che è una strategia promettente tesa a ridurre i rifiuti e l'inquinamento, a mantenere prodotti e materiali in uso per lungo tempo e a rigenerare i sistemi naturali, potrebbe costituire un'opportunità per

l'acquacoltura nell'aumentare la sua sostenibilità ambientale (Kundu et al. 2022). Infatti, la EC è stata considerata come una strategia che il settore acquicolo dovrebbe adottare per: a) ridurre i propri impatti ambientali, attraverso un minore utilizzo delle risorse naturali, (Rogueiro et al. 2022); b) riutilizzare le acque di processo, ad esempio favorendo la produzione di alghe, (Pereira et al. 2022), o migliorandone la qualità, attraverso l'impiego di mangimi a minore rilascio di nutrienti (Albrektsen et al. 2022); c) riciclare gli scarti ed i rifiuti, per ottenere nuovi prodotti o fonti di energia (Monteiro et al. 2018). Sebbene alcuni studi abbiano dimostrato i benefici della EC per l'acquacoltura, favorendo al contempo la conservazione delle risorse marine e la creazione di valore aggiunto (Casado-Coy et al. 2022; Coppola et al. 2021a; Sanz-Lazaro and Sanchez-Jerez 2020), il settore acquicolo non è stato coinvolto subito nelle azioni strategiche europee adottate per la diffusione dell'EC, tant'è che l'acquacoltura non è stata inclusa tra le attività considerate nel primo Piano d'azione per l'economia circolare (European Commission 2015). Un'apertura verso le strategie di EC è stata invece favorita dall'adozione del Green Deal (European Commission 2019), che ha definito l'acquacoltura un'attività che effettivamente può contribuire al raggiungimento della neutralità climatica e della sostenibilità ambientale. In aggiunta, con la strategia specifica per l'acquacoltura (European Commission 2021a), l'EC è stata esplicitamente considerata tra le opportunità strategiche per rendere il comparto acquicolo europeo più competitivo e resiliente. Basandosi sulle evidenze che possono minacciare lo sviluppo dell'acquacoltura, e considerando che in letteratura mancano studi che esplorino il potenziale della EC per affrontare le sfide ambientali dell'acquacoltura in modo più olistico e innovativo, il presente studio presenta una revisione della letteratura sull'EC in acquacoltura, col fine di poter rispondere alle seguenti domande di ricerca: (DR1) Quali sono gli interessi degli studiosi sul concetto di EC in acquacoltura? (DR2) Quali sono le principali sfide e opportunità per l'applicazione pratica dei principi dell'EC in acquacoltura? I dati raccolti sono stati utilizzati per analizzare le relazioni tra le pratiche di EC e la possibilità di incentivare gli imprenditori acquicoli a ridurre, riutilizzare, riciclare e recuperare le risorse. Inoltre, sono stati identificati gli strumenti usati per misurare gli impatti ambientali delle pratiche di EC in acquacoltura.

2 Metodologia

Nella presente sezione sono descritti i metodi adottati per realizzare un'analisi della letteratura in relazione alle domande di ricerca. Pertanto, sono stati utilizzati due metodi di analisi della letteratura che si integrano

reciprocamente, ovvero l'analisi bibliometrica e l'analisi sistematica. L'analisi bibliometrica è un metodo quantitativo per misurare la produzione scientifica e l'influenza di un campo di ricerca (Donthu et al. 2021). Ciò ha consentito di rispondere alla DR1, attraverso l'applicazione: a) della tecnica dell'analisi delle performance; b) della co-occorrenza; c) dell'analisi di rete (network analysis) per quantificare e rappresentare i modelli e le relazioni tra le pubblicazioni scientifiche, nonché rilevare le tendenze ed i collegamenti tra le parole chiave relative a temi specifici. La revisione sistematica della letteratura è un metodo di analisi che, invece, consente di individuare, valutare e sintetizzare i risultati della ricerca, in modo da poter cogliere le somiglianze e le sfumature della letteratura attuale, a sostegno di una pratica basata sulle evidenze (MacDonald 2014; MacFarlane, Russell-Rose, and Shokraneh 2022). Per la definizione del campione di articoli da revisionare è stato utilizzato il protocollo "*Preferred reporting items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*" (PRISMA), che assicura la trasparenza, la consistenza e la robustezza del processo di revisione della letteratura (Page et al. 2021). Di seguito, in tre sottosezioni, si illustrano: i) le strategie di ricerca, ii) il processo di selezione del campione di articoli sottoposti a revisione della letteratura e iii) i dati raccolti con i relativi metodi di analisi usati sia per l'analisi bibliometrica che sistematica.

2.1 Strategia di ricerca

Per la selezione degli articoli, sono state ricercate le parole "*circular economy*" e "*aquaculture*" nei titoli, negli abstract e nelle parole chiave degli articoli presenti nei database Scopus e Web of Science (WoS), aggiornando l'elenco degli articoli a gennaio 2023. Ciò ha consentito di considerare gli articoli che rispondessero alle query di ricerca (Fig.1).

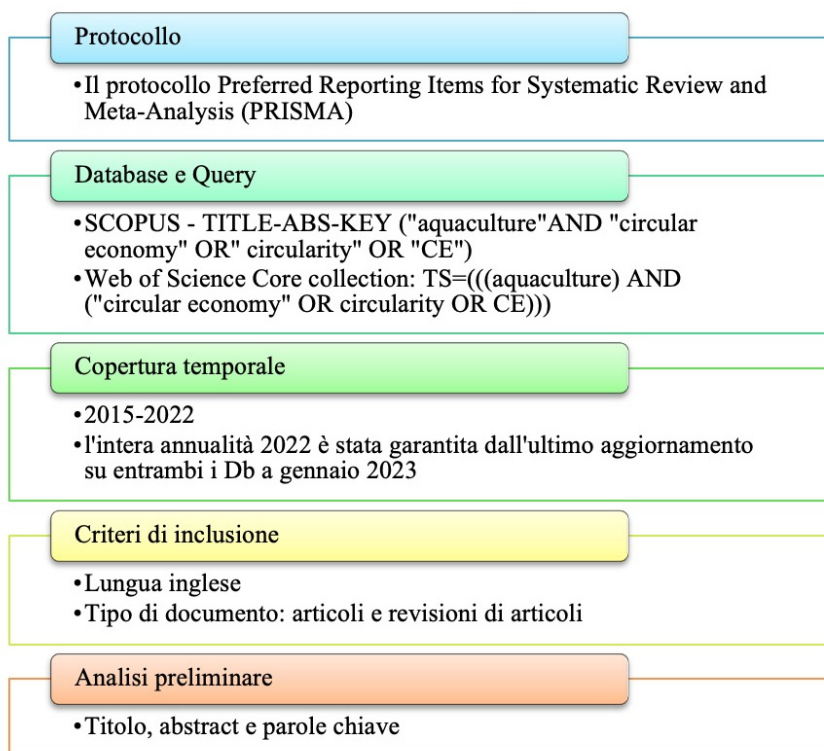


Figura 1 – Strategia di ricerca per l'analisi della letteratura

La revisione della letteratura ha incluso solo gli articoli e le revisioni peer-reviewed (di seguito articoli), pubblicati in lingua inglese tra il 2015-2022. La scelta dell'anno di inizio è ancorata all'adozione del primo Piano d'azione per l'economia circolare. Il campione estratto dai due DB è stato di 389 articoli, di cui sono stati scaricati tutti i dati bibliometrici in MS Excel. Dopo l'eliminazione dei duplicati, il campione è sceso a 242 articoli.

2.2 Processo di selezione del campione di articoli per la revisione della letteratura

La fase di screening degli articoli è avvenuta attraverso step sequenziali (Fig. 2). Il primo screening si è basato sulla lettura del titolo, degli abstracts e delle parole chiave fornite dagli autori. In tale fase, sono stati inclusi gli articoli funzionali agli obiettivi del presente studio, e coerenti con le domande di ricerca, con la conseguente esclusione di 68 articoli.

