



ATTI

X Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA
XV Convegno della Rete Italiana LCA

INNOVAZIONE E CIRCOLARITÀ

Il contributo del *Life Cycle Thinking*
nel Green Deal per la neutralità climatica



22-24 settembre 2021

**Università Mediterranea
di Reggio Calabria**

Via dell'Università, 25
Reggio Calabria



ATTI

X Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA
XV Convegno della Rete Italiana LCA

INNOVAZIONE E CIRCOLARITÀ

Il contributo del *Life Cycle Thinking*
nel Green Deal per la neutralità climatica

22-24 settembre 2021

**Università Mediterranea
di Reggio Calabria**

Via dell'Università, 25
Reggio Calabria

© 2022 Associazione Rete Italiana LCA

Publicato da: Associazione Rete Italiana LCA

Data di pubblicazione: 2022

Paese di pubblicazione: Italia

Lingua: Italiano

Formato dell'e-book: PDF

ISBN: 9791221004564



Comitato Scientifico del Convegno

Michela Aresta	Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Reattività Chimica e la Catalisi (CIRCC)
Maurizio Cellura	Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria
Laura Cutaia	ENEA, Roma
Monica Lavagna	Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (ABC)
Alessandro Manzardo	Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)
Paolo Masoni	Ecoinnovazione srl
Marina Mistretta	Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento Patrimonio Architettura Urbanistica (PAU)
Bruno Notarnicola	Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Dipartimento Jonico in “Sistemi Giuridici ed Economici del Mediterraneo: società, ambiente, culture”
Andrea Raggi	Università degli Studi “G. d’Annunzio” di Chieti-Pescara, Dipartimento di Economia
Lucia Rigamonti	Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA)
Serena Righi	Università di Bologna, Campus di Ravenna, Dipartimento di Fisica e Astronomia (DIFA) e Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali (CIRSA)
Roberta Salomone	Università degli Studi di Messina, Dipartimento di Economia
Antonio Scipioni	Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)



Comitato organizzatore

Marina Mistretta	Tesoriera Associazione Rete Italiana LCA - Università Mediterranea di Reggio Calabria
Giacomo Falcone	Università Mediterranea di Reggio Calabria
Patrizia Frontera	Università Mediterranea di Reggio Calabria
Alfio Strano	Università Mediterranea di Reggio Calabria
Anna Irene De Luca	Università Mediterranea di Reggio Calabria
Angela Malara	Università Mediterranea di Reggio Calabria

Segreteria Tecnica del Convegno

Teresa Maria Gulotta	Università degli Studi di Messina
Giovanni Mondello	Università degli Studi di Messina

convegnoretelca2021@gmail.com



PROGRAMMA

22 settembre 2021
mercoledì

14.00 – 15.00 Registrazione dei partecipanti

15.00 – 15.30 Apertura dei lavori e saluti istituzionali

*Chair: Marina Mistretta, Università Mediterranea di Reggio Calabria,
Associazione Rete Italiana LCA*

Marcello Santo Zimbone

Magnifico Rettore Università Mediterranea di Reggio Calabria

Tommaso Manfredi

Direttore Dip. Patrimonio Architettura Urbanistica Unirc

Laura D'Aprile

Dipartimento per la Transizione Ecologica e gli Investimenti Verdi (Ditei),
Ministero della Transizione Ecologica

Antonio Uricchio

Presidente ANVUR

Alessandro Ruggieri

Presidente AISME, Accademia Italiana di Scienze Merceologiche

Filippo De Rossi

Presidente Associazione Fisica Tecnica Italiana

Bruno Notarnicola

Presidente Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi Aldo Moro

15.30 – 16.15 SESSIONE I

IL LIFE CYCLE THINKING NELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA

Chair: Bruno Notarnicola, Associazione Rete Italiana LCA

Il Life Cycle Thinking applicato alle strategie di crescita dell'idrogeno: sfide e prospettive

- Maurizio Cellura, Università degli Studi di Palermo

Green Deal e Sustainable Development Goals: Il ruolo del settore edile

- Marina Mistretta, Università Mediterranea di Reggio Calabria

Il contributo della metodologia PEF nelle politiche europee per il Green Deal

- Fulvio Ardente, Commissione Europea, Joint Research Centre Ispra

Il Life Cycle Thinking a supporto dello sviluppo di tecnologie per l'accumulo elettrochimico di energia elettrica

- Marco Ferraro, Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Tecnologie Avanzate per l'Energia "Nicola Giordano (CNR-ITAE), Messina
-

16.15 – 18.00

**SESSIONE II
LCT E CIRCOLARITÀ**

*Chair: Monica Lavagna – Associazione Rete Italiana LCA
Roberta Salomone – Università degli Studi di Messina*

**Circular Bioeconomy metrics and Life Cycle Assessment.
Answers from literature review**

- Federico Gallo, Università degli Studi di Padova

Implementing the Circular Transition Indicators in a global packaging company

- Anna Walker, Università degli Studi di Chieti-Pescara

"Toward carbon neutral urban regeneration: the use of LCA to support competition for innovative, carbon-free and circular architectural projects"

- Anna Dalla Valle, Politecnico di Milano

Strumenti con approccio di ciclo di vita di supporto alle aziende per la scelta di soluzioni circolari: la matrice di valutazione multicriterio

- Benedetta Bellotti, Ecoinnovazione srl

LCA on Carbon Dots: a state-of-the-art evaluation

- Virginia Lama, Università di Bologna

La banca dati italiana LCA BDI-LCA

- Caterina Rinaldi, ENEA
-

18.00 – 18.30

SESSIONE POSTER I

*Chair: Pietro Alexander Renzulli, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"
Anna Irene De Luca, Università Mediterranea di Reggio Calabria*

Life Cycle Assessment applied to Carbon Dioxide Removal processes: a literature review

- Francesco Pietro Campo, Politecnico di Milano

Analisi delle strategie di riuso e riciclo dei nuovi "critical raw materials"

- Angela Malara, Università Mediterranea di Reggio Calabria

Life Cycle Assessment di batterie stazionarie a ioni-litio nello scenario italiano

