

---

**XIV Convegno della rete Italiana LCA**  
**IX Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA**

**La sostenibilità della LCA tra sfide globali e  
competitività delle organizzazioni**

**Cortina d'Ampezzo**  
**9-11 dicembre 2020**

---

**A cura di Erika Mancuso, Sara Corrado, Arianna Dominici Loprieno, Laura Cutaia**

1222 • 2022  
**800**  
ANNI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ENEA**

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

*Rete Italiana LCA*



# **La sostenibilità della LCA tra sfide globali e competitività delle organizzazioni**

**ATTI**  
del XIV Convegno della rete Italiana LCA -  
IX Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA

**Cortina d'Ampezzo**  
9-11 dicembre 2020

A cura di Erika Mancuso, Sara Corrado, Arianna Dominici Loprieno, Laura Cutaia

## La sostenibilità della LCA tra sfide globali e competitività delle organizzazioni

Atti del del XIV Convegno della rete Italiana LCA - IX Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA  
Cortina d'Ampezzo 9-11 dicembre 2020

*A cura di Erika Mancuso, Sara Corrado, Arianna Dominici Loprieno, Laura Cutaia*

ISBN: 978-88-8286-416-3

2021 ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Copertina: Flavio Miglietta

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - Centro Ricerche Frascati

Comitato Scientifico .....	5
Comitato Organizzatore.....	7
Programma .....	8
<b>SESSIONE I - Sostenibilità Agroalimentare .....</b>	<b>17</b>
Impronta ambientale delle soluzioni di confezionamento del Grana Padano DOP .....	18
Analisi dell’impatto ambientale della produzione di carne bovina in un sistema di allevamento semi-intensivo in Paraguay.....	27
Sviluppo di un database italiano di Life Cycle Inventory dei prodotti agroalimentari: la metodologia .....	37
Assessment of carbon footprint of Italian red wines .....	46
Lo stoccaggio di carbonio organico nei suoli come indicatore addizionale negli studi di Product Environmental Footprint: il modello RothC applicato a un uliveto biologico in Italia .....	56
La definizione dei sistemi di prodotto di riferimento negli standard ISO 14000: applicazione nel Passaporto Ambientale per i prodotti agroalimentari della Montagna Vicentina .....	65
Impatto ambientale della coltivazione in pieno campo della canapa industriale (Cannabis sativa L.): valutazione di differenti itinerari tecnici.....	75
Profili ambientali di prodotti Made in Italy.....	84
<b>SESSIONE I – poster .....</b>	<b>96</b>
LCA as a tool for measuring Sustainable Development Goals for food and biowaste. A review.....	97
Commodity Life Cycle Costing: un nuovo approccio per valutare l’uso delle risorse naturali nel corso del ciclo di vita .....	114
LCA approach for the C&D waste management system in different countries of the world.....	125
Measuring circularity in the tourism sector: a step forward.....	134
Emissioni provenienti dall’allevamento suinicolo: valutazione dell’impatto ambientale considerando l’utilizzo di uno scrubber per il trattamento dell’aria.....	146
LCA methodology application to assess the environmental impact of CCS and CCU: a review .....	155
An environmental life cycle assessment of paints and varnishes in the Italian production process.....	165
<b>SESSIONE II - Sostenibilità nella Gestione dei Rifiuti.....</b>	<b>174</b>
Influenza della tipologia di sacchetto nella valutazione LCA della filiera di gestione del rifiuto organico.....	175
Life Cycle Assessment della pirolisi di biomasse residuali dal settore agro – alimentare .....	185
Technical functionality as a basis for developing substitution coefficients in waste management Life Cycle Assessment studies .....	195
Environmental impacts evaluation of a ceramic industry processes through integration of Life Cycle Assessment and Risk Assessment .....	204

How can Life Cycle Assessment contribute to circular economy transition: hints from sustainability transition research.....	214
<b>SESSIONE III - Sostenibilità in Edilizia .....</b>	<b>223</b>
Life Cycle Assessment e monetizzazione degli impatti come strumenti di supporto alle politiche di circular economy nel settore edilizio.....	224
L'analisi LCA a supporto della sostenibilità delle imprese: prodotti edilizi in laterizio .....	234
Valutazione dei tempi di ritorno energetici e ambientali e della convenienza economica per la riqualificazione energetica di una scuola .....	245
Assessing maritime transport through LCA and LCC: a literature review .....	256
Life cycle assessment of AlTiN thin films deposited by magnetron sputtering .....	266
LCA di diverse configurazioni realizzative per un impianto fotovoltaico piano con moduli ad eterogiunzione.....	275
<b>SESSIONE IV - Sostenibilità Circolare .....</b>	<b>285</b>
Sviluppo della prima RCP nell'ambito dello schema "Made Green in Italy" .....	286
LCA-based material selection in the early stages of design: environmental benefits, tools, obstacles and opportunities .....	296
The new Guidelines for Social Life Cycle Assessment of products and related pilot phase: challenges and successes .....	306
Towards an LCA-based market incentive mechanism regulated through blockchain for carbon emissions reduction .....	313
Carbon footprint di uno stand espositivo .....	323
Valutazione preliminare in ottica di ciclo di vita della fattibilità di una filiera italiana del riciclaggio delle batterie elettriche per autotrazione .....	333
<b>SESSIONE II - poster.....</b>	<b>342</b>
Approcci LCA per la verifica di Tecnologie Reversibili per il riuso, la rigenerazione e il riciclo.....	343
Analisi di esperienze applicative LCA di edificio: differenze, complementarità, sinergie.....	353
A green chemistry case study: sensor-based methods for bioactive compounds determination in food .....	363
Circolarità e sostenibilità nella digestione anaerobica .....	372
Comparative LCA of fossil fuels and biofuels use for transportation – A literature review .....	381
Life cycle inventories for modelling the production of battery electric vehicles in the European life cycle assessment studies .....	392
Do PCRs and EPDs need to be improved? Critical issues to EPD system with a focus on the construction sector .....	402
<b>SESSIONE III – poster .....</b>	<b>411</b>
Social Organizational Life Cycle Assessment (SO-LCA): un caso studio focalizzato sulla comunità locale.....	412
Analisi di letteratura e aspetti metodologici per LCA di batterie stazionarie.....	419
Long-term prospective LCA of emerging photovoltaics .....	429