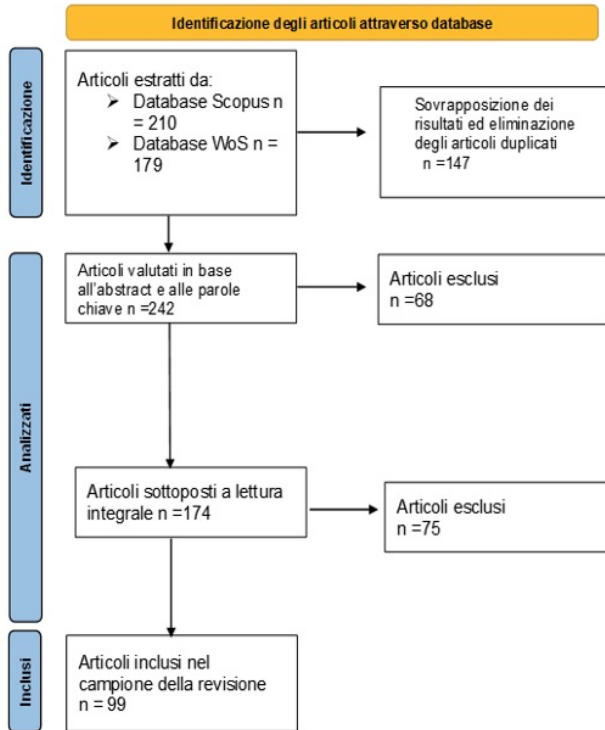


Figura 2 – Flusso della procedura di screening per la definizione del campione di articoli, secondo il protocollo PRISMA

Il residuo campione di 174 articoli, è stato, poi, oggetto di lettura integrale, considerando i seguenti criteri di inclusione: a) presenza negli articoli di una pratica di EC correlata, almeno, ad una fase del processo produttivo dell’acquacoltura; b) descrizione o proposta di pratiche di EC riferite a settori produttivi diversi dall’acquacoltura (allevamento di animali terrestri, agricoltura, industria della birra, settore nutraceutico e farmaceutico, ecc.), atte a fornire materie prime per l’acquacoltura. A conclusione di tale screening, sono stati esclusi altri 75, principalmente perché: a) basati su un approccio molto tecnico di tipo medico-veterinario; b) mancanti di evidenze rispetto alle pratiche di EC proposte in una o più fasi del processo acquicolo; c) limitati all’analisi delle caratteristiche biologiche e chimiche dei rifiuti. Il campione finale è stato di 99 articoli. Questi hanno popolato un datatabase in MS Excel, in cui sono state registrate le informazioni rilevanti per ciascun articolo.

2.3 Raccolta e analisi dei dati

Per rispondere alle due domande di ricerca sono stati raccolti e analizzati due differenti gruppi di dati.

Per l'analisi bibliometrica i dati raccolti hanno considerato: i) le riviste che hanno pubblicato gli articoli del campione, ii) il numero di articoli per anno, iii) la frequenza delle parole chiave. L'analisi dei dati è stata realizzata con l'ausilio di:

1. SciVAL per identificare: a) la tendenza temporale degli articoli; b) la loro distribuzione tra le riviste; c) l'area tematiche di ricerca delle riviste;
2. VOSviewer, per a) l'analisi delle co-occurrence, che consente di analizzare la frequenza e la compresenza delle parole in un insieme di articoli; e b) la network analysis (NA) delle parole chiave, che esamina le relazioni tra le parole chiave e l'intensità di tali relazioni.

Per l'analisi sistematica, i dati sono stati raccolti attraverso la lettura integrale dei 99 articoli e hanno considerato: i) l'oggetto di analisi (mangimi, acque reflue, rifiuti, sottoprodotti, alimenti, componenti biochimici, energia), ii) l'ambiente acquatico di allevamento (marino, d'acqua dolce, entrambi), iii) la strategia collegata alla gerarchia dei rifiuti (4R), iv) lo strumento di valutazione dei risultati registrati a seguito dell'adozione dalle pratiche di EC. L'analisi sistematica dei dati raccolti, pertanto, ha consentito di identificare: a) l'area principale di indagine; b) le pratiche di EC per il tipo di acqua di allevamento; c) il tipo di prodotto a cui la pratica dell'EC si rivolge (sottoprodotti, mangimi, trattamento delle acque reflue, rifiuti, nuovi materiali per la nutraceutica, ecc.); d) la presenza di strategie improntate sulla gerarchia europea dei rifiuti e di pratiche di EC basate sul paradigma delle 4R; e) la presenza di strumenti di monitoraggio delle performance dei processi di EC.

3 Discussione dei risultati

3.1 Analisi bibliometrica

L'EC in acquacoltura è un tema emergente e rilevante per lo sviluppo sostenibile del settore (Fig.3), infatti, sebbene sia considerato l'arco temporale 2015-2022, il numero di articoli è cresciuto a partire dal 2018, col massimo incremento tra il 2021-2022, dove si concentra l'80% degli articoli inclusi nel campione finale. Questo aumento è, probabilmente, dovuto all'interesse della comunità accademica, a seguito delle iniziative internazionali per la Blue Growth (FAO 2018), che incoraggiano l'acquacoltura a innovare le proprie pratiche e a valorizzare le risorse

rinnovabili e i rifiuti. Anche l'Europa, a partire dal Green Deal, e con l'adozione del nuovo Piano d'Azione per l'Economia Circolare (European Commission 2020b), della strategia Farm to Fork (European Commission 2020a), del nuovo Green Deal (European Commission 2021b) e della strategia per un'acquacoltura competitiva e resiliente (European Commission 2021c), ha stimolato studi e ricerche per la transizione dell'acquacoltura verso un'EC e a basse emissioni di carbonio.

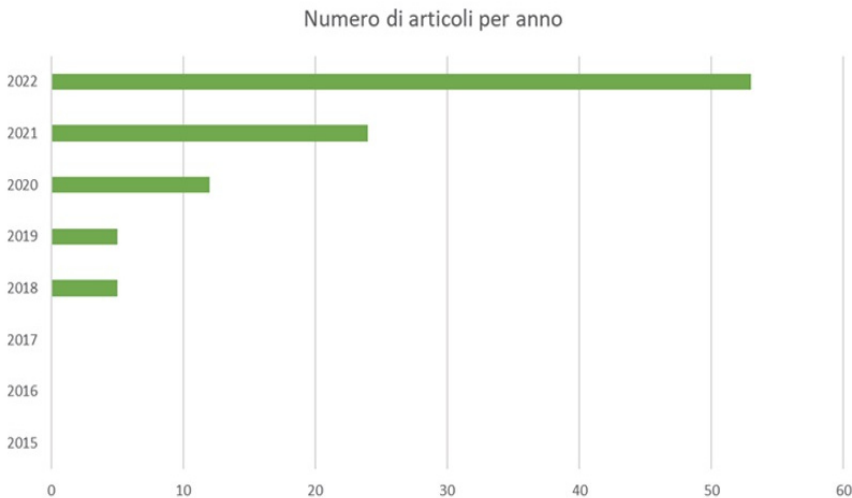


Figura 3 – Numero di articoli per anno di pubblicazione
(Fonte: elaborazione degli autori su dati estratti da Scopus e WoS)

Gli articoli sono stati pubblicati su 47 riviste (Fig.4), di cui 12 aggregano oltre il 60% del campione. Tra queste, quattro sono specifiche per l'acquacoltura, includendo il termine acquacoltura nel proprio titolo, e hanno pubblicato il 20% degli articoli inclusi nella presente revisione. In particolare, le riviste più prolifiche sono due: 1) "Aquaculture" (9% del campione), dove gli articoli trattano, principalmente, di mangimi innovativi a base di proteine vegetali (Fernandes et al. 2022; Marques et al. 2022), o di miglioramento della composizione del suolo mediante l'utilizzo dei nutrienti ottenuti dai rifiuti (I. G. Lopes et al. 2021a), ma anche di sistemi di produzione innovativi, come l'acquacoltura multitrofica integrata (IMTA) (K. Cutajar et al. 2022) e la valorizzazione dei rifiuti in ambito nutraceutico (Piazzon et al. 2022); e 2) "Reviews in Aquaculture" (7% del campione), che pubblica revisioni riguardanti le applicazioni dell'uso dei sottoprodotti e la valorizzazione dei rifiuti (Zhan, Lu, and Wang 2022), la

nutrizione (Colombo et al. 2022) e l'alimentazione animale (Morris, Backeljau, and Chapelle 2019). Questi temi riflettono i principali problemi che gli studiosi ritengono rilevanti e che possono essere affrontati attraverso i principi della EC applicati alle pratiche di acquacoltura.