- Andrea Temporelli, RSE Ricerca Sistema Energetico, Milano

Riuso del fresato e modificanti: due parametri per la misura della sostenibilità ambientale delle pavimentazioni stradali

- Lucia Capuano, Università degli Studi di Milano Bicocca

Il piano nazionale di ripresa e resilienza in ottica LCA: una valutazione preliminare per sviluppi futuri

- Daniela Camano, Università degli Studi di Padova

Blockchain Technology in Life Cycle Assessment: Opportunities and Current Challenges

- Davide Accordini, Politecnico di Milano
-

18.30 **Welcome Party**



PROGRAMMA

23 settembre 2021
giovedì

8.30 – 9.00 Registrazione dei partecipanti

9.00 – 10.45 **SESSIONE III**

METODI E STRUMENTI LCT-BASED NEL SETTORE DEI RIFIUTI

Chair: Lucia Rigamonti, Associazione Rete Italiana LCA

Alessandro Manzardo, Associazione Rete Italiana LCA

L'uso di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto nel monitoraggio del biogas da discarica: set-up ai fini del miglioramento del profilo ambientale

- Giuseppe Tassielli, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"

Collecting primary data in WEEE treatment facilities: mission impossible?

- Teresa Maria Gulotta, Università degli Studi di Messina

Analisi di uno strumento di carbon footprint per il compostaggio e la digestione anaerobica

- Eliana Mancini, Università degli Studi di Chieti-Pescara

Life Cycle Costing della Catena di Gestione dei Rifiuti da Costruzione e Demolizione

- Federica Carla Carollo, Politecnico di Milano

Life Cycle Assessment di un fotoreattore di laboratorio UV-C

- Rosa Di Capua, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"

Thermodynamic rarity assessment of WEEE plant

- Erik Roos Lindgreen, Università degli Studi di Messina
-

10.45 – 11.15 **Coffee Break**

11.15 – 12.45 **SESSIONE IV**

EDILIZIA

Chair: Marina Mistretta, Associazione Rete Italiana LCA

Patrizia Frontera, Università Mediterranea di Reggio Calabria

The environmental footprint of buildings at city level: a new assessment tool

- Jacopo Famiglietti, Politecnico di Milano

Materiali isolanti per l'edilizia: uno studio di LCA

- Sonia Longo, Università degli Studi di Palermo

End of Life tool for building product development: the Solar Window Block case study

- Martino Gubert, Eurac Research Bolzano

Reuse in the construction sector: Life Cycle Assessment as a driver tool

- Serena Giorgi, Politecnico di Milano

Sustainability of disruptive innovation – cradle-to-gate LCA of Carbon Reinforced Concrete

- Jane Backes, RWTH Aachen University

LCA in building sector policies

- Monica Lavagna, Politecnico di Milano

12.45 – 13.15

SESSIONE POSTER II

*Chair: Laura Cutaia, Associazione Rete Italiana LCA
Sonia Longo, Università degli Studi di Palermo*

State-of-the-art analysis of environmental assessment studies
on Concentrated Solar Power systems

- Federico Rossi, Università degli Studi di Siena

Timber and concrete in the building sector: a review of Life Cycle Assessment studies

- Sofia Pastori, Politecnico di Milano

Carbon Footprint di un Ateneo: confronto metodologico tra ISO 14064-1 e linee guida RUS

- Alessandro Marson, Università degli Studi di Padova

L'approccio parametrico basato su LCA per l'eco-progettazione di involucri edilizi

- Francesca Thiebat, Politecnico di Torino

Moving A/E practices towards life cycle design

- Anna Dalla Valle, Politecnico di Milano

Recupero del fosforo da ceneri di fanghi di depurazione: modellazione del processo
e analisi del ciclo di vita

- Serena Righi, Università di Bologna
-

13.15 – 14.15

Pranzo

14.15 –
16.00

**SESSIONE V
ENERGIA**

*Chair: Maurizio Cellura, Associazione Rete Italiana LCA
Matilde Pietrafesa, Università Mediterranea di Reggio Calabria*

Life cycle assessment (LCA) of an innovative compact hybrid electrical-thermal storage
system for residential buildings in Mediterranean climate

- Valeria Palomba, Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di tecnologie avanzate
per l'energia "Nicola Giordano (CNR-ITAE), Messina

Supporting life-cycle conscious decisions in household energy requalification

- Nicolò Golinucci, Politecnico di Milano

Primary vs secondary data in LCA: the case of an electronic product

- Giovanni Mondello, Università degli Studi di Messina

L'Italia e l'Europa verso la transizione energetica. Situazione attuale e scenari a confronto

- Benedetta Marmioli, RSE Ricerca Sistema Energetico, Milano

Environmental Impact Evaluations of automotive Lithium-ion Batteries' first and second life

- Silvia Colnago, Politecnico di Milano

Life Cycle Assessment of Sustainable Aviation Fuels: a review

- Simone Maranghi, Ecoinnovazione srl

EV LIBs towards circular economy: literature review of electric vehicle
lithium-ion batteries LCA for a circular economy implementation

- Matteo Fervorari, Politecnico di Milano
-

16.00 – 16.30	SESSIONE POSTER III <i>Chair: Paolo Masoni, Ecoinnovazione srl</i> <i>Serena Righi, Università degli Studi di Bologna</i> Towards sustainable freight transportation: an LCA review <ul style="list-style-type: none"> • Marta Negri, Politecnico di Milano Applicazione del Life Cycle Assessment al servizio di erogazione di acqua potabile in Romagna <ul style="list-style-type: none"> • Francesco Arfelli, Università di Bologna Qual è il reale interesse delle imprese verso l'economia circolare? Risposte da una survey <ul style="list-style-type: none"> • Elena Battiston, Università degli Studi di Padova Life Cycle Assessment Overview on Polyhydroxyalkanoates <ul style="list-style-type: none"> • Loïc Ronin, Politecnico di Milano Resource pressure of woven carpets: guide to their circular design <ul style="list-style-type: none"> • Virginia Lama, Università di Bologna Impatti ambientali delle perforazioni petrolifere: il contributo della "scarpa di cementazione" <ul style="list-style-type: none"> • Raffaella Taddeo, Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti – Pescara
16.30 – 17.00	Coffee Break
17.00 – 17.45	PREMIO GIOVANI RICERCATORI <i>Chair: Andrea Raggi, Associazione Rete Italiana LCA</i> Un framework esteso di Life Cycle Sustainability Assessment applicato ai sistemi energetici <ul style="list-style-type: none"> • Francesco Guarino, Università degli Studi di Palermo La Cereal Unit come metrica per allocazione e unità funzionale appropriate nel settore agroalimentare: Metodologia, limiti e prospettive discussi attraverso il caso dei seminativi in Italia <ul style="list-style-type: none"> • Giuseppe Costantini, Università degli Studi di Milano
17.45 – 18.15	ASSEMBLEA ASSOCIAZIONE RETE ITALIANA LCA
20.30	Cena sociale – L'A L'Accademia gourmet <i>Via Largo Cristoforo Colombo 6, Reggio Calabria</i> <i>(Solo per i partecipanti già registrati a questo evento)</i>