Dalla PCR alla EPD: il percorso di sostenibilità dell'attività estrattiva del calcare micronizzato di Gola della Rossa Mineraria (Ancona) .....	437
L'utilizzo del Life Cycle Assessment nel settore della ristorazione. Una revisione sistematica della letteratura .....	446
Carbon footprint implications of using seawater and marine aggregates in concrete ....	459
Analisi del ciclo di vita del kWh Italiano .....	468
Evidences of human health damage mitigation associated with the Italian lockdown due to COVID-19 through the lens of energy metabolism assessment .....	479
Banca dati Italiana LCA: creazione di dataset sul mix elettrico nazionale .....	493
Performing a fast and effective Global Sensitivity Analysis using Python: a simplified example applied to the LCA of Italian electricity generation scenarios .....	503
Modeling combined heat and power plants in Life Cycle Assessment: a comparison among different approaches to deal with multifunctionality .....	515
PREMIO GIOVANI RICERCATORI.....	527
Temporal variability and Battery Electric Vehicles influence on LCA impacts of marginal electricity consumption in Italy .....	528
LCA- and LCC-based Solar Home Systems ecodesign .....	538



## Comitato Scientifico

**Michela Aresta**, Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Reattività Chimica e la Catalisi (CIRCC)

**Grazia Barberio**, ENEA, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Roma

**Maurizio Cellura**, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria

**Laura Cutaia**, ENEA, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Roma

**Camillo De Camillis** Agriculture and Consumer Protection Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

**Vito D'Incognito**, Take Care International, Milano

**Monica Lavagna**, Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (ABC)

**Sonia Longo**, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria

**Maria Claudia Lucchetti**, Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Economia Aziendale

**Alessandro Manzardo**, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)

**Simone Maranghi**, Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Biotecnologie, Chimica e Farmacia (DBCF) – CSGI

**Paolo Masoni**, Ecoinnovazione srl

**Anna Mazzi**, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale

**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"

**Luigia Petti**, Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara, Dipartimento di Economia

**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

**Simona Scalbi**, ENEA, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Laboratorio Valorizzazione delle risorse nei sistemi produttivi e territoriali (SSPT-USER-RISE)

**Antonio Scipioni**, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)

**Giuseppe Tassielli**, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Dipartimento Jonico in "Sistemi Giuridici ed Economici del Mediterraneo: società, ambiente, culture"

**Marzia Traverso**, Institute of Sustainability in Civil Engineering, RWTH Aachen University

**Alessandra Zamagni**, Ecoinnovazione srl

## **Comitato Organizzatore**

**Antonio Scipioni** – Consiglio Direttivo e Segreteria Tecnica Associazione Rete Italiana LCA, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)

**Alessandro Manzardo** – Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)

**Filippo Zuliani** – Università degli Studi di Padova, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)

**Sara Toniolo** – Università degli Studi di Padova, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)

**Anna Paccagnella** – Università degli Studi di Padova, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)

**Sara Cortesi** – ENEA, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali

**Arianna Dominici Loprieno** - ENEA, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali

### **SEGRETERIA TECNICA E ORGANIZZATIVA**

**Antonio Scipioni**, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)

**Alessandro Manzardo**, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)

**Elisa Cecchetto**, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)

Email: [convegnoretelca2020@gmail.com](mailto:convegnoretelca2020@gmail.com)

## Programma

### IX Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA

*La sostenibilità della LCA tra sfide globali e competitività delle organizzazioni*

9-11 dicembre 2020, Cortina d'Ampezzo

---

#### 9 dicembre 2020

14.00-14.30

##### **Apertura dei lavori e saluti istituzionali**

Chair: Antonio Scipioni, Università degli Studi di Padova, Rete Italiana LCA

1. Francesca Da Porto, Prorettrice dell'Università degli Studi di Padova
2. Sergio Costa, Ministro dell'Ambiente
3. Filomena Maggino, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Presidente della Cabina di regia Benessere Italia
4. Antonio Uricchio, Presidente ANVUR
5. Alessandro Ruggieri, Presidente AISME, Accademia Italiana di Scienze Merceologiche
6. Bruno Notarnicola, Presidente Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi di Bari Aldo Moro

14.30 – 15.45

##### **Relazioni ad invito**

Chair: Bruno Notarnicola

1. Patty L'Abbate, Senato della Repubblica Italiana: Il ruolo della LCA nella transizione ecologica
2. Serenella Sala, JRC: LCA e il suo ruolo chiave nel Green Deal
3. Antonio Scipioni, Università degli Studi di Padova: LCA a supporto della competitività d'impresa nella circular economy
4. Camillo De Camillis, FAO: Partnering for climate action and sustainable food systems: the FAO LEAP proposition

5. Aldo Ravazzi Douvan, Università di Roma Tor Vergata - Past President Comitato OCSE: LCA fra strumenti economici e strumenti volontari, imprese e accordi globali