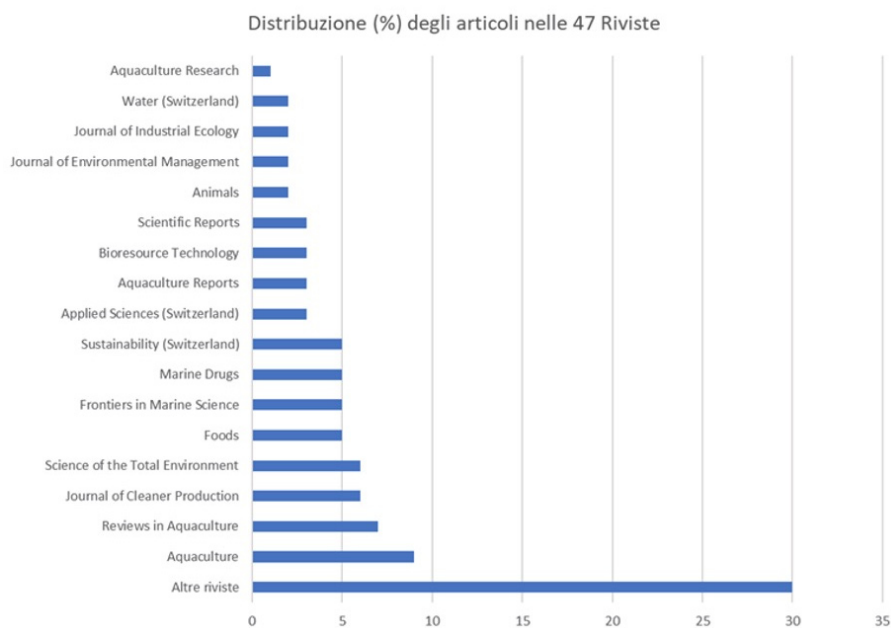


Figura 4 – Distribuzione (%) degli articoli per rivista
(Fonte: elaborazione degli autori sui dati estratti da Scopus e WoS)

Considerando, invece, l'analisi delle co-occorrenze tra parole (Fig.5), le principali parole sono economia circolare (occorrenza=179), acquacoltura (occorrenza=132) e, la terza, è sostenibilità (occorrenza=132). A tal proposito, è stato intercettato un terzo cluster, "sostenibilità", anche se questo termine non era stato incluso tra le parole chiave utilizzate per la ricerca degli articoli. Ciò rafforza il ruolo dell'acquacoltura, nel poter contribuire al raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030, in particolare per ridurre la pressione sugli stock ittici sovrasfruttati e per combattere la fame (FAO 2022a; UNITED NATIONS 2015), sperimentando nuove pratiche per la gestione dei rifiuti, degli scarti e delle acque di lavorazione, che possano, al contempo, assicurare una produzione sostenibile di cibo, e fornire altri materiali ad alto valore aggiunto, come proteine, acidi grassi e minerali, utilizzabili in diversi settori,

dall'agricoltura alle biotecnologie (Campanati et al. 2022a; Coppola et al. 2021b).

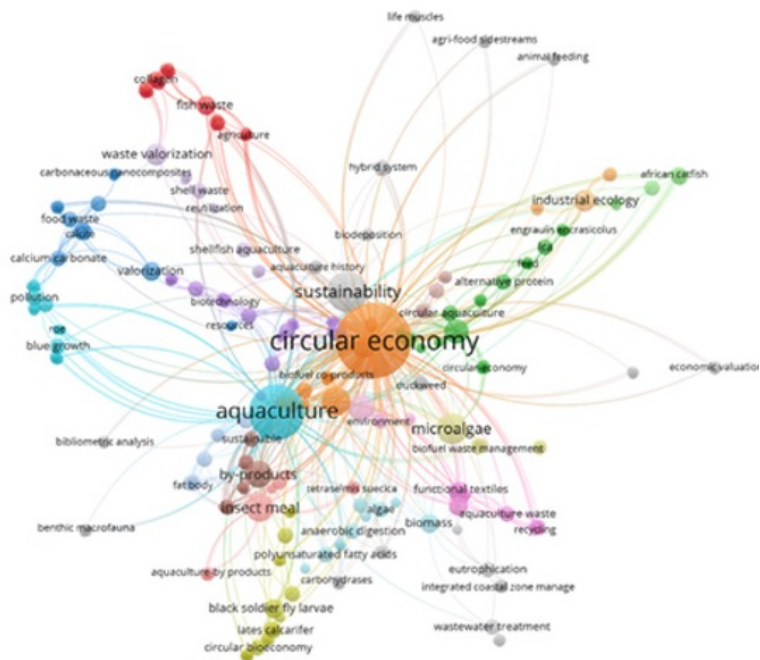


Figura 5 – Visualizzazione dell'accoppiamento bibliografico del campione di articoli
(Fonte: VOSviewer)

Tra le co-occorrenze di parole è emersa anche blue economy, concetto che indica l'uso sostenibile delle risorse biologiche acquatiche rinnovabili per produrre beni e servizi (Eroldoğan et al. 2022; EUMOFA 2018), sfruttando il potenziale del mare e degli oceani, per favorire lo sviluppo economico e sociale delle aree costiere (San Juan, Bogdanski, and Dubois 2019). Ciò fa emergere il ruolo strategico dell'acquacoltura nell'ambito della Blue Economy, come, peraltro, confermato dalla stessa Commissione Europea (European Commission 2012) e dal lavoro di alcuni autori (per esempio Kotta et al. 2020), che associano le pratiche circolari nei processi di allevamento ittico al miglioramento della qualità dell'acqua. Un'ulteriore co-occorrenza esiste tra il recupero e il riutilizzo dei rifiuti e dei sottoprodotti dell'allevamento (I. G. Lopes et al. 2021b; Magnabosco et al. 2021) e le possibili applicazioni dei sottoprodotti e delle acque reflue

per l'allevamento di insetti o coltivazione di alghe (Ahmad, W. Hassan, and Banat 2022), che si ricollegano agli articoli che esplorano le possibilità di integrare le diete dei pesci con mangimi composti da insetti e alghe, o che contengono proteine estratte dagli scarti di ricci di mare, o che impiegano proteine della soia (Albrektsen et al. 2022; Ciriminna et al. 2021). Un altro collegamento mostrato nella network analisi è il cluster dell'efficienza energetica (Ruiz-Salmón et al. 2020; Thomas et al. 2022) e dell'ecologia industriale, attraverso un parco eco-industriale a basse emissioni in cui si allevano le alghe (Tumilar et al. 2021), e con modelli circolari di acquacoltura integrata (Cornejo-Ponce et al. 2020).

3.2 Analisi sistematica

L'analisi sistematica della letteratura ha consentito un più approfondito esame su come il mondo accademico abbia declinato le opportunità derivanti dall'EC in acquacoltura (DR2).

3.2.1 *Le pratiche di EC applicate in diversi ecosistemi acquatici di allevamento*

La revisione della letteratura è stata eseguita riproponendo la classificazione europea degli ambienti acquatici di allevamento che distingue tra gli impianti che utilizzano acqua dolce e impianti che utilizzano acqua di mare (European Commission 2017). Così, l'analisi della letteratura ha consentito di identificare ottanta pratiche di EC riferite a tutti gli ambienti acquatici di allevamento. Di queste pratiche, la maggior parte (56%) ha riguardato l'ambiente marino (Fig. 6).

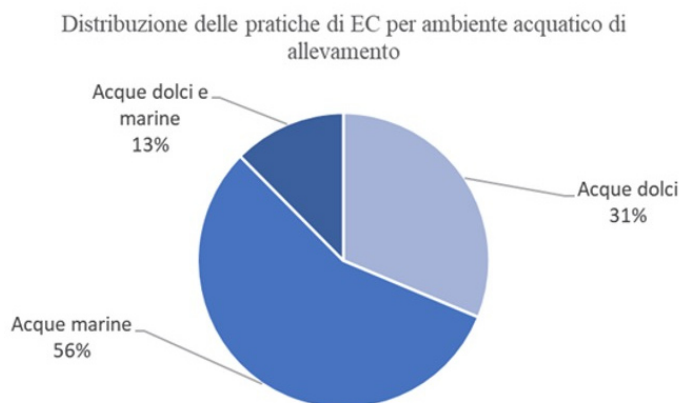


Figura 6 – Distribuzione delle pratiche di EC in base all'ecosistema acquatico

(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

Le pratiche risultano piuttosto eterogenee, mostrando la possibilità di declinare in diverse possibili pratiche di EC le soluzioni ai principali problemi del comparto acquicolo (Campanati et al. 2022a; Chary, Brigolin, and Callier 2022). Le pratiche circolari sono state classificate rispetto all'ambiente di allevamento e alla tipologia di prodotto o di processo di cui la pratica ha tenuto conto.

