POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

La ricerca DEC50: metodologia e strumenti per la valutazione della Whole Life Carbon di un manufatto edilizio

Original
La ricerca DEC50: metodologia e strumenti per la valutazione della Whole Life Carbon di un manufatto edilizio / Andreotti, J., Giordano, R.. - ELETTRONICO. - (2023), pp. 607-616. (XVII Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA Milano 28-30 giugno 2023).

Availability:
This version is available at: 11583/2999073 since: 2025-04-11T10:48:44Z

Publisher:
Associazione Rete Italiana LCA

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

14 September 2026

30 anni di

Life Cycle Assessment

sviluppi metodologici e applicativi

XVII Convegno della Associazione Rete Italiana LCA

28-30 giugno 2023

Politecnico di Milano

ATTI DEL CONVEGNO

POLITECNICO MILANO 1863

ASSOCIAZIONE RETE ITALIANA LCA

Con il patrocinio di:
MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

POLITECNICO MILANO 1863

ASSOCIAZIONE RETE ITALIANA LCA

Con il patrocinio di:
MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

ATTI

XVII Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA

30 anni di
Life Cycle Assessment
sviluppi metodologici e applicativi

28 - 30 giugno 2023

Politecnico di Milano
Via Ampère 10, 20133 Milano

© 2023 Associazione Rete Italiana LCA

.

Pubblicato da: Associazione Rete Italiana LCA
Data di pubblicazione: 2023
Paese di pubblicazione: Italia
Lingua: Italiano
Formato dell'e-book: PDF

ISBN: 9791221004601

POLITECNICO MILANO 1863

ASSOCIAZIONE RETE ITALIANA LCA

Comitato Scientifico del Convegno

Michela Aresta	Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Reattività Chimica e la Catalisi (CIRCC)
Grazia Barberio	ENEA, Dipartimento sostenibilità dei sistemi produttivi e territoriali (SSPT)
Maurizio Cellura	Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria
Laura Cutaia	ENEA, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Giovanni Dotelli	Politecnico di Milano, Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" (DCMIC)
Giacomo Falcone	Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria – Dipartimento di Agraria
Monica Lavagna	Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (DABC)
Sonia Longo	Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria
Alessandro Manzardo	Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)
Simone Maranghi	Ecoinnovazione srl
Paolo Masoni	Ecoinnovazione srl
Anna Mazzi	Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale (DII)
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)
Marzia Traverso	RWTH Aachen University

Comitato organizzatore

Monica Lavagna	Politecnico di Milano – DABC
Lucia Rigamonti	Politecnico di Milano – DICA
Anna Dalla Valle	Politecnico di Milano – DABC
Serena Giorgi	Politecnico di Milano – DABC
Camilla Tua	Politecnico di Milano – DICA
Marina Mistretta	Tesoreria Associazione Rete Italiana LCA – Università Mediterranea di Reggio Calabria

PROGRAMMA
28 giugno 2023
mercoledì

mer 28.06

14.00 | 14.30 REGISTRAZIONE PARTECIPANTI

14.30 | 15.45 APERTURA DEI LAVORI E SALUTI ISTITUZIONALI

Chair: Monica Lavagna *Associazione Rete Italiana LCA, Politecnico di Milano DABC*

Intervengono

Emilio Faroldi *Prorettore Vicario Politecnico di Milano*
Stefano Capolongo *Direttore Dipartimento ABC*
Lucia Citro *Direzione Generale Economia Circolare, Ministero Ambiente e Sicurezza Energetica*
Antonio Uricchio *Presidente ANVUR, Agenzia Nazionale di Valutazione del Sistema Universitario e della Ricerca*
Alessandro Ruggieri *Presidente AISME, Accademia Italiana di Scienze Merceologiche*
Bruno Notarnicola *Presidente Associazione Rete Italiana LCA*

15.45 | 16.30 SESSIONE I. PROSPETTIVE DI SVILUPPO DELLA METODOLOGIA LCA

Chair: Bruno Notarnicola *Presidente Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"*

Ecodesign and Digital Product Passport: updates and work ahead?
Michele Galatola *Senior Policy Officer at European Commission*

Quo vadis LCA?
Fulvio Ardente *JointResearch Center, European Commission*

16.30 | 17.00 Coffee Break

mer 28.06

17.00 | 18.15

SESSIONE II. RIFIUTI E CIRCOLARITÀ

Chair: Lucia Rigamonti *Associazione Rete Italiana LCA, Politecnico di Milano DICA*

Roberta Salomone *Associazione Rete Italiana LCA, Università di Messina*

Open challenges for Life Cycle Assessment as a decision support tool towards Circular Economy transition

Niero M. *Scuola Superiore di Studi e Perfezionamento Sant'Anna, SUM Lab*

Life Cycle Sustainability Assessment of a novel technology for the recovery of nutrients from slaughterhouse wastewater

Breedveld L. *2B Srl*

Life Cycle Assessment of post-consumer textiles waste management: a review about the main variables that influence the environmental benefits of reuse and recycling

Abagnato S. *Politecnico di Milano, DICA*

La metodologia LCA per incrementare la circolarità della filiera calzaturiera del Made in Italy. Il caso-studio di una fibbia in ottone per calzature prodotta dalla Santoni srl.

Pietroni L. *Università degli Studi di Camerino*

Ecodesign e vantaggi ambientali del riciclo di pneumatici fuori uso: il caso della tecnologia Rubberjet

Esposito G. *INDACO2 Srl*

mer 28.06

18.15 | 18.45 **SESSIONE POSTER II**

Chair: Alessandro Manzardo *Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi di Padova*

Plastic waste recycling: current scenario and future opportunities through investigation on LCA studies
Redaelli S. *Politecnico di Milano, CMIC*

LCA di un sistema di riciclo meccanico di rifiuti misti di plastica per la formulazione di materiale stampabile mediante injection moulding
Costantini M. *Università degli Studi di Milano*

Eco-design di dispenser in plastica: test d'uso di resine post-consumo
Casolani V. e Cutarella L. *Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara*

Comparative Life Cycle Assessment of traditional and circular carpets for the exhibition industry: a case study
Bressanelli G. *Università degli Studi di Brescia*

Approfondimento tecnico scientifico dei rischi e opportunità associati all'implementazione della metodologia PEF nel settore tessile: parametri chiave di circolarità e durabilità
Cavallotti I. *Società di Ingegneria Chimica per l'Ambiente Srl*

Combining Life Cycle Assessment and Practice Theory to understand the influence of consumers´ practices on food waste sorting
Niero M. *Aalborg University*

19.00 | 20.00 **WELCOME PARTY** Edificio 13 Trifoglio, via Bonardi 9

PROGRAMMA
29 giugno 2023
giovedì

gio 29.06

8.30 | 9.00 REGISTRAZIONE PARTECIPANTI

9.00 | 10.30 SESSIONE III. ENERGIA

Chair: Maurizio Cellura *Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi di Palermo*

Paolo Masoni *Associazione Rete Italiana LCA, Ecoinnovazione Srl*

Evoluzione del consumo di risorse nella generazione elettrica: limiti e proposte di miglioramento
Marmiroli B. *Ricerca sul Sistema Energetico SpA*

Environmental sustainability metrics for energy harvesting technologies: a scoping literature review
Gulotta T.M. *Università degli Studi di Messina*

Parametric modeling of Life Cycle Assessment for district heating infrastructure: a comparison of pipe typologies in France
Vauchez M. *Efficacity*

Environmental impact modelling of absorption chillers for geothermal energy use in the African Context
Rossi F. *SERG Group*

LCA applicata a sistemi agrivoltaici: unità funzionale e approccio per la gestione della multifunzionalità
Cusenza M.A. *Ricerca sul Sistema Energetico SpA*

Potential social risks of a small Unitized Regenerative Fuel Cell: an exploratory study implementing social LCA
Gullotta T. *Università degli Studi di Messina*

gio 29.06

10.30 | 11.00 **SESSIONE POSTER III**

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

Valutazione del Ciclo di Vita di una Fuel Cell Alimentata con Biomassa di Scarto: Potenziale di Scalabilità e Ottimizzazione del Processo
Rossi E. *Alma Mater Università di Bologna*