16.00-18.00

## **SESSIONE I**

### *Sostenibilità Agroalimentare*

Chair: Maurizio Cellura, Roberta Salomone

#### **Impronta ambientale delle soluzioni di confezionamento del Grana Padano DOP**

Luca Gianelli, *Politecnico di Milano*

#### **Analisi dell'impatto ambientale della produzione di carne bovina in un sistema di allevamento semi-intensivo in Paraguay**

Michele Costantini, *Università degli Studi di Milano*

#### **Sviluppo di un database italiano di Life Cycle Inventory dei prodotti agroalimentari: la metodologia**

Bruno Notarnicola, *Università degli Studi di Bari Aldo Moro*

#### **Assessment of carbon footprint of Italian red wines**

Daniele D'Ammaro, *Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza*

#### **Lo stoccaggio di carbonio organico nei suoli come indicatore addizionale negli studi di Product Environmental Footprint: il modello RothC applicato a un uliveto biologico in Italia**

Valentina Fantin, Serena Righi, *ENEA*

#### **La definizione dei sistemi di prodotto di riferimento negli standard ISO 14000: applicazione nel Passaporto Ambientale per i prodotti agroalimentari della Montagna Vicentina**

Alessandro Manzardo, *Università degli Studi di Padova*

**Impatto ambientale della coltivazione in pieno campo della canapa industriale (*Cannabis sativa L.*): valutazione di differenti itinerari tecnici**

Mattia Rapa, *Università degli Studi di Roma "La Sapienza"*

**Profili ambientali di prodotti Made in Italy**

Pietro Renzulli, *Università degli Studi di Bari Aldo Moro*

18.15-19.00

**SESSIONE I – poster**

Chair: Alessandro Manzardo, Serena Righi

**LCA as a tool for measuring Sustainable Development Goals for food and biowaste. A review.**

Daniela Camana, *Università degli Studi di Padova*

**Commodity Life Cycle Costing: un nuovo approccio per valutare l'uso delle risorse naturali nel corso del ciclo di vita**

Giulio Mela, *RSE*

**LCA approach for the C&D waste management system in different countries of the world**

Federica Carollo, *Politecnico di Milano*

**Measuring circularity in the tourism sector: a step forward**

Ioannis Arzoumanidis, *Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara*

**Emissioni provenienti dall'allevamento suinicolo: valutazione dell'impatto ambientale considerando l'utilizzo di uno scrubber per il trattamento dell'aria**

Jacopo Bacenetti, *Università degli Studi di Milano*

**LCA methodology application to assess the environmental impact of CCS and CCU: a review**

Matteo Gilardi, *Politecnico di Milano*

**An environmental life cycle assessment of paints and varnishes in the Italian production**

Andrea Pontrandolfo, *Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"*

**10 dicembre 2020**

9.15-10.30

## **SESSIONE II**

*Sostenibilità nella Gestione dei Rifiuti*

Chair: Marina Mistretta, Giuseppe Tassielli

**Influenza della tipologia di sacchetto nella valutazione LCA della filiera di gestione del rifiuto organico**

Giovanni Dolci, *Politecnico di Milano*

**Life Cycle Assessment della pirolisi di biomasse residuali dal settore agro – alimentare**

Maria Anna Cusenza, *Università degli Studi di Palermo*

**Technical functionality as a basis for developing substitution coefficients in waste management Life Cycle Assessment studies**

Lucia Rigamonti, *Politecnico di Milano*

**Environmental impacts evaluation of a ceramic industry processes through integration of Life Cycle Assessment and Risk Assessment**

Erica Doimo, *Università degli Studi di Bologna*

**How can Life Cycle Assessment contribute to circular economy transition: hints from sustainability transition research**

Monia Niero, *Aalborg University Copenhagen*

10.30-12.15

## **SESSIONE III**

*Sostenibilità in Edilizia*

Chair: Monica Lavagna, Vito D'Incognito

**Life Cycle Assessment e monetizzazione degli impatti come strumenti di supporto alle politiche di circular economy nel settore edilizio**

Serena Giorgi, *Politecnico di Milano*

**L'analisi LCA a supporto della sostenibilità delle imprese: prodotti edilizi in laterizio**

Francesca Thiebat, *Politecnico di Torino*

**Valutazione dei tempi di ritorno energetici e ambientali e della convenienza economica per la riqualificazione energetica di una scuola**

Francesco Asdrubali, *Università degli Studi Roma Tre*

**Assessing maritime transport through LCA and LCC: a literature review**

Giovanni Mondello, *Università degli Studi di Messina*

**Life cycle assessment of AlTiN thin films deposited by magnetron sputtering**

Simone Battiston, *CNR*

**LCA di diverse configurazioni realizzative per un impianto fotovoltaico piano con moduli ad eterogiunzione**

Andrea Danelli, *RSE*

12:15 – 13:45

**Pausa pranzo**

13.45-15.30

#### **SESSIONE IV**

*Sostenibilità Circolare*

Chair: Paolo Masoni, Simona Scalbi

**Sviluppo della prima RCP nell'ambito dello schema "Made Green in Italy"**

Alessandro Marson, *Università degli Studi di Padova*

**LCA-based material selection in the early stages of design: environmental benefits, tools, obstacles and opportunities**

Barbara Pollini, *Politecnico di Milano*

**Proposing a dynamic company-level framework for CE assessment**

Erik Roos Lindgreen, *Università degli Studi di Messina*

**The new Guidelines for Social Life Cycle Assessment of products and related pilot phase: challenges and successes**

Marzia Traverso, *RWTH Aachen University*

**Towards an LCA-based market incentive mechanism regulated through blockchain for carbon emissions reduction**

Nicolò Golinucci, *Politecnico di Milano*

**Carbon footprint di uno stand espositivo**

Sara Toniolo, *Università degli Studi di Padova*

**Valutazione preliminare in ottica di ciclo di vita della fattibilità di una filiera italiana del riciclaggio delle batterie elettriche per autotrazione**