Così, nel caso dell'allevamento in acque dolci (Fig.7), le pratiche di EC hanno riguardato la produzione e uso di mangimi innovativi (50%), ad esempio, quelli prodotti dagli scarti di produzione agricola o animale (Hoerterer et al. 2022), o contenenti ingredienti ottenuti dal trattamento delle acque reflue (Tumilar et al. 2021), come le alghe (Pereira et al. 2022). La produzione algale ha riguardato il 27% delle pratiche, trattando la gestione circolare delle acque reflue anche attraverso tecnologie che favoriscono il riciclo di materiali di valore e consentono il recupero energetico (Bhattacharjya, Singh, and Tiwari 2021; Kundu et al. 2022; Owsianiak et al. 2022).

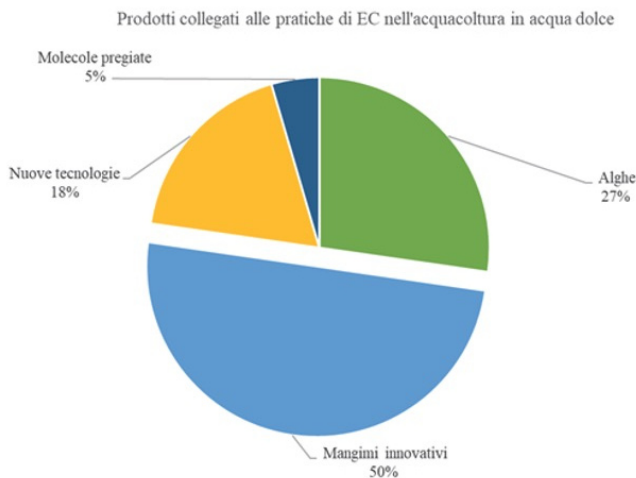


Figura 7 – Prodotti collegati all'adozione di pratiche di EC in acquacoltura praticata in acqua dolce

(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

A tal proposito, l'accesso alle tecnologie può supportare la diffusione di pratiche di EC (Azwar et al. 2022; Boffa et al. 2022), soprattutto per migliorare la gestione dei rifiuti, da cui estrarre le sostanze di valore, come proteine, chitina o collagene (Coppola et al. 2021b).

Anche per il comparto marino, le pratiche più diffuse hanno

riguardato i mangimi (45%) (Fig.8) e la valorizzazione degli scarti e dei rifiuti per estrarre molecole di valore (30%) destinate, oltre che all’agricoltura ed alla zootecnia, anche al consumo umano (N. Cutajar et al. 2022). Ulteriori pratiche di EC hanno, invece, considerato gli aspetti del benessere animale, considerando le attività per ridurre la diffusione di parassiti, fenomeno frequente negli allevamenti di salmoni, ricorrendo alla tecnologia dei sistemi a ricircolo (RAS) (Gudbrandsdottir et al. 2021). Anche per gli allevamenti marini, quindi, la tecnologia può essere un *driver* per la diffusione di strategie di EC (Boffa et al. 2022).

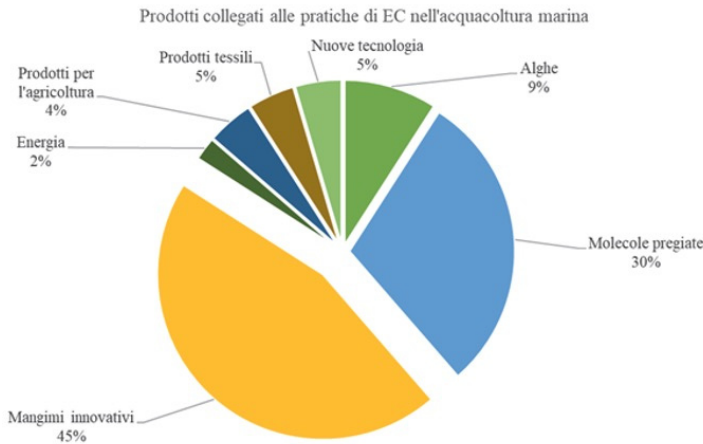


Figura 8 – Prodotti collegati all’adozione di pratiche di EC in acquacoltura marina
(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

Alcune pratiche di EC analizzate, possono essere implementate in tutti gli ambienti di allevamento, e si sono focalizzate principalmente sulla produzione e utilizzo di mangimi innovativi (Fernandes et al. 2022; Monteiro dos Santos et al. 2022; Zarantoniello et al. 2020) destinati all’accrescimento sia di pesci che di crostacei (Alloul et al. 2021; Fricke et al. 2022) (Fig.9). Ulteriori pratiche, poi, sono proposte per minimizzare l’impatto ambientale, evitando la dispersione di residui solidi e nutrienti nelle acque, che possano provocare fenomeni di eutrofizzazione e fioriture algali (Dauda et al. 2019). A tal fine, altre pratiche circolari, propongono mangimi composti da ingredienti proteici algali (Carvalho Pereira et al. 2022; Deng et al. 2021) o animali, presentando evidenze sulle performance di crescita di alcune specie (Pleić et al. 2022). Rientrano in questo cluster le pratiche per il riutilizzo e il riciclo delle acque di processo, sia per i sistemi di

allevamento a ciclo aperto (I. G. Lopes et al. 2021b; Mraz, Jia, and Roy 2022), che a ricircolo (Villar-Navarro, Garrido-Pérez, and Perales 2021). In base a tali pratiche, si propone il ridisegno dei modelli di gestione dei rifiuti, per valorizzare i rifiuti, prima del loro smaltimento finale (Ferreira, Rauter, and Bandarra 2022; Gatto and Re 2021; Mutalipassi et al. 2021).

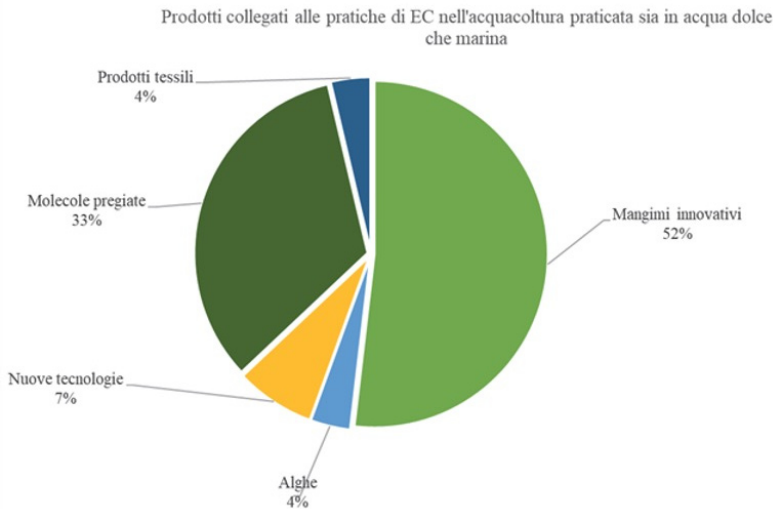


Figura 9 – Prodotti collegati all’adozione di pratiche di EC in acquacoltura sia in acqua dolce che marina
(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

3.2.2. Le 4R perseguite dalle pratiche di EC

Un altro problema ambientale che l’acquacoltura deve risolvere è la gestione dei suoi residui. Come riportato da una ricerca recente (Cooney et al. 2023), i sottoprodotti dell’acquacoltura vengono spesso smaltiti in discarica, causando problemi di emissioni di gas serra, inquinamento delle acque sotterranee e deterioramento del suolo (Dauda et al. 2019). Inoltre, questa pratica causa spreco di risorse, poiché i residui dell’acquacoltura sono ricchi di nutrienti e materia organica che potrebbero essere recuperati o riciclati (Iacovidou, Millward-Hopkins, et al. 2017; Iacovidou, Velis, et al. 2017). L’analisi della letteratura mostra che il 75% delle pratiche di EC del campione analizzato si focalizza su una sola delle 4R della gerarchia dei rifiuti, limitando così le opportunità dell’EC (Fig.10). Una delle principali strategie proposte in ambito accademico, riguarda pratiche per ridurre l’impiego di materie prime provenienti da stock ittici selvatici in sovrasfruttamento o esaurimento (per es., Naylor et al. 2002).

