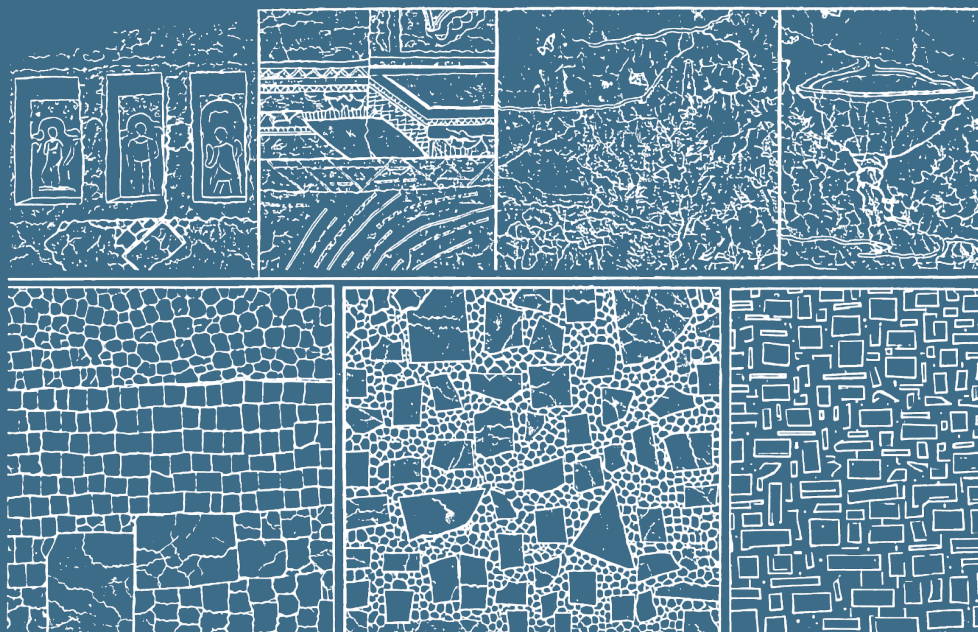


CLIMATE CHANGE E SOSTENIBILITÀ DEI TERRITORI TRA RISCHI AMBIENTALI E ANTROPICI

a cura di
IRENE FANTAPPIÈ e SARA ZUCCARINO



Che cosa significa oggi abitare il pianeta? Questo volume affronta la domanda attraversando saperi e linguaggi diversi: dalle scienze ambientali al diritto, dalla matematica alle scienze sociali, dalla filosofia alla letteratura. Articolato in tre sezioni – cornici etiche, culturali e letterarie; strumenti e governance per la sostenibilità dei territori; ruolo delle università e della ricerca – il volume propone dunque una lettura transdisciplinare del cambiamento climatico come una questione insieme scientifica, politica e simbolica. Al centro, il territorio come luogo di crisi ma anche di sperimentazione, in cui si ridefiniscono le relazioni tra umano, non umano e tecnologia. I saggi indagano sia rischi e trasformazioni del passato e del presente, sia anche le possibilità di risposta: modelli sostenibili, strategie di mitigazione e adattamento, pratiche di coabitazione, nuove forme di consapevolezza. Ne emerge un invito a pensare la transizione ecologica come processo culturale e sociale oltre che tecnico, fondato su responsabilità condivisa e giustizia intergenerazionale.

What does it mean to inhabit the planet today? This volume addresses the question by bringing into dialogue diverse fields of knowledge and forms of expression: from environmental sciences to law, from mathematics to the social sciences, from philosophy to literature. Organized into three sections – ethical, cultural and literary frameworks; tools and governance for the sustainability of territories; and the role of universities and research – the volume offers a transdisciplinary perspective on climate change as at once a scientific, political, and symbolic issue. The territory is conceived as both a site of crisis and a space of experimentation, where relationships between humans, non-humans, and technology are being reconfigured. The essays explore not only risks and transformations, but also possible responses: sustainable models, strategies for mitigation and adaptation, practices of cohabitation, and new forms of awareness. Ultimately, the volume invites readers to rethink ecological transition as a cultural and social process, as well as a technical one, grounded in shared responsibility and intergenerational justice.



Copyright © EUC - 2026
EDIZIONI UNIVERSITÀ DI CASSINO

CENTRO EDITORIALE DI ATENEO
Università degli Studi di Cassino e del Lazio meridionale
Campus universitario – Palazzo degli Studi
Località Folcara – 03043 Cassino (FR), Italia
e-mail: editoria@unicas.it

ISBN **978-88-8317-149-9** per l'edizione digitale

I contenuti della pubblicazione possono essere utilizzati purché se ne citi la fonte e non vengano modificati il senso e il significato dei testi in esso contenuti.

Il CEA, Centro Editoriale di Ateneo, e l'Università degli Studi di Cassino e del Lazio meridionale non sono in alcun modo responsabili dell'uso che viene effettuato dei testi presenti nel volume, di eventuali modifiche ad essi apportate e delle conseguenze derivanti dal loro utilizzo.



EBOOK

Gli e-book di EUC – Edizioni Università di Cassino sono pubblicati con licenza:
Creative Commons Attribution 4.0 International
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Pubblicato in versione digitale su archivi online in *open access* nel mese di luglio 2026.

In copertina una rielaborazione grafica di un collage di immagini raffiguranti alcune decorazioni del Ninfeo Ponari di Cassino. Si ringrazia il dott. Adolfo Panarello per la gentile concessione all'utilizzo.

COLLANA SCIENTIFICA
e-book

CLIMATE CHANGE
E SOSTENIBILITÀ DEI TERRITORI
TRA RISCHI AMBIENTALI E ANTROPICI

a cura di
IRENE FANTAPPIÈ e SARA ZUCCARINO



EDIZIONI UNIVERSITÀ DI CASSINO

Centro Editoriale di Ateneo – Università degli Studi di Cassino e del Lazio meridionale | 2026

Indice

Prefazione

MARCO DELL'ISOLA pag. 7

Introduzione

ALESSANDRA SANNELLA pag. 9

Ringraziamenti

IRENE FANTAPPIÈ, SARA ZUCCARINO pag. 15

PARTE PRIMA

CORNICI ETICHE, CULTURALI E LETTERARIE

Distruggere la natura grave peccato.

Una riflessione sulla Laudato si' a dieci anni di distanza

LUIGI DI SANTO pag. 21

Comunità 'ibride'. Contributi dell'etologia filosofica a nuovi modelli della coabitazione uomo-animali

MARCO CELENTANO pag. 33

Il Ninfeo Ponari di Cassino: rischi e strategie di valorizzazione tra cambiamenti climatici e pressioni antropiche

EUGENIO POLITO, ARTURO GALLOZZI, VINCENZO GRAFFEO,
FRANCESCA PIERDOMINICI pag. 51

Il Decamerone e i sistemi evolutivi complessi

GIULIO DE JORIO FRISARI pag. 77

Antonio Machado ecologista ante litteram

ROBERTA ALVITI pag. 95

La grande cecità / La grande rimozione. (Im)pensabilità e (ir)rappresentabilità del cambiamento climatico nel saggio letterario (Amitav Ghosh) e nel graphic essay (Roberto Grossi)

IRENE FANTAPPIÈ pag. 113

PARTE SECONDA

STRUMENTI, GOVERNANCE E TRAIETTORIE OPERATIVE PER LA SOSTENIBILITÀ DEI TERRITORI

Sostenibilità territoriale, autonomia negoziale e metamorfosi del diritto privato

SARA ZUCCARINO pag. 131

Cambiamento climatico: scenari e prospettive per le aree rurali

GIANLUCA GROSSI, VALENTINA POLSINELLI pag. 151

Tra doveri climatici e pianificazione energetica: la discrezionalità amministrativa alla prova della sostenibilità

JADA DOMANICO pag. 169

Nonlinear Modeling of Vegetation Indices under Climate Variability

ABDULRAHMAN ABDULRAHMAN pag. 187

Verso una democrazia energetica territoriale: il contributo delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) nella lotta alla povertà energetica

EMANUELE MIGLIORELLI pag. 207

PARTE TERZA

RUOLO DELLE UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA NELLA TRANSIZIONE CLIMATICA

La circolarità per la gestione sostenibile delle batterie agli ioni di litio: analisi biometrica e contenutistica della letteratura manageriale

VINCENZO FORMISANO, MARIA FEDELE,
GRAZIA MARIA ALESSANDRA LENA, SARA KULLAFI pag. 231

The University and the Need for Bifurcation for Sustainable Futures

PAUL HAYES, JAN C. SCHMIDT, ESTER TORIBIO-ROURA,
CERI ALMROTT, NOEL FITZPATRICK, ALESSANDRA SANNELLA pag. 267

Raising Awareness on Climate Change Among University Students: an Enterprising Journey

SIMONA BALZANO, MARCELLO DE ROSA, DEIRDRE MCQUILLAN pag. 315

La circolarità per la gestione sostenibile delle batterie agli ioni di litio: analisi bibliometrica e contenutistica della letteratura manageriale

VINCENZO FORMISANO, MARIA FEDELE,
GRAZIA MARIA ALESSANDRA LENA, SARA KULLAFI

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Riassunto: Il crescente interesse globale verso la scarsità di risorse e il cambiamento climatico hanno evidenziato l'urgenza di adottare pratiche circolari per la gestione delle batterie agli ioni di litio (LIBs) giunte a fine vita. Le LIBs, ampiamente usate in elettronica e mobilità elettrica, richiedono modelli gestionali sostenibili di fronte all'aumento dei flussi di rifiuti. La disponibilità di batterie esauste, l'espansione degli impianti di riciclo e nuove politiche pubbliche favoriscono la transizione verso un'economia circolare che, tramite il recupero dei materiali, riduce costi e impatti ambientali, generando nuove opportunità per l'intera filiera. Tuttavia, la letteratura è ancora dominata da contributi tecnico-ingegneristici, mentre mancano analisi manageriali che, attraverso le *r-strategies*, possano ridefinire i modelli di *business* per una gestione sostenibile delle LIBs lungo tutta la catena del valore. Il presente studio, tramite un approccio bibliometrico e un'analisi qualitativa dei principali contributi, identifica *trend*, filoni emergenti e direzioni future per la ricerca sulla gestione sostenibile delle LIBs.

Parole chiave: batterie agli ioni di litio, economia circolare, sostenibilità, analisi bibliometrica, analisi del contenuto.

Abstract: Growing global concerns over resource scarcity and climate change has emphasized the urgent need to adopt circular practices for the management of end-of-life lithium-ion batteries (LIBs). Given the increasing waste streams, LIBs, widely used in electronics and electric mobility, necessitate sustainable management models. The availability of spent batteries, the expansion of recycling facilities, and new public policies encourage the transition to a circular economy, which, through material recovery, reduces costs and environmental impacts, generating new opportunities for the entire supply chain. However, the literature is still dominated by contributions that are technical and engineering-oriented, while managerial analyses that, through *r-strategies*, can re-define business models for the sustainable management of LIBs along the

entire value chain are lacking. This study, through a bibliometric approach and a qualitative analysis of key contributions, identifies trends, emerging research threads, and future directions for research on the sustainable management of LIBs.

Keywords: Lithium-ion Batteries, Circular Economy, Sustainability, Bibliometric Analysis, Content Analysis.

1. Introduzione

Il crescente interesse globale volto a fronteggiare la scarsità di risorse e gli effetti sempre più gravi del cambiamento climatico, inaspriti dall'inadeguato smaltimento dei rifiuti solidi, ha richiamato l'attenzione sull'adozione di pratiche circolari per la gestione delle LIBs giunte a fine vita¹. Le LIBs, ampiamente impiegate in dispositivi elettronici, sistemi di accumulo energetico e mobilità elettrica, richiedono una gestione sostenibile dei flussi di rifiuti, soprattutto alla luce della crescente domanda globale².

La progressiva disponibilità di batterie esauste, l'introduzione di politiche pubbliche dedicate e la realizzazione di nuovi impianti di riciclo in diverse aree del mondo stanno favorendo la transizione verso un'economia circolare³. Il riciclo delle LIBs rappresenta una strategia cruciale per mitigare i rischi ambientali associati a uno smaltimento improprio⁴ e generare benefici economici lungo la catena del valore: alcuni studi stimano una riduzione dei costi totali superiore al 40% rispetto ai processi basati su materiali vergini⁵ e un elevato potenziale di redditività⁶.

In questo scenario, il riciclo delle LIBs si colloca pienamente nei principi dell'economia circolare⁷, orientata alla rigenerazione dei flussi materiali e alla creazione di valore attraverso pratiche di riuso e recupero. Ciò implica una

¹ GU *ET AL.* 2017; LIU *ET AL.* 2019; KIM *ET AL.*, 2021; GUTSCH, LEKER 2024; MA *ET AL.* 2024; ALMAHRI, AN 2025; CHAVAN *ET AL.* 2025.