Cristian Chiavetta, *ENEA*

15.30-16.00

**Assemblea Associazione Rete Italiana LCA**

16.15-17.00

**SESSIONE II - poster**

Chair: Pietro Renzulli, Marzia Traverso

**Approcci LCA per la verifica di Tecnologie Reversibili per il riuso, la rigenerazione e il riciclo**

Tecla Caroli, *Politecnico di Milano*

**Esperienze applicative LCA di edificio a confronto: divergenze, complementarità, sinergie**

Anna Dalla Valle, *Politecnico di Milano*

**Municipal solid waste collection system: a systematic life cycle thinking approach**

Anna Degli Esposti, *Università degli Studi di Bologna*

**A green chemistry case study: sensor-based methods for bioactive compounds determination in food**

Lucia Maddaloni, *Università degli Studi di Roma "La Sapienza"*

**Circularità e sostenibilità nella digestione anaerobica**

Eliana Mancini, *Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara*

**Comparative LCA of fossil fuels and biofuels use for transportation – A literature review**

Andrea Nobili, *Politecnico di Milano*

**Life cycle inventories for modelling the production of battery electric vehicles in the European life cycle assessment studies**

Stefano Puricelli, *Politecnico di Milano*

**Do PCRs and EPDs need to be improved? Critical issues to EPD system with a focus on the construction sector**

Grazia Maria Cappucci, *Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia*

17.00-17.45

**SESSIONE III – poster**

Chair: Simone Maranghi, Sara Toniolo

**Social Organizational Life Cycle Assessment (SO-LCA): un caso studio focalizzato sulla comunità locale**

Bianca Maria Tragnone, *Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara*

**Analisi di letteratura e aspetti metodologici per LCA di batterie stazionarie**

Andrea Temporelli, *RSE*

**Long-term prospective LCA of emerging photovoltaics**

Simone Maranghi, *Università degli Studi di Siena*

**Life Cycle Management and car sharing. An empirical application**

Gabriella Arcese, *Università degli Studi "Niccolò Cusano"*

**Dalla PCR alla EPD: il percorso di sostenibilità dell'attività estrattiva del calcare micronizzato di Gola della Rossa Mineraria (Ancona)**

Emy Fuffa, *Università degli Studi di Camerino*

**L'utilizzo del Life Cycle Assessment nel settore della ristorazione. Una revisione sistematica della letteratura.**

Benedetta Esposito, *Università degli Studi di Salerno*

**Carbon footprint implications of using seawater and marine aggregates in concrete**

Valeria Arosio, *Politecnico di Milano*

**11 dicembre 2020**

9.15-11.00

### **SESSIONE V**

*Sostenibilità Energetica*

Chair: Maria Claudia Lucchetti, Lucia Rigamonti

**Analisi del ciclo di vita del kWh Italiano**

Alessia Gargiulo, Pierpaolo Girardi, *RSE*

**La Carbon Footprint nel settore agrofotovoltaico: l'impianto di serre fotovoltaiche di Orsomarso**

Nicoletta Amato, *Università degli Studi di Torino*

**Evidences of human health damage mitigation associated with the Italian lockdown due to COVID-19 through the lens of energy metabolism assessment**

Benedetto Rugani, *Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST)*

**Banca dati Italiana LCA: creazione di dataset sul mix elettrico nazionale**

Simona Scalbi, *ENEA*

**Performing a fast and effective Global Sensitivity Analysis using Python: a simplified example applied to the LCA of Italian electricity generation scenarios**

Lorenzo Tosti, *Università degli Studi di Siena*

**Modeling combined heat and power plants in Life Cycle Assessment: a comparison among different approaches to deal with multifunctionality**

Jacopo Famiglietti, *Politecnico di Milano*

11.00-11.45

**PREMIO GIOVANI RICERCATORI**

Chair: Andrea Raggi

**2° Classificato:**

**Temporal variability and Battery Electric Vehicles influence on LCA impacts of marginal electricity consumption in Italy**

Davide Rovelli, *STIIMA-CNR*

**1° Classificato:**

**LCA- and LCC-based Solar Home Systems ecodesign**

Federico Rossi, *Università degli Studi di Siena*

11.45-12.00

**Chiusura Convegno**

Bruno Notarnicola

Antonio Scipioni

Marina Mistretta

## **Valutazione preliminare in ottica di ciclo di vita della fattibilità di una filiera italiana del riciclaggio delle batterie elettriche per autotrazione**

Cristian Chiavetta<sup>1</sup>, Marco La Monica<sup>1</sup>, Pier Luigi Porta<sup>1</sup>, Claudia Scagliarino<sup>2</sup>,  
Laura Cutaia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio RISE – ENEA, via Anguillarese 30, 00123 ROMA

<sup>2</sup> *CINIGeo – Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse*

*Corso Vittorio Emanuele II, 244 - 00186 Roma*

Email: [cristian.chiavetta@enea.it](mailto:cristian.chiavetta@enea.it)

### **Abstract**

*L'affermazione di un modello circolare di produzione e consumo delle risorse necessita di interventi sull'attuale modello economico lineare a livello di prodotto-processo, catena del valore, settore produttivo oltre che a livello territoriale, tenendo conto delle interazioni tra i diversi sistemi produttivi. Il Laboratorio RISE di ENEA ha applicato in diversi contesti un approccio per la valutazione della fattibilità di sistemi di urban mining tramite un'analisi di scenario di medio-lungo periodo per la quantificazione dei flussi di materie prime seconde producibili ed una contestuale analisi della sostenibilità economico-ambientale. In questo articolo si propone la descrizione dell'applicazione di tale approccio metodologico alla valorizzazione delle batterie elettriche di trazione, includendo alcune considerazioni preliminari sulla monetizzazione delle esternalità ambientali, valutate tramite la metodologia del Life Cycle Assessment (LCA).*