PROGRAMMA

24 settembre 2021
venerdì

9:15 – 11:00	SESSIONE VI ESPERIENZE E CASI STUDIO NEL SETTORE AGRO-ALIMENTARE <i>Chair: Bruno Notarnicola, Associazione Rete Italiana LCA</i> <i>Giacomo Falcone, Università Mediterranea di Reggio Calabria</i> Life Cycle Methodologies and Social Agrarian Metabolism Approach to assess Agroecology Practices in Mediterranean Olive Growing: A Methodological Framework in the International "Sustain olive" Project • Anna De Luca, Università Mediterranea di Reggio Calabria Assessing Climate Change impacts of typical Sardinian sheep cheese production: The Pecorino Sardo and Fiore Sardo case study • Delia Cossu, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la Bioeconomia, Sassari Social Life Cycle Assessment degli Allevamenti Suinicoli intensivi in Italia: Indicatori e Scale di Valutazione • Giuseppe Coppola, Università degli Studi di Milano A proposal of customized Life Cycle model to circularity challenges in the olive-oil supply chain • Teodora Stillitano, Università Mediterranea di Reggio Calabria LCA e Emergy come strumenti di individuazione e valorizzazione di pratiche agricole circolari: un caso studio in Toscana • Gaia Esposito, Università degli Studi di Siena Environmental life cycle assessment of typical organic carrot in central Italy • Francesco Pacchera, Università degli Studi della Tuscia Messa a punto di un protocollo di gestione della sommersione per una risicoltura più sostenibile • Michele Zoli, Università degli Studi di Milano
11.00 – 11.30	Coffee Break

11.30 – 12.00	SESSIONE POSTER IV <i>Chair: Antonio Scipioni, Università degli Studi di Padova</i> <i>Filippo Praticò, Università Mediterranea di Reggio Calabria</i> A Comparative Life Cycle Assessment of Conventional and Organic Hazelnuts Production systems in Centre Italy <ul style="list-style-type: none"> • Giuseppe Coppola, Università degli Studi di Milano The role of users in addressing environmental impacts in LCA: a literature review <ul style="list-style-type: none"> • Alice Paola Pomè, Politecnico di Milano Applicazione metodologia mista LCA e UI/UX al contesto autoproduzione per la creazione di green skills <ul style="list-style-type: none"> • Claudia Morea, Università degli Studi di Firenze Life Cycle Assessment of Composite Materials: a literature review <ul style="list-style-type: none"> • Pietro Ballarin, Politecnico di Milano Simplified Life Cycle Assessment (LCA) of a semi-finished aluminium product <ul style="list-style-type: none"> • Ioannis Arzoumanidis, Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti – Pescara Abbattimento delle emissioni dalle porcaie attraverso scrubber con soluzione di acido citrico <ul style="list-style-type: none"> • Jacopo Bacenetti, Università degli Studi di Milano
12.00 – 12.45	TAVOLA ROTONDA "PNRR E TRANSIZIONE ECOLOGICA: OBIETTIVI E PROSPETTIVE DELLA GREEN REVOLUTION" <i>Chair: Marina Mistretta</i> <i>Partecipano:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Maurizio Cellura, Associazione Rete Italiana LCA • Patty L'Abbate, Senato della Repubblica • Maurizio Melis, Radio 24 - Il Sole 24 ore • Bruno Notarnicola, Associazione Rete Italiana LCA
12.45 – 13.00	CHIUSURA CONVEGNO <ul style="list-style-type: none"> • Bruno Notarnicola • Marina Mistretta • Maurizio Cellura
13.00 - 14.00	Pranzo

Sommario

PREFAZIONE16

SESSIONE II LCT E CIRCOLARITÀ

Circular Bioeconomy metrics and Life Cycle Assessment. Answers from literature review19

Implementing the Circular Transition Indicators in a global packaging company 28

Toward carbon neutral urban regeneration:
the use of LCA to support competition for innovative,
carbon-free and circular architectural projects 36

Strumenti con approccio di ciclo di vita a supporto delle aziende
per la scelta di soluzioni circolari: la matrice di valutazione multicriterio 44

LCA on Carbon Dots: a state-of-the-art evaluation 52

La banca dati italiana LCA BDI-LCA..... 59

SESSIONE POSTER I

Life Cycle Assessment applied to Carbon Dioxide Removal processes: a literature review 68

Analisi delle strategie di riuso e riciclo dei nuovi “critical raw materials” 76

Life Cycle Assessment di batterie stazionarie a ioni-litio nello scenario italiano..... 84

Riuso del fresato e modificanti: due parametri per la misura
della sostenibilità ambientale delle pavimentazioni stradali 93

Il piano nazionale di ripresa e resilienza in ottica LCA:
una valutazione preliminare per sviluppi futuri 101

Blockchain technology in life cycle assessment:
opportunities and current challenges 113

SESSIONE III METODI E STRUMENTI LCT-BASED NEL SETTORE DEI RIFIUTI

L'uso di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto nel monitoraggio del biogas da discarica:
set-up ai fini del miglioramento del profilo ambientale122

Collecting primary data in WEEE treatment facilities: mission impossible? 129

Analisi di uno strumento di carbon footprint per il compostaggio e la digestione anaerobica.....138

Life cycle costing della catena di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione..... 146