² HANISH *ET AL.* 2015; TSIROPOULOS *ET AL.* 2018; WINSOLW *ET AL.* 2018; MARTINS *ET AL.* 2021; CHIZARYFARD *ET AL.* 2023.

³ STATISTA RESEARCH DEPARTMENT 2025.

⁴ RESEARCH AND MARKETS 2025.

⁵ CHIGBU, UMEJESI 2024; ATITEBI, JONES JR. 2025.

⁶ ZHANG *ET AL.* 2025.

⁷ ELLEN MARTHUR FOUNDATION 2013.

ridefinizione dei modelli di *business* e dei processi gestionali, orientandoli alla sostenibilità dell'intera catena del valore⁸.

Tuttavia, la letteratura scientifica sulle LIBs è ancora dominata da contributi di natura tecnico-ingegneristica, focalizzati su produzione e processi di riciclo. Scarseggiano, invece, studi manageriali in grado di analizzare sistematicamente la circolarità per la gestione sostenibile delle LIBs attraverso l'applicazione delle *r-strategies*. Tale prospettiva è essenziale per comprendere come le imprese possano integrare i principi della circolarità nei propri modelli di *business*, supportando decisioni strategiche e scelte di investimento sostenibile anche nel comparto della mobilità elettrica.

Per rispondere a tale esigenza, il presente studio adotta una metodologia bibliometrica integrata, basata su dati estratti da *Web of Science* e *Scopus*, combinata con un'analisi qualitativa del contenuto delle principali pubblicazioni, con l'obiettivo di identificare i *trend* evolutivi, i contributi più influenti, i filoni di ricerca emergenti e le principali direzioni per studi futuri.

Sulla base di queste premesse, la ricerca si propone di rispondere alle seguenti domande di ricerca inerenti la circolarità per la gestione sostenibile delle LIBs:

- RQ1. Quali sono i *trend* di pubblicazione nel tempo e per numero di citazioni?
- RQ2. Quali sono i *journal*, le istituzioni accademiche, i Paesi e gli autori più influenti?
- RQ3. Sulla base delle citazioni, quali sono i cinque articoli più influenti nell'ambito manageriale?
- RQ4. In quali filoni di ricerca possono essere raggruppati gli studi sull'economia circolare attuata per la gestione sostenibile delle LIBs e come si sono sviluppati nel tempo?
- RQ5. Quali direzioni future possono essere intraprese dagli studiosi per approfondire la ricerca sul tema?

⁸ GEISSDOERFER ET AL. 2017.

2. Costruzione del dataset e criteri di selezione dei contributi

Per la costruzione del *dataset* sono stati usati *Web of Science* e *Scopus*, scelti per la loro rilevanza internazionale e l'affidabilità dei contenuti sottoposti a *peer-review*.

L'acquisizione dei contributi scientifici è stata effettuata nei suddetti *database* mediante una *query*⁹ specificatamente incentrata su LIBs ed economia circolare, selezionando *keywords* rilevanti e varianti specifiche. Per raggiungere l'obiettivo prefissato la selezione è stata limitata alle categorie *Business, Management and Accounting*, ai contributi già pubblicati, a quelli in lingua inglese, includendo articoli scientifici e letteratura grigia indicizzata, utile per individuare temi emergenti¹⁰.

Per la selezione dei documenti è stato utilizzato il PRISMA¹¹: partendo da 559 contributi totali (532 da *Scopus* e 27 da *Web Of Science*); dopo aver eliminato 5 contributi con abstract non pertinenti e 17 duplicati, il *dataset* finale risulta composto da 537 contributi.

3. Metodologia

Per indagare in modo sistematico e approfondito l'impatto dell'economia circolare per la gestione sostenibile delle LIBs, è stata condotta un'analisi bibliometrica, che consente una revisione retrospettiva e dettagliata di una specifica categoria scientifica. Questo approccio strutturato descrive tutti i documenti pubblicati in un campo di ricerca, valutandone quantità, connessioni, produttività, qualità, citazioni e lo sviluppo intellettuale del settore¹².

Mukherjee riconosce all'analisi bibliometrica il merito di «cristallizzare» lo stato dell'arte attuale, offrendo preziose indicazioni attraverso

⁹ Query di ricerca: query: (('batter*') and ('lithium-ion*' or 'lithium ion*' or 'li-ion*' or 'lithium' or 'ion') and ('recycl*' or 'reus*' or 'recover*' or 'redesign*' or 'regenerat*' or 'remanufactur*' or 'redefin*' or 'repair*' or 'reform*' or 'refus*' or 'rethink*' or 'reduc*' or 'reclaim*' or 'reprocess*' or 'circular' and 'economy' or 'circularity' or 'circular*' or 'second life')).

¹⁰ KAR ET AL. 2023.

¹¹ PAGE ET AL. 2021.

¹² ELLEGARD, WALLIN 2015; ZUPIC, CATER 2015; TANDON ET AL. 2021; KHATIB ET AL. 2022.

l'applicazione di tecniche quantitative e statistiche sui dati bibliografici¹³. In questo modo, è possibile ridurre pregiudizi interpretativi e distorsioni¹⁴, individuare implicazioni teoriche e pratiche e cogliere le tendenze emergenti orientate al progresso¹⁵.

La letteratura autorevole evidenzia come l'analisi bibliometrica comprenda sia la *performance analysis* sia la mappatura scientifica, strumenti che consentono di delineare la struttura dei campi di ricerca e le interazioni tra i diversi elementi¹⁶.

Per l'analisi tematica è stata adottata la *content analysis*, metodologia ampiamente utilizzata nelle scienze sociali per identificare schemi e tendenze di ricerca attraverso un approccio induttivo¹⁷. Grazie a questa procedura, è stato possibile individuare i temi e i sottotemi di ciascun *cluster* e delineare potenziali percorsi per la ricerca futura.

4. Analisi delle performance

Con l'obiettivo di rispondere ai primi tre quesiti di ricerca, è stato adottato un protocollo analitico basato sull'analisi delle *performance*, utile a valutare la produttività e l'impatto della letteratura esistente su un determinato tema mediante parametri quantitativi¹⁸. Utilizzando il *software Bibliometrix* integrato nel pacchetto R-Studio¹⁹, l'analisi delle performance ha permesso di esaminare l'evoluzione della produttività scientifica e dell'impatto delle ricerche sul tema oggetto di indagine²⁰.

La produzione scientifica (figura 1) si estende su un arco temporale molto ampio, caratterizzato da una crescita contenuta e discontinua dal 1984 al 2016. In seguito, il *trend* mostra un incremento significativo fino al 2020,

¹³ DONTU ET AL. 2021.

¹⁴ ÖZTÜRK ET AL. 2024.

¹⁵ GUTIERREZ-SALCEDO ET AL. 2018.

¹⁶ VAN RAAN, 2005; COBO ET AL. 2011; MARTINEZ ET AL. 2015; MERIGÒ ET AL. 2016; BAIER-FUENTES ET AL. 2019; DONTU ET AL. 2021; ÖZTÜRK 2021; LIM ET AL. 2022.

¹⁷ KRIPPENDORFF 1980; SEURING, GOLD 2012; DRISKO, MASCHI 2015; ERIKSSON, KOVALAINEN 2015; KRIPPENDORFF 2018.

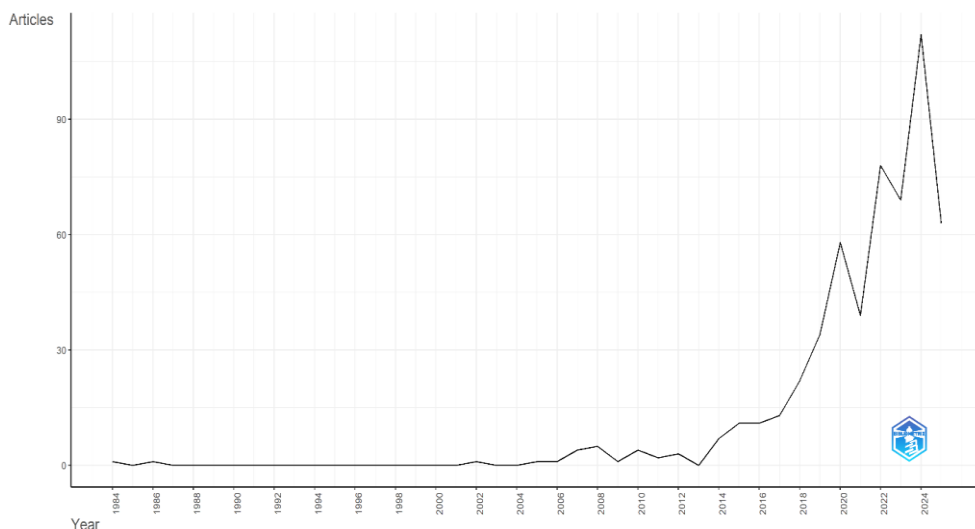
¹⁸ KRAUS ET AL. 2022.

¹⁹ R-CORE TEAM 2021.

²⁰ MUKHRJEE 2022.

anno in cui sono stati pubblicati 58 contributi. Nel 2021 si registra una sensibile diminuzione, con 30 pubblicazioni, seguita da un andamento nuovamente altalenante nei due anni successivi. Il 2024 rappresenta il picco massimo, con 112 pubblicazioni. Per l'anno in corso si prevede invece un rallentamento, poiché alla data dell'analisi condotta su *Scopus* e *Web of Science* la produttività risulta inferiore di circa il 30% rispetto all'anno precedente.

Figura 1 – Evoluzione della produzione nel tempo.



Fonte: nostra elaborazione.

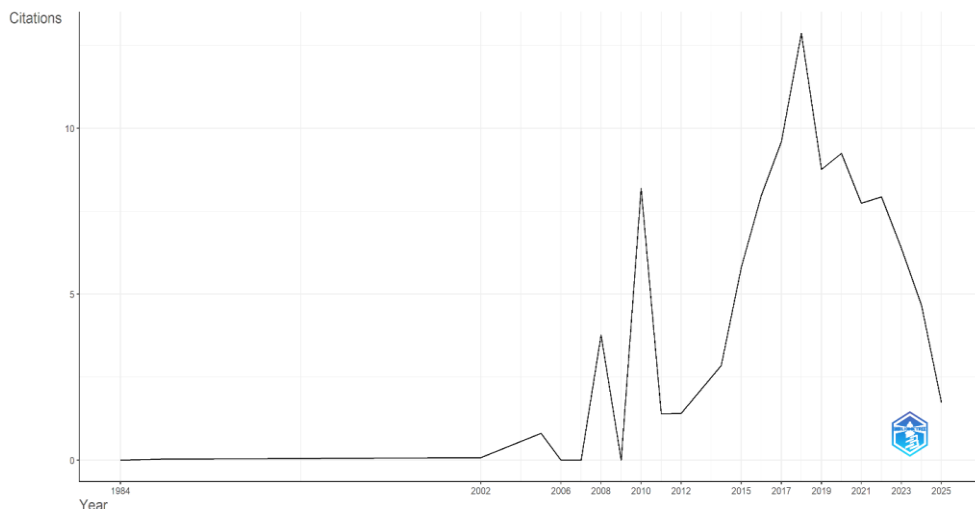
L'andamento discontinuo emerge anche dall'analisi della media delle citazioni per anno (figura 2): dopo aver raggiunto il valore massimo nel 2018 (12,8), essa ha mostrato un *trend* decrescente fino al 2022 (7, 9). Una ulteriore riduzione significativa si è registrata nel 2024, con un valore pari a 4,7. Si presume che la diminuzione prosegua anche per l'anno in corso, considerando che, al momento dell'estrazione dei dati dai database scientifici, la media si attestava a 1,7.

Analizzando i *journal* più citati, che secondo Ferreira *et al.*²¹ sono quelli che attraggono l'interesse degli studiosi più autorevoli e, di conseguenza, risultano le sedi privilegiate per la pubblicazione della ricerca più avanzata, abbiamo riscontrato che *Journal of Cleaner Production* sul tema oggetto di

²¹ FERREIRA ET AL. 2013.

questo studio occupa una posizione dominante, con 298 articoli; invece, quelli che seguono al secondo e terzo posto presentano un numero molto esiguo (11 ciascuno). Gli altri 73 *journal* presentano un numero di contributi pubblicati molto basso, inferiore a 8 ciascuno, e di questi per 41 se ne riscontra solo 1.

Figura 2 – Evoluzione delle citazioni nel tempo.



Fonte: nostra elaborazione.