Environmental and economic benefits of a sensor for Predictive Maintenance in wind power generators
Rossi F. *LifeCARES Srl*

L'approccio consequenziale al ciclo di vita (CLCA) accoppiato al modello economico input-output per la valutazione degli effetti ambientali di una tecnologia emergente (Progetto NET-Fuels) – Primi passi
Pigni E. *Università di Bologna*

Carbon footprint of light-duty road transport technologies in the Italian context: a process-based input-output analysis
Vinciguerra A. *Politecnico di Milano, DABC*

Influenza dei consumi calorici del rider nella valutazione del ciclo di vita di una eBike
Brivio E. *Ricerca sul Sistema Energetico SpA*

BIOeconomia Circolare, LCA nella filiera agroalimentare per gli obiettivi del Green Deal UE
Collenzini D. *Università Iuav di Venezia*

11.00 | 11.30 **Coffee Break**

gio 29.06

11.30 | 13.00

11.30-13.00 SESSIONE IV. MATERIALI E CHIMICA

Chair: Serena Righi *Associazione Rete Italiana LCA, Università di Bologna*
Jacopo Bacenetti *Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi di Milano Statale*

The growth of bioplastics: challenges and opportunities in the framework of sustainable development
Maranghi S. *Ecoinnovazione Srl*

Ocean acidification impacts application in LCA - Implication for negative emission technology in seawater
Varliero S. *Politecnico di Milano, DICA*

Analisi della sostenibilità ambientale, economica e sociale di un innovativo sistema acquaponico multitrofico autosufficiente (SIMTAP)
Zoli M. *Università degli Studi di Milano*

The potential environmental benefit of the ecodesign approach: a case study in the footwear industry
Bertoldo N. *Politecnico di Milano, DCMC*

Sostenibilità sociale: S-LCA di un prodotto innovativo nanotecnologico
Devecchi S. *GreenDecision Srl*

Life Cycle Assessment applied to polyhydroxyalkanoates production phases: a mini review
Pelliconi M. *University of Bologna*

gio 29.06

13.00 | 13.30 **SESSIONE POSTER IV**

Chair: Simone Maranghi *Associazione Rete Italiana LCA, Ecoinnovazione Srl*

DLTs as enabler technologies to support LCA in cosmetics industry: state of the art
Rocca R. *Politecnico di Milano, DIG*

Environmental Impacts of nano- and micropolymers in the Cosmetics Industry: an overview
Barbiero C. *Università degli Studi di Padova*

Un'applicazione del Sustainability Assessment Framework per le pavimentazioni stradali in Europa
Buttitta G. *Università degli Studi di Palermo*

Analisi del ciclo di vita e Product Category Rules di leghe di alluminio (Special Alloys): il caso di Raffmetal
Neri E. *INDACO2 Srl*

Materiali sostenibili in fibra di canapa per imballaggi alimentari
Terlizzi N. *Politecnico di Bari*

From Waste to Resource: Environmental Life Cycle Assessment of Cauliflower By-Products and its based Biostimulant
Campiglia E. *Università degli Studi di Palermo*

13.30 | 14.30 **Pranzo**

gio 29.06

14.30 | 15.45

SESSIONE V. ALIMENTARE E AGROINDUSTRIALE

Chair: Giacomo Falcone *Associazione Rete Italiana LCA, Università Mediterranea di Reggio Calabria*

Bruno Notarnicola *Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"*

Life Cycle Assessment applicata al settore della ristorazione: il caso di menu stagionali forniti alle mense scolastiche

Mondello G. *Università degli Studi di Messina*

Il Progetto ILCIDAF per lo sviluppo di un Database italiano di Life Cycle Inventory dei prodotti agroalimentari italiani: fase di produzione della pasta

Astuto F. *Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"*

Analisi del ciclo di vita di varietà di riso ad alta produttività con diverse densità di semina

Di Cara F. *Università degli Studi di Milano*

Internannual variability effects on the environmental performances of a traditional organic wine. An Italian case study

Vagnoni E. *CNR, Istituto per la BioEconomia*

Investigating the environmental sustainability of a PGI productions: the case of Melone Mantovano

Falasco S. *Politecnico di Milano, DABC*

gio 29.06

15.45 | 16.20 **SESSIONE POSTER V**

Chair: Pietro Alexander Renzulli *Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"*

Impronta climatica (CFP) in conformità alla norma ISO 14067 – 2018 dell'olio extra vergine di oliva imbottigliato da Assoproli Bari
Tassielli G. *Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"*

Circularity Performance Indicators in Sicilian Oil Chain
Matarazzo A. *Università di Catania*

Environmental impacts of olive grove pruning residue management: a LCA approach in a defined territorial context
Di Loreto M.V. *Università Campus Bio-Medico*

Impatti ambientali di alimenti ricchi di proteine alternativi alla carne: un'analisi di letteratura
Rincione R. *Università degli Studi di Palermo*

Potenziale di mitigazione dell'allevamento di bovini da carne mediante digestione anaerobica dei reflui zootecnic
Constantini M. *Università degli Studi di Milano*

Il Life cycle assessment nel settore agroalimentare: il contributo delle tecnologie digitali
Esposito B. *Università degli Studi di Salerno*

Life Cycle Assessment of soilless systems: a review of life cycle inventory data
Licastro A. *Università degli studi di Messina*

16.20 | 17.00 **Coffee Break**

gio 29.06

17.00 | 18.00 **PREMIO GIOVANI RICERCATORI**

Chair: Andrea Raggi *Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi G. d'Annunzio Chieti-Pescara*

Life Cycle Assessment-based decision making under methodological uncertainty: a framework proposal
Marson A. *Università degli Studi di Padova*

Innovation designed to drive manufacturing transformation toward Industry 5.0: LCA based on Digital twin
Piron M. *Università degli Studi di Padova*

Implementazione del metodo ReCiPe2016 per la valutazione olistica degli impatti ambientali locali relativi all'isola di calore urbana e alla sua mitigazione
Chessa C. *Sapienza Università di Roma*

La trasparenza dei dati nelle supply chain: la tecnologia Blockchain a supporto delle metodologie Life Cycle Thinking
D'Esaunio M. *Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara, DEc*

18.00 | 19.00 **ASSEMBLEA ASSOCIAZIONE RETE ITALIANA LCA**

20.30 **CENA SOCIALE** Ristorante Don Lisander, via Manzoni 12/A
solo per i partecipanti registrati all'evento

PROGRAMMA
30 giugno 2023
venerdì

ven 30.06

9.00 | 10.30

SESSIONE VI. TECNOLOGIE INNOVATIVE E PROCESSI INDUSTRIALI

Chair: Marina Mistretta *Associazione Rete Italiana LCA, Università Mediterranea di Reggio Calabria*
Giovanni Dotelli *Associazione Rete Italiana LCA, Politecnico di Milano CMIC*

Evaluating Frameworks for the Integration of Ecosystem Services (ESs) in Life Cycle Methodologies
Soldati C. *Università Mediterranea di Reggio Calabria*

Psychosocial risk factors' impact pathway: assessing fruit and vegetable farming in two contrasted agrifood systems
Capdevila C. *Universitat de Barcelona*

The Social Life Cycle Assessment of Food Delivery in Italy: Evaluating Frameworks for the Integration of Ecosystem Services (ESs) in Life Cycle Methodologies
Zaki M.G. *Sapienza, Università di Roma*

LCA della micromobilità elettrica: monopattini elettrici e biciclette a pedalata assistita in sostituzione dell'auto privata per gli spostamenti casa-lavoro
Temporelli A. *Ricerca Sistema Energetico*

Valutazione degli impatti ambientali dell'editoria scolastica: il caso studio Zanichelli S.p.A.
Cavenago G. *Politecnico di Milano, DICA*

Correlation between Functional Unit and LCA results: a footwear outsole obsolescence analysis
Cordara M. *CNR STIIMA*

ven 30.06

10.30 | 11.00

10.30-11.00 SESSIONE POSTER VI

Chair: Anna Mazzi *Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi di Padova*