Life Cycle Assessment di un fotoreattore di laboratorio UV-C.....154

Thermodynamic rarity assessment of WEEE plant 164

**SESSIONE IV
EDILIZIA**

The environmental footprint of buildings at city level: a new assessment tool.....171

Materiali isolanti per l'edilizia: uno studio di LCA183

End of Life tool for building product development: the Solar Window Block case study 191

Reuse of shipping containers in the construction sector: Life Cycle Assessment as a driver tool 199

Sustainability of disruptive innovation – cradle-to-gate LCA of Carbon Reinforced Concrete 207

LCA in building sector policies.....215

SESSIONE POSTER II

State-of-the-art analysis of environmental assessment studies
on Concentrated Solar Power systems 224

Timber and concrete in the building sector: a review of Life Cycle Assessment studies 232

Carbon Footprint di un Ateneo: confronto metodologico tra ISO 14064-1 e linee guida RUS..... 240

L'approccio parametrico basato su LCA per l'eco-progettazione di involucri edilizi..... 249

Moving A/E practices towards life cycle design..... 256

Recupero del fosforo da ceneri di fanghi di depurazione:
modellazione del processo e analisi del ciclo di vita..... 264

**SESSIONE V
ENERGIA**

Life cycle assessment (LCA) of an innovative compact hybrid electrical-thermal
storage system for residential buildings in Mediterranean climate 273

Supporting life-cycle conscious decisions in household energy requalification 281

Primary vs secondary data in LCA: the case of an electronic product..... 290

L'Italia e l'Europa verso la transizione energetica
Situazione attuale e scenari a confronto 298

Environmental Impact Evaluations of automotive Lithium-ion Batteries' first and second life 307

Life Cycle Assessment of Sustainable Aviation Fuels: a review315

EV LIBs towards circular economy: literature review of electric vehicle lithium-ion batteries LCA for a circular economy implementation	323
---	-----

SESSIONE POSTER III

Towards sustainable freight transportation: an LCA review	334
Applicazione del Life Cycle Assessment al servizio di erogazione di acqua potabile in Romagna	342
Qual è il reale interesse delle imprese verso l'economia circolare? Risposte da una survey.....	350
Life Cycle Assessment Overview on Polyhydroxyalkanoates	358
Impatti ambientali delle perforazioni petrolifere: il contributo della “scarpa di cementazione”	366

PREMIO GIOVANI RICERCATORI

Un framework esteso di Life Cycle Sustainability Assessment applicato ai sistemi energetici	374
La Cereal Unit come metrica per allocazione e unità funzionale appropriate nel settore agroalimentare: Metodologia, limiti e prospettive discussi attraverso il caso dei seminativi in Italia.....	382

SESSIONE VI

ESPERIENZE E CASI STUDIO NEL SETTORE AGRO-ALIMENTARE

Life cycle methodologies and social agrarian metabolism approach to assess agroecology practices in mediterranean olive growing: a methodological framework in the international “sustainolive” project	391
Assessing Climate Change impacts of typical Sardinian sheep cheese production: The Pecorino Sardo and Fiore Sardo case study.	399
Social Life Cycle Assessment degli Allevamenti Suini intensivi in Italia: Indicatori e Scale di Valutazione.....	407
A proposal of customized Life Cycle model to circularity challenges in the olive-oil supply chain.....	417
LCA e Emery come strumenti di individuazione e valorizzazione di pratiche agricole circolari: un caso studio in Toscana	426
Environmental life cycle assessment of typical organic carrot in central Italy	434
Messa a punto di un protocollo di gestione della sommersione per una risicoltura più sostenibile.....	442

SESSIONE POSTER IV

A Comparative Life Cycle Assessment of Conventional and Organic Hazelnuts Production systems in Center Italy	451
The role of users in addressing environmental impacts in LCA: a literature review.....	460

Applicazione metodologia mista LCA e UI/UX al contesto autoproduzione per la creazione di green skills.....	468
Life Cycle Assessment of Composite Materials: a literature review	476
Simplified Life Cycle Assessment (LCA) of a semi-finished aluminium product	483
Abbattimento delle emissioni dalle porcelaine attraverso scrubber con soluzione di acido citrico	490

PREFAZIONE

Il X Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA (XV Convegno della Rete Italiana LCA) si è svolto a Reggio Calabria nei giorni 22, 23 e 24 settembre 2021, sul tema "Innovazione e Circolarità: il contributo del Life Cycle Thinking nel Green Deal per la neutralità climatica". Il Convegno ha ricevuto il patrocinio del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), dell'Associazione Condizionamento dell'Aria Riscaldamento e Refrigerazione (AICARR), SETAC Italia, Città Metropolitana di Reggio Calabria, ARPA Calabria, Confindustria Reggio Calabria, Camera di Commercio di Reggio Calabria, e con il sostegno di CNR-ITAE di Messina.

In linea con gli obiettivi dell'Agenda 2030, che si pongono alla base delle politiche di ripresa post-Covid, il Green Deal europeo rappresenta la nuova roadmap della strategia di crescita sostenibile per raggiungere una giusta transizione energetica e la neutralità climatica entro il 2050. In tale contesto, l'approccio del Life Cycle Thinking (LCT), diventato uno dei pilastri principali delle politiche strategiche europee orientate alla decarbonizzazione dell'economia, rappresenta un supporto metodologico efficace nell'innovazione, coerente con la transizione ecologica, non solo di cicli produttivi e modelli di consumo, ma anche di approcci culturali e stili di vita.

Il X Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA (XV Convegno della Rete Italiana LCA) si è focalizzato sul ruolo dell'LCT come approccio integrato: 1) nella valutazione della sostenibilità che le complesse sfide della transizione verso la neutralità climatica e l'uso efficiente delle risorse impongono; 2) nella definizione di strategie per il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile nelle sue varie dimensioni ambientali, economiche e sociali, stimolando la creazione di valore e la resilienza dei sistemi economici.