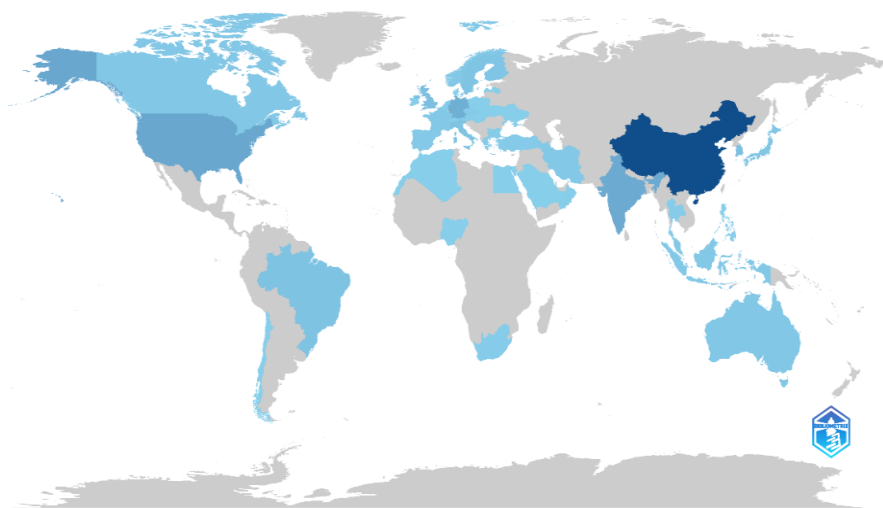
Prendendo in esame gli studiosi più produttivi che hanno trattato il tema dell'economia circolare per la gestione sostenibile delle LIBs emerge Zhang Y. con 23 articoli, pubblicati con intensità e costanza dal 2018 alla data della presente analisi, con 5 articoli nel 2024. Questo autore si distingue anche per il totale delle citazioni per anno. Al secondo posto si colloca Li J., con 16 articoli pubblicati dal 2016 alla data della presente analisi (ad eccezione del 2019) che presentano un significativo impatto misurato in termini di citazioni.

Al terzo posto si colloca Wang J. sia per la numerosità della produzione scientifica pubblicata (pari a 15), seppur con discontinuità dal 2016 alla data della presente analisi anche per numero di citazioni.

Quattro università cinesi occupano le prime tre posizioni per interesse di ricerca sulla circolarità per la gestione sostenibile delle LIBs. Tale evidenza trova conferma anche analizzando la produzione scientifica dei rispettivi Paesi (figura 3), che vede al primo posto la Cina (con 184 pubblicazioni che corrispondono a oltre 36% sul totale), seguita da USA (con 53 pubblicazioni

che corrispondono a oltre il 9% sul totale) e India (49 pubblicazioni che corrispondono a oltre l'8% sul totale). Comunque, l'interesse scientifico verso il tema oggetto di indagine è piuttosto diffuso in numerosi paesi europei, in America del Nord, in Medio ed Estremo Oriente e in Australia.

Figura 3 – Produzione scientifica ripartita per Paese.



Fonte: nostra elaborazione.

Anche per quanto riguarda il numero di citazioni domina la Cina (con 9415 citazioni), mentre al secondo posto si colloca la Germania con 929 citazioni, seguita dall'India con 892.

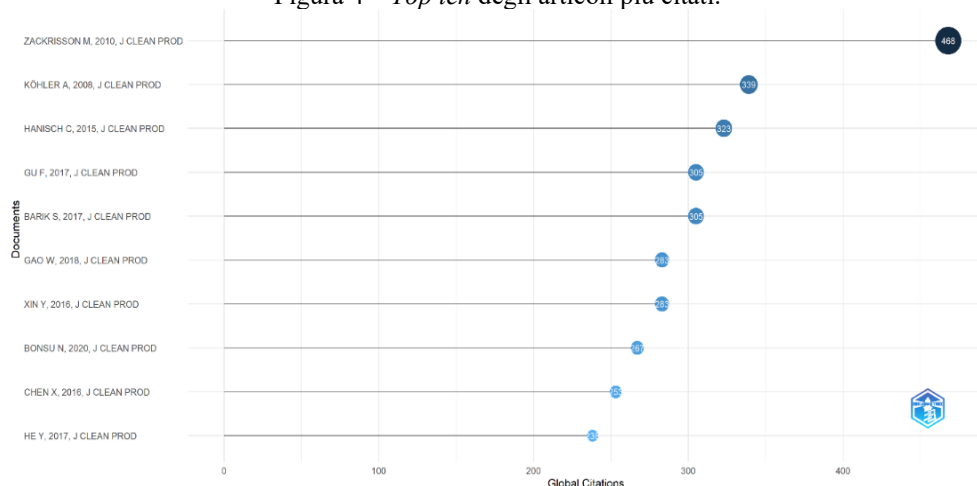
Tutti gli articoli che rientrano nella *top ten* per numero di citazioni (figura 4) sono stati pubblicati dal *Journal of Cleaner Production*, con un numero di citazioni compreso tra 238 e 468. Tra questi, analizzando i risultati dei primi cinque contributi, emergono spunti significativi per il tema trattato in questo lavoro.

Dai risultati dello studio di Zackrisson *et al.*²², con riferimento alla valutazione del ciclo di vita delle LIBs destinate ai veicoli elettrici, emergono alcune priorità strategiche correlate all'adozione di processi produttivi più sostenibili dal punto di vista ambientale e maggiormente conformi alle

²² ZACKRISSON ET AL. 2010.

normative, maggiori investimenti in innovazione per accrescere l'efficienza interna delle batterie e accrescere la competitività, colmare i rilevanti gap informativi lungo la filiera necessari per adottare decisioni aziendali efficaci su progettazione, produzione e riciclo.

Figura 4 – Top ten degli articoli più citati.



Fonte: nostra elaborazione.

La ricerca di Köhler *et al.*²³ evidenzia come il modo in cui i *carbon nano-tubes* (CNT), sempre più diffusi in prodotti come le LIBs, sono incorporati nei materiali influenzi significativamente il rischio di rilascio (non solo durante la produzione, ma anche nelle fasi di utilizzo e smaltimento), richiedendo scelte produttive più consapevoli. Durante il riciclo, inoltre, possono verificarsi fenomeni di contaminazione incrociata tra materiali, con possibili ripercussioni sulla qualità dei materiali recuperati. Pertanto, le aziende delle LIBs devono affrontare rischi operativi, regolatori e reputazionali. L'esposizione dei lavoratori o dell'ambiente ai nanotubi può comportare problemi di salute e sicurezza, mentre le normative, sempre più rigorose, possono richiedere adeguamenti produttivi o sanzioni in caso di non conformità. Inoltre, eventuali impatti negativi possono compromettere la reputazione aziendale. Proprio per mitigare tali rischi, è fondamentale adottare un approccio proattivo lungo l'intero ciclo di vita del prodotto, dalla progettazione allo

²³ KÖHLER ET AL. 2008.

smaltimento, garantendo sicurezza, conformità normativa e tutela dell'immagine aziendale.

I risultati dello studio di Hanisch *et al.*²⁴ evidenziano che lo sviluppo di processi di riciclo più efficienti per le batterie agli ioni di litio rappresenta un'opportunità strategica significativa per le aziende coinvolte nel settore della mobilità elettrica. Il processo di riciclo sviluppato con tecniche evolute consente di recuperare il litio, elemento chiave per la produzione di nuove batterie, quasi completamente e con impurità estremamente ridotte, migliorando notevolmente la purezza rispetto ai metodi meccanici tradizionali. Per le aziende ciò offre la possibilità di ridurre i costi legati all'approvvigionamento di materie prime, migliorare la sostenibilità delle filiere produttive e ottenere vantaggi competitivi attraverso l'adozione di tecnologie di riciclo avanzate, in linea con i principi dell'economia circolare.

Come evidenziato da Gu *et al.*²⁵, nonostante la crescente disponibilità e domanda di LIBs, il riciclo in Cina, principale produttore e consumatore, è ancora fortemente inefficiente. Dalla ricerca si evince che, sebbene i consumatori siano generalmente favorevoli al riciclo, la maggior parte non sa dove conferire le LIBs esauste, e i sistemi di raccolta attuali non prevedono un adeguato recupero di tali batterie. Solo pochi operatori del settore si occupano di raccolta e la scarsità di forniture incide negativamente sull'intera filiera del riciclo. Gli studiosi hanno stimato che meno del 10% delle LIBs viene effettivamente riciclato, mentre la maggior parte finisce in discarica o viene abbandonata. Pertanto, emerge l'urgenza di implementare strategie più efficaci di raccolta e gestione dei rifiuti, sviluppare collaborazioni tra produttori, enti pubblici e imprese di riciclo, e promuovere politiche e incentivi che aumentino i tassi di recupero, migliorando la sostenibilità della catena del valore delle LIBs. Gli autori ritengono che: bisognerebbe innovare le normative classificando le LIBs come rifiuti pericolosi; potenziare i sistemi di raccolta creando delle postazioni senza scopo di lucro di proprietà dello Stato come integrazione necessaria al sistema di raccolta attuale basato esclusivamente sul profitto; sia necessario sviluppare nuovi approcci di riciclo e delle tecnologie di gestione delle informazioni; sia essenziale accrescere i livelli di educazione pubblica sul tema del riciclo.

²⁴ HANISCH ET AL. 2015.

²⁵ GU ET AL. 2017.

I risultati della ricerca condotta da Barik *et al.*²⁶ evidenziano che il riciclo delle LIBs rappresenta un'opportunità strategica per le aziende, grazie all'elevato valore economico dei metalli recuperabili come litio, cobalto, manganese e nichel. Le tecnologie di riciclo disponibili, comprendenti processi meccanici, termici e chimici, offrono al settore la possibilità di ottimizzare la gestione dei rifiuti e ridurre la dipendenza dalle materie prime vergini, migliorando la sostenibilità della catena del valore. Tuttavia, l'implementazione su scala commerciale risulta complessa, a causa di vincoli tecnici come bassa densità del materiale trattato e alto consumo di reagenti chimici, richiedendo investimenti significativi in infrastrutture e impianti. Per le imprese, la selezione di metodologie di separazione e recupero dei metalli più efficienti può ridurre i costi operativi e facilitare la gestione dei processi.

5. Mappatura scientifica

Per esplorare la struttura, i temi e i sottotemi del dominio di ricerca, è stata effettuata una mappatura scientifica²⁷. Come evidenziato da Aria e Cuccurullo²⁸, l'individuazione della struttura intellettuale di un dominio scientifico è fondamentale per colmare un *gap* teorico e per le implicazioni pratiche che ne derivano. Seguendo queste indicazioni, ci siamo posti l'obiettivo di identificare i *cluster* tematici mediante una rappresentazione grafica priva di pregiudizi soggettivi²⁹.

A tal fine, abbiamo utilizzato *VOSviewer* come strumento bibliometrico, coerentemente con quanto riportato nello studio di Nautiyal e Pathak³⁰, nel quale viene espressamente riconosciuto come adeguato anche per aree di ricerca multidisciplinari. Inoltre, lo strumento consente di sviluppare mappe bibliometriche soddisfacenti anche in presenza di numerosi elementi che presentano somiglianze³¹.

²⁶ BARIK *ET AL.* 2017.

²⁷ KRAUS *ET AL.* 2022.

²⁸ ARIA, CUCCURULLO 2017.

²⁹ ZUPIC, ČATER 2015.

³⁰ NAUTIYAL, PATHAK 2024.

³¹ VAN ECK, WALTMAN 2010.

Per la visualizzazione abbiamo adottato l'approccio basato sulla distanza³²: quanto minore è la distanza tra gli elementi rappresentati dai 'nodi', tanto più forte è la loro relazione, e viceversa.

5.1. Analisi dei co-autori

Per raggiungere l'obiettivo di questo studio, anche in considerazione della tematica innovativa trattata in ambito manageriale, è stata effettuata l'analisi dei co-autori per rilevare la struttura sociale e le reti di collaborazione scientifica³³. Come indicato da Glänzel e Schubert³⁴, l'interesse verso l'analisi dei co-autori è emerso a seguito della crescente collaborazione internazionale, stimolata dal processo di globalizzazione della ricerca. La collaborazione scientifica è riconosciuta anche per il merito di generare valore nel lungo termine, misurabile attraverso strumenti bibliometrici, e di incrementare attività di ricerca, produttività e impatto.

A livello grafico (figura 5), le linee indicano le relazioni tra gli autori, mentre lo spessore delle linee ne suggerisce la rilevanza; come evidenziato in precedenza, le connessioni più forti si osservano in corrispondenza della prossimità dei nodi.

Effettuando l'analisi della co-autorialità e utilizzando come unità di analisi le «organizzazioni», è emerso che, su 853 organizzazioni, solo otto università statunitensi superano la soglia di 3 articoli e 100 citazioni. Tra queste spicca la *University of Chinese Academy*, i cui ricercatori collaborano con quelli di altre tre università cinesi. Il principale tema trattato riguarda il recupero di componenti delle LIBs esauste da destinare ad attività di riciclo.