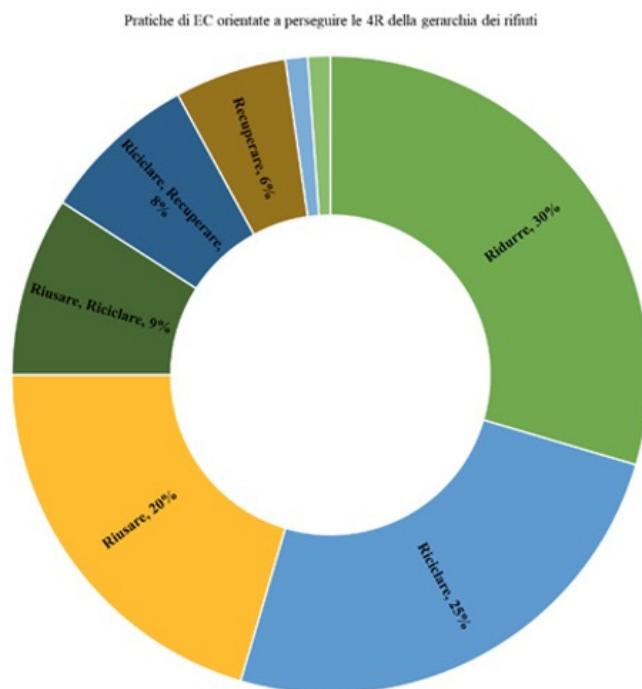


Figura 10 – Pratiche di EC orientate a perseguire le 4R del paradigma della gerarchia dei rifiuti

(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

Numerose sono le pratiche di EC volte al riuso e al riciclo delle acque reflue (Bhattacharjya, Singh, and Tiwari 2021), degli scarti e dei sottoprodotti di allevamento (Esteves et al. 2022; C. Lopes et al. 2015; Valcarcel et al. 2021) e dei rifiuti (Villar-Navarro, Garrido-Pérez, and Perales 2021; Zhan, Lu, and Wang 2022), per ridurre l'uso di materie prime naturali sovrasfruttate, sostituendole con ingredienti alternativi quali le alghe (Nguyen et al. 2022), le farine ottenute dalla trasformazione dei sottoprodotti (Piazzon et al. 2022), o contenenti insetti, ottenuti, anch'essi, da pratiche di EC, perché allevati su scarti di lavorazione (Petereit et al. 2022). Tra le pratiche di riciclo, prevalgono quelle per la produzione di materiali destinati ai settori farmaceutico, nutraceutico (Coppola et al. 2021a; Hou et al. 2022; Mutalipassi et al. 2021) e edile (Zhan, Lu, and Wang 2022). Ulteriori pratiche per il riutilizzo e riciclo, hanno tenuto conto dell'apporto tecnologico, che può favorire la diffusione dei principi di EC nei sistemi di acquacoltura a ricircolo (RAS) (Campanati et al. 2022b; Petereit et al. 2022) o nell'acquacoltura multitrofica integrata (IMTA) (Casado-Coy et al. 2022; K. Cutajar et al. 2022; Sanz-Lazaro and

Sanchez-Jerez 2020), entrambi sistemi a basso impatto ambientale (Alonso, Álvarez-Salgado, and Antelo 2021; Kotta et al. 2020). L'analisi evidenzia, però, la scarsa diffusione di pratiche che combinino più di una delle 4R della gerarchia dei rifiuti. Infatti, solo il 6% delle pratiche ha considerato simultaneamente riciclo e recupero, ad esempio, il recupero energetico da rifiuti di molluschi bivalvi (Azwar et al. 2022) o da alghe prodotte con acque di processo (Kundu et al. 2022; Valente et al. 2019). Alcune pratiche che, invece, hanno combinato il riuso e il riciclo, si sono occupate del trattamento dell'acqua di processo mediante filtrazione, finalizzata alla produzione di alghe e di nutrienti per l'acquacoltura (Chen et al. 2019; Deng et al. 2021; Jiménez Veuthey et al. 2022).

3.2.3 Le pratiche di EC e gli ambiti a cui si collegano

I principi dell'EC hanno influenzato le soluzioni adottate dall'acquacoltura per affrontare le diverse sfide che ostacolano una transizione sostenibile del settore. Tra le soluzioni circolari proposte dalla letteratura, molte riguardano il recupero e il riutilizzo dei rifiuti solidi e liquidi, che possono generare altri materiali e bioenergia. Tuttavia, le soluzioni più diffuse si concentrano sulle acque di scarico e i rifiuti (circa il 25%) e sugli scarti e sottoprodotti della lavorazione (circa il 60%). Questi ultimi offrono diverse possibilità di riciclo (Fig.11), trasformandosi in nuovi materiali che possono: a) rientrare nel ciclo dell'acquacoltura, come mangimi (36%); b) uscire dal settore acquicolo, entrando in altri settori, quali il farmaceutico e nutraceutico (34%), l'agricolo (14%), l'agroalimentare (11%) e l'energetico (5%).

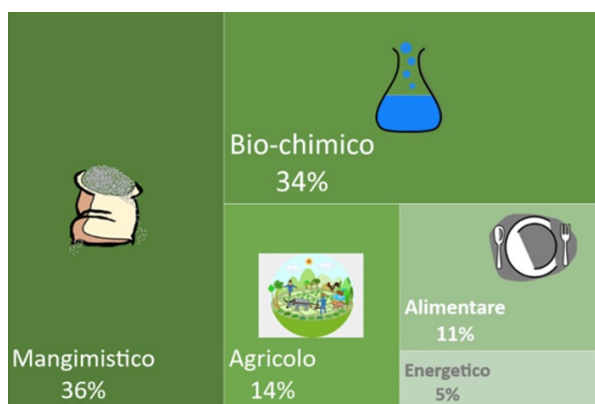


Figura 11 – Prodotti collegati all'adozione di pratiche di EC in acquacoltura marina

(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

3.2.4 Strumenti per misurare gli effetti ambientali delle pratiche di EC in acquacoltura

Nonostante l'interesse crescente della comunità scientifica per i principi di EC, si riscontra una carenza di strumenti che possano supportare la valutazione dei benefici ambientali derivanti dall'applicazione di pratiche circolari in acquacoltura. Infatti, solo il 7% degli articoli del campione ha utilizzato uno strumento di misurazione, che, in tutti i casi, è risultato essere la *Life Cycle Assessment* (LCA) (ISO 2006), una metodologia riconosciuta a livello internazionale per stimare i potenziali impatti ambientali di un prodotto, di un processo o di un'attività lungo l'intera catena del valore. Alcuni ricercatori (Napolitano et al. 2022; Thomas et al. 2022) hanno fatto ricorso alla LCA per misurare come gli allevamenti a bassa trofia (alghe, ostriche, ascidie, cozze) abbiano favorito la riduzione dell'eutrofizzazione e delle fioriture algali, o come migliora la qualità delle acque di scarico, se si utilizzano mangimi a base di alghe (*Arthrospira platensis*). Inoltre, relazione alla scelta dei mangimi, la LCA è stata usata anche per confrontare pratiche di EC introdotte nella fase di accrescimento della biomassa, misurando le performance di sostenibilità tra i diversi mangimi tradizionali, vegetali o quelli contenenti proteine (Jagtap et al. 2021) ottenute dal riciclo (Iñarra et al. 2022; Owsianiak et al. 2022). L'applicazione della LCA ha, inoltre, consentito di misurare e confrontare le performance ambientali di processi di estrazione di sostanze di valore (come chitina, acidi grassi, collagene), o di produzione energetica, attraverso uso di tecnologie differenti (Cristiano et al. 2022). Sebbene la LCA sia uno strumento olistico, che ben si presta a supportare la misurazione delle ricadute ambientali nei processi di EC, si evidenzia la necessità di ampliare il ventaglio degli strumenti di misurazione e delle pratiche circolari in acquacoltura, per sfruttare appieno il potenziale dell'EC. A tal proposito, si potrebbe integrare la LCA con altri strumenti e metodi che considerino anche gli aspetti economici, sociali e di gestione delle risorse e dei rifiuti. Alcuni dei metodi che potrebbero essere sperimentati per misurare le performance delle pratiche circolari, sono la *Life Cycle Sustainability Assessment* (LCSA), che combina la LCA con il *Life Cycle Costing* (LCC) e il *Social Life Cycle Assessment* (S-LCA) per valutare tutti gli impatti della sostenibilità, la *Material Flow Cost Accounting* (MFCA), che misura il consumo di risorse e la produzione di rifiuti in termini monetari e ambientali (Walz and Guenther 2021), l'analisi costi-benefici (ABC), che confronta i costi e i benefici in una sola unità di misura, o il modello *input-output* (IOM), che analizza le relazioni tra gli input e gli output derivanti da un approccio circolare in acquacoltura (Laso et al. 2022).