I contributi scientifici, presentati durante le sessioni tematiche orali e le sessioni poster, testimoniano il grande interesse della comunità scientifica nazionale verso tali tematiche, ponendo anche grande attenzione all'impiego dell'LCT per il raggiungimento dei SDG, all'integrazione con altri strumenti per la sostenibilità, e alla crucialità della metodologia LCA nel supportare le imprese nell'intraprendere un percorso più green, come metrica delle proprie prestazioni energetiche e ambientali.

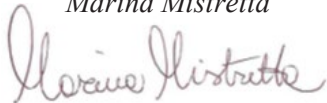
Il volume raccoglie i contributi scientifici, presentati a seguito di un processo di double peer review gestito dal Comitato Scientifico. I suddetti contributi sono stati inviati sui seguenti temi:

- Metodi e strumenti LCT – based nelle politiche ambientali.
- Impiego del LCT nelle strategie di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.
- Sviluppi metodologici di LCA, LCC e SLCA e integrazione con altri strumenti per studi di sostenibilità
- Impiego del LCT per il raggiungimento dei Sustainable Development Goals
- LCT ed Economia Circolare: casi studio di eco-design e di produzione e consumo sostenibili
- Impiego della LCA e degli strumenti LCT - based nei settori alimentare e agroindustriale, energetico, chimico, edilizio, turistico, gestione dei rifiuti, infrastrutture viarie e trasporti.

Un'ultima sezione riporta i contributi presentati dai primi due classificati della dodicesima edizione del Premio Giovani Ricercatori LCA, rivolto ai giovani ricercatori, che operano nel campo dell'analisi del ciclo di vita al fine di promuovere la ricerca e divulgare le loro attività.

Il Chair del Convegno

Marina Mistretta



Il Presidente dell'Associazione Rete Italiana LCA

Bruno Notarnicola



Environmental Impact Evaluations of automotive Lithium-ion Batteries' first and second life

Silvia Colnago^{1*}, Giovanni Dotelli²

Abstract: In the transition to cleaner mobility, electric vehicles and their primary power source, batteries, are of paramount importance. Depending on the degrees of hybridization of an electric vehicle, the battery can have different sizes. Usually, lithium-ion batteries are employed. Several life cycle assessment studies have been performed to compare these vehicles with the internal combustion engine vehicles and understand the environmental impact of this battery technology production. This article aims to review life cycle assessments on lithium-ion batteries for automotive application, with a focus on the European scenario. The first part is a critical analysis of papers performing a life cycle assessment of the battery technologies for electric vehicle application. The second part of the paper will be devoted to the battery's end of life, analyzing the different recycling methods and the possibility of a second life for the used battery.

1. Introduction

In recent years, the growing concern towards high environmental pollution spurred governments to promote and encourage green mobility development. In this scenario, batteries play a crucial role, and a considerable effort has been made from the industries to satisfy the growing demand. Among the various technologies of rechargeable batteries, the most widely employed are lithium-ion batteries thanks to high energy density, high power density, low self-discharge, and long lifecycle (Xiong and Shen, 2019). There is a large variety of lithium-ion batteries that differs for electrodes and electrolyte materials. For traction applications, typically lithium nickel cobalt aluminum oxide (NCA), lithium manganese oxide (LMO), lithium iron phosphate (LFP), and lithium nickel manganese cobalt oxide (NMC) technologies are preferred because of their excellent performance in terms of specific energy and specific power and safety (Ding et al., 2019). These different technologies are made on different raw materials and have different production chains and different environmental impacts. Several studies were performed to analyze the ecological consequences of electric vehicles (EVs) production in general and specifically on the different types of lithium-ion batteries. The Life Cycle Assessments (LCA) in literature differ for functional unit (FU), system boundaries, and region. Some of them focus just on the production, some others take into account also the use phase and the end of life (EOL) of the battery.

The automotive industry stated that a battery reaches the EOL when its capacity is 80% of the initial capacity or the internal resistance is doubled with respect to the initial one (Hesselbach and Herrmann, 2011). However, batteries that have reached the EOL for the traction application

¹ Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria

² Politecnico di Milano, Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"

* Email: silvia.colnago@polimi.it

still have some residual capacity that can be used in a stationary application. The degradation of the aged battery and the technical feasibility of the battery's second use has been discussed in many articles, and the so-called "second life" of the battery seems to be a promising alternative to immediate recycling. Several researchers have investigated the possible applications and the environmental impact of using aged batteries, and the European Union started in 2016 SASLAB project for this aim.

This article provides a review of the LCA studies made on the aforementioned types of lithium-ion batteries for automotive applications, giving an overview of the possible second-life use of the batteries. The article is organized as follows: in section 2, a review of the LCA on automotive batteries is accomplished, considering European panorama. In section 3, studies on second life and EOL of the batteries are analyzed and in section 4, conclusions are presented.

2. Lithium-ion batteries Life Cycle Assessment

Among the numerous studies available online, different goals and system boundaries definitions can be found, which causes different impact results. Results show a strong influence of the electricity mix on the total impact, both for production and for the use phase (Hawkins et al., 2013). Towards more significative and comparable results, this review focuses on European panorama, so studies that consider the European electricity mix are included. Moreover, just papers related to traction application were selected. A total of 18 papers were selected.

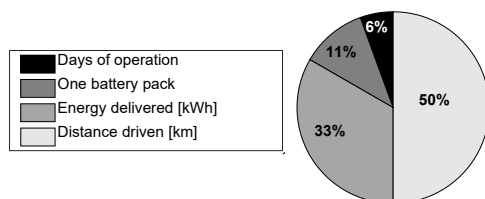
2.1. Goal and Scope definition

The starting point of an LCA is the goal and scope definition, which defines the target of the study, the FU, the system boundaries, and the impact categories. In the following, a breakdown of the chosen goal and scope definition for the analyzed studies is reported.

The system boundaries determine the unit processes that are included in the assessment. 14 of the analyzed papers perform a cradle-to-grave assessment, considering raw material extraction, manufacturing phase, use phase, and end of life, 3 perform a cradle to gate, that does not take into account the use phase and end of life, and the remaining one analyses the production and end of life phase, without considering the use phase. Two of them also perform an analysis on tank-to-wheel or well-to-wheel environmental impact.