Dall'analisi condotta utilizzando come unità di analisi i «Paesi», fissando 5 documenti come numero minimo e 100 come numero minimo di citazioni, dei 56 Paesi considerati, solo 16 hanno superato la soglia minima³⁵. Dal punto di vista geografico, la Cina domina con 157 documenti pubblicati e 11 legami con altri Paesi, seguita a notevole distanza dagli Stati Uniti d'America, con 39 documenti e 6 collegamenti, e dalla Germania, con 34 documenti e 8 collegamenti. Altri tre Paesi presentano un numero di articoli compreso tra 17 e

³² VAN ECK, WALTMAN 2014.

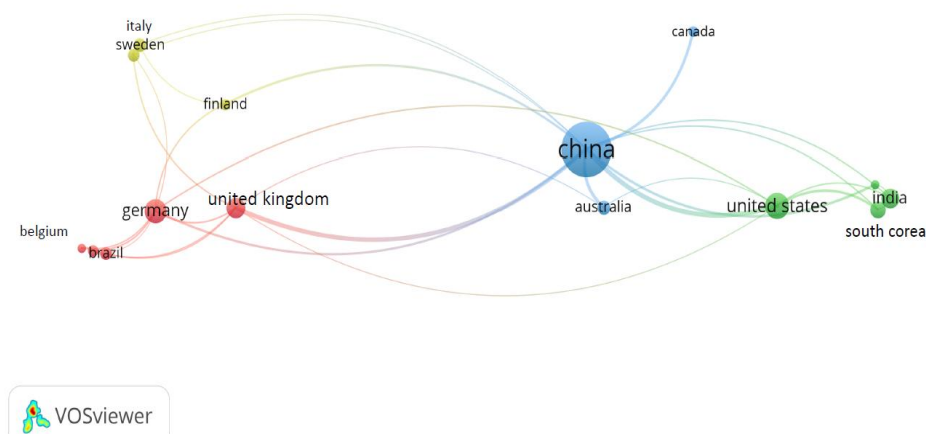
³³ ARIA, CUCCURULLO 2018.

³⁴ GLÄNZEL, SCHUBERT 2004.

³⁵ DONTU ET AL. 2021.

25: Corea del Sud (17), India (23) e Regno Unito (25), mentre nove Paesi non superano i 12 articoli.

Figura 5 – Rete di collaborazione tra autori nella letteratura sull'economia circolare per la gestione sostenibile delle LIBs.



Fonte: nostra elaborazione.

5.2 Raggruppamento dei filoni di ricerca sull'economia circolare per la gestione sostenibile delle LIBs

Per rispondere alla quarta domanda di ricerca, e seguendo la metodologia suggerita da Donthu *et al.* per l'analisi bibliometrica, le statistiche descrittive di base sono state integrate con l'analisi dei *network*. Utilizzando *VOSviewer*, è stata generata una mappa di co-occorrenza dei termini per rappresentare le *keywords* che compaiono frequentemente nei documenti del *dataset* e che possono quindi essere interpretate in relazione al loro legame concettuale³⁶, al fine di tracciare la struttura concettuale del *framework* oggetto di studio.

Come metodo di normalizzazione è stata adottata la forza dell'associazione³⁷.

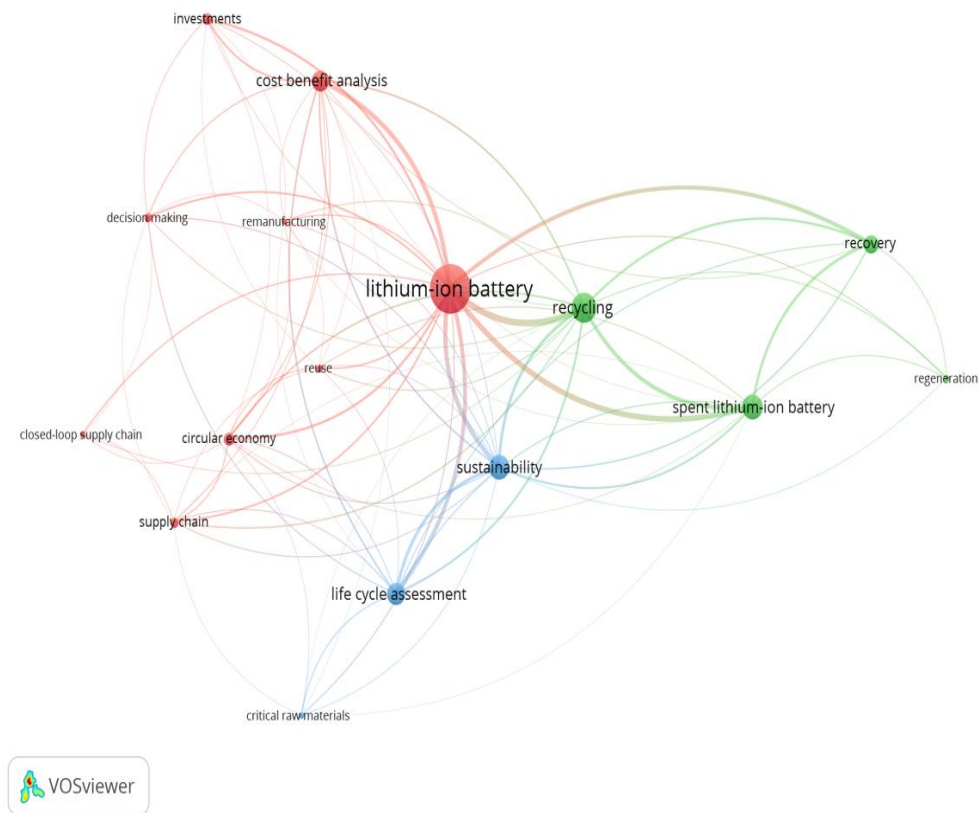
Dall'elaborazione è emersa la presenza di tre *cluster* tematici, comprendenti un totale di 16 *item* di natura manageriale, come rappresentato nella

³⁶ SRIVASTAVA, SIVARAMAKRISHNAN 2021.

³⁷ VAN ECK, WALTMAN 2009.

figura 6, dopo aver selezionato le 149 *keywords* ricorrenti almeno 5 volte e applicato il *thesaurus*. Successivamente, è stata condotta l'analisi del contenuto per descrivere i temi e i sottotemi di ciascun *cluster*.

Figura 6 – Rete di co-occorrenza dei concetti chiave sull'economia circolare per la gestione sostenibile delle LIBs.



Fonte: nostra elaborazione.

5.3 Cluster 1: Economia circolare e ottimizzazione del ciclo di vita delle LIBs

Le *keywords* di questo *cluster* sono: economia circolare, catena di fornitura, catena di fornitura a ciclo chiuso, analisi costi-benefici, *decision making*, investimenti, batterie agli ioni di litio (nodo principale), *remanufacturing* e riuso.

Le LIBs sono componenti fondamentali per la mobilità elettrica e i sistemi di accumulo energetico, grazie a efficienza, leggerezza, sicurezza e costi competitivi³⁸. La centralità del litio conferisce un valore strategico elevato, ma pone rischi legati a esaurimento delle risorse, concentrazione geografica delle forniture e instabilità dei prezzi, aggravati dalla limitata integrazione delle batterie esauste nei sistemi di raccolta³⁹.

La gestione delle batterie a fine vita richiede modelli di economia circolare e catena di fornitura a ciclo chiuso, con strategie di raccolta, riuso, *remanufacturing* e riciclo integrate in decisioni di investimento e pianificazione strategica⁴⁰. La catena di fornitura inversa introduce nuovi attori, complessità operative e incertezze su qualità, quantità e tempistiche dei resi, ma può generare valore economico e vantaggi ambientali quando i modelli circolari sono ben implementati⁴¹.

Il riuso permette impieghi alternativi delle batterie con capacità ridotta, ad esempio per lo stoccaggio energetico, mentre la *remanufacturing* ripristina prestazioni pari al nuovo sostituendo celle o moduli, con costi inferiori rispetto alla produzione di nuove batterie e riduzione di emissioni e dipendenza dalle materie prime⁴². La fiducia dei consumatori e la qualità certificata da terzi sono essenziali per l'accettazione delle batterie rigenerate⁴³.

La transizione verso la catena di fornitura circolare richiede una approfondita analisi costi-benefici, un efficace processo decisionale e investimenti mirati, integrando produttori, riciclatori e operatori logistici, con l'obiettivo di ottimizzare il valore economico e ambientale dei materiali e garantire la

³⁸ HANISCH ET AL. 2015; GROENEWALD ET AL. 2017; WANG W. ET AL. 2020.

³⁹ GU ET AL. 2017; DENG ET AL. 2020; BONGARTZ ET AL. 2021.

⁴⁰ WRÅLSEN ET AL. 2021; TADAROS ET AL. 2022.

⁴¹ CHIZARYFARD ET AL. 2020; SCHELLER ET AL. 2020.

⁴² LUND 1984; YU ET AL. 2021; LEE ET AL. 2022.

⁴³ BONSU 2020.

sostenibilità della catena di approvvigionamento⁴⁴. L'adozione di strumenti digitali per la tracciabilità, come il passaporto digitale delle batterie, facilita il riutilizzo e la *remanufacturing*, supportando l'economia circolare e la resilienza della catena di fornitura⁴⁵.

In sintesi, la gestione integrata delle LIBs esauste attraverso riuso, *remanufacturing* e riciclo rappresenta una leva chiave per creare una catena di fornitura a ciclo chiuso, ridurre l'impatto ambientale, ottimizzare le risorse e guidare decisioni di investimento sostenibili in un contesto di crescente domanda energetica e pressione sulle risorse naturali.

5.4 Cluster 2: *R-strategies* per batterie al litio esauste

Le *keywords* di questo *cluster* sono: recupero, riciclo (nodo principale), rigenerazione, batterie agli ioni di litio esauste.

L'aumento delle batterie agli ioni di litio (LIBs) esauste rende urgente lo sviluppo di strategie di riciclo efficaci⁴⁶. Queste batterie, contenenti metalli pesanti, se smaltite in discarica, possono compromettere la catena di approvvigionamento e causare danni ambientali irreversibili, oltre a precludere il recupero di risorse preziose come litio e cobalto⁴⁷.

Anche le batterie con capacità residua inferiore all'80%, non più idonee per i veicoli elettrici, possono essere impiegate in reti elettriche intelligenti o sistemi di accumulo energetico, se conformi agli standard di riciclo⁴⁸. Tuttavia, la scarsa diffusione dei sistemi di raccolta limita la possibilità di dare alle LIBs una «seconda vita»⁴⁹.

Il recupero dei materiali critici è cruciale per promuovere un'economia circolare delle batterie, stabilizzare la catena di approvvigionamento e valorizzare le risorse, con oltre il 74% del valore economico delle batterie esauste

⁴⁴ APALKOVA ET AL. 2021; BELAL ET AL. 2025; BHUYAN ET AL. 2022; KASTANAKI ET AL. 2023; MOAWAD ET AL. 2025.

⁴⁵ SISKI ET AL. 2023.

⁴⁶ KÖHLER ET AL. 2008; WU ET AL. 2023.

⁴⁷ ZHANG ET AL. 2018; FAN ET AL. 2023.

⁴⁸ WANG W. ET AL. 2020; HE ET AL. 2023.

⁴⁹ GU ET AL. 2017; MATHEW ET AL. 2023.

potenzialmente recuperabile⁵⁰. L'efficienza del recupero rimane il principale fattore di incertezza che influenza gli impatti ambientali del riciclo⁵¹.

Il riciclo comprende pretrattamento, recupero dei metalli e preparazione del prodotto, creando una catena di approvvigionamento secondaria essenziale per regioni con risorse limitate⁵². Le sfide principali riguardano costi elevati, progettazioni di batterie non ottimali, carenza di sistemi di raccolta e limitata accettazione delle LIBs riciclate⁵³.

Per un riciclo efficace, è necessario ottimizzare la filiera, rafforzare la cooperazione tra aziende a monte e a valle, adottare sistemi di tracciabilità e considerare costi, benefici ambientali ed economici⁵⁴. Gli investimenti devono inoltre puntare su innovazione tecnologica, gestione avanzata e formazione specialistica della forza lavoro⁵⁵.

Infine, il recupero e la rigenerazione delle batterie esauste non solo garantiscono il riciclo dei materiali preziosi, ma permettono la produzione di nuove batterie ad alte prestazioni, contribuendo a un utilizzo più sostenibile delle risorse naturali e promuovendo benefici ambientali ed economici significativi⁵⁶.

5.5 *Cluster 3: Sostenibilità e gestione delle materie prime critiche nelle LIBs*

Le *keywords* di questo *cluster* sono: materie prime critiche, analisi del ciclo di vita, sostenibilità (nodo principale).