Dove va la LCA (Diario di un valutatore EPD)
D'Incognito V. *Take Care International*

LCA applied to PSS, main challenges and shared solutions: A literature review
Beducci E. *Politecnico di Milano, DIG, DABC*

Life cycle assessment on cards and card payments: a literature review
Bossi S. *Politecnico di Milano, DEIB*

La sostenibilità nel settore audiovisivo. Valutazione degli impatti ambientali ed economici derivanti dall'applicazione del marchio di qualità ambientale "Green Film"
Vogli L. *Punto 3 Srl*

Enhancing sustainability of manufacturing processes with Augmented Reality-based disassembly operations
Baldin P. *Politecnico di Milano, DFIS*

Valutazione degli impatti ambientali associati alla produzione di biciclette in Europa e in Cina
Dolci G. *Politecnico di Milano, DICA*

11.00 | 11.30 **Coffee Break**

ven 30.06

11.30 | 13.00

SESSIONE VII. EDILIZIA E BANCA DATI

Chair: Laura Cutaia *Associazione Rete Italiana LCA, ENEA*
Monica Lavagna *Associazione Rete Italiana LCA, Politecnico di Milano DABC*

La ricerca DEC50: metodologia e strumenti per la valutazione della Whole Life Carbon di un manufatto edilizio
Andreotti J. *Università degli Studi Roma Tre*

Il profilo ambientale di due strutture ricettive situate in due Paesi diversi: Italia e Romania
Arzoumanidis I. *Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara*

Sviluppo di dataset per la banca dati Italiana LCA del progetto ARCADIA e GPP: la seduta monoscocca curvata per arredo scolastico
Frisone F. *ENEA*

Verso la definizione di uno strumento LCA-based a supporto del GPP in edilizia: sviluppo di dataset nazionali per la filiera delle pietre ornamentali
Palumbo E. *Università degli studi di Bergamo*

Hotspot LCA per il miglioramento delle prestazioni ambientali di prodotti in vetro per l'edilizia
Dalla Valle A. *Politecnico di Milano, DABC*

La qualità dei dati ambientali nella definizione di dataset della filiera serramenti in PVC per la banca dati nazionale Arcadia
Giorgi S. *Politecnico di Milano, DABC*

ven 30.06

13.00 | 13.30 **SESSIONE POSTER VII**

Chair: Francesco Guarino *Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi di Palermo*

Ecovillaggi italiani: un'analisi comparativa dell'impatto ambientale
Blanc S. *Università degli Studi di Torino, DISAFA, DBios*

Carbon accounting of bio-based materials for construction in LCA analysis: A scientific literature review
Speciale F. *Politecnico di Milano, DABC*

LCA to support the integration of Reuse strategies during building design: advancements and gaps
Henriquez L.G. *Politecnico di Milano, DABC*

Concrete carbonation as a carbon sequestration technique: Review on life cycle assessment of existing processes
Davolio M. *Politecnico di Milano, DICA, DABC*

Life Cycle Assessment of circular bio-based building materials: A literature review
Le D.L. *University School for Advanced Studies IUSS Pavia*

L'integrazione dell'LCA nel Rating System LEED
Guardigli L. *Open Project*

13.30 | 14.00 **CHIUSURA CONVEGNO**

Bruno Notarnicola *Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"*
Monica Lavagna *Associazione Rete Italiana LCA, Politecnico di Milano DABC*

14.00 | 15.00 **Light lunch**

Sommario

PREFAZIONE 23

SESSIONE II
RIFIUTI E CIRCOLARITÀ

Open challenges for Life Cycle Assessment as a decision support tool towards Circular Economy transition 26

Life Cycle Sustainability Assessment of a novel technology for the recovery of nutrients from slaughterhouse wastewater 36

Life Cycle Assessment of post-consumer textiles waste management: a review about the main variables that influence the environmental benefits of reuse and recycling 44

La metodologia LCA per incrementare la circolarità della filiera calzaturiera del Made in Italy. Il caso-studio di una fibbia in ottone per calzature prodotta dalla Santoni srl. 55

Ecodesign e vantaggi ambientali del riciclo di pneumatici fuori uso: il caso della tecnologia Rubberjet 65

SESSIONE POSTER II

Plastic waste recycling: current scenario and future opportunities through investigation on LCA studies 75

LCA di un sistema di riciclo meccanico di rifiuti misti di plastica (Plasmix) per la formulazione di materiale stampabile mediante injection molding 85

Eco-design di dispenser in plastica: test d'uso di resine post-consumo 92

Comparative Life Cycle Assessment of traditional and circular carpets for the exhibition industry: a case study 101

Approfondimento tecnico scientifico dei rischi e opportunità associati all'implementazione della metodologia PEF nel settore tessile: parametri chiave di circolarità e durabilità 111

Combining Life Cycle Assessment and Practice Theory to understand the influence of consumers´ practices on food waste sorting 121

SESSIONE III
ENERGIA

Evoluzione del consumo di risorse nella generazione elettrica; Limiti e proposte di miglioramento 132

Environmental sustainability metrics for energy harvesting technologies: a scoping literature review 141

Parametric modeling of Life Cycle Assessment for district heating infrastructure: a comparison of pipe typologies in France 151

Environmental impact modelling of absorption chillers for geothermal energy use in the African Context 165

LCA applicata a sistemi agrivoltaici: unità funzionale e approccio per la gestione della multifunzionalità 174

Potential social risks of a small Unitized Regenerative Fuel Cell: an exploratory study implementing social LCA 183

SESSIONE POSTER III

Valutazione del Ciclo di Vita di una Fuel Cell Alimentata con Biomassa di Scarto: Potenziale di Scalabilità e Ottimizzazione del Processo 192

Environmental and economic benefits of a sensor for Predictive Maintenance in wind power generators 201

L'approccio consequenziale al ciclo di vita (CLCA) accoppiato al modello economico input-output per la valutazione degli effetti ambientali di una tecnologia emergente (Progetto NET-Fuels) – Primi passi 210

Carbon footprint of light-duty road transport technologies in the Italian context: a process-based input-output analysis 219

Influenza dei consumi calorici del rider nella valutazione del ciclo di vita di una eBike 228

BIOeconomia Circolare, LCA nella filiera agroalimentare per gli obiettivi del Green Deal UE (BIOMAC) 238

SESSIONE IV
MATERIALI E CHIMICA

The growth of bioplastics: challenges and opportunities in the framework of sustainable development 248

Ocean acidification impacts application in LCA – Implication for negative emission technology in seawater 255

Analisi della sostenibilità ambientale, economica e sociale di un innovativo sistema acquaponico multi trofico autosufficiente (SIMTAP) 262

The potential environmental benefit of the ecodesign approach: a case study in the footwear industry 271

Sostenibilità sociale: S-LCA di un prodotto innovativo nanotecnologico 279

Life cycle assessment applied to polyhydroxyalkanoates production phases: a mini review 287

SESSIONE POSTER IV

DLTs as enabler technologies to support LCA in cosmetics industry: state of the art 297

Environmental Impacts of nano- and micropolymers in the Cosmetics Industry: an overview 306

Un'applicazione del Sustainability Assessment Framework per le pavimentazioni stradali in Europa 313

Analisi del ciclo di vita e Product Category Rules di leghe di alluminio (Special Alloys): il caso di Raffmetal 322

Materiali sostenibili in fibra di canapa per imballaggi alimentari 330

From Waste to Resource: Environmental Life Cycle Assessment of Cauliflower By-Products and its based Biostimulant 340

SESSIONE V
ALIMENTARE E AGROINDUSTRIALE

Life Cycle Assessment applicata al settore della ristorazione:
il caso di menu stagionali forniti alle mense scolastiche 351

Il Progetto ILCIDAF per lo sviluppo di un Database italiano di Life Cycle Inventory
dei prodotti agroalimentari italiani: la fase di produzione della pasta 360

Internannual variability effects on the environmental performances
of a traditional organic wine. An Italian case study 370