### **1. Introduzione**

La transizione verso un modello di economia circolare presuppone il contestuale utilizzo di differenti strumenti e approcci capaci di modificare il paradigma lineare di produzione e consumo. Dunque il cambio di paradigma va perseguito sia a livello di prodotto/processo e organizzazione che a livelli di complessità superiore delle filiere e delle catene del valore, fino ad interessare in maniera sistemica tutti i contesti di produzione e consumo e le connessioni stabilite tra loro dal sistema economico che li regola.

Il Laboratorio di Valorizzazione delle Risorse nei Sistemi Produttivi e Territoriali (RISE) di ENEA si occupa di sviluppare metodologie e applicarle in contesti reali a tutti i livelli suddetti, al fine di migliorare l'efficienza nella gestione delle risorse e favorire la chiusura dei cicli delle materie prime, avendo cura di applicare sempre un approccio di ciclo di vita. Questo si concretizza nel corredare gli strumenti utilizzati di opportune analisi LCA volte a dimostrare la bontà ambientale della chiusura dei cicli e indirizzare le modifiche da applicare ai sistemi lineari di produzione e consumo in un'ottica di minimizzazione degli impatti ambientali. Tra gli strumenti utilizzati da RISE, quelli volti all'applicazione

dei concetti di *urban mining*, necessitano di essere affinati da valutazioni tipiche della metodologia del Life Cycle Assessment.

La valutazione del potenziale sfruttamento di stock di risorse valorizzabili come materie prime seconde è stata, infatti, recentemente applicata a diversi contesti e settori, tra cui quello minerario (con il progetto di Internazionalizzazione Inco-Piles finanziato nel 2018 dalla EIT Kic Raw Materials e attualmente con il progetto di Matchmaking & Networking Inco-Piles 2020, sempre della Kic Raw Material) e quello della mobilità elettrica (nel contesto del Programma di Ricerca di Sistema Elettrico relativo al triennio scorso, a cui il Laboratorio RISE ha attivamente contribuito). In questo articolo, dopo aver dato una breve descrizione della metodologia applicata in tutti e tre i progetti, utilizzando come riferimento l'applicazione della stessa nel contesto della mobilità elettrica, si focalizzerà l'attenzione sugli aspetti di Life Cycle Thinking considerati e sul processo di monetizzazione delle esternalità ambientali che sono state incluse nella valutazione della fattibilità economica del sistema analizzato, in un'ottica di ciclo di vita.

## **2. Fattibilità di un sistema di riciclaggio delle batterie elettriche per il settore mobilità**

### **a. L'approccio metodologico per la quantificazione dei flussi di materiali recuperabili nell'analisi di scenario di medio-lungo periodo**

Nell'ambito del Programma di Ricerca di Sistema Elettrico, nel 2018 il Laboratorio RISE di ENEA ha fornito, tra gli altri, un contributo volto alla valutazione della fattibilità di un sistema di riciclaggio delle batterie elettriche di trazione una volta giunte a fine vita prodotto. Lo studio, svolto in collaborazione con il CINIGeo - Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse - ha previsto una valutazione quantitativa delle materie prime delle batterie di trazione, di particolare interesse sia per la presenza di materie prime critiche (CMR) che di materiali con filiere complesse, per permettere un'analisi previsionale dei flussi di materiale futuri.

L'analisi previsionale è stata realizzata definendo tre scenari di penetrazione delle auto elettriche in Italia interpolando linearmente i dati proposti dall'ENEL e dalla European House – Ambrosetti nel loro (ENEL, The European House – Ambrosetti, 2017). Nello studio, il Laboratorio RISE ed il CINIGeo hanno considerato l'intero ciclo di vita delle batterie, prevedendo la possibilità di un secondo utilizzo delle batterie in sistemi di accumulo prima che i materiali entrino negli impianti di riciclaggio (*second life*). L'analisi dell'intera catena del valore delle batterie di trazione ha seguito un'ottica di economia circolare e uso efficiente delle risorse, ponendosi come elemento di supporto alle decisioni per la valutazione dell'opportunità della creazione di una filiera di trattamento delle batterie elettriche di trazione veicolare in Italia, considerato il loro elevato valore residuo a fine vita che le rende un potenziale giacimento di materie prime seconde.

Lo studio ha avuto come obiettivo principale la quantificazione dei flussi (dal 2019 al 2038) di alcune delle materie prime contenute nelle batterie elettriche di