La crescente diffusione delle batterie agli ioni di litio (LIBs) e la transizione globale verso la sostenibilità rendono cruciale una gestione sostenibile dell'intero ciclo di vita, inclusa la fase di fine vita, al fine di prevenire impatti socio-ambientali e recuperare valore economico⁵⁷. Il riciclo e il riutilizzo,

⁵⁰ YANG *ET AL.* 2021; HE *ET AL.* 2023.

⁵¹ WU *ET AL.* 2022.

⁵² YAN *ET AL.* 2020; KALLITSIS *ET AL.* 2022; HE *ET AL.* 2025.

⁵³ BHUYAN *ET AL.* 2022; RAJAEIFAR *ET AL.* 2022; MATHEW *ET AL.* 2023.

⁵⁴ SUN *ET AL.* 2020; WANG W. *ET AL.* 2020; NGUYEN-TIEN *ET AL.* 2022.

⁵⁵ USAI *ET AL.* 2022; JAYARAMAN *ET AL.* 2024.

⁵⁶ YI *ET AL.* 2020; WU *ET AL.* 2022; BEJIGO *ET AL.* 2023.

⁵⁷ GU *ET AL.* 2017; WANG J. *ET AL.* 2020; WRÅLSEN *ET AL.* 2021; AKASAPU, HEHENBERGER 2023; CHEN *ET AL.* 2024.

tuttavia, sono spesso ostacolati da una progettazione non orientata alla circolarità. L'adozione di un passaporto digitale, standardizzato per ogni batteria, è ritenuta essenziale per monitorarne le condizioni, facilitare il riuso e il riciclo, nonché per supportare la conformità normativa e il processo decisionale⁵⁸.

Per garantire la sostenibilità per la gestione delle LIBs, è necessario un impegno congiunto di governi, imprese e consumatori⁵⁹. L'implementazione di modelli di *business* circolari consente di creare benefici economici, ambientali e sociali, promuovendo la sostenibilità complessiva del settore⁶⁰. In Europa, direttive come l'*European Green Deal* e le normative su batterie e rifiuti sono orientate a stimolare la circolarità e la sostenibilità economica e ambientale del mercato⁶¹.

Strumenti di valutazione standardizzati, come il *life cycle assessment* secondo ISO 14040, sono fondamentali per analizzare impatti ambientali, sociali ed economici lungo l'intero ciclo di vita delle batterie, includendo trasporto, produzione e gestione del fine vita⁶². L'integrazione di dati primari e valutazioni socioeconomiche consente di guidare decisioni strategiche e pianificare infrastrutture di riciclo e riuso⁶³.

Le fasi di produzione e fine vita delle LIBs sollevano criticità legate all'estrazione e al trattamento di materie prime strategiche come litio e cobalto, caratterizzate da elevata volatilità dei prezzi e concentrazione geografica⁶⁴. Le proiezioni indicano possibili carenze di approvvigionamento e aumento della domanda globale entro il 2030-2040, rendendo il riciclo di materie critiche una politica promettente per ridurre rischi e incertezze⁶⁵.

⁵⁸ SISKI ET AL. 2023.

⁵⁹ WRÅLSEN ET AL. 2021.

⁶⁰ AGRAWAL ET AL. 2021; YANG ET AL. 2021.

⁶¹ BONSU ET AL. 2020; MARTINS ET AL. 2020; WRÅLSEN ET AL. 2021; BOUTER, GUICHET 2022.

⁶² BUSCH ET AL. 2017; CHERUBINI ET AL. 2019; CUSENZA ET AL. 2019; APALKOVA ET AL. 2021; CHEN ET AL. 2022; DING ET AL. 2023.

⁶³ WRÅLSEN ET AL. 2021; WU ET AL. 2022.

⁶⁴ ZACKRISSON ET AL. 2010; SONG ET AL. 2019; YAN ET AL. 2020; CASTRO ET AL. 2022; ABDELBAKY ET AL. 2023; CHEN ET AL. 2023; LAI ET AL. 2023.

⁶⁵ YAN ET AL. 2020; MARCOS ET AL. 2021; DE AQUINO SALES ET AL. 2024.

6. Discussione dei risultati

Dai risultati ottenuti emergono alcune riflessioni. Rispetto alla prima domanda di ricerca, i *trend* di pubblicazione evidenziano un interesse crescente di alcune comunità accademiche per il settore delle LIBs, con una forte attenzione da parte degli studi tecnici e ingegneristici. Sebbene la logica dominante rimanga centrata sugli aspetti tecnologici e sull'ottimizzazione dei processi di riuso e riciclo, i temi dell'economia circolare⁶⁶ e l'evoluzione normativa⁶⁷ aprono spazi di ricerca rilevanti anche per approcci di tipo manageriale.

Dal 2018 il numero di pubblicazioni aumenta costantemente, raggiungendo il livello più elevato nel 2024, segnalando che il maggiore interesse accademico corrisponde all'attenzione crescente delle imprese verso il settore delle LIBs. La necessità di una gestione sostenibile delle batterie lungo l'intero ciclo di vita, unita alla rapida evoluzione normativa, spinge infatti i ricercatori ad approfondire il fenomeno e i suoi impatti.

Attualmente, l'interesse scientifico riguarda soprattutto la produzione, il riciclo e il riuso delle batterie; tuttavia, l'attenzione appare più concentrata sulla progettazione delle LIBs che sull'analisi delle dinamiche di mercato.

Il tema delle LIBs, della loro progettazione e produzione, è particolarmente sviluppato in Asia, dove le istituzioni e i ricercatori maggiormente coinvolti sono in prevalenza cinesi. In Cina, e in parte anche in Corea, si concentrano infatti i principali produttori di LIBs. Allo stesso tempo, cresce l'interesse di studiosi europei per gli aspetti legati alla sostenibilità, alla circolarità e al quadro normativo a tutela dei mercati, delle produzioni, dell'ambiente e della società.

Per quanto riguarda la produzione scientifica in ambito manageriale, si osserva un coinvolgimento ancora limitato. Ciò conferma la necessità di approfondire tali prospettive e mette in luce elementi utili a definire direzioni per ricerche future.

Dagli articoli più citati emergono risultati significativi di rilevanza manageriale. In particolare, le aziende devono adottare processi produttivi sostenibili, investire in innovazione per incrementare l'efficienza delle batterie e colmare i *gap* informativi lungo la filiera⁶⁸. La gestione consapevole di materiali

⁶⁶ ZANG *ET AL.* 2020.

⁶⁷ BONSU *ET AL.* 2020; MARTINS *ET AL.* 2020; BOUTER, GUICHET 2022.

⁶⁸ ZACKRISSON *ET AL.* 2010.

avanzati, come i *carbon nanotubes*, è fondamentale per ridurre rischi operativi, regolatori e reputazionali⁶⁹. Il riciclo avanzato delle LIBs rappresenta un'opportunità strategica per recuperare metalli critici, contenere i costi e migliorare la sostenibilità, pur richiedendo investimenti significativi in infrastrutture e tecnologie efficienti⁷⁰. Infine, sistemi di raccolta efficaci, politiche mirate e incentivi adeguati risultano cruciali per aumentare i tassi di recupero e garantire la sostenibilità della catena del valore⁷¹.

La revisione della letteratura ha consentito di delineare lo stato dell'arte degli studi sull'economia circolare per la gestione sostenibile delle LIBs, individuando tre *cluster* che descrivono i principali filoni di ricerca attualmente sviluppati.

Il primo *cluster* è denominato «Economia circolare e ottimizzazione del ciclo di vita delle LIBs». Gli *item* che lo compongono sono legati alle pratiche dell'economia circolare e mostrano come l'adozione di un modello circolare spinga gli attori a collaborare per ottimizzare l'uso delle risorse, ridurre gli sprechi e massimizzare i benefici economici e ambientali attraverso rigenerazione e riutilizzo. La letteratura sembra concordare nel considerare l'economia circolare un modello di *business* efficace per guidare le interazioni tra imprese e utilizzatori, limitando comportamenti opportunistici. Elementi come «catena di fornitura a ciclo chiuso», «rigenerazione», «riuso» e «catena di fornitura» rappresentano parole chiave utili a valorizzare i materiali e ridurre la dipendenza da materie prime vergini, mentre l'analisi costi-benefici risulta essenziale per valutare la sostenibilità economica di tali pratiche.

L'analisi di questi processi evidenzia la rilevanza della prospettiva di *business management*: per attuare efficacemente un modello di economia circolare sono necessarie solide competenze decisionali e adeguati investimenti per sviluppare infrastrutture e tecnologie idonee.

Il secondo *cluster*, denominato «*R-strategies* per batterie al litio esauste», pone al centro il tema del riciclo. Il fine vita delle LIBs e le strategie di recupero influenzano in modo determinante le scelte strategiche delle imprese, sia nella progettazione delle batterie sia dei sistemi che le utilizzano. La durata della batteria incide sull'affidabilità complessiva dei sistemi e orienta le valutazioni di costi e benefici da parte di utilizzatori, riciclatori e operatori del

⁶⁹ KÖHLER ET AL. 2008.

⁷⁰ HANISCH ET AL. 2015; BARIK ET AL. 2017.

⁷¹ GU ET AL. 2017.

riuso, anche in relazione agli obblighi normativi sul riciclo e sulla gestione del rifiuto. Questo *cluster* evidenzia ulteriori spunti di ricerca, mettendo in luce questioni legali connesse alla gestione dei rifiuti⁷², le complessità e i costi del riciclo e le difficoltà di certificare un possibile riuso in applicazioni di seconda vita⁷³. Da tali studi emerge la rilevanza delle normative che, in alcuni mercati, potrebbero contribuire a superare le resistenze di progettisti e produttori nell'impiego di materie prime seconde e nel corretto trattamento dei rifiuti. Le dinamiche di mercato spingono spesso le imprese verso soluzioni progettuali meno complesse e basate su materie prime pure; tuttavia, normative più stringenti potranno indirizzare decisioni più sostenibili, pur comportando, in alcuni casi, costi aggiuntivi per i produttori e gli attori coinvolti nel *business* circolare. Tali costi potrebbero essere mitigati da ricerche orientate a sviluppare soluzioni più vantaggiose in termini economici per la progettazione, il riuso e il riciclo delle LIBs.

Il terzo *cluster*, denominato «Sostenibilità e gestione delle materie prime critiche nelle LIBs», riguarda la riduzione dell'impatto ambientale e sociale lungo tutta la filiera delle LIBs, dalla produzione delle materie prime allo smaltimento. Le ricerche analizzano l'intero ciclo delle LIBs considerando sia gli effetti dell'estrazione delle materie prime nei Paesi produttori, sia l'impiego in fase di produzione, utilizzo e fine vita. Il *focus* crescente sulla sostenibilità sta influenzando l'evoluzione della ricerca, l'introduzione di nuove normative, la creazione di infrastrutture e lo sviluppo di prodotti concepiti per ridurre l'impatto ambientale, anche in risposta alla crescente sensibilità dei consumatori verso beni e servizi sostenibili e rispettosi delle comunità coinvolte nell'estrazione delle risorse.

A livello globale, l'attenzione verso l'elettrificazione dei trasporti e di numerosi settori nasce dall'esigenza di ridurre l'uso di combustibili fossili e l'inquinamento. Tuttavia, questo obiettivo non deve generare impatti negativi sugli ecosistemi che sostengono la filiera delle LIBs. Ne derivano limiti e sfide nella progettazione, produzione e gestione del fine vita delle batterie, ma anche opportunità per le imprese in un mercato complesso e in continua evoluzione. Gli studi analizzati indicano che l'economia circolare può costituire un paradigma utile non solo a favorire la diffusione delle LIBs e dei sistemi elettrici, ma anche a garantire un equilibrio tra tutti gli attori della

⁷² BONSU 2020.

⁷³ BUSCH ET AL. 2017.

filiera. L'economia circolare, infatti, presuppone un contesto collaborativo in cui gli attori non prevalgono l'uno sull'altro, ma regolano il livello dei propri interventi e profitti perseguendo un valore collettivo derivante dall'interazione sinergica dell'intero sistema.

7. Suggerimenti per sviluppi futuri della ricerca

Analizzando la letteratura che compone il *dataset* creato per questo studio emergono indicazioni rilevanti per ricerche future, volte ad approfondire l'impatto ambientale e i benefici della circolarità, valutando l'efficienza delle tecnologie di riciclo e il loro contributo alla sostenibilità. Quanto discusso in questo paragrafo fornisce pertanto la risposta alla RQ5.

Sarebbe utile effettuare una disamina del ciclo di vita delle LIBs in chiave integrata, considerando aspetti ambientali, economici e sociali. In aggiunta, si potrebbe indagare come il *design* del prodotto e la gestione della catena di fornitura possano facilitare riuso e recupero. Ulteriori ricerche potrebbero concentrarsi sulla redditività dei processi di riciclo, sulle economie di scala e sui contratti di fornitura nel promuovere pratiche circolari efficienti, con l'obiettivo di sviluppare modelli di *business* sostenibili e resilienti per la gestione delle LIBs.