The FU is the key element of an LCA and needs to be defined at a very early stage. It is the reference to which all the impact results are related. The most used and recommended FU for batteries in automotive applications are kilometers driven or energy delivered. However, some of the literature studies focus on a battery pack with specific characteristics of weight or energy or days of operation. In Figure 1 an overview of the functional units chosen in the analyzed papers is reported.

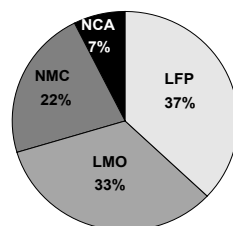
Figure 1: Functional unit of the analysed papers.



Despite the limited number of papers analyzed, a widespread of goals can be found. (Van Mierlo et al.,2017) perform an environmental comparison of different alternative fuel-powered vehicles, while (Hawkins et al.,2013), (Notter et al.,2010), (Tagliaferri et al.,2016) and (Helmerts et al.,2017) focus on the comparison between battery electric vehicle (BEV) and internal combustion engine vehicle. (Marques et al.,2019), (Zhao and You, 2019), (Majeau-Bettez et al., 2011), and (Oliveira et al., 2015) perform a comparative LCA of different types of batteries employed in traction application, (Accardo et al.,2021) perform a comparison between two different battery types and then compare vehicles powered by these two batteries with a similar vehicle with an internal combustion engine while (Sanfelix et al., 2015) carry out a comparison of different BEV concepts. (Philippot et al.,2019) and (Buchart-Korol et al.,2018) study the influence of the production location on the emission, (Buchart-Korol et al.,2018) also focuses on different results obtained with different renewable power sources. (Faria et al.,2014) and (Genikomsakis et al.,2013) perform an LCA of a lithium-ion battery considering the first and the second life. (Mohr et al., 2020) carry out a comparison of different battery technology with a focus on different recycling methods. The other two papers (Ellingsen et al., 2014) and (Zackrisson et al.,2010) assess an LCA of a specific battery pack.

In some of the papers, more than one battery type is analyzed. In this study, just the results of the four battery types mentioned in section 1 are reported. In *Figure 2* an overview of the analyzed batteries is reported.

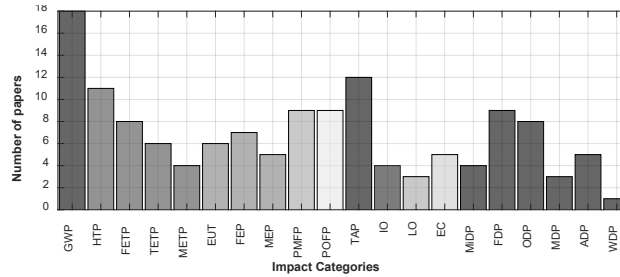
Figure 2: Overview of the analysed battery technologies.



2.2. Impact assessment

The impact assessment is another fundamental step of an LCA that aims at understanding and evaluating the potential environmental impacts for the analyzed product. There are different methods to perform a life cycle impact assessment. In literature, most of the studies are carried out following the ReCiPe method. Life cycle impact assessment results are classified and aggregated per impact categories previously chosen. The impact categories considered in the papers under analysis are reported in Figure 3. All the investigated studies focus on the global warming potential, but the other impact categories analyzed are different from an assessment to another. In the next paragraph, the results of the different assessments will be analyzed.

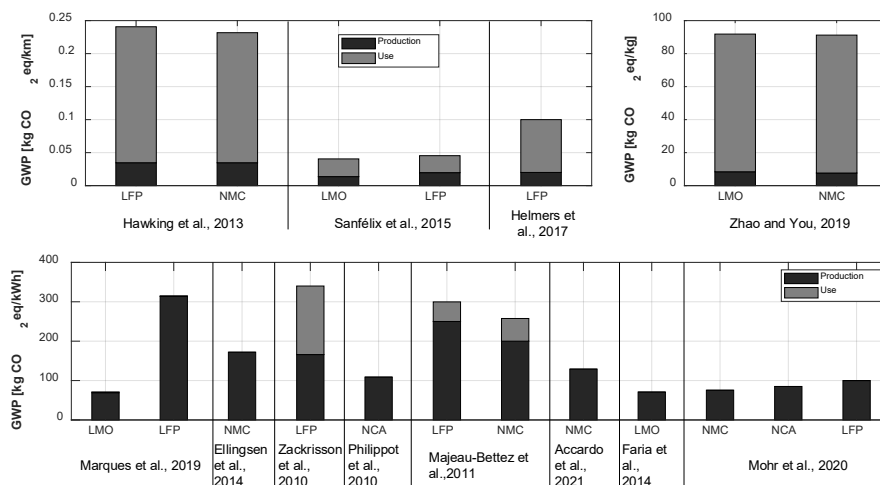
Figure 3: Overview of the analysed impact categories: global warming potential (GWP), human toxicity potential (HTP), freshwater ecotoxicity potential (FETP), terrestrial ecotoxicity potential (TETP), marine ecotoxicity potential (METP), eutrophication (EUT), freshwater eutrophication (FEP), marine eutrophication (MEP), particulate matter formation (PMFP), photochemical oxidation formation (POFP), terrestrial acidification potential (TAP), ionizing radiation (IO), land occupation (LO), energy consumption (EC), mineral depletion potential (MiDP), fossil depletion potential (FDP), ozone depletion potential (ODP), metal depletion potential (MDP), abiotic depletion potential (ADP), water depletion potential (WDP).



2.3. Results

Greenhouse gas emission is investigated in all the analyzed papers. Due to different FUs, it is not immediately possible to compare all the results, Figure 4 presents some of the results grouped per FU. Outcomes of (Tagliaferri et al., 2016) and (Burchart-Korol et al., 2018) are not reported because they consider the entire vehicle and not just the battery, (Notter et al., 2010) and (Genikomsakis et al., 2013) report just the result of the whole lifetime, so are not directly comparable with the other studies, while (Oliveira et al., 2015) and (Van Mierlo et al., 2017) are not reported, since results are not comparable with the average of the others. Looking at the different results and analyzing the average, LFP type production is the one creating more emissions (207.4 kgCO₂eq/kWh) followed by NMC (144.2 kgCO₂eq/kWh), NCA (96.9 kgCO₂eq/kWh), and LMO (70 kgCO₂eq/kWh).