trazione (Litio, Manganese, Cobalto, Nichel, Grafite) potenzialmente recuperabili annualmente tramite i processi di riciclaggio ipotizzati. In questo articolo ci si focalizzerà sulle valutazioni di fattibilità economica dello studio, in cui sono stati considerati anche i costi legati ad alcune esternalità ambientali espresse in termini monetari, come descritto con maggiore dettaglio in seguito. Quanto ai flussi di materie prime seconde sui cui si sono basate le valutazioni di carattere economico-ambientale, questi sono stati calcolati prendendo come riferimento tre differenti scenari di penetrazione della mobilità elettrica (un worst case scenario definito identificato come *inerziale*, un best case scenario identificato come *accelerato* ed uno *scenario medio*, intermedio tra i due) ottenuti tramite interpolazione dei dati di penetrazione al 2030 della mobilità elettrica nel parco auto italiano, proposti dallo studio e-Mobility Revolution della European House – Ambrosetti. A tali dati di immatricolazione calcolati con cadenza annuale dal 2010 al 2030 sono stati combinati anche dati specifici riguardanti la tipologia di batteria attualmente utilizzata (NMO, Nichel-Ossido di Manganese) dal veicolo di riferimento dell'analisi (Nissan LEAF), oltre alla tecnologia che verrà implementata nell'immediato futuro (batteria NMC 622, dall'anno 2019) e quella a cui si è ipotizzato che la Nissan possa ricorrere per le auto prodotte nel quinquennio 2025-2030 (NMC 811). Per un dettaglio delle ipotesi alla base della scelta della Nissan Leaf come veicolo di riferimento per la modellizzazione del parco auto italiano, delle tecnologie di riferimento attuali e future per le batterie di trazione e dei materiali in esse contenuti per unità di batteria, si rimanda a (Cutaia et al., 2018, Proceedings of 28th SETAC Europe Annual Meeting). Per maggiori dettagli sulle ipotesi alla base dell'analisi dei flussi (scenari di penetrazione della mobilità elettrica, tecnologie di riciclo, parametri di efficienza di raccolta e di riciclaggio, durata della vita utile e della "second life", andamento di domanda e offerta a livello globale dei materiali considerati nell'analisi) e sui risultati ottenuti in termini di potenziali materie prime recuperabili nell'arco temporale dello scenario di analisi considerato (2019-2038) si rimanda a (Cutaia et al., 2018, Report RdS/PAR2017).

Si riportano, invece, di seguito le ipotesi, l'approccio metodologico seguito ed i risultati sulla valutazione economica preliminare della fattibilità di una filiera italiana del riciclaggio delle batterie elettriche per auto-trazione che costituiscono i dati che sono completati della monetizzazione delle esternalità considerate per una più ampia valutazione economico-ambientale del sistema oggetto di analisi.

#### **b. L'analisi di fattibilità economica**

La valutazione di massima della fattibilità economica della filiera del riciclaggio ipotizzata per le batterie elettriche di trazione esauste tiene conto dei quantitativi totali di materie prime seconde ottenuti secondo i due soli scenari inerziale ed accelerato nell'arco temporale considerato dallo studio. Per lo scenario definito come medio non sono state dunque effettuate considerazioni di carattere economico. I quantitativi totali di Litio, Manganese Nichel, Cobalto e Grafite recuperati per i due scenari sono stati rispettivamente moltiplicati per un valore massimo ed uno minimo di mercato delle materie prime seconde (Tabella 1), entrambi desunti dal già citato (Cutaia et al., Report RdS/PAR2017, 2018).

Questo ha dunque permesso di calcolare un valore minimo ed uno massimo dei ricavi ottenibili dal sistema di riciclaggio ipotizzato nello studio. Parallelamente sia per lo scenario inerziale che accelerato sono stati calcolati i costi minimi e massimi legati al trattamento delle batterie ipotizzando un costo di trattamento per tonnellata di batterie trattate. Va detto che i costi sono stati calcolati senza tenere conto dei costi di ammortamento degli impianti e che sia costi che ricavi non sono stati attualizzati tramite un tasso di sconto. Si tratta dunque di una valutazione preliminare che necessita certamente di essere affinata, ma che può dare una visione di massima della fattibilità economica del sistema ipotizzato nello studio.

*Tabella 1: valori minimi e massimi di mercato delle materie prime seconde*

Prezzo \$/t	Min	Max
Manganese	1.000	3.000
Litio	12.000	14.000
Cobalto	60.000	90.000
Nichel	13.000	20.000
Grafite	4.500	7.000

Per quanto concerne invece i costi di trattamento delle batterie esauste questi sono stati considerati compresi tra un valore minimo di 1.000 dollari per tonnellata di batterie trattate ed un valore massimo di 2.000 dollari per tonnellata. Il costo per tonnellata è stato calcolato per unità di batteria considerando tramite un fattore pari a 3,33 dato il peso delle batterie per le tecnologie prese a riferimento nel modello pari a 300 kg sia nel caso della tecnologia LMO che in quella NMC 622 (Nissan, 2018). Non avendo dati a disposizione sul peso della batteria con tecnologia NMC 811, questo è stato ipotizzato essere pari a 300 kg come per le altre due batterie ad oggi montate sulla Nissan Leaf. In Tabella 2 sono riportati il valore minimo e massimo dei ricavi per lo scenario inerziale e per quello accelerato.

*Tabella 2: Ricavi minimi e massimi per lo scenario inerziale e per quello accelerato*

Ricavi scenario inerziale		Ricavi scenario accelerato	
Min	Max	Min	Max
1.200 M\$	2.000 M\$	19.000 M\$	30.000 M\$

Al fine di dare una prima stima della fattibilità economica del sistema di riciclaggio indagato, sono stati definiti anche i costi di gestione relativi allo smaltimento delle batterie. Considerando i bassi volumi da trattare, lo scenario inerziale non permetterebbe di fare economie di scala e dunque si ritiene più probabile che i costi tendano verso il valore massimo di 1,2 miliardi. Riferendoci invece allo scenario accelerato, i costi di trattamento andrebbero da un massimo di 25 ad un minimo di 12,5 miliardi di dollari, valore quest'ultimo che appare peraltro più probabile in virtù delle economie di scala attivabili dai volumi in gioco nello scenario accelerato.