Investigating the environmental sustainability of a PGI productions:
the case of Melone Mantovano 379

SESSIONE POSTER V

Impronta climatica (CFP) in conformità alla norma ISO 14067 – 2018
dell'olio extra vergine di oliva imbottigliato da Assoproli Bari 390

Circularity Performance Indicators in Sicilian Oil Chain 400

Environmental impacts of olive grove pruning residue management:
a LCA approach in a defined territorial context 410

Impatti ambientali di alimenti ricchi di proteine alternativi alla carne:
un'analisi di letteratura 420

Potenziale di mitigazione dell'allevamento di bovini da carne
mediante digestione anaerobica dei reflui zootecnici 430

Il Life Cycle Assessment nel settore agroalimentare: il contributo delle tecnologie digitali 438

Life Cycle Assessment of soilless systems: a review of life cycle inventory data 448

PREMIO GIOVANI RICERCATORI

Life Cycle Assessment-based decision making under
methodological uncertainty: a framework proposal 458

Innovation designed to drive manufacturing transformation
toward Industry 5.0: LCA based on Digital twin 468

La trasparenza dei dati nelle supply chain: la tecnologia Blockchain
a supporto delle metodologie Life Cycle Thinking 478

SESSIONE VI
TECNOLOGIE INNOVATIVE E PROCESSI INDUSTRIALI

Evaluating Frameworks for the Integration of Ecosystem Services (ESs)
in Life Cycle Methodologies 489

Psychosocial risk factors' impact pathway: assessing fruit and vegetable farming
in two contrasted agrifood systems. 499

The Social Life Cycle Assessment of Food Delivery in Italy:
Evaluating Frameworks for the Integration of Ecosystem Services (ESs) in Life Cycle Methodologies 509

LCA della micromobilità elettrica: monopattini elettrici e biciclette
a pedalata assistita in sostituzione dell'auto privata per gli spostamenti casa-lavoro 517

Valutazione degli impatti ambientali dell'editoria scolastica: il caso studio Zanichelli S.p.A. 528

Correlation between Functional Unit and LCA results:
a footwear outsole obsolescence analysis 538

SESSIONE POSTER VI

Dove va la LCA (Diario di un valutatore EPD) 548

LCA applied to PSS, main challenges and shared solutions: A literature review 555

Life cycle assessment on cards and card payments: a literature review 564

La sostenibilità nel settore audiovisivo. Valutazione degli impatti climatici
ed economici derivanti dall'applicazione del marchio di qualità ambientale "Green Film".....575

Enhancing sustainability of manufacturing processes with
Augmented Reality-based disassembly operations 585

Valutazione degli impatti ambientali associati alla produzione
di biciclette in Europa e in Cina..... 595

SESSIONE VII
EDILIZIA E BANCA DATI

La ricerca DEC50: metodologia e strumenti per la valutazione
della Whole Life Carbon di un manufatto edilizio.....607

Il profilo ambientale di due strutture ricettive situate in due Paesi diversi:
Italia e Romania.....617

Sviluppo di dataset per la banca dati Italiana LCA del progetto ARCADIA e GPP:
la seduta monoscocca curvata per arredo scolastico 626

Verso la definizione di uno strumento LCA-based a supporto del GPP in edilizia:
sviluppo di dataset nazionali per la filiera delle pietre ornamentali 636

Hotspot LCA per il miglioramento delle prestazioni ambientali
di prodotti in vetro per l'edilizia 645

La qualità dei dati ambientali nella definizione di dataset della filiera
serramenti in PVC per la banca dati nazionale Arcadia..... 655

SESSIONE POSTER VII

Ecovillaggi italiani: un'analisi comparativa dell'impatto ambientale.....666

Carbon accounting of bio-based materials for construction in LCA analysis:
A scientific literature review.....676

LCA to support the integration of Reuse strategies during building design:
advancements and gaps 686

Concrete enforced carbonation as a carbon sequestration technique – Review on life
cycle assessment of existing processes 696

Life Cycle Assessment of circular bio-based building materials: A literature review..... 706

L'integrazione dell'LCA nel Rating System LEED.....717

PREFAZIONE

Il XVII Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA si è svolto presso il Politecnico di Milano nei giorni 28, 29 e 30 giugno 2023, sul tema "30 anni di Life Cycle Assessment: sviluppi metodologici e applicativi".

Il titolo pone l'accento sul fatto che sono passati trenta anni dal 1993, anno in cui vennero pubblicate le *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice"* della Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), all'interno delle quali viene definita per la prima volta la struttura della metodologia Life Cycle Assessment (LCA).

A trent'anni dalla nascita, la valutazione del ciclo di vita LCA ha conosciuto ampi sviluppi di tipo metodologico e notevole espansione in diversi ambiti applicativi, sia nel contesto politico sia nel contesto industriale.

Le politiche costituiscono un forte traino alla diffusione dell'approccio Life Cycle Thinking (LCT) e della metodologia LCA, ormai richiamata pervasivamente all'interno dei documenti di indirizzo e nei programmi per la transizione ecologica sia europei sia nazionali.

Allo stesso tempo, il mercato riconosce sempre di più il ruolo della metodologia LCA quale strumento scientifico a supporto dei processi decisionali, di certificazione e di marketing ambientale, onde evitare fenomeni di greenwashing.

La metodologia LCA dimostra inoltre la flessibilità di essere applicata in diversi settori e a diverse scale (dal prodotto al territorio).

Il Convegno della Associazione Rete Italiana LCA del 2023 ha voluto essere un momento di riflessione sui traguardi raggiunti, tramite le evoluzioni metodologiche sviluppate e le esperienze applicative in grado di garantire una vera e sostanziale rivoluzione verde a livello nazionale ed internazionale.

I contributi presentati al Convegno hanno dimostrato la grande versatilità della metodologia rispetto agli ambiti di applicazione (alimentare e agroindustriale, energia, edilizia, rifiuti e circolarità, materiali e chimica, tecnologie innovative e processi industriali), testimoniando il grande interesse della comunità scientifica nazionale verso tali tematiche e la centralità della metodologia LCA come metrica di misurazione delle prestazioni ambientali a supporto del decisore sia pubblico sia privato nel raggiungimento di obiettivi di sostenibilità e circolarità.

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:

- Sviluppi metodologici per la sostenibilità di politiche, prodotti, processi, territorio, servizi, organizzazioni, eventi;
- Studi applicativi a supporto delle politiche ambientali;
- Studi applicativi per la decarbonizzazione di sistemi e processi;
- Studi applicativi per l'efficacia ambientale di sistemi e processi orientati alla circolarità;

- Sviluppo di dataset e banche dati Life Cycle Inventory contestualizzati, per la qualità dei dati a supporto degli studi LCA;
- Studi applicativi per la sostenibilità dei settori alimentare/agroindustriale, energetico, chimico, edilizio, turistico, gestione dei rifiuti, servizi;
- Studi applicativi e sviluppi metodologici di Life Cycle Sustainability Assessment (LCA+LCC+SLCA).

Una sezione riporta i contributi presentati dai primi tre classificati della quattordicesima edizione del Premio Giovani Ricercatori LCA, rivolto ai giovani ricercatori che operano nel campo dell'analisi del ciclo, i cui lavori sono di frontiera nello sviluppo della metodologia.

Il Convegno ha ricevuto il patrocinio del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM).

Il Chair del Convegno

Monica Lavagna

Il Presidente dell'Associazione Rete Italiana LCA

Bruno Notarnicola

SESSIONE VII

EDILIZIA E BANCA DATI

La ricerca DEC50: metodologia e strumenti per la valutazione della Whole Life Carbon di un manufatto edilizio

Jacopo Andreotti[1], Roberto Giordano[2]

Abstract: La volontà europea di perseguire la neutralità climatica entro il 2050, attraverso la decarbonizzazione del settore delle costruzioni, richiede un'importante opera di ripensamento delle prassi progettuali e dei processi realizzativi di materiali e prodotti, nonché degli strumenti e delle metodologie per comprendere e gestire le emissioni nel ciclo di vita dei manufatti edilizi. In questo contesto si inserisce la ricerca "Decarbonizzazione 2050 (DEC50)", condotta nell'ambito del progetto europeo *#BuildingLife*, il cui obiettivo è la predisposizione di una metodologia di contabilizzazione dell'Embodied Carbon di un manufatto edilizio, utile alla valutazione Whole Life Carbon dello stesso manufatto.