Inoltre, considerando che gli aspetti normativi possono influenzare il mercato, si suggerisce di approfondire gli studi sui contratti di fornitura tra le aziende coinvolte nella progettazione, nell'uso e nel riutilizzo delle LIBs⁷⁴ e sul ruolo del sostegno istituzionale e delle politiche governative nel promuovere il riciclo⁷⁵. Nella tabella 1 che segue sono riepilogate le principali direzioni per ricerche future, ciascuna delle quali è stata associata a una categoria di matrice manageriale.

⁷⁴ SCHELLER *ET AL.* 2023.

⁷⁵ WU *ET AL.* 2022.

Tabella 1 – Indicazioni per la ricerca futura derivanti dalla letteratura analizzata.

Categoria	Breve descrizione	Citazioni
Riciclo, economia circolare e sostenibilità	Approfondire gli studi sui benefici ambientali del riutilizzo e del riciclo delle LIB, evidenziando il contributo di queste pratiche all'economia circolare e alla sostenibilità complessiva.	WU ET AL. 2022
Impatto ambientale del ciclo di vita delle LIBs	Analizzare in dettaglio le varie fasi del ciclo di vita delle LIBs, con particolare attenzione alla fase di riciclo, per identificare strategie volte a ridurre l'impatto ambientale complessivo, anche attraverso analisi dei costi basate su dati primari.	LIU ET AL. 2024
Tecnologie di riciclo	Analizzare diverse tecnologie di riciclo, valutandone l'impatto ambientale, l'uso delle risorse e le emissioni inquinanti generate. Identificare le tecnologie di riciclo più efficienti per garantire un recupero ottimale delle risorse.	TAO ET AL. 2023
	Esaminare diversi percorsi di processo di riciclo, come l'idrometallurgia, per ottenere un quadro comparativo delle opportunità attuali e future di riciclo delle LIBs.	REINHART ET AL. 2023
Relazioni intersistemiche	Esplorare le interazioni tra fornitori, produzione e riciclo, specialmente in contesti con molteplici <i>stakeholder</i> globali, per ottimizzare efficienza e sostenibilità lungo l'intera catena del valore.	BLÖMEKE ET AL. 2022
Influenza del design del prodotto sul riciclo	Indagare come il design del prodotto possa facilitare o ostacolare l'efficacia del riciclo, promuovendo soluzioni che migliorino la riciclabilità delle LIBs.	BLÖMEKE ET AL. 2022
	Per aumentare la sostenibilità complessiva del ciclo di vita delle batterie, sarebbe utile studiare come integrare la gestione della <i>supply chain</i> con la valutazione della sostenibilità e l'ingegneria dei processi, al fine di implementare un'economia circolare sostenibile per le LIBs.	BLÖMEKE ET AL. 2022

Convenienza economica, sostenibilità	Sviluppo di modelli per determinare l'allocazione ottimale delle risorse al fine di massimizzare la produttività e l'efficienza energetica, nonché ridurre al minimo i costi totali dell'industria delle LIBs.	DONG ET AL. 2025
	Analizzare i costi associati alle diverse fasi del ciclo di vita delle LIBs, in particolare il riciclo, per individuare le strategie più efficienti volte a migliorare l'efficienza economica e ambientale.	LIU ET AL. 2024
	Esplorare come le variazioni nelle previsioni di crescita del mercato dei veicoli elettrici influenzano la sostenibilità economica e la pianificazione strategica delle attività di riutilizzo e riciclo delle batterie, con particolare attenzione alla progressiva riduzione dei sussidi pubblici.	CUI ET AL. 2024
	Integrare gli aspetti sociali e ambientali nel modello di <i>Total Cost of Ownership</i> per i costi esterni, consentendo un'analisi combinata che rifletta tutte le dimensioni del riciclo delle LIBs.	REINHART ET AL. 2023
	Analizzare la valutazione economica dei processi di recupero delle LIBs.	SCHELLER ET AL. 2023
Valutazione economica dei processi	Studiare nuove metodologie e tecnologie in grado di aumentare la redditività del riciclo delle LIBs esauste contribuirà a superare uno dei principali ostacoli alla commercializzazione su larga scala.	WU ET AL. 2022
Economie di scala nella fase di riciclo	Indagare come aumentare i volumi di riciclo per sfruttare le economie di scala, supportando potenzialmente l'incremento del tasso minimo legale di riciclo delle LIBs nei veicoli elettrici.	REINHART ET AL. 2023
Contratti di fornitura	Esaminare come ottimizzare i contratti di fornitura per migliorare la resilienza e l'efficienza della catena di approvvigionamento delle LIBs, considerando le variabili legate al riciclo e al riutilizzo.	SCHELLER ET AL. 2023
	Esaminare le conseguenze ambientali e sociali del riciclo delle LIBs tramite processi piro-metallurgici e le loro alternative.	REINHART ET AL. 2023

Sostegno istituzionale	Esaminare le conseguenze ambientali e sociali del riciclo delle LIBs tramite processi piro-metallurgici e le loro alternative.	WU ET AL. 2022
Pianificazione strategica	Esplorare come le variazioni nelle previsioni di crescita del mercato dei veicoli elettrici influenzano la sostenibilità economica e la pianificazione strategica delle attività di riutilizzo e riciclo delle batterie, con particolare attenzione alla progressiva riduzione dei sussidi pubblici.	CUI ET AL. 2024
Gestione dell'innovazione	Esplorare come le imprese possano gestire in modo strategico il divario tra tecnologie attuali e bisogni futuri, attraverso modelli di innovazione, investimento e adattamento organizzativo capaci di anticipare le sfide e guidare la transizione tecnologica.	ALMAHRI, AN 2025
	Sviluppare un modello di ottimizzazione <i>end-to-end</i> ampliato per la logistica inversa del litio che integri ogni fase della catena del valore del riciclo, dall'acquisizione delle materie prime e dalla produzione al recupero dei materiali e alla rivendita, incorporando al contempo indicatori di performance sia finanziari sia non finanziari (resilienza, sostenibilità).	ATITEBI, JONES 2025
Gestione dei rischi	Approfondire le metriche incorporate nell'indice strutturato per valutare la resilienza strategica della catena di approvvigionamento delle LIBs, al fine di consentire una valutazione dei rischi più completa e realistica.	HE ET AL. 2025
Smart Supply Chain	Integrare tecnologie <i>Internet of Things</i> (IoT) per migliorare in tempo reale la tracciabilità e il monitoraggio della conformità all'interno della catena di fornitura delle LIBs.	MOAWAD ET AL. 2025

Fonte: nostra elaborazione.

In aggiunta a tutto ciò, dai risultati di questo studio emergono ulteriori opportunità di ricerca finalizzate ad approfondire, per esempio attraverso casi di studio singoli o multipli, come le strategie di circolarità dovrebbero essere integrate nei modelli operativi e decisionali per supportare lo sviluppo sostenibile per la gestione sostenibile delle LIBs anche nel comparto della mobilità elettrica a livello globale.

8. Conclusioni, implicazioni teoriche e manageriali

Il presente studio offre i risultati di una approfondita analisi bibliometrica e dei contenuti della letteratura manageriale relativa alla circolarità per la gestione sostenibile delle LIBs, che ha assunto un ruolo strategico per l'adozione di modelli produttivi sostenibili pure nel comparto della mobilità elettrica. Nonostante l'intensificarsi dell'attenzione globale verso pratiche di riciclo, riutilizzo e rigenerazione di risorse critiche, il *corpus* della letteratura manageriale risulta frammentato e poco sviluppato rispetto alla produzione scientifica tecnico-ingegneristica che, invece, è consolidata. I risultati evidenziano un crescente interesse da parte degli studiosi, guidato dalla necessità di affrontare temi riguardanti la scarsità di risorse, i rischi ambientali dello smaltimento e la crescente domanda di mobilità elettrica. La produzione scientifica mostra una forte concentrazione geografica – con predominanza della Cina – e un limitato numero di riviste e autori che influenzano il dibattito accademico. Dai *cluster* tematici è possibile riscontrare la necessità di strategie integrate per la gestione dei flussi di batterie esauste, supportate da politiche pubbliche e modelli di *business* innovativi, in grado di valorizzare il recupero dei materiali, ottimizzare i processi di riciclo e incrementare la sostenibilità economica.

Dal punto di vista teorico, lo studio contribuisce a delineare un *framework* concettuale che integra i principi dell'economia circolare con le specificità tecnologiche per la gestione sostenibile delle LIBs. La mappatura scientifica mostra come la circolarità richieda modelli di *business* evoluti, nei quali logistica inversa, rigenerazione e riciclo avanzato assumono un ruolo interdependente. Tale *framework* crea le basi per approfondire teorie su catena di fornitura a ciclo chiuso, allineamento informativo tra attori della filiera, responsabilità estesa del produttore e processi decisionali in condizioni di incertezza elevata. Tutto ciò favorisce lo sviluppo di ulteriori prospettive di ricerca su tematiche ancora marginalmente esplorate, quali governance delle catene globali di riciclo, impatto della digitalizzazione (per esempio il passaporto digitale delle batterie), modelli di valutazione della vita utile residua delle LIBs e strategie inter-organizzative a supporto di investimenti sostenibili.

Dal punto di vista manageriale, lo studio evidenzia implicazioni operative per imprese, *policy maker* e investitori. I risultati indicano che la transizione

verso modelli circolari richiede un approccio integrato alla progettazione di processi, infrastrutture e *partnership*, considerati l'elevata complessità della catena di fornitura inversa delle LIBs, la variabilità dei flussi di rientro, i costi logistici rilevanti e i potenziali rischi ambientali. Le imprese della filiera – produttori, riciclatori, operatori logistici e *utilities* – devono rafforzare la collaborazione inter-organizzativa, implementare sistemi informativi avanzati e sviluppare strumenti di valutazione economica che includano benefici ambientali e sociali. Decisioni strategiche cruciali riguardano «*insourcing versus outsourcing*» delle attività inverse, progettazione per il disassemblaggio, adozione di tecnologie di riciclo a basso impatto ambientale e definizione di modelli di *business* in grado di valorizzare seconde vite, nonché rigenerazione e recupero di materie prime critiche. Parallelamente, i *policy maker* devono promuovere quadri regolatori coerenti e incentivanti, rafforzare la responsabilità estesa del produttore, sostenere gli investimenti in impianti di riciclo e favorire l'implementazione di sistemi di raccolta efficienti su scala territoriale.

A compendio di quanto rilevato, non si può non concludere evidenziando che l'adozione di modelli economici circolari non debba essere considerato solo un imperativo finalizzato a garantire la salvaguardia ambientale, ma rappresenta anche una leva competitiva e un'opportunità di sviluppo industriale pure per il comparto della mobilità elettrica. L'avanzamento delle conoscenze manageriali sulle LIBs può contribuire a consolidare modelli produttivi più sostenibili, resilienti e capaci di affrontare le sfide globali poste dalla transizione energetica.

9. Limiti della ricerca

Sebbene questo studio presenti un chiaro carattere di originalità, poiché, per quanto ci risulta, non esistono studi in letteratura sull'economia circolare per la gestione sostenibile delle LiBs, esso non è privo di limiti. Infatti, per raggiungere l'obiettivo prefissato, non possiamo garantire di aver incluso tutta la produzione scientifica esistente, in quanto abbiamo utilizzato solamente due *database* indicizzati (*Scopus* e *Web of Science*), sebbene questi siano

riconosciuti dalla letteratura come autorevoli. Inoltre, potrebbero essere utilizzati *software* aggiuntivi per migliorare la visualizzazione dei dati⁷⁶.