### **c. Inclusione delle esternalità ambientali nell'analisi economica del sistema**

Per la determinazione dei flussi e dei relativi impatti ambientali connessi all'estrazione di litio, manganese, cobalto, nichel e grafite oggetto di analisi si è coerentemente fatto ricorso alla stessa banca dati utilizzata per la quantificazione dei flussi delle batterie elettriche di trazione, Ecoinvent 3.4, oltre che dello specifico processo di estrazione, dei processi di raffinazione, dei trasporti, delle infrastrutture e macchinari necessari e del trattamento a fine vita degli scarti di tutti i processi suddetti. Di tutte queste fasi sono stati considerati tutti i flussi di input ed output comprese le emissioni in aria, acqua e suolo e la generazione di rifiuti. Tali flussi sono poi stati trasformati in impatti e di tutti gli impatti calcolati si fa esplicito riferimento al potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential, GWP, che rappresenta la quantità di CO<sub>2</sub> equivalente emessa per unità di prodotto) e all'impatto sulla riduzione delle risorse (Resource Depletion, ADP, espressa in chilogrammi di antimONIO equivalente e capace di quantificare il consumo di risorse abiotiche legato all'estrazione dei materiali coinvolti nel processo produttivo). Tali impatti sono poi stati espressi in termini monetari attraverso l'applicazione degli approcci di seguito descritti.

Nello studio entrambi gli indicatori sono stati monetizzati sfruttando nel caso del Global Warming Potential la valutazione del mercato delle quote di emissione di CO<sub>2</sub> prodotta dell'emission trading scheme (ETS), facendo riferimento all'anno 2018, mentre il valore economico del danno generato dalla riduzione della disponibilità di risorse è stato quantificato tramite la valutazione con il metodo di impatto RECIPE, di cui si darà breve descrizione in seguito. Di seguito sono riportati i valori di GPW per chilogrammo di materiale considerato nello studio che

permetteranno di calcolare i costi esterni ad essi associati. Il metodo utilizzato in questa valutazione è stato l'IPCC 2007 GWP 100 anni, sviluppato dall'IPCC. In tabella e nel grafico sono riportate le emissioni espresse in CO<sub>2</sub> eq. per chilo di materiale.

*Tabella 3: Valori di impatto per il GWP*

Materiale	kg CO <sub>2</sub> eq.
Manganese	3,52E+00
Litio	5,11E+01
Cobalto	1,03E+01
Nichel	1,12E+01
Grafite	7,52E-02

Per stimare il valore monetario dell'esternalità riguardante le emissioni dei gas climalteranti espresse in termini di CO<sub>2</sub> equivalente è stato utilizzato il prezzo medio annuo della quota di emissione di CO<sub>2</sub> valevole nell'ambito dell'EU ETS per compensare 1 ton/CO<sub>2</sub> equivalente (GSE, 2017). In questo studio si è scelto di utilizzare il più prezzo medio più recente a disposizione (15,88 € del 2018, fonte Sendeco2, 2019) e convertirlo in dollari secondo il tasso di cambio medio euro/dollaro del 2018 (<https://www.money.it/Cambio-Euro-Dollaro-Storico-dal-1999-al-2019>) pari a 1,14 dollari per euro.

Per quanto concerne invece la valutazione della riduzione delle risorse abiotiche è stato utilizzato il metodo ReCiPe 2016 Endpoint (E) V1.02, per dare una valutazione economica di massima di tale impatto. Utilizzando dunque i due metodi sopracitati sono stati quantificate in termini monetari:

i) le esternalità che si avrebbero nel caso in cui si dovessero produrre da materie prime tutti i quantitativi di litio, manganese, cobalto, nichel e grafite necessari per la produzione delle batterie da immettere sul mercato italiano secondo quanto previsto dallo scenario accelerato;

ii) e le esternalità legate alla produzione dei materiali vergini necessari nello scenario di recupero delle batterie ipotizzato.

Prevedendo il recupero dei materiali dalle batterie esauste, come precedente descritto, lo scenario ipotizzato di una industria del recupero prevede dunque un abbattimento delle esternalità legato alla mancata produzione come materie prime vergini di parte dei materiali necessari a produrre le batterie elettriche di trazione.

*Tabella 4: monetizzazione delle esternalità legate al consumo delle risorse espresse in dollari*

Impatto del consumo delle risorse	Scenario materie prime vergini (\$)	Scenario riciclaggio batterie (\$)	Esternalità evitate (\$)
Manganese	44.818.000	22.107.000	22.711.000
Litio	883.965.000	464.489.000	419.475.000
Cobalto	473.322.000	236.849.000	236.473.000
Nichel	1.750.168.000	922.681.000	827.487.000
Grafite	257.870	25.790	232.080
TOTALE	3.152.531.000	1.646.152.000	1.506.378.000

*Tabella 5: monetizzazione delle esternalità legate alle emissioni di gas serra espresse in dollari*

Impatto emissioni di gas serra	Scenario materie prime vergini (\$)	Scenario riciclaggio batterie (\$)	Esternalità evitate (\$)
Manganese	208.605.000	109.614.000	98.991.000
Litio	13.650.000	6.733.000	6.917.000
Cobalto	38.836.000	19.433.000	19.403.000
Nichel	294.906.000	155.473.000	139.433.000
Grafite	64.380	6.440	57.940
TOTALE	556.061.000	291.259.000	264.802.000

Le esternalità totali imputabili allo scenario di riciclaggio ipotizzato nello studio per lo scenario accelerato ammontano a poco meno di 2 miliardi dollari (circa 8% dei costi totali) che seppur aggiunti ai costi massimi calcolati nel precedente paragrafo per tale scenario, non rendono insostenibile l'investimento data l'elevata quota di ricavi generata. In totale, il sistema di riciclaggio eviterebbe la

generazione di esternalità pari a poco meno di 1 miliardo e 800 milioni dati dalla somma delle esternalità ottenute dalla monetizzazione degli impatti prodotti dal consumo delle risorse e da quello imputabile alle emissioni di gas serra. È importante sottolineare che il computo delle esternalità per essere esaustivo dovrebbe comprendere anche la monetizzazione dei danni arrecati dal sistema oggetto di analisi alla salute umana e agli ecosistemi. Tuttavia al momento non esistono metodologie solide e universalmente accettate dalla comunità scientifica per la monetizzazione tutti gli impatti generati da un prodotto o processo.