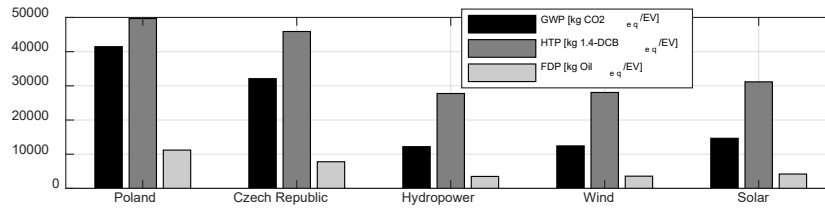
Figure 4: GWP of different type of batteries.



Results show that most of the studies have a production impact with the same order of magnitude, while the use phase differs from study to study. This is due to a different modelization of

the use phase. Some of the studies perform a New European Driving Cycle calculating the power needed, some other use a mean value consumption, some other use customized driving cycles. This results in a different amount of energy requested. Moreover, even if just European countries are considered in this review, different countries in Europe can have different electricity mixes. (Burchart-Korol et al., 2018) study the influence of the electricity mixes on the entire life cycle of an EV. They analyze the electricity mix of the Czech Republic (mostly fossil and nuclear), Poland (85% fossil), and then electricity produced just with hydropower, wind, or solar. The result of their study is depicted in Figure 5.

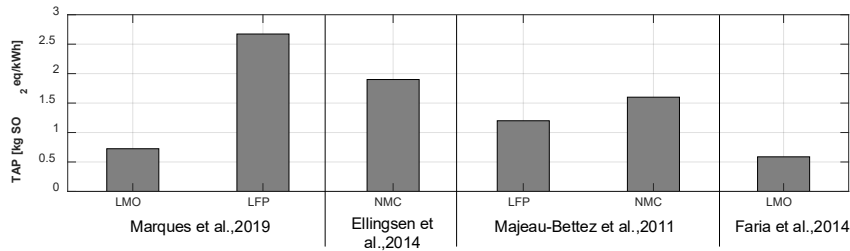
Figure 5: Impact of different electricity mix on electric vehicles' lifetime.



As expected, the usage of renewable and green sources allows halving the global warming potential, the human toxicity potential, and the fossil fuel depletion.

Terrestrial acidification results are reported in Figure 6. This impact category is not estimated in the analyzed studies for NCA type.

Figure 6: Terrestrial acidification impact of different types of batteries.



Regarding the other impact categories, the different hypotheses, different types of battery considered, and different FU do not make possible a direct comparison of the values. An estimation of the impacts, whenever significant is reported in Table 1.

Table 1: Environmental impact of different types of battery

	LMO	NMC	LFP	NCA
HTP [kg 1.4-DCB _{eq}]		505.5 /kWh	750/kWh	
MDP [kg Fe _{eq}]		150/kWh	100/kWh	
PMFP [kg PM _{10eq}]	6.5e-5/km	0.715/kWh	0.39/kWh	
POFP [kg NMVOC]	6.6e-5/km	0.955/kWh	0.52/kWh	
FDP [kg Oil _{eq}]		89/kWh	52/kWh	
FETP [kg 1.4-DCB _{eq}]	1.24/km	9.85/kWh	7.1/kWh	
ODP [kg CFC-11 _{eq}]	1.17e-9/km	0.001/kWh	0.002/kWh	

(continued on the next page)

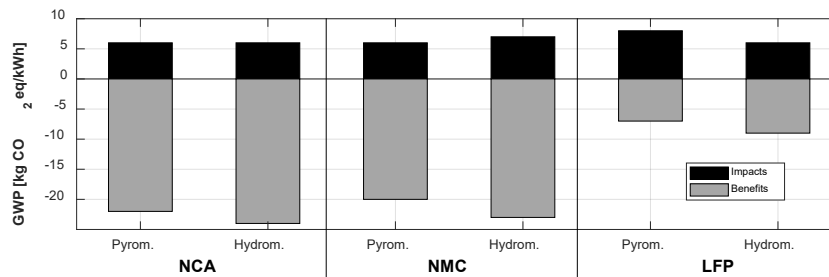
Table 1: (continued from previous page)

FEP [kg P_{eq}]	3.6e-5/km	0.38/kWh	0.45/kWh	
TETP [kg 1.4-DCB_{eq}]		0.043/kWh	0.041/kWh	
EUT [kg PO_{4eq}]	0.64/kWh		1.23/kWh	
MEP [kg N_{eq}]	0.36/kWh	0.29/kWh		
ADP [kg Sb_{eq}]	0.5/kWh	0.035/kWh	0.018/kWh	0.024/kWh
EC [GJ/kWh]	1.01	2.035	3.04	0.5
METP [kg 1.4-DCB_{eq}]		10.1/kWh	9.1/kWh	

3. Batteries End of Life

In some of the analyzed articles, the battery's EOL is considered. In particular, 13 of them focus on the possibility of recycling the battery at least partially after the usage in EV. In 5 of them, for some impact categories, recycling has a negative impact because it prevents resource depletion and energy consumption from extracting new raw materials. The most common recycling methods for lithium-ion batteries are pyrometallurgical and hydrometallurgical treatment, (Mohr et al.,2020) analyses the impact and the benefit of these recycling processes on three different batteries. Results are shown in Figure 7.

Figure 7: GWP of hydrometallurgical and prometallurgical recycling.



On the other hand, (Faria et al., 2014) and (Genikomsakis et al., 2013) investigate the possibility of a second life for the battery with an application on residential storage. (Genikomsakis et al., 2013) combine batteries with renewable sources in smart buildings resulting in an environmental benefit avoiding producing a new battery for the building. (Faria et al., 2014) analyses two different secondary use in buildings, for load shifting and peak shaving and compare them with the impact of buying the energy directly from the grid. In both scenarios, the battery is charged at night and delivers power during the day. The study evidence that for this secondary use to be beneficial, the emission of power generation at night must be lower than the one during the day by a factor equal to the battery system's efficiency loss. Although it is not beneficial in terms of environmental impacts, the study underlines that this second use is economically profitable for the consumer and grid owners. The feasibility and the condition of an aged battery are analyzed in (Pfrang et al., 2018), where the aged batteries are used to decrease the peak power demand during work hours. This investigation was carried out in the context of the SASLAB project of the European Union that aims to understand the impact of batteries' second life. The study underlines that the battery's usability for a second life depends strongly on the operating conditions during the first use; therefore, it is crucial

to implement in the EV a battery management system able to record the electrical performance of the battery and predict the remaining useful life. Regarding the environmental impact of this application, using a repurposed battery is beneficial only if used instead of a new battery. This result is affected by the energy mix and the feedstock providing energy during peak hours.