Bibliografia

1. ABDELBAKY M., SCHWICH L., HENRIQUES J., FRIEDRICH B., PEETERS J. R., DEWULF W. (2023), *Global warming potential of lithium-ion battery cell production: Determining influential primary and secondary raw material supply routes*, «Cleaner Logistics and Supply Chain», Elsevier, pp 9, 100 e 130.
2. AGRAWAL T. K., ANGELIS J., THAKUR J. R., WIKTORSSON M., KALAIARASAN R. (2021), *Enabling circularity of electric vehicle batteries-the need for appropriate traceability*, 2021 IEEE international conference on technology management, operations and decisions (ICTMOD), Piscataway (NJ) USA: IEEE, pp 1-6.
3. AKASAPU U., HEHENBERGER P. (2023), *A design process model for battery systems based on existing life cycle assessment results*, «Journal of Cleaner Production», p 407.
4. ALMAHRI R., AN H. (2025), *Evaluating economic and environmental viability of recycling lithium-ion battery for electric vehicles in the middle east: a case study in the UAE*, in «Humanities and Social Sciences Communications», 12(1), pp 1-11.
5. ALPAKOVA V., TSYGANOV S., CHERNYTSKA T., MESHKO N., TSYGANOVA N. (2021), *Evaluating the economic and ecological effects of investment projects: a new model and its application to smartphone manufacturing in Europe*, «Investment Management & Financial Innovations», 18(4), p 252.
6. ARIA M., CUCCURULLO C. (2017), *bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis*, in «Journal of Informetrics», Elsevier, 11(4), pp 959-975.
7. ARIA M., CUCCURULLO C. (2018), *Bibliometric Research Synthesis and Meta-analysis bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis*, «Journal of Informetrics», 12(4).
8. ATITEBI O. S., JONES JR. E. C. (2025), *Centralized vs. Decentralized Black-Mass Production: A Comparative Analysis of Lithium Reverse Logistics Supply Chain Networks*, «Logistics», MDPI, 9(3), p 97.
9. BAIER-FUENTES H., MERIGÒ J. M., AMORÓS J. E., GAVIRIA-MARÍN M. (2019), *International entrepreneurship: a bibliometric overview*, in «International Entrepreneurship and Management Journal», 15(2), pp 385-429.
10. BARIK S. P., PRABAHARAN G., KUMAR L. (2017), *Leaching and separation of Co and Mn from electrode materials of spent lithium-ion batteries using hydrochloric acid: Laboratory and pilot scale study*, «Journal of Cleaner Production», 147, pp 37-43.
11. BEJIGO K. S., NATARAJAN S., BHUNIA K., ELUMALAI V., KIM S. J. (2023), *Recycling of value-added products from spent lithium-ion batteries for oxygen reduction and methanol oxidation reactions*, «Journal of Cleaner Production», p 384, 135520.

⁷⁶ FAROOQ 2024.

12. BELAL M. M., ROY S., BALASUBRAMANIAN S., WAHAB S. N. (2025), *Sustainability Challenges of Lithium-Ion Battery Supply Chain: Evidence from the Indian Electric Vehicle Sector*, «Journal of Information Technology Management», 17(1), pp 178-197.
13. BHUYAN A., TRIPATHY A., PADHY R. K., GAUTAM A. (2022), *Evaluating the lithium-ion battery recycling industry in an emerging economy: A multi-stakeholder and multi-criteria decision-making approach*, «Journal of Cleaner Production», p 331, 130007.
14. BLÖMEKE S., SCHELLER C., CERDAS F., THIES C., HACHENBERGER R., GONTER M., SPENGLER T. S. (2022), *Material and energy flow analysis for environmental and economic impact assessment of industrial recycling routes for lithium-ion traction batteries*, «Journal of Cleaner Production», p 377, 134344.
15. BONGARTZ L., SHAMMUGAM S., GERVAIS E., SCHLEGL T. (2021), *Multidimensional criticality assessment of metal requirements for lithium-ion batteries in electric vehicles and stationary storage applications in Germany by 2050*, «Journal of Cleaner Production», p 292, 126056.
16. BONSU N. O. (2020), *Towards a circular and low-carbon economy: Insights from the transitioning to electric vehicles and net zero economy*, «Journal of Cleaner Production», p 256, 120659.
17. BOUTER A., GUICHET X. (2022), *The greenhouse gas emissions of automotive lithium-ion batteries: a statistical review of life cycle assessment studies*, «Journal of Cleaner Production», p 344, 130994.
18. BUSCH J., DAWSON D., ROELICH K. (2017), *Closing the low-carbon material loop using a dynamic whole system approach*, «Journal of Cleaner Production», 149, pp 751-761.
19. CASTRO F. D., MEHNER E., CUTAIA L., VACCARI M. (2022), *Life cycle assessment of an innovative lithium-ion battery recycling route: A feasibility study*, «Journal of Cleaner Production», p 368, 133130.
20. CHAVAN D., MAHMOOD N., KUMAR S., ESHTIAGHI N. (2025), *A novel performance–economics framework for upcycling spent Li-ion battery cathodes to accelerate battery circularity*, «Journal of Cleaner Production», p 525, 146532.
21. CHEN L., LI X., LUO Y., TAN W., MA Q., WANG M., YANG J. (2024), *Impact of cobalt recycling on China's electrification process: Assessing the potential reduction in cobalt demand from battery recycling*, «Journal of Cleaner Production», p 434, 139917.
22. CHEN Q., LAI X., GU H., TANG X., GAO F., HAN X., ZHENG Y. (2022), *Investigating carbon footprint and carbon reduction potential using a cradle-to-cradle LCA approach on lithium-ion batteries for electric vehicles in China*, «Journal of Cleaner Production», p 369, 133342.
23. CHEN W. H., HSIEH I. Y. L. (2023), *Techno-economic analysis of lithium-ion battery price reduction considering carbon footprint based on life cycle assessment*, «Journal of Cleaner Production», p 425, 139045.
24. CHIGBU B. I., UMEJESI I. (2024), *Unlocking Economic and Environmental Gains Through Lithium-Ion Battery Recycling for Electric Vehicles*, «Resources», 13(12), p 163.
25. CHIZARYFARD A., LAPKO Y., MAGGIA P., TRUCCO P. (2020), *Exploring reverse supply chain configurations of high voltage Li-ion batteries for heavy e-vehicles under*

- different structural and operational conditions, in *Proceedings of the XXV Summer School 'Francesco Turco' – Industrial Systems Engineering*, pp 1-8.
26. CHIZARYFARD A., LAPKO Y., TRUCCO P. (2023), *Strategic closed-loop supply chain configuration in the transition towards the circular economy of EV batteries: an evolutionary analytical framework*, in «The International Journal of Logistics Management», 34(7), pp 142-176.
 27. COBO M. J., LÓPEZ-HERRERA A. G., HERRERA-VIEDMA E., HERRERA F. (2011), *An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field*, «Journal of Informetrics», 5(1), pp 146-166.
 28. CUSENZA M. A., BOBBA S., ARDENTE F., CELLURA M., DI PERSIO F. (2019), *Energy and environmental assessment of a traction lithium-ion battery pack for plug-in hybrid electric vehicles*, «Journal of Cleaner Production», 215, pp 634-649.
 29. DE AQUINO SALES J. M., JUNIOR A. B. B., GOBO L. A., KUMOTO E. A., ESPINOSA D. C. R., TENÓRIO J. A. S. (2024), *Precipitation of manganese by ozone from hydrometallurgical recycling process of lithium-ion batteries*, «Journal of Cleaner Production», p 434, 140099.
 30. DENG Z., HU X., LIN X., CHE Y., XU L., GUO W. (2020), *Data-driven state of charge estimation for lithium-ion battery packs based on Gaussian process regression*, «Energy», p 205, 118000.
 31. DING S., WARD H., CUCURACHI S., TUKKER A. (2023), *Revealing the hidden potentials of Internet of Things (IoT) – An integrated approach using agent-based modelling and system dynamics to assess sustainable supply chain performance*, «Journal of Cleaner Production», p 421, 138558.
 32. DONG H., FAN Z., WANG Q., ZHOU W., YU Y., FU L., LI J. (2025), *Modeling, analysis and improvement of production throughput and energy consumption in Li-ion battery manufacturing lines*, «International Journal of Production Research», pp 1-15.
 33. DONTU N., KUMAR S., MUKHERJEE D., PANDEY N., LIM W. M. (2021), *How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines*, «Journal of Business Research», 133, pp 285-296.
 34. DRISKO J., MASCHI T. (2015), *Content Analysis*, New York: Oxford University Press.
 35. ECK N. J. V., WALTMAN L. (2009), *How to normalize cooccurrence data? An analysis of some well-known similarity measures*, «Journal of the American society for information science and technology», 60(8), 1635-1651.
 36. ELLEGARD O., WALLIN J. A. (2015), *The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact*, «Scientometrics», 105(3), pp 1809-1831.
 37. ERIKSSON P., KOVALAINEN A. (2015), *Qualitative methods in business research: A practical guide to social research: A practical guide to social research (2nd ed.)*, Londo: SAGE Publications Ltd.
 38. FAN T., LIANG W., GUO W., FENG T., LI W. (2023), *Life Cycle Assessment of Electric Vehicle Lithium-Ion Batteries Reused for Energy Storage*, «Journal of Energy Storage», p 71, 108126.

39. FAROOQ R. (2024), *A review of knowledge management research in the past three decades: a bibliometric analysis*, «Vine journal of information and knowledge management systems», 54(2), pp 339-378.
40. FERREIRA M. A. S. P. V., PINTO C. S. F., SERRA F. A. R., SANTOS J. C. (2013), *A bibliometric study of John Dunning's contribution to international business research*, «Revista Brasileira de Gestão de Negócios», 15, pp 56-75.
41. GEISSDOERFER M., SAVAGET P., BOCKEN N. M., HULTINK E. J. (2017), *The Circular Economy – A new sustainability paradigm?* «Journal of Cleaner Production», 143, pp 757-768.
42. GLÄNZEL W., SCHUBERT A. (2004), *Analysing scientific networks through co-authorship*, in *Handbook of quantitative science and technology research: The use of publication and patent statistics in studies of S&T systems*, Dordrecht (NL): Kluwer Academic Publishers, pp 257-276.
43. GROENEWALD J., GRANDJEAN T., MARCO J. (2017), *Accelerated energy capacity measurement of lithium-ion cells to support future circular economy strategies for electric vehicles*, «Renewable and Sustainable Energy Reviews», 69, pp 98-111.
44. GU F., GUO J., YAO X., SUMMERS P. A., WIDIJATMOKO S. D., HALL P. (2017), *An investigation of the current status of recycling spent lithium-ion batteries from consumer electronics in China*, «Journal of Cleaner Production», 161, pp 765-780.
45. GUTIÉRREZ-SALCEDO M., MARTÍNEZ M. Á., MORAL-MUNOZ J. A., HERRERA-VIEDMA E., COBO M. J. (2018), *Some bibliometric procedures for analyzing and evaluating research fields*, «Applied intelligence», 48(5), pp 1275-1287.
46. GUTSCH M., LEKER J. (2024), *Costs, carbon footprint, and environmental impacts of lithium-ion batteries—From cathode active material synthesis to cell manufacturing and recycling*, «Applied energy», p 353, 122132.
47. HANISCH C., LOELLHOEFFEL T., DIEKMANN J., MARKLEY K. J., HASELRIEDER W., KWAD E. (2015), *Recycling of lithium-ion batteries: a novel method to separate coating and foil of electrodes*, «Journal of Cleaner Production», 108, pp 301-311.
48. HE H., BRUSH T., CAI H., THAKKAR D., DUNLOP S., BILLER S. (2025), *Developing a strategic supply chain resiliency index: an assessment of the global lithium supply for US automotive EV battery production*, «International Journal of Production Research», pp 1-23.
49. HE L., JING H., ZHANG Y., LI P., GU Z. (2023), *Review of thermal management system for battery electric vehicle*, «Journal of Energy Storage», p 59, 106443.
50. JAYARAMAN K., JAYASHREE S., DORASAMY M. (2023), *The effects of green innovations in organizations: influence of stakeholders*, in «Sustainability», 15(2), p 1133.
51. JAYARAMAN V. K., KANNAN P., GANGADHARAPPA V. A., KUMARESAN H. N., PRAKASH A. S. (2024), *An alternative approach for NMC-based Li-ion battery cathode production and its techno-economic analysis*, «Clean Technologies and Environmental Policy», 26(2), pp 319-330.
52. KALLITSIS E., KORRE A., KELSALL G. H. (2022), *Life cycle assessment of recycling options for automotive Li-ion battery packs*, «Journal of Cleaner Production», p 371, 133636.