### **3. Conclusioni**

L'analisi, oltre ad aver evidenziato come siano raggiungibili i volumi necessari per la fattibilità tecnica di un sistema di riciclaggio, ha dato evidenza di come esistano i presupposti per la fattibilità economica dello stesso. Gli andamenti tendenziali dei costi delle materie prime (soprattutto per il Cobalto) sembrano tendere negli anni ai valori massimi, dando una concreta possibilità allo scenario che configura i livelli massimi di ricavo, di essere quello su cui ci si assesterà nel medio termine. Difficile prevedere cosa succederà dopo il 2040 (lo studio si ferma infatti all'analisi dei flussi in uscita al 2038) dato che la tecnologia di produzione delle batterie dovrebbe superare il ricorso agli ioni di litio anche nella sua versione più innovativa (NMC 811), con un più bassa percentuale di Cobalto. In ogni caso fino a quell'anno i materiali in arrivo a trattamento garantirebbero la profittabilità di un sistema di riciclaggio, che una volta a regime potrebbe meglio assorbire anche la necessità di modifiche tecniche (per il trattamento di innovativi sistemi di accumulo) e un conseguente diverso meccanismo di remunerazione.

Non va infine dimenticato che lo scenario zero con cui confrontare tutti gli scenari finora discussi, non può essere considerato quello di non gestione delle batterie a fine vita. Se finora, dati i bassi volumi in gioco e una normativa carente, il problema del trattamento delle batterie a fine vita è stato considerato differibile o delegabile a paesi terzi interessati al recupero dei materiali in esse contenuti (la Cina, principalmente), in breve tempo la gestione delle batterie esauste rappresenterà un problema e contestualmente un'opportunità. Il problema sarà costituito quanto meno dalla necessità per il nostro paese di dotarsi di un sistema di raccolta, con tutte le difficoltà tecniche connesse ed i costi di gestione ad esso legati. L'opportunità sarà, invece, rappresentata dalla possibilità di creare in Italia un sistema di raccolta e riciclo delle batterie a fine vita, tramite cui provvedere al recupero delle materie prime seconde con volumi in linea con quanto contabilizzato da questo studio. Tali volumi permetterebbero la creazione di una filiera di produzione di materie prime seconde non altrimenti producibili nel nostro paese, con conseguente creazione di posti di lavoro ad essa dedicati. Esportare le batterie e delegare il trattamento e riciclo delle stesse a paesi terzi causerebbe un'importante perdita di valore su cui il nostro paese investirà, anche con sistemi incentivanti di iniziativa pubblica, al fine di aumentare lo stock di mezzi elettrici circolanti nei prossimi anni. Tale stock può costituire un considerevole giacimento di materie prime seconde, in grado, sul lungo termine, di supportare l'alimentazione di filiere di fabbricazione di prodotti ad alto valore aggiunto, come le batterie da materiali riciclati o garantire flussi di materiali ad altri settori

strategici per il nostro paese e l'Europa (ceramica e vetro: litio; metallurgico: manganese, cobalto, nichel). In tal senso il set di informazioni generato da questo studio può essere dunque considerato un utile elemento di supporto nella definizione di una strategia nazionale per lo sfruttamento dell'elevato valore residuo delle batterie di trazione a fine vita, in un'ottica di implementazione dell'economia circolare e dell'uso efficiente delle risorse.

#### 4. Bibliografia

Cutaia L., et al., 2018. Valutazione dei materiali critici negli scenari di elettrificazione della mobilità urbana. Report RdS/PAR2017.

Cutaia L., et al., 2018. Raw materials requirements scenarios for the electric mobility penetration in the Italian urban vehicle fleet: a life cycle thinking approach for the evaluation of the primary material needed. Proceedings of 28th SETAC Europe Annual Meeting, 13-17 Maggio 2018, Roma, Italia.

Ecoinvent database 3.4, 2018

ENEL, The European House – Ambrosetti, 2017. E-MOBILITY REVOLUTION. Gli impatti sulle filiere industriali e sul sistema-Paese: quale Agenda per l'Italia, [https://www.ambrosetti.eu/wp-content/uploads/ENEL\\_e-Mobility-Revolution\\_Ricerca-2017\\_ITA.pdf](https://www.ambrosetti.eu/wp-content/uploads/ENEL_e-Mobility-Revolution_Ricerca-2017_ITA.pdf)

GSE, 2017. RAPPORTO SULLE ASTE DI QUOTE EUROPEE DI EMISSIONE 2017, [https://www.gse.it/documenti\\_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20ASTE%20C02/RAPPORTO\\_GSE\\_ASTE\\_II\\_TRIM\\_2017.PDF](https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20ASTE%20C02/RAPPORTO_GSE_ASTE_II_TRIM_2017.PDF)

National Institute for Public Health and the Environment, 2016. ReCiPe 2016 v1.1. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level.

Nissan, 2018. Viewed in November 2018, <https://www.nissan.it/veicoli/veicoli-nuovi/leaf.html>

Sendeco2, 2019. Viewed in December 2019, <https://www.sendeco2.com/it/prezzi-co2>