4. Conclusions

This review analyses eighteen studies on automotive batteries used in Europe. The analyzed assessments have different goals, and four different FUs can be found: km of service, energy delivered, one battery pack, or days of operation. A lot of different impact categories can be found in the reviewed assessments, but global warming potential, human toxicity potential, and terrestrial acidification are the most frequently used. The studies' results are not always comparable due to many differences in system boundaries, FUs, and LCA approaches. The significant results are reported in this study. The second part focuses on the EOL of the traction batteries analyzing two recycling methods and the possibility of a second life for the used batteries. Recycling involves some impacts due to the recycling process itself but can also bring benefits since it can avoid re-extracting raw materials. The technical feasibility of the reuse of the battery depends on the usage during the first life; therefore, it is essential to predict and manage the remaining useful life when the battery is onboard. The battery's secondary usage is environmentally beneficial only if used to replace a new battery. However, load shifting is economically profitable for both the grid owner and the consumer.

5. References

- Accardo, A, Dotelli, G, Musa, ML, Ezio, S, 2021. Life Cycle Assessment of an NMC Battery for Application to Electric Light-Duty Commercial Vehicles and Comparison with a Sodium-Nickel-Chloride Battery. *Applied Science*, 11(3).
- Burchart-Korol, D, Jursova, S, Folega, P, Korol, J, Pustejovska, P, Blaut, A, 2018. Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic. *Journal of Cleaner Production*, 202, 476-487.
- Ding, Y, Cano, ZP, Yu, A, Lu, J, Chen, Z, 2019. Automotive Li-Ion Batteries: Current Status and Future Perspectives. *Electrochemical Energy Reviews*, 2, 1-28.
- Ellingsen, LAW, Majeau-Bettez, G, Singh, B, Srivastava, AK, Valøen, LO, Strømman, AH, 2014. Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack. *Journal of Industrial Ecology*, 18, 113-124.
- Faria, R, Marques, P, Garcia, R, Moura, P, Freire, F, Delgado, J, de Almeida, AT, 2014. Primary and secondary use of electric mobility batteries from a life cycle perspective. *Journal of Power Sources*, 169-177.
- Genikomsakis, K, Ioakimidis, C, Murillo-Marrodán, A, Trifonova, A, Simic, D, 2013. A life cycle assessment of a Li-ion urban electric vehicle battery. Barcelona, Spain: 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition.
- Hawkins, TR, Singh, B, Majeau-Bettez, G, Strømman, AH, 2013. Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17, 53-64.

- Helmers, E, Dietz, J, Hartard, S, 2017. Electric car life cycle assessment based on real-world mileage and the electric conversion scenario. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22, 15-30.
- Hesselbach, J, Herrmann, C, 2011. Glocalized solutions for sustainability in manufacturing. Braunschweig: Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering.
- Philippot, M, Alvarez, G, Ayerbe, E, Van Mierlo, J, Messagie, M, 2019. Eco-Efficiency of a Lithium-Ion Battery for Electric Vehicles: Influence of Manufacturing Country and Commodity Prices on GHG Emissions and Costs. *Batteries*, 5(23).
- Majeau-Bettez, G, Hawkins, TR, Strømman, AH, 2011. Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles. *Environmental Science & Technology*, 45(10), 4548-4554.
- Marques, P, Garcia, R, Kulay, L, Freire, F, 2019. Comparative Life Cycle Assessment of Lithium-ion batteries for electric vehicles addressing a capacity fade. *Journal of Cleaner Production*, 229, 787-794.
- Mohr, M, Peters, JF, Baumann, M, Weil, M, 2020. Toward a cell-chemistry specific life cycle assessment of lithium-ion battery recycling processes. *Journal of Industrial Ecology*, 1310-1322.
- Notter, D, Gauch, M, Widmer, R, Wäger, P, Stamp, A, Zah, R, Althaus, HJ, 2010. Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles. *Environmental Science & Technology*, 44(17), 6550-6556.
- Oliveira, L, Messagie, M, Rangaraju, S, Sanfeliix, J, Hernandez, M, Van Mierlo, J, 2015. Key Issues of Lithium-Ion Batteries – From Resource Depletion to Environmental Performance Indicators. *Journal of Cleaner Production*, 108, 354-362.
- Pfrang, A, Podias, A, Bobba, S, Di Persio, F, Messagie, M, Mathieux, F, 2018. Second life application of automotive Li-ion batteries: Ageing during first and second use and life cycle assessment. 7th Transport Research Arena TRA 2018. Wien.
- Sanfeliix, J, Messagie, M, Omar, N, Van Mierlo, J, Hennige, V, 2015. Environmental performance of advanced hybrid energy storage systems for electric vehicle applications. *Applied Energy*, 137, 925-930.
- Tagliaferri, C, Evangelisti, S, Acconcia, F, Domenech, T, Ekins, P, Barletta, D, Lettieri, P, 2016. Life cycle assessment of future electric and hybrid vehicles: A cradle-to-grave systems engineering approach. *Chemical Engineering Research and Design*, 112, 298-309.
- Van Mierlo, J, Messagie, M, Rangaraju, S, 2017. Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment. *Transportation Research Procedia*, 25, 3435-3445.
- Xiong, R, Shen, W, 2019. Battery Systems. In R. Xiong, W. Shen (Eds.), *Advances in Battery Management Technologies for Electric Vehicles* (pp. 11-21). Chennai, India: Wiley.
- 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, 1519-1529.
- Zhao, S, You, F, 2019. Comparative Life-cycle Assessment of Li-ion Batteries through Process-based and integrated Hybrid approaches. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(5), 5082-5094.