1. Introduzione

Il settore delle costruzioni gioca un ruolo predominante nell'economia dell'Unione Europea (UE). Tale settore è distribuito in maniera capillare in tutti gli Stati dell'Unione attraverso 3,6 milioni di imprese e un elevato numero di maestranze che complessivamente generano l'11% del Prodotto Interno Lordo dell'UE (FIEC, 2021). Tuttavia, le operazioni connesse ai processi realizzativi dei manufatti edilizi, qui intesi come edifici destinati a usi abitativi ma anche infrastrutture, sono responsabili del consumo di risorse e dell'emissione di gas climalteranti. Nello specifico, i monitoraggi sul comparto edile evidenziano l'impiego del 50% delle risorse materiche estratte (COM 98, 2020) e del 40% delle risorse energetiche (COM 640, 2019); cui corrisponde un rilascio di 4 miliardi di tonnellate di gas a effetto serra (EEA, 2022) – conosciuti anche come *Green House Gas* (GHG). Un contributo che corrisponde al 36% delle emissioni totali dell'UE (COM 662, 2020). Ne deriva la necessità di mitigare gli effetti che i processi edilizi hanno sul clima, attraverso programmi e strategie di decarbonizzazione, che l'UE si è proposta di raggiungere entro il 2050: anno in cui si prevede di raggiungere la neutralità climatica (European Parliament and Council, 2021).

Il percorso di decarbonizzazione richiesto al settore delle costruzioni, supportato da piani europei come il *Green Deal* (COM 640, 2019) e la *Renovation Wave* (COM 662, 2020), si inserisce, ovviamente, nel più ampio contesto dell'Accordo di Parigi, risultato della Conferenza delle Parti nel 2015 (COP21). La COP21 ha dato avvio alla *Global Alliance for Building and Costruction* (GlobalABC), un'importante iniziativa mondiale il cui scopo principale è diffondere linee guida e soluzioni per assicurare un futuro a zero emissioni, efficiente e resiliente per il settore delle costru-

[1] Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Architettura, Via Aldo Manuzio, n. 72, 00153, Roma, Italia
[2] Politecnico di Torino, Dipartimento di Architettura e Design (DAD), Viale Pier Andre Mattioli, n. 39, 10125, Torino, Italia
E-mail: jacopo.andreotti@uniroma3.it

zioni. Tra i principali elaborati della GlobalABC, la *"Guide for Incorporating Buildings Actions in NDCs*" (GlobalABC, 2019) costituisce un documento fondamentale per integrare il comparto edile nei *Nationally Determined Contributions* (NDCs); cui fa seguito la *Global Roadmap* a favore della decarbonizzazione dell'ambiente costruito (GlobalABC, 2020).

Le riflessioni contenute nella *Global Roadmap* sono state tradotte e implementate nel contesto europeo in scenari di sviluppo a zero emissioni per il settore delle costruzioni, capaci cioè di integrare i diversi livelli di sostenibilità (ambientale, economica e sociale), attraverso una complessa struttura di interventi che riguardano: la pianificazione urbana, il retrofit degli edifici esistenti, la gestione e la produzione delle risorse energetiche per il funzionamento dei manufatti edilizi, la selezione dei materiali da costruzione e il loro riutilizzo o riciclo a fine vita. Di particolare rilevanza è la revisione della Direttiva sul Rendimento Energetico degli Edifici (EPBD recast) (COM 802, 2021), come parte integrante e fondamentale del pacchetto legislativo "*Fit for 55*", per raggiungere la neutralità climatica al 2050. La revisione dell'EPBD è particolarmente interessante, poiché descrive un sistema esteso di gestione e valutazione delle emissioni di GHG nel ciclo di vita dei manufatti edilizi. La direttiva introduce – per la prima volta in un documento deliberato dalla Commissione Europea – il concetto di carbonio incorporato, o *Embodied Carbon* (EC), come indicatore per valutare le fasi di produzione, costruzione e fine vita, a corredo dell'indicatore delle emissioni associate alla fase operativa, denominato *Operational Carbon* (OC). Il bilancio tra EC e OC, inteso come somma delle emissioni (+) e rimozioni (-), conduce alla *Whole Life Carbon Assessment* (WLCA).

La WLCA non è altro che l'integrazione della metodologia *Life Cycle Assessment* (LCA) al ciclo di vita del manufatto edilizio, comprendendo: la produzione dei materiali e prodotti che concorrono alla sua realizzazione fino al suo smaltimento. Il tema della WLCA di un manufatto è oggetto di un ampio quadro di riferimenti che, ancora una volta, si evolvono in contesti sia internazionali sia locali. Vale la pena citare il progetto *Advancing Net Zero* del *World Green Building Council* (WBGC, 2022), nel quale si programma una serie di azioni, da adottare entro il 2030 e – successivamente – entro il 2050, per ridurre i contributi *Operational* ed *Embodied*.

Per quanto attiene l'OC si richiede di: massimizzare l'efficienza energetica dei sistemi di impianto, incrementare la copertura dei fabbisogni con fonti rinnovabili ed eliminare progressivamente l'impiego di fonti fossili. L'applicazione delle suddette azioni è finalizzato ad azzerare le emissioni in fase operativa di tutti i nuovi edifici a partire dal 2030 e di ridurre progressivamente i valori allo zero entro il 2050.

In merito all'EC si prevede, invece, di: recuperare i manufatti edilizi piuttosto che realizzarne nuovi, valutare ogni scelta progettuale e materica in ottica *Life Cycle* e adottare soluzioni per facilitare lo smontaggio, il riuso e il riciclo (*Design for Disassembly, Reuse or Recycle*). Il ricorso a tali procedure è volto a produrre benefici scalari. Si prevede altresì che al 2030 tutti i nuovi manufatti siano realizzati con il 40% in meno di emissioni EC, rispetto alle medie attuali, per raggiungere – in maniera analoga all'OC –un valore prossimo allo zero al 2050.

A livello nazionale, il Green Building Council Italia (GBC Italia) ha accolto le riflessioni e i programmi internazionali prendendo parte al progetto europeo *#BuildingLife*. Il progetto intende programmare e sviluppare un mix di azioni attraverso le quali valutare l'impatto ambientale di un manufatto edilizio, sia in ambito privato sia in quello pubblico, con un focus specifico destinato a identificare soluzioni tecnologiche, strumenti di contabilizzazione e strumenti finanziari per la riduzione delle emissioni di anidride carbonica durante l'intero ciclo di vita del manufatto stesso (GBC Italia, 2023).

2. La ricerca DEC50

Come si evince dal quadro piuttosto recente di iniziative predisposte nei diversi contesti internazionali e nazionali, in una *roadmap* verso la decarbonizzazione del settore delle costruzioni confluiscono elementi di diversa natura che comprendono politiche, regolamenti, strategie e, non ultimi, metodi, attraverso i quali calcolare le emissioni di CO_2 associate al ciclo di vita di un manufatto edilizio.

Nell'ambito del già citato progetto *#Buildinglife*, GBC Italia ha affidato a tre distinti Gruppi di Lavoro (GdL) il compito di: 1) definire soluzioni tecnologiche di impianto e di involucro per perseguire la decarbonizzazione; 2) sviluppare gli elementi di finanza a supporto della messa in opera di nuovi interventi e di riqualificazione del parco immobiliare esistente; 3) stabilire metodologie, metriche e strumenti per calcolare le emissioni di GHG nelle diverse fasi del ciclo di vita di un manufatto edilizio.

Nell'ambito del GdL 3, il gruppo di ricerca Tecnologia e Ambiente del Politecnico di Torino ha dato vita a un lavoro di ricerca denominato "*Decarbonizzazione 2050 (DEC50)*" (Andreotti e Giordano, 2023). Le attività condotte hanno portato alla messa a punto di una metodologia di contabilizzazione dell'EC, complementare a quella dell'OC di un manufatto, in modo da concorrere alla WLCA.