4 Conclusioni

La revisione della letteratura ha mostrato che l'EC può rendere l'acquacoltura più sostenibile, riducendone gli impatti ambientali e creando nuove possibilità di sviluppo. Per questo motivo, l'interesse accademico è cresciuto a partire dal 2018. Un'analisi delle co-occorrenze delle parole chiave ha confermato che EC e acquacoltura sono le principali parole, seguite da sostenibilità. Siccome l'EC in acquacoltura è un tema che richiede una visione olistica e integrata delle diverse pratiche che la compongono, sono state classificate tutte le pratiche emerse dalla revisione della letteratura e clusterizzate in base al paradigma delle 4R della gerarchia dei rifiuti. Da ciò emerge che la maggior parte delle ottanta pratiche di EC perseguono la riduzione dell'uso di risorse, proponendo soluzioni circolari che riguardano sia l'impiego di nuove fonti proteiche, sia la produzione di nuove molecole ottenute da un più efficace sistema di gestione dei rifiuti, degli scarti e delle acque di produzione. Sebbene queste pratiche abbiano il potenziale per ridurre l'impatto ambientale dell'acquacoltura, possano migliorare la qualità dei prodotti e valorizzare i sottoprodotti e i rifiuti, oltre che favorire l'estrazione di molecole preziose, non sono supportate da strumenti per misurare i reali vantaggi derivanti dalla loro implementazione. Solo il 7% degli studi ha, infatti, fornito le misurazioni delle performance ambientali delle pratiche di EC proposte, usando il metodo LCA. Tuttavia, ci sono altri strumenti che potrebbero essere utilizzati per valutare le opportunità e i benefici anche economici e sociali dell'EC per l'acquacoltura, attraverso diversi metodi che integrano dati fisici e monetari. Ad esempio, la *Material Flow Cost Accounting*, oppure attraverso la ACB, o il modello IOM, ma anche il più olistico approccio della LCSA, che considera tutti gli impatti ambientali, sociali ed economici nei processi decisionali. Questi strumenti dovrebbero essere oggetto di maggior attenzione da parte della ricerca futura, in modo da fornire all'acquacoltura delle evidenze basate su indicatori comparabili. La presente analisi ha, inoltre, evidenziato che, rispetto alla gerarchia dei rifiuti, le pratiche di EC sono spesso focalizzate su una sola delle 4R, trascurando le possibili sinergie e complementarità tra le diverse strategie. Si è, poi, riscontrata una maggiore attenzione per l'acquacoltura marina rispetto a quella di acqua dolce, nonostante quest'ultima abbia un ruolo importante nella produzione ittica mondiale. Pertanto, si suggerisce che la ricerca futura si occupi di approfondire le pratiche di EC che considerino simultaneamente più di una delle 4R, analizzando le barriere e i fattori che ne influenzano l'adozione e la diffusione. Ugualmente, si propone di esplorare le opportunità e le sfide dell'EC in acquacoltura di acqua dolce, considerando le specificità e le differenze rispetto all'ambiente marino.

Ringraziamenti

Questo progetto è finanziato nell'ambito del fondo FSE REACT-EU, dottorato Innovazione e Verde ex DM1061, Ciclo XXXVI-2021.

References

- AHMAD, ASHFAQ, SHADI W. HASSAN, AND FAWZI BANAT. 2022. "An Overview of Microalgae Biomass as a Sustainable Aquaculture Feed Ingredient: Food Security and Circular Economy." *Bioengineered* 13(4): 9521-47. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2061148>.
- ALBREKTSSEN, SISSEL ET AL. 2022. "Future Feed Resources in Sustainable Salmonid Production: A Review." *Reviews in Aquaculture* 14(4): 1790-1812.
- ALLOUL, ABBAS ET AL. 2021. "Purple Bacteria as Added-Value Protein Ingredient in Shrimp Feed: *Penaeus Vannamei* Growth Performance, and Tolerance against *Vibrio* and Ammonia Stress." *Aquaculture* 530(August 2020): 735788. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735788>.
- ALONSO, A.A., X.A. ÁLVAREZ-SALGADO, AND L.T. ANTELO. 2021. "Assessing the Impact of Bivalve Aquaculture on the Carbon Circular Economy." *Journal of Cleaner Production* 279.
- AZWAR, ELFINA ET AL. 2022. "Progress in Thermochemical Conversion of Aquatic Weeds in Shellfish Aquaculture for Biofuel Generation: Technical and Economic Perspectives." *Bioresource Technology* 344(PA): 126202. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126202>.
- BALDI, L. ET AL. 2022. "Consumer Attitude and Acceptance toward Fish Fed with Insects: A Focus on the New Generations." *Journal of Insects as Food and Feed* 8(11): 1249-63. <https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2021.0109> (February 13, 2023).
- BHATTACHARJYA, RAYA, PANKAJ KUMAR SINGH, ARCHANA TIWARI. 2021. "Aquaculture Water as a Source of Sustainable Growth Medium for Diatom Cultivation and Its Nutritive Suitability as a Potential Aqua Feed." *Environmental Technology and Innovation* 24: 101987. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101987>.
- BOFFA, VITTORIO ET AL. 2022. "Potential of Nanofiltration Technology in Recirculating Aquaculture Systems in a Context of Circular Economy." *Chemical Engineering Journal Advances* 10(November 2021): 100269. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100269>.
- BOHNES, FLORENCE ALEXIA, MICHAEL ZWICKY HAUSCHILD, JØRGEN SCHLUNDT, ALEXIS LAURENT. 2019. "Life Cycle Assessments of Aquaculture Systems: A Critical Review of Reported Findings with Recommendations for Policy and System Development." *Reviews in Aquaculture* 11(4): 1061-79.

- BORRELLO, MASSIMILIANO, STEFANO PASCUCCI, LUIGI CEMBALO. 2020. "Three Propositions to Unify Circular Economy Research: A Review." *Sustainability (Switzerland)* 12(10).
- CAMPANATI, CAMILLA, DAVID WILLER, JASMIN SCHUBERT, DAVID C. ALDRIDGE. 2022a. "Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth." *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture* 30(2): 143-69. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>.
- . 2022b. "Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth." *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture* 30(2): 143-69. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>.
- CARVALHO PEREIRA, JOANA, ANJA LEMOINE, PETER NEUBAUER, STEFAN JUNNE. 2022. "Perspectives for Improving Circular Economy in Brackish Shrimp Aquaculture." *Aquaculture Research* 53(4): 1169-80.
- CASADO-COY, NURIA, PABLO SÁNCHEZ-JEREZ, JESUS S. TRONCOSO, CARLOS SANZ-LAZARO. 2022. "Mollusc-Shell Debris Derived from Aquaculture Can Promote Macrofaunal Communities with a High Bioturbation Capacity." *Aquaculture* 548(October 2021).
- CHARY, KILLIAN, DANIELE BRIGOLIN, MYRIAM D. CALLIER. 2022. "Farm-Scale Models in Fish Aquaculture – An Overview of Methods and Applications." *Reviews in Aquaculture* 14(4): 2122-57.
- CHEN, JIH HENG ET AL. 2019. "A Novel Process for the Mixotrophic Production of Lutein with *Chlorella Sorokiniana* MB-1-M12 Using Aquaculture Wastewater." *Bioresource Technology* 290(July): 121786. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121786>.
- CIRIMINNA, LAURA ET AL. 2021. "Turning Waste into Gold: Sustainable Feed Made of Discards from the Food Industries Promotes Gonad Development and Colouration in the Commercial Sea Urchin *Paracentrotus Lividus* (Lamarck, 1816)." *Aquaculture Reports* 21: 100881. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100881>.
- COLOMBO, STEFANIE M. ET AL. 2022. "Towards Achieving Circularity and Sustainability in Feeds for Farmed Blue Foods." *Reviews in Aquaculture* (November): 1-27.
- COONEY, RONAN ET AL. 2023. "A Circular Economy Framework for Seafood Waste Valorisation to Meet Challenges and Opportunities for Intensive Production and Sustainability." *Journal of Cleaner Production* 392(May 2022).
- COPPOLA, DANIELA ET AL. 2021a. "Fish Waste: From Problem to Valuable Resource." *Marine Drugs* 19(2): 1-39.