53. KASTANAKI E., GIANNIS A. (2023), *Dynamic estimation of end-of-life electric vehicle batteries in the EU-27 considering reuse, remanufacturing and recycling options*, «Journal of Cleaner Production», p 393, 136349.
54. KHATIB S. F., ABDULLAH D. F., HENDRAWATY E., ELAMER A. A. (2022), *A bibliometric analysis of cash holdings literature: current status, development, and agenda for future research*, «Management Review Quarterly», 72(3), pp 707-744.
55. KIM S., BANG J., YOO J., SHIN Y., BAE J., JEONG J., KWON K. (2021), *A comprehensive review on the pretreatment process in lithium-ion battery recycling*, «Journal of Cleaner Production», p 294, 126329.
56. KÖHLER A. R., SOM C., HELLAND A., GOTTSCHALK F. (2008), *Studying the potential release of carbon nanotubes throughout the application life cycle*, «Journal of Cleaner Production», 16(8-9), pp 927-937.
57. KRAUS S., BREIER M., LIM W. M., DABIĆ M., KUMAR S., KANBACH D., FERREIRA J. J. (2022), *Literature reviews as independent studies: guidelines for academic practice*, «Review of Managerial Science», 16(8), pp 2577-2595.
58. KRIPPENDORFF K. (1980), *Validity in content analysis*, «Computerstrategien für die Kommunikationsanalyse», (291), pp 69-112.
59. KRIPPENDORFF K. (2018), *Content analysis: An introduction to its methodology*, Thousand Oaks (CA): Sage publications.
60. LAI X., CHEN J., CHEN Q., HAN X., LU L., DAI H., ZHENG Y. (2023), *Comprehensive assessment of carbon emissions and environmental impacts of sodium-ion batteries and lithium-ion batteries at the manufacturing stage*, «Journal of Cleaner Production», p 423, 138674.
61. LEE H., LIM D., LEE B., GU J., CHOI Y., LIM H. (2022), *What is the optimized cost for a used battery?: Economic analysis in case of energy storage system as 2nd life of battery*, «Journal of Cleaner Production», p 374, 133669.
62. LIM W. M., KUMAR S., ALI F. (2022), *Advancing knowledge through literature reviews: 'what', 'why', and 'how to contribute'*, «The Service Industries Journal», 42(7-8), pp 481-513.
63. LIU A., HU G., WU Y., GUO F. (2024), *Life cycle environmental impacts of pyrometallurgical and hydrometallurgical recovery processes for spent lithium-ion batteries: present and future perspectives*, «Clean Technologies and Environmental Policy», 26(2), pp 381-400.
64. LIU C., LIN J., CAO H., ZHANG Y., SUN Z. (2019), *Recycling of spent lithium-ion batteries in view of lithium recovery: A critical review*, «Journal of Cleaner Production», 228, pp 801-813.
65. LUND P. D. (1984), *Optimization of a community solar heating system with a heat pump and seasonal storage*, «Solar energy», 33(3-4), pp 353-361.
66. MA R., TAO S., SUN X., REN Y., SUN C., JI G., ZHOU G. (2024), *Pathway decisions for reuse and recycling of retired lithium-ion batteries considering economic and environmental functions*, «Nature Communications», 15(1), p 7641.
67. MACARTHUR E. (2013), *Towards the circular economy*, «Journal of Industrial Ecology», 2(1), pp 23-44.

68. MARCOS J. T., SCHELLER C., GODINA R., SPENGLER T. S., CARVALHO H. (2021), *Sources of uncertainty in the closed-loop supply chain of lithium-ion batteries for electric vehicles*, «Cleaner Logistics and Supply Chain», 1, 100006.
69. MARTÍNEZ M. A., COBO M. J., HERRERA M., HERRERA-VIEDMA E. (2015), *Analyzing the scientific evolution of social work using science mapping*, «Research on Social Work Practice», 25(2), pp 257-277.
70. MARTINS L. S., GUIMARÃES L. F., JUNIOR A. B. B., TENÓRIO J. A. S., ESPINOSA D. C. R. (2021), *Electric car battery: An overview on global demand, recycling and future approaches towards sustainability*, «Journal of Environmental Management», p 295, 113091.
71. MARTINS V. W. B., RAMPASSO I. S., SILTORI P. F., CAZERI G. T., ANHOLON R., QUELHAS O. L. G., LEAL FILHO W. (2020), *Contributions from the Brazilian industrial sector to sustainable development*, «Journal of Cleaner Production», p 272, 122762.
72. MATHEW G., TEOH W. H., RAHMAN W. M. A. W. A., ABDULLAH N. (2023), *Survey on actions and willingness towards the disposal, collection, and recycling of spent lithium-ion batteries in Malaysia*, «Journal of Cleaner Production», p 421, 138394.
73. MERIGÓ J. M., CANCINO C. A., CORONADO F., URBANO D. (2016), *Academic research in innovation: a country analysis*, «Scientometrics», 108(2), pp 559-593.
74. MOUSAVINEZHAD S., KADIVAR S., VAHIDI E. (2023), *Comparative life cycle analysis of critical materials recovery from spent Li-ion batteries*, «Journal of Environmental Management», p 339, 117887.
75. MOAWAD K., MUSAMIH A., CHADLY A., MAYYAS A., SALAH K., JAYARAMAN R., YA-QOOB I. (2025), *Blockchain-enabled sustainability of Li-ion batteries supply chain: tracking and sourcing eco-friendly materials*, «International Journal of Production Research», pp 1-42.
76. MUKHERJEE D., LIM W. M., KUMAR S., DONTU N. (2022), *Guidelines for advancing theory and practice through bibliometric research*, «Journal of Business Research», 148, pp 101-115.
77. NGUYEN-TIEN V., DAI Q., HARPER G. D., ANDERSON P. A., ELLIOT R. J. (2022), *Optimising the geospatial configuration of a future lithium ion battery recycling industry in the transition to electric vehicles and a circular economy*, «Applied Energy», p 321, 119230.
78. ÖZTÜRK O. (2021), *Bibliometric review of resource dependence theory literature: an overview*, «Management Review Quarterly», 71(3), pp 525-552.
79. ÖZTÜRK O., KOCAMAN R., KANBACH D. K. (2024), *How to design bibliometric research: an overview and a framework proposal*, «Review of Managerial Science», 18(11), pp 3333-3361.
80. PAGE M. J., MCKENZIE J. E., BOSSUYT P. M., BOUTRON I., HOFFMANN T. C., MULROW C. D., MOHER D. (2021), *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*, «British Medical Journal», p 372.
81. RAJAEIFAR M. A., GHADIMI P., RAUGEI M., WU Y., HEIDRICH O. (2022), *Challenges and recent developments in supply and value chains of electric vehicle batteries: A sustainability perspective*, «Resources, Conservation and Recycling», p 180, 106144.

82. R CORE TEAM (2021), *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, Vienna: R Project.
83. REINHART L., VRUCAK D., WOESTE R., LUCAS H., ROMBACH E., FRIEDRICH B., LETMATHÉ P. (2023), *Pyrometallurgical recycling of different lithium-ion battery cell systems: Economic and technical analysis*, «Journal of Cleaner Production», p 416, 137834.
84. SCHELLER C., SCHMIDT K., SPENGLER T. S. (2023), *Effects of network structures on the production planning in closed-loop supply chains – A case study based analysis for lithium-ion batteries in Europe*, «International Journal of Production Economics», p 262, 108892.
85. SCHELLER F., BURKHARDT R., SCHWARZEIT R., MCKENNA R., BRUCKNER T. (2020), *Competition between simultaneous demand-side flexibility options: the case of community electricity storage systems*, «Applied Energy», p 269, 114969.
86. SEURING S., GOLD S. (2012), *Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management*, «Supply chain management: An international journal», 17(5), pp 544-555.
87. SISK V., AL-AKRAWI A., ZACKRISSON M. (2023), *Building a Sustainable Battery Supply Chain with Digital Battery Passports*, in 31st Interdisciplinary Information Management Talks, IDIMT 2023, pp 347-354.
88. SONG J., YAN W., CAO H., SONG Q., DING H., LV Z., SUN Z. (2019), *Material flow analysis on critical raw materials of lithium-ion batteries in China*, «Journal of Cleaner Production», 215, pp 570-581.
89. SRIVASTAVA M., SIVARAMAKRISHNAN S. (2021), *Mapping the themes and intellectual structure of customer engagement: a bibliometric analysis*, «Marketing Intelligence & Planning», 39(5), pp 702-727.
90. SUN L., CAO X., ALHARTHI M., ZHANG J., TAGHIZADEH-HESARY F., MOHSIN M. (2020), *Carbon emission transfer strategies in supply chain with lag time of emission reduction technologies and low-carbon preference of consumers*, «Journal of Cleaner Production», p 264, 121664.
91. TADAROS M., MIGDALAS A., SAMUELSSON B., SEGERSTEDT A. (2022), *Location of facilities and network design for reverse logistics of lithium-ion batteries in Sweden*, «Operational Research», 22(2), pp 895-915.
92. TANDON A., KAUR P., MÄNTYMÄKI M., DHIR A. (2021), *Blockchain applications in management: A bibliometric analysis and literature review*, «Technological Forecasting and Social Change», vol. 166, 120649.
93. TAO Y., SUN T., WANG Z. (2023), *Uncovering various paths for environmentally recycling lithium iron phosphate batteries through life cycle assessment*, «Journal of Cleaner Production», vol. 393, 136263.
94. TSIROPOULOS I., TARVYDAS D., LEBEDEVA N. (2018), *Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications: Scenarios for costs and market penetration*, Lussemburgo: Joint Research Centre – Publication Office of the European Union.
95. USAI L., LAMB J. J., HERTWICH E., BURHEIM O. S., STRØMMAN A. H. (2022), *Analysis of the Li-ion battery industry in light of the global transition to electric passenger light duty vehicles until 2050*, «Environmental Research: Infrastructure and Sustainability», 2(1), 011002.

96. VAN ECK N., WALTMAN L. (2010), *Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping*, «Scientometrics», 84(2), pp 523-538.
97. VAN ECK N. J., WALTMAN L. (2014), *Visualizing bibliometric networks*, in DING Y., ROSSEAU R., WOLFRAM D., *Measuring scholarly impact: Methods and practice*, pp 285-320, Springer International Publishing.
98. VAN RAAN A. F. (2005), *Measurement of central aspects of scientific research: Performance, interdisciplinarity, structure*, in *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 3(1), pp 1-19.
99. WANG J., LI H., LU H., YANG H., WANG C. (2020), *Integrating offline logistics and online system to recycle e-bicycle battery in China*, «Journal of Cleaner Production», vol. 247, 119095.
100. WANG W., ZHANG Y., ZHANG L., XU S. (2020), *Cleaner recycling of cathode material by in-situ thermite reduction*, «Journal of Cleaner Production», vol. 249, 119340.
101. WINSLOW K. M., LAUX S. J., TOWNSEND T. G. (2018), *A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries*, «Resources, Conservation and Recycling», vol. 129, pp 263-277.
102. WRÅLSEN B., PRIETO-SANDOVAL V., MEJIA-VILLA A., O'BORN R., HELLSTRÖM M., FAESSLER B. (2021), *Circular business models for lithium-ion batteries-Stakeholders, barriers, and drivers*, «Journal of Cleaner Production», vol. 317, 128393.
103. WU F., LI L., CRANDON L., CAO Y., CHENG F., HICKS A., YOU J. (2022), *Environmental hotspots and greenhouse gas reduction potential for different lithium-ion battery recovery strategies*, in «Journal of Cleaner Production», vol. 339, 130697.
104. WU J., ZHENG M., LIU T., WANG Y., LIU Y., NAI J., TAO X. (2023), *Direct recovery: A sustainable recycling technology for spent lithium-ion battery*, «Energy Storage Materials», vol. 54, pp 120-134.
105. YAN W., CAO H., ZHANG Y., NING P., SONG Q., YANG J., SUN Z. (2020), *Rethinking Chinese supply resilience of critical metals in lithium-ion batteries*, «Journal of Cleaner Production», vol. 256, 120719.
106. YANG Y., OKONKWO E. G., HUANG G., XU S., SUN W., HE Y. (2021), *On the sustainability of lithium ion battery industry – A review and perspective*, in «Energy Storage Materials», vol. 36, pp 186-212.
107. YI C., YANG Y., ZHANG T., WU X., SUN W., YI L. (2020), *A green and facile approach for regeneration of graphite from spent lithium ion battery*, «Journal of Cleaner Production», vol. 277, 123585.
108. YU Y., YAZAN D. M., BHOCHHIBHOYA S., VOLKER L. (2021), *Towards Circular Economy through Industrial Symbiosis in the Dutch construction industry: A case of recycled concrete aggregates*, «Journal of Cleaner Production», vol. 293, 126083.
109. ZACKRISSON M., AVELLÁN L., ORLENIUS J. (2010), *Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles–Critical issues*, «Journal of Cleaner Production», 18(15), pp 1519-1529.
110. ZANG G., SHAH A., WAN C. (2020), *Techno-economic analysis of an integrated biorefinery strategy based on one-pot biomass fractionation and furfural production*, «Journal of Cleaner Production», vol. 260, 120837.

111. ZHANG J., LI X., SONG D., MIAO Y., SONG J., ZHANG L. (2018), *Effective regeneration of anode material recycled from scrapped Li-ion batteries*, «Journal of Power Sources», vol. 390, pp 38-44.
112. ZUPIC I., CATER T. (2015), *Bibliometric methods in management and organization*, «Organizational research methods», 18(3), pp 429-472.

Sitografia

1. RESEARCH AND MARKET (2025):
<https://www.researchandmarkets.com/reports/5302807/lithium-ion-battery-recycling-global-strategic#rvp-2>
2. STATISTA RESEARCH DEPARTMENT (2025):
<https://www.statista.com/statistics/1535019/china-value-of-recycled-batteries/>