Il lavoro si è connotato secondo fasi, cui corrispondevano obiettivi specifici e milestones. Al raggiungimento di una milestone, il team di ricerca illustrava l'avanzamento ai membri del GdL, costituito da esperti del mondo accademico, delle istituzioni pubbliche e private, dei settori produttivi e degli studi di progettazione. I feedback raccolti in sede di discussione collegiale, relativi ai risultati intermedi, hanno consentito di individuare le azioni correttive e integrative per ciascuna fase e hanno contribuito a una più efficace prosecuzione delle attività di ricerca.

Più nel dettaglio, la ricerca DEC50 è suddivisa in tre principali fasi. La prima fase ha avuto lo scopo di costruire un glossario di definizioni, a partire dagli indicatori EC e OC, e le annesse unità di misura. La seconda fase ha invece individuato il quadro metodologico per determinare l'EC, e la sua correlazione con la WLCA. La terza e ultima fase ha elaborato i metodi di calcolo (base e avanzato) e le metriche per la valutazione dell'EC di materiali, elementi tecnici e di impianto.

2.1. Definizioni

La prima parte della ricerca ha identificato l'EC e l'OC come due indicatori condivisi dalla comunità scientifica internazionale (Pomponi et al., 2018; Giordano, 2022) per la valutazione delle emissioni associate ai manufatti edilizi. A livello nazionale, tuttavia, la loro applicazione è spesso confinata al mondo accademico e agli esperti in materia – seppur negli ultimi anni ci siano stati timidi segnali di diffusione (WGBC, 2019) – a causa di una mancanza di definizioni chiare e precise. A tal proposito, uno degli obiettivi specifici della ricerca DEC50 è stato quello di stabilire, attraverso la costruzione di un glossario, un quadro di termini e di definizioni connesse a: emissioni, impatti ambientali e WLCA, tramite una rilettura critica dei documenti tecnico-scientifici; al fine di restituire il significato e le unità di misura di EC e OC.

L'approccio adottato per definire i due indicatori ha avuto origine dalla loro comune unità di misura: l'anidride carbonica equivalente (CO_2eq). La CO_2eq è un parametro che esprime l'impatto sul riscaldamento globale di un determinato quantitativo di gas a effetto serra, o *GreenHouse Gas* (GHG), sia esso CO_2, CH_4, N_2O, o altro, in rapporto a un'emissione equivalente di CO_2. I fattori di conversione in emissione equivalente sono illustrati nel più recente documento redatto dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2021). Nella pratica comune la CO_2eq

è associata al calcolo del *Global Warming Potential* (GWP), categoria di impatto ambientale che stima l'influenza dei GHG sul cambiamento climatico, calcolata su un orizzonte temporale di 100 anni (IPCC, 2019). Dalle considerazioni sull'unità di misura e sul GWP – corredate da documenti tecnici (IEA, 2016; RICS, 2017) e normativi[1] – è stata proposta e, poi, condivisa una definizione di EC e OC.

L'EC è un indicatore che contabilizza la CO_2eq rilasciata, stoccata, rimossa e/o compensata durante una o più fasi del ciclo di vita di un determinato bene, sia esso un prodotto o un manufatto edilizio. Mentre l'OC è un indicatore che determina le emissioni di CO_2eq di un manufatto edilizio, in funzione dei fabbisogni energetici per la climatizzazione, l'illuminazione e l'acqua calda sanitaria.

2.2. Quadro metodologico

La seconda parte della ricerca è stata dedicata alla costruzione del quadro metodologico per determinare il contributo dell'EC nella più estesa WLCA, attraverso lo studio di documenti tecnici e normativi; questi ultimi facenti parte di diverse famiglie di norme, tra cui le UNI EN 14000 e 15000. Più nel dettaglio, DEC50 ha utilizzato il sistema di classificazione del ciclo di vita di un manufatto edilizio – cui riferire l'indicatore EC – illustrato nella UNI EN 15978[2] per gli edifici e riproposto nella UNI EN 17472[3] per le infrastrutture.

La contabilizzazione dell'EC si estende così alle seguenti fasi: Produzione (A1-A3) e Costruzione (A4-A5), Uso (B1-B5) e Fine Vita (C1-C4). A completamento della WLCA, si rende necessario considerare anche il contributo derivante dall'OC delle sottofasi B6 e B7. Inoltre, alle fasi appena descritte può essere aggiunto, in forma indipendente e attualmente non prevista dall'EPBD, la fase 'Oltre il ciclo di vita' (D): relativa alla valutazione degli eventuali benefici o ulteriori impatti connessi a processi circolari di riuso, recupero e/o riciclo e azioni di compensazione della CO_2 tramite vegetazione (Fig.1).

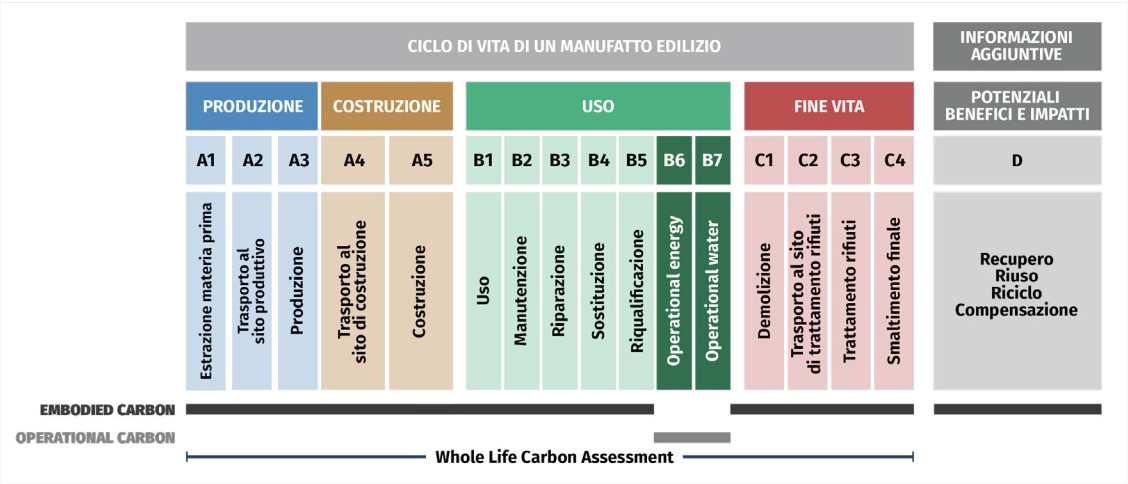

Figura 1. Ciclo di vita di un manufatto edilizio, fonte: rielaborazione autori da UNI EN 15978:2011.

Dalla suddivisione delle fasi che caratterizzano il ciclo di vita di un manufatto edilizio si evince come la contabilizzazione dell'EC sia un processo sequenziale, le cui caratteristiche sono influenzate in ragione del tipo di progetto e del suo stato di avanzamento. In relazione a quest'ultimo fattore, la ricerca ha sviluppato due distinti metodi di calcolo, base e avanzato, definendo specifiche

procedure di calcolo e selezione dei dati. Il primo si applica nel corso dello studio di fattibilità o della progettazione preliminare e consente di stimare l'EC attraverso dati generici (*generic data*). Il secondo, invece, si riferisce a stadi evoluti del progetto – ad esempio progettazione esecutiva o costruzione dell'opera – e si esplica attraverso dati specifici (*specific data*) dei materiali, prodotti, elementi tecnici o di impianto, prelevati da schede tecniche (es. studi LCA) o certificazioni ambientali (es. *Environmental Product Declaration - EPD*, *Carbon Footprint - CF*, *Product Environmental Footprint - PEF*, ecc.).