- . 2021b. “Fish Waste: From Problem to Valuable Resource.” *Marine Drugs* 19(2): 1-39.
- CORNEJO-PONCE, LORENA ET AL. 2020. “Integrated Aquaculture Recirculation System (Iars) Supported by Solar Energy as a Circular Economy Alternative for Resilient Communities in Arid/Semi-Arid Zones in Southern South America: A Case Study in the Camarones Town.” *Water (Switzerland)* 12(12): 1-17.
- CRISTIANO, SILVIO ET AL. 2022. “Innovative Options for the Reuse and Valorisation of Aquaculture Sludge and Fish Mortalities: Sustainability Evaluation through Life-Cycle Assessment.” *Journal of Cleaner Production* 352(October 2021): 131613. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131613>.
- CUTAJAR, KARL ET AL. 2022. “Culturing the Sea Cucumber *Holothuria Poli* in Open-Water Integrated Multi-Trophic Aquaculture at a Coastal Mediterranean Fish Farm.” *Aquaculture* 550(November 2021).
- CUTAJAR, NEIL ET AL. 2022. “Turning Waste into A Resource: Isolation and Characterization of High-Quality Collagen and Oils from Atlantic Bluefin Tuna Discards.” *Applied Sciences (Switzerland)* 12(3).
- DAUDA, AKEEM BABATUNDE, ABDULLATEEF AJADI, ADENIKE SUSAN TOLAFABUNMI, AYOOLA OLUSEGUN AKINWOLE. 2019. “Waste Production in Aquaculture: Sources, Components and Managements in Different Culture Systems.” *Aquaculture and Fisheries* 4(3): 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002>.
- DENG, YI ET AL. 2021. “Microalgae for Nutrient Recycling from Food Waste to Aquaculture as Feed Substitute: A Promising Pathway to Eco-Friendly Development.” *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 96(9): 2496-2508.
- DONTHU, NAVEEN ET AL. 2021. “How to Conduct a Bibliometric Analysis: An Overview and Guidelines.” *Journal of Business Research* 133(May): 285-96. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>.
- EROLDOĞAN, ORHAN TUFAN ET AL. 2022. “From the Sea to Aquafeed: A Perspective Overview.” *Reviews in Aquaculture* (September): 1-30.
- ESTEVEZ, ANA F. ET AL. 2022. “Microalgal Growth in Aquaculture Effluent: Coupling Biomass Valorisation with Nutrients Removal.” *Applied Sciences (Switzerland)* 12(24).
- EUMOFA. 2018. European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products *Blue Bioeconomy. Situation Report and Perspectives*.
- EUROPEAN COMMISSION. 2012. “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Blue Growth—Opportunities for Marine and Maritime Sustainable Growth.” *COM/2012/494/Final*: 12. http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/blue_growth/.

- . 2015. *COM/2015/0614 Final*. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF.
- . 2017. *Regulation (EU) 2017/1004 of the European Parliament and of the Council of 17 May 2017 on the Establishment of a Union Framework for the Collection, Management and Use of Data in the Fisheries Sector and Support for Scientific Advice Regarding the Common* .
- . 2019. *53 The European Green Deal*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>.
- . 2020a. *21 A Farm to Fork Strategy for a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System*.
- . 2020b. *COM/2020/98 final New Circular Economy Action Plan*.
- . 2021a. “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Empty “Strategic Guidelines for a More Sustainable and Competitive EU Aquaculture for the Period 2021 To.” *COM/2021/236/Final*: 1-8.
- . 2021b. “European Green Deal: Commission Adopts Strategic Guidelines for Sustainable and Competitive EU Aquaculture.” (May). https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_1554.
- . 2021c. *Strategic Guidelines for More Sustainable and Competitive EU Aquaculture for the Periodi 2021-2030 COM(2021) 236*.
- FAO. 1998. Food and Agriculture Organization of the United Nations *Rural Aquaculture: Overview and Framework for Country Reviews*.
- . 2010. “Aquaculture Development.” *FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries* 5: 40.
- . 2018. “Achieving Blue Growth.” *Fao*: 23.
- . 2022a. *1376 FAO Fisheries and Aquaculture Report Report of the Global Conference on Aquaculture Millennium +20 Aquaculture for Food and Sustainable Development Shanghai, China, 22-25 September 2021*. https://www.proquest.com/scholarly-journals/report-global-conference-on-aquaculture/docview/2665175805/se-2?accountid=206735%0Ahttps://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/QquwM?_a=ChgyMDIyMTIxOTE1MzEyODM0Mzo2MzkyMTgSBzE0MDM5MjUaCk9ORV9TRUFSQ0giDzExMi4yMD Eu.
- . 2022b. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. <https://www.fao.org/3/cc0461en/online/cc0461en.html>.
- FERNANDES, HELENA ET AL. 2022. “Application of Fermented Brewer’s Spent Grain Extract in Plant-Based Diets for European Seabass Juveniles.” *Aquaculture* 552(December 2021).

- FERREIRA, INÊS, AMÉLIA P. RAUTER, NARCISA M. BANDARRA. 2022. "Marine Sources of DHA-Rich Phospholipids with Anti-Alzheimer Effect." *Marine Drugs* 20(11).
- FREITAS, JORGE, PAULO VAZ-PIRES, JOSÉ S. CÂMARA. 2020. "From Aquaculture Production to Consumption: Freshness, Safety, Traceability and Authentication, the Four Pillars of Quality." *Aquaculture* 518.
- FRICKE, ENNO ET AL. 2022. "Brown Shrimp (*Crangon Crangon*) Processing Remains as Ingredient for *Litopenaeus Vannamei* Feeds: Biochemical Characterisation and Digestibility." *Aquaculture Reports* 25(August): 101225. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101225>.
- GATTO, FABIANA, ILARIA RE. 2021. "Circular Bioeconomy Business Models to Overcome the Valley of Death. A Systematic Statistical Analysis of Studies and Projects in Emerging Bio-Based Technologies and Trends Linked to the Sme Instrument Support." *Sustainability (Switzerland)* 13(4): 1-37.
- GUDBRANDSDOTTIR, INGUNN Y. ET AL. 2021. "Transition Pathways for the Farmed Salmon Value Chain: Industry Perspectives and Sustainability Implications." *Sustainability (Switzerland)* 13(21): 1-23.
- HOERTERER, CHRISTINA ET AL. 2022. "Effects of Dietary Plant and Animal Protein Sources and Replacement Levels on Growth and Feed Performance and Nutritional Status of Market-Sized Turbot (*Scophthalmus Maximus*) in RAS." *Frontiers in Marine Science* 9(November): 1-16.
- HOU, ERH JEN, CHI SHIH HUANG, YING CHOU LEE, HSUEH TING CHU. 2022. "Upcycled Aquaculture Waste as Textile Ingredient for Promoting Circular Economy." *Sustainable Materials and Technologies* 31: e00336. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00336>.
- IACOVIDOU, ELENI, JOEL MILLWARD-HOPKINS, ET AL. 2017. "A Pathway to Circular Economy: Developing a Conceptual Framework for Complex Value Assessment of Resources Recovered from Waste." *Journal of Cleaner Production* 168: 1279-88. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.002>.
- IACOVIDOU, ELENI, COSTAS A. VELIS, ET AL. 2017. "Metrics for Optimising the Multi-Dimensional Value of Resources Recovered from Waste in a Circular Economy: A Critical Review." *Journal of Cleaner Production* 166: 910-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.100>.
- IÑARRA, B. ET AL. 2022. "Ecodesign of New Circular Economy Scheme for Brewer's Side Streams." *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 28(November 2021).
- ISO. 2006. "ISO. (2006). ISO 14044. Environmental Management–Life Cycle Assessment–Requirements and Management."

- JAGTAP, SANDEEP ET AL. 2021. "Codesign of Food System and Circular Economy Approaches for the Development of Livestock Feeds from Insect Larvae." *Foods* 10(8): 1-15.
- JIMÉNEZ VEUTHEY, MARIANA ET AL. 2022. "Production of the Marine Microalga *Nannochloropsis Gaditana* in Pilot-Scale Thin-Layer Cascade Photobioreactors Using Fresh Pig Slurry Diluted with Seawater." *Journal of Water Process Engineering* 48(May).
- KOTTA, JONNE ET AL. 2020. "Cleaning up Seas Using Blue Growth Initiatives: Mussel Farming for Eutrophication Control in the Baltic Sea." *Science of the Total Environment* 709.
- KUNDU, DEBAJYOTI ET AL. 2022. "Valorization of Wastewater: A Paradigm Shift towards Circular Bioeconomy and Sustainability." *Science of the Total Environment* 848(July): 157709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157709>.
- LASO, JARA ET AL. 2022. "Achieving Sustainability of the Seafood Sector in the European Atlantic Area by Addressing Eco-Social Challenges: The NEPTUNUS Project." *Sustainability (Switzerland)* 14(5).
- LOPES, CARLA ET AL. 2015. "Valorisation of Fish By-Products against Waste Management Treatments – Comparison of Environmental Impacts." *Waste Management* 46: 103-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.017>.
- LOPES, IVÁ GUIDINI, LUCAS BOSCOV BRAOS, MARA CRISTINA PESSÔA CRUZ, ROSE MEIRE VIDOTTI. 2021a. "Valorization of Animal Waste from Aquaculture through Composting: Nutrient Recovery and Nitrogen Mineralization." *Aquaculture* 531(August 2020): 735859. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735859>.
- . 2021b. "Valorization of Animal Waste from Aquaculture through Composting: Nutrient Recovery and Nitrogen Mineralization." *Aquaculture* 531(June 2020): 735859. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735859>.
- MACDONALD, JACKIE. 2014. 34 *Journal of the Canadian Health Libraries Association / Journal de l'Association des bibliothèques de la santé du Canada Systematic Approaches to a Successful Literature Review*.
- MACFARLANE, ANDREW, TONY RUSSELL-ROSE, FARHAD SHOKRANEH. 2022. "Search Strategy Formulation for Systematic Reviews: Issues, Challenges and Opportunities." *Intelligent Systems with Applications* 15: 200091. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2022.200091>.
- MAGNABOSCO, GIULIA ET AL. 2021. "New Material Perspective for Waste Seashells by Covalent Functionalization." *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 9(18): 6203-8.