Entrambi i metodi sono potenzialmente impiegabili per valutare l'EC di differenti opere (es. edifici residenziali o destinati al terziario, installazioni temporanee, infrastrutture, ecc.), tramite la loro scomposizione in elementi tecnici[4]. DEC50 ha inoltre investigato alcuni aspetti caratterizzanti le metriche di valutazione dell'EC, allo scopo di adeguare la metodologia agli standard tecnici e ai documenti tecnici di riferimento. Gli aspetti più critici riscontrati riguardano il periodo di riferimento (o scenario temporale) dello studio e i dati.

In relazione al primo aspetto, DEC50 ha riscontrato come lo scenario temporale della WLCA non sempre coincida con il ciclo reale o potenziale del manufatto preso in esame. La ricerca ha così introdotto un periodo espresso in anni non stazionario, variabile a seconda delle condizioni specifiche del progetto, supportato da numerosi riferimenti scientifici (Dodd et alii, 2017; RICS, 2017; BSI, 2023). Il secondo aspetto riguarda, invece, la reperibilità e l'affidabilità dei dati. DEC50 ha rilevato e classificato una serie di database e fogli di calcolo, dai quali reperire *generic* e/o *specific data* per la contabilizzazione dell'EC secondo i metodi base e avanzato. Ciononostante, seppur alcune fasi siano di facile contabilizzazione – si pensi ad esempio alla fase di Produzione (A1-A3) o ai valori di OC (B6 e B7) ricavabili da strumenti di analisi energetica – altre risultano particolarmente complesse. In particolare, le fasi di Costruzione (A4-A5), Uso (B1-B5) e Fine Vita (C1-C4) sono contraddistinte da un livello di incertezza maggiore, dovuto a una minore disponibilità di informazioni (es. quantificare le emissioni dei macchinari adibiti alla realizzazione del manufatto, determinare i contributi per le operazioni di riparazione, ecc.). A tal proposito, DEC50 ha approfondito le dinamiche agenti sulle singole fasi, proponendo metriche di calcolo *ad-hoc* corroborate da documenti tecnici presi a riferimento (RICS, 2017; IStructE, 2022).

2.3. Procedure di contabilizzazione dell'EC e valutazione della WLCA

La terza parte della ricerca ha definito le procedure di calcolo per determinare l'EC, e per estensione la WLCA, nelle diverse fasi del ciclo di vita del manufatto edilizio. Le procedure di calcolo includono anche aspetti specifici, che riguardano diversi tipi di materiali o elementi tecnici, tra cui: la componente biogenica (*Carbon Sequestation* – CS), l'assorbimento di CO_2 dei prodotti a base cemento (*Carbon Uptake* – CU) e della vegetazione (*Carbon Offsetting* – CO_S, il contributo dei sistemi di impianto (MEP), ecc.; cui fa seguito l'introduzione di un ulteriore apparato tecnico-normativo di supporto. La tabella 1 riassume le procedure (colonna 4) sviluppate con il supporto del GdL (Andreotti e Giordano, 2023), in riferimento alle fasi del ciclo di vita di un manufatto edilizio (colonne 1-3), evidenziando le considerazioni generali che investono entrambi i metodi (base e avanzato) e il tipo di EC (colonna 5). Quest'ultima si riferisce ai possibili valori dovuti a: emissioni (+), stoccaggi (–), compensazioni (–) e assorbimenti (–) dei materiali, prodotti ed elementi tecnici o di impianto utilizzati nel progetto.

Tabella 1. Metodologia di contabilizzazione dell'Embodied Carbon, fonte: Autori.

Fase	Sottofase	Codice	Procedura di calcolo	Tipo di EC
Produzione (A)	Produzione (A1-A3)	EC_{A1-A3}	I singoli valori di EC sono moltiplicati per la quantità totale di materiale richiesto nel progetto. Tali valori sono disponibili come *generic data* da database o come *specific data* da EPD, CF, PEF, ecc.	Emissione
		CS_{A1-A3}	La stima della CS nel metodo base può avvalersi di *generic data* (RICS, 2017) mentre il metodo avanzato si riferisce a procedure di calcolo normate[A] o *specific data*.	Stoccaggio
Costruzione (A)	Trasporto al sito di costruzione (A4)	EC_{A4}	Le distanze (km) e la quantità totale trasportata (tonnellate) sono moltiplicate per le emissioni di carbonio relative alla modalità di trasporto (strada, rotaia, ecc.).	Emissione
	Costruzione (A5)	EC_{A5}	Il consumo di diesel (l) e di elettricità (kWh) delle attrezzature di cantiere è moltiplicato per fattori di emissione specifica[B].	Emissione
Uso (B)	Uso (B1)	EC_{B1}	La quantità totale di gas refrigerante e di altre emissioni di GHG rilasciate da impianti o altri elementi tecnici è moltiplicata per il singolo valore di EC.	Emissione
		CU_{B1}	Stima degli assorbimenti di CO_2 dei prodotti a base cemento in funzione del processo di carbonatazione[C].	Assorbimento
		CO_S_{B1}	Stima della CO_2 compensata dalla vegetazione tramite moltiplicazione dei kg di massa secca per il contenuto di CO_2 presente nel legno[D].	Compensazione
	Manutenzione (B2)	EC_{B2-B3}	Il valore di EC_{B2-B3} è determinato in funzione del tipo di edificio (*generic data*) o ricavato da schede tecniche in possesso del produttore (*specific data*).	Emissione
	Riparazione (B3)			
	Sostituzione (B4)	EC_{B4}	L'EC_{B4} è determinato in funzione di un fattore di sostituzione[E] (*generic data*) o ricavato da schede tecniche in possesso del produttore (*specific data*). Il calcolo dell'EC dei materiali, prodotti ed elementi tecnici o di impianto si allinea alle procedure delle fasi A1-A5.	Emissione Stoccaggio Assorbimento
	Riqualificazione (B5)	EC_{B5}	Stessa procedura di *Produzione* (A1-A5), *Uso* (B1-B5) e *Fine Vita* (C1-C4).	Emissione Stoccaggio Assorbimento

(continua nella pagina seguente)

Tabella 1: (continua dalla pagina precedente)

Fase	Sottofase	Codice	Procedura di calcolo	Tipo di EC
Fine Vita (C)	Decostruzione (C1)	EC_{C1}	Stessa procedura di *Costruzione* (A5).	Emissione
	Trasporto al sito di trattamento rifiuti (C2)	EC_{C2}	Stessa procedura di *Trasporto al sito di costruzione* (A4).	Emissione
	Trattamento rifiuti (C3) Smaltimento (C4)	$EC_{C3\text{-}C4}$	Predisposizione di (almeno) due scenari di valutazione dell'$EC_{C3\text{-}C4}$: 1) 100% discarica 2) 70% riciclo e 30% discarica n) a discrezione del valutatore Il totale dei rifiuti da costruzione e demolizione – generati nelle fasi: A5, B2-B5 e C1 – è moltiplicato per fattori di emissione specifica[F].	Emissione Stoccaggio
		$CS_{C3\text{-}C4}$	Valutazione degli scenari di trasferimento, azzeramento o rilascio del credito di CO_2[A] determinato in fase di Produzione ($CS_{A1\text{-}A3}$).	Emissione Stoccaggio
		$CU_{C3\text{-}C4}$	Stima degli assorbimenti di CO_2 nei rifiuti a base cemento in funzione del processo di carbonatazione[C].	Assorbimento
WLCA	$\sum_{j=1}^{n} \begin{array}{l} [EC_{A1-A3j} + (-CS_{A1-A3j}) + EC_{A4j} + EC_{A5j}] + \\ +[EC_{B1j} + (-CO_S_{B1j}) + (-CU_{B1j}) + EC_{B2-B3j} + EC_{B4j} + EC_{B5j}] + \\ +(OC_{B6j} + OC_{B7j}) + \\ +[EC_{C1j} + EC_{C2j} + EC_{C3-C4j} + (CS_{C3-C4j}) + (-CU_{C3-C4j})] \end{array}$			