- MARQUES, ALEXANDRA ET AL. 2022. "Understanding the Interaction between Terrestrial Animal Fat Sources and Dietary Emulsifier Supplementation on Muscle Fatty Acid Profile and Textural Properties of European Sea Bass." *Aquaculture* 560(April): 7385-47. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738547>.
- MONTEIRO DOS SANTOS, DRIELY KATHRINY ET AL. 2022. "Defatted Black Soldier Fly Larvae Meal as a Dietary Ingredient for Tambaqui (*Colossoma Macropomum*): Digestibility, Growth Performance, Haematological Parameters, and Carcass Composition." *Aquaculture Research* 53(18): 6762-70.
- MONTEIRO, MARTA ET AL. 2018. "A Blend of Land Animal Fats Can Replace up to 75% Fish Oil without Affecting Growth and Nutrient Utilization of European Seabass." *Aquaculture* 487(December 2017): 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.043>.
- MORRIS, JAMES P., THIERRY BACKELJAU, GAUTHIER CHAPELLE. 2019. "Shells from Aquaculture: A Valuable Biomaterial, Not a Nuisance Waste Product." *Reviews in Aquaculture* 11(1): 42-57.
- MRAZ, JAN, HUI JIA, KOUSHIK ROY. 2022. "Biomass Losses and Circularity along Local Farm-to-Fork: A Review of Industrial Efforts with Locally Farmed Freshwater Fish in Land-Locked Central Europe." *Reviews in Aquaculture* (October): 1-17.
- MUTALIPASSI, MIRKO ET AL. 2021. "Bioactive Compounds of Nutraceutical Value from Fishery and Aquaculture Discards." *Foods* 10(7): 1-22.
- NAPOLITANO, GAETANA ET AL. 2022. "Towards Sustainable Aquaculture Systems: Biological and Environmental Impact of Replacing Fishmeal with *Arthrospira Platensis* (Nordstedt) (Spirulina)." *Journal of Cleaner Production* 374(August): 133978. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133978>.
- NAYLOR, ROSAMOND L. ET AL. 2002. "Effect of Aquaculture on World Fish Supplies." *Nature* 405(6790): 1017-24.
- NGUYEN, LUONG N. ET AL. 2022. "Nutrient Removal by Algae-Based Wastewater Treatment." *Current Pollution Reports* 8(4): 369-83. <https://doi.org/10.1007/s40726-022-00230-x>.
- OECD/FAO. 2022. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031*. Paris.
- OOSTING, SIMON ET AL. 2022. "Farmed Animal Production in Tropical Circular Food Systems." *Food Security* 14(1): 273-92. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01205-4>.
- OWSIANIAK, MIKOŁAJ ET AL. 2022. "Performance of Second-Generation Microbial Protein Used as Aquaculture Feed in Relation to Planetary Boundaries." *Resources, Conservation and Recycling* 180(January).
- PAGE, MATTHEW J. ET AL. 2021. "The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews." *The BMJ* 372.

- PEREIRA, ANTIA G. ET AL. 2022. "Single-Cell Proteins Obtained by Circular Economy Intended as a Feed Ingredient in Aquaculture." *Foods* 11(18): 1-22.
- PETEREIT, JESSICA ET AL. 2022. "Adult European Seabass (*Dicentrarchus Labrax*) Perform Well on Alternative Circular-Economy-Driven Feed Formulations." *Sustainability (Switzerland)* 14(12): 1-18.
- PIAZZON, M.C. ET AL. 2022. "A Novel Fish Meal-Free Diet Formulation Supports Proper Growth and Does Not Impair Intestinal Parasite Susceptibility in Gilthead Sea Bream (*Sparus Aurata*) with a Reshape of Gut Microbiota and Tissue-Specific Gene Expression Patterns." *Aquaculture* 558(November 2021).
- PLEIĆ, IVANA LEPEN ET AL. 2022. "A Plant-Based Diet Supplemented with *Hermetia Illucens* Alone or in Combination with Poultry by-Product Meal: One Step Closer to Sustainable Aquafeeds for European Seabass." *Journal of Animal Science and Biotechnology* 13(1): 1-22.
- REGUEIRO, LETICIA ET AL. 2022. "Opportunities and Limitations for the Introduction of Circular Economy Principles in EU Aquaculture Based on the Regulatory Framework." *Journal of Industrial Ecology* 26(6): 2033-44.
- RUIZ-SALMÓN, ISRAEL ET AL. 2020. "Addressing Challenges and Opportunities of the European Seafood Sector under a Circular Economy Framework." *Current Opinion in Environmental Science and Health* 13: 101-6. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.01.004>.
- SAN JUAN, MARTA GOMEZ, ANNE BOGDANSKI, OLIVIER DUBOIS. 2019. *Background Material for the FAO Publication towards Sustainable Bioeconomy*. <http://www.fao.org/3/a-bs923e.pdf>.
- SANZ-LAZARO, CARLOS, PABLO SANCHEZ-JEREZ. 2020. "Regional Integrated Multi-Trophic Aquaculture (RIMTA): Spatially Separated, Ecologically Linked." *Journal of Environmental Management* 271(July 2019): 110921. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110921>.
- SMITH, MARTIN D. ET AL. 2010. "Sustainability and Global Seafood." *Science* 327(5967): 784-86.
- THOMAS, JEAN BAPTISTE E. ET AL. 2022. "Marine Biomass for a Circular Blue-Green Bioeconomy? A Life Cycle Perspective on Closing Nitrogen and Phosphorus Land-Marine Loops." *Journal of Industrial Ecology* 26(6): 2136-53.
- TUMILAR, ALDRIC S. ET AL. 2021. "A Modelling Framework for the Conceptual Design of Low-Emission Eco-Industrial Parks in the Circular Economy: A Case for Algae-Centered Business Consortia." *Water (Switzerland)* 13(1).

- UNITED NATIONS. 2015. "TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT Sustainabledevelopment.Un.Org A/RES/70/1." : 1-41.
- VALCARCEL, JESUS ET AL. 2021. "Production and Physicochemical Characterization of Gelatin and Collagen Hydrolysates from Turbot Skin Waste Generated by Aquaculture Activities." *Marine Drugs* 19(9).
- VALENTE, LUÍSA MARIA PINHEIRO ET AL. 2019. 45 Fish Physiology and Biochemistry *Defatted Microalgae (Nannochloropsis Sp.) from Biorefinery as a Potential Feed Protein Source to Replace Fishmeal in European Sea Bass Diets.*
- VILLAR-NAVARRO, ELENA, CARMEN GARRIDO-PÉREZ, JOSÉ A. PERALES. 2021. "Recycling 'Waste' Nutrients Back into RAS and FTS Marine Aquaculture Facilities from the Perspective of the Circular Economy." *Science of the Total Environment* 762: 143057. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143057>.
- WALZ, MATTHIAS, EDELTRAUD GUENTHER. 2021. "What Effects Does Material Flow Cost Accounting Have for Companies?: Evidence from a Case Studies Analysis." *Journal of Industrial Ecology* 25(3): 593-613.
- ZARANTONIELLO, MATTEO ET AL. 2020. "Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) Reared on Roasted Coffee by-Product and *Schizochytrium* Sp. as a Sustainable Terrestrial Ingredient for Aquafeeds Production." *Aquaculture* 518(October 2019).
- ZHAN, JUNXIONG, JINSHAN LU, DI WANG. 2022. "Review of Shell Waste Reutilization to Promote Sustainable Shellfish Aquaculture." *Reviews in Aquaculture* 14(1): 477-88.