[A] La componente biogenica può essere valutata secondo le disposizioni della norma UNI EN 16449:2014 "*Legno e prodotti a base di legno - Calcolo del contenuto di carbonio di origine non fossile del legno e conversione in anidride carbonica*".
[B] I fattori di emissione specifica delle attrezzature alimentate a diesel sono dedotti dal database "*Off-road Mobile Source Emission Factor (Scenario Years 2007 – 2025)"* redatto da AQMD. Mentre i fattori associati all'energia elettrica sono reperiti dal "*Rapporto 363/2022"* dell'ISPRA.
[C] La procedura di calcolo della CU è desunta dalle norme UNI EN 16757:2017 *"Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole quadro per categoria di prodotto per calcestruzzo ed elementi di calcestruzzo"* e UNI CEN/TR 17310 *"Carbonatazione e assorbimento di CO2 nel calcestruzzo".*
[D] La procedura di calcolo della CO_S si avvale di strumenti e database di calcolo quali BENEFITS, Qualiviva e MyTree o tramite modellazione manuale con equazioni allometriche.
[E] Il fattore di sostituzione è elaborato secondo le indicazioni normative ISO 15686-8:2008 "*Buildings and constructed assets - Service-life planning - Part 8: Reference service life and service-life estimation*".
[F] I fattori di emissione specifica possono essere prelevati dal database "*Greenhouse gas reporting: conversion factors*" elaborato dal Dipartimento BEIS.

3. Conclusioni

La ricerca DEC50 si inserisce in un relativamente recente ma molto dinamico contesto normativo e scientifico. Nel suo attuale sviluppo può costituire un riferimento per il raggiungimento di alcuni obiettivi contenuti nella nuova Direttiva EPBD e per darne attuazione, attraverso la carat-

terizzazione delle emissioni di CO_2eq associate alle fasi del ciclo di vita di un manufatto. Gli esiti della ricerca sono stati illustrati alla Commissione UNI/CT 058 – Città, comunità e infrastrutture sostenibili), la quale ha deciso di integrare alcuni aspetti metodologici nella proposta di norma.

Vi sono, ovviamente, alcuni limiti di cui tenere conto, che riguardano l'origine dei dati e la loro qualità. In Italia, al contrario di quanto avviene, o sta avvenendo in altre Nazioni, non si dispone già di una banca dati LCA dei materiali da costruzione organizzata secondo specifici indicatori come la EC, sebbene siano in corso attività, i cui esiti potranno condurre alla costruzione di un database nazionale (Lavagna, M., 2022).

Inoltre, una volta consolidata la metodologia WLCA sarà necessario testarne la validità, attraverso l'applicazione su alcuni casi di studio, in modo da evidenziare eventuali aspetti critici e definire le potenziali revisioni. L'armonizzazione tra metodologie di caratterizzazione della OC e della EC costituisce un aspetto che richiede ancora degli auspicabili e dovuti approfondimenti.

Infine, è necessario – in modo del tutto analogo a quanto avviene oggi con la classificazione delle prestazioni energetiche di un manufatto – sviluppare e definire un sistema di *rating* dedicato alle emissioni di CO_2eq, associate al ciclo di vita di un manufatto edilizio, capace di integrare i risultati dei processi di calcolo della OC e della EC, che proponga delle metriche di valutazione conformi alla destinazione d'uso del manufatto e che sia in grado di considerare in modo appropriato le diverse componenti della WLCA, non ultime quelle legate alla componente biogenica o a quella connessa al *carbon off-setting.*

In conclusione, tenuto conto delle potenzialità della metodologia ma, al tempo stesso, dei suoi limiti attuali, si presume che la *roadmap* nazionale per la decarbonizzazione abbia ancora molta strada da percorrere prima di essere applicata, come parte integrante e fondamentale, del processo edilizio.

Note

1. 1. La definizione di EC e OC è stata elaborata con il supporto della seguente normativa: UNI EN ISO 14040/44:2021, UNI EN 15978:2011 e UNI EN 17472:2022.
2. 2. UNI EN 15978:2011 "Sostenibilità delle costruzioni – Valutazione della prestazione ambientale degli edifici"
3. 3. UNI EN 17472:2022 "Sostenibilità delle costruzioni – Valutazione della sostenibilità delle opere di ingegneria civile".
4. 4. La scomposizione in elementi tecnici si riferisce alle indicazioni presenti nella norma UNI 8290-1:1981 "Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia".

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il personale GBC Italia per il supporto e il coordinamento delle attività progettuali e i membri del Gruppo di Lavoro per la partecipazione allo sviluppo della metodologia di calcolo dell'Embodied Carbon nel ciclo di vita di un manufatto edilizio.

4. Bibliografia

Andreotti, J., Giordano, R. (2023). Strumenti per la decarbonizzazione: contabilizzazione dell'Embodied Carbon nel ciclo di vita di un manufatto edilizio, in: Caffi, M., Marino, V., Giordano, S. (Eds.), Allegato 4 alla Roadmap di decarbonizzazione, viewed 28 Apr 2023, www.gbcitalia.org/area-download/roadmap/

British Standards Institution (BSI) (2023). Carbon management in buildings and infrastructure (PAS2080:2023).

Dodd, N., Cordella, M., Traverso, M., Donatello, S. (2017). Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

European Commission, 2021. Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione). COM/2021/802 final.

European Commission, 2020. Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare per un'Europa più pulita e più competitiva. COM (2020). 98 final.

European Commission, 2020. Un'ondata di ristrutturazioni per l'Europa: inverdire gli edifici, creare posti di lavoro e migliorare la vita. COM (2020). 662 final.

European Commission, 2019. Il Green Deal europeo. COM (2019). 640 final.

European Construction Industry Federation (FIEC), 2021. Statistical Report, viewed 28 Apr 2023, www.fiec-statistical-report.eu/2021/

European Environment Agency (EEA), 2022. Approximated estimates for greenhouse gas emissions, viewed 28 Apr 2023, www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/approximated-estimates-for-greenhouse-gas-emissions-5

European Parliament and Council, 2021. European Climate Law. Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999.

Giordano, R. (2022). Embodied Carbon and Energy. Indicatori per la valutazione del ciclo di vita dell'edificio, in: Lavagna, M, (Ed.), LCA in edilizia, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.

Global Alliance for Buildings and Construction, 2020. GlobalABC Roadmap for Buildings and Construction 2020-2050: towards a zero-emission, efficient, and resilient. Buildings and construction sector, viewed 28 Apr 2023, www.globalabc.org/roadmaps-buildings-and-construction

Global Alliance for Buildings and Construction, 2019. A Guide for Incorporating Buildings Actions in NDCs, viewed 28 Apr 2023, www.globalabc.org/resources/publications/first-edition-guide-incorporating-buildings-actions-ndcs

Green Building Council Italia (GBC Italia) (2023). Decarbonizzare il ciclo di vita dell'ambiente costruito. Roadmap italiana per raggiungere gli obiettivi climatici al 2050, viewed 28 Apr 2023, www.gbcitalia.org/area-download/roadmap/

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I, in: Masson-Delmotte, V. et alii, (Eds.), Sixth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, p. 1017.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, viewed 28 Apr 2023, www.ipcc.ch

International Energy Agency (IEA) (2016). Evaluation of Embodied Energy and CO_{2eq} for Building Construction (Annex 57), viewed 28 Apr 2023, www.annex57.org

The Istitution of Structural Engineers (IStructE) (2022). How to calculate embodied carbon, in: Gibbons, O.P. et alii (Eds.), IStructE International HQ, London.

Pomponi, F., De Wolf, C., Moncaster, A. (2018). Embodied Carbon in Buildings: Measurement, Management, and Mitigation. Springer Cham. 1, 1–364.

Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) (2017). Whole life carbon assessment for the built environment, in: Papakosta, A., Sturgis, S. (Eds), viewed 28 Apr 2023, www.rics.org

World Green Building Council (WBGC) (2022). Advancing Net Zero Status Report, viewed 28 Apr 2023, www.worldgbc.org/advancing-net-zero/

World Green Building Council (WGBC) (2019). Bringing embodied carbon upfront, viewed 28 Apr 2023, www.worldgbc.org/article/bringing-embodied-carbon-upfront/

9 791221 004601