



# ECOMONDO

Designing  
a better world.

05|08  
NOV.  
2019

RIMINI  
EXPO CENTRE  
ITALY

ecomondo.com  
f @ t v

contemporary with  
**KEY ENERGY**  
organised by  
**ITALIAN  
EXHIBITION  
GROUP**  
Providing the future

# GREEN AND CIRCULAR ECONOMY: RICERCA, INNOVAZIONE E NUOVE OPPORTUNITÀ

- **Rifiuti: gestione e valorizzazione integrata, soluzioni innovative di prevenzione e gestione, nuove frontiere per il riciclo e il recupero**
- **Percorsi circolari nell'industria: policy regionali, buone pratiche di simbiosi industriale, raw materials**
- **Ciclo dell'acqua: gestione e valorizzazione integrata, riutilizzo in agricoltura, efficienza del ciclo idrico urbano, trattamento acque reflue, piani di sicurezza idrica e fognaria**
- **Bioeconomia circolare: i seminativi, compostaggio e digestione anaerobica, bioraffinerie, ruolo delle regioni**
- **Le bonifiche sostenibili e la riqualificazione dei siti**
- **Qualità dell'aria: monitoraggio e controllo nell'era dell'economia circolare, politiche di controllo e prevenzione, tecnologie di abbattimento e nuove strategie**

[www.ecomondo.com](http://www.ecomondo.com)

---

**Atti dei convegni aperti a *call for papers* a cura di Fabio Fava**

---

**ITALIAN  
EXHIBITION  
GROUP**  
Providing the future

  
**MAGGIOLI  
EDITORE**



Fabio Fava (1963), laurea in Chimica e Tecnologia Farmaceutiche, Dottorato Europeo in Biotecnologie ambientali e *Laurea Honoris Causa* in Ingegneria ambientale, è Professore ordinario di "Biotecnologie industriali ed ambientali" presso la Scuola di Ingegneria dell'*Alma Mater Studiorum*-Università di Bologna dal 2005. Si interessa dello sviluppo ed ottimizzazione di processi biotecnologici per la decontaminazione di matrici ambientali inquinate e per la produzione di composti chimici, materiali e combustibili *biobased* da sottoprodotti e scarti dell'agroindustria. Ha partecipato a diversi progetti di ricerca europei (FP7) e nazionali e la sua produzione scientifica è documentata da oltre 300 lavori di cui oltre 175 su riviste internazionali di medio-alto IF. È il Vice-Chairman della sezione di *Environmental Biotechnology* della *European Federation of Biotechnology* e Delegato del Comitato di Biosicurezza, Biotecnologie e Scienze della Vita della Presidenza del Consiglio dei Ministri nel *Working Party on*

*Biotechnology, Nanotechnology and Converging Technologies* presso l'OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) e Delegato del Ministero dell'Educazione, Università e Ricerca nell'ambito delle iniziative per la crescita blu del Mediterraneo BLUEMED, EUSAIR e WESTMED. È stato membro del *High Level Group on Key Enabling Technologies* e del *Expert Group on Biobased products* entrambi della *DG GROW* (precedentemente *DG Enterprise and Industry*) della Commissione Europea ed è stato membro del *Expert Group on Eco-industries* del JRC Directorate della stessa Commissione. Infine è il Rappresentante italiano nel comitato di programma *Horizon2020 Societal Challenge 2: European Bioeconomy Challenges: Food Security, Sustainable Agriculture and Forestry, Marine, Maritime and inland water research* presso la Commissione Europea (DG RTD) e nell'ambito dello "*State Representative Group*" della "*Public Private Partnership (JTI) Biobased Industry*". È infine il Presidente del Comitato scientifico/tecnico di Ecomondo dal 2013.



# SEE YOU AT ECOMONDO

3 - 6 NOVEMBER 2020  
RIMINI EXPO CENTRE - ITALY

organized by

ITALIAN EXHIBITION GROUP  
Providing the future

[ecomondo.com](http://ecomondo.com)

**© Copyright 2019 by Maggioli S.p.A.**  
**Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.**  
**Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001: 2008**

*47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8*  
*Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595*  
[www.maggioli.it/servizioclienti](http://www.maggioli.it/servizioclienti)  
e-mail: [clienti.editore@maggioli.it](mailto:clienti.editore@maggioli.it)

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione  
e di adattamento, totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

Codice: 978.88.916.3857.1

# Indice

- pag. 7 Introduzione
- pag. 9 **WASTE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION**  
**SOLUZIONI INNOVATIVE DI PREVENZIONE E GESTIONE DEI RIFIUTI:**  
**STRUMENTI OPERATIVI E DI VALUTAZIONE**
- pag. 11 Protocollo sperimentale per il BIOMONITORAGGIO della qualità dell'aria in ambiente di discarica tramite Apis mellifera L. *di Breda Silvia, Giovane Gregorio, Bellandi Michele, Bonacina Giovanni, Pizzol Lisa, Argese Emanuele*
- pag. 20 Limiti e opportunità dei dati MUD per lo sviluppo di interventi di economia circolare in una zona industriale *di Matilde Cecchi, Enrico Longato, Marco Compagnoni, Davide Cuk*
- pag. 27 Tariffa Puntuale: perché del ritardo nell'attuazione, a cosa serve e come fare *di Pierluigi Fedrizzi, Daniele Dati*
- pag. 33 Un approccio sperimentale per la classificazione dei rifiuti pericolosi EER 150110\* *di Lorena Franz, Francesco Loro, Stefania Tesser, Renzo Mufato*
- pag. 40 La regolazione delle tariffe nel settore rifiuti da parte di ARERA: cosa attende gli operatori? *di Giorgio Ghiringhelli, Giuseppe Sbarbaro, Paolo Pagani, Marco Signorini, Marco Lovadina*
- pag. 47 Progetto di controllo dell'abbandono rifiuti e del littering del Consorzio Comuni dei Navigli *di Giorgio Ghiringhelli, Salvatore Greco, Giuseppe Maffei, Carlo Ferré, Christian Migliorati*
- pag. 53 Una nuova visione dinamica di compliance: l'adozione di strumenti informatici per il monitoraggio e controllo *di Leonardo Grassi, Roberto Conforto, Enrico Pedron*
- pag. 60 Open Platform e Design Collaborativo per una gestione sostenibile dei processi di Up Cycle per la valorizzazione degli scarti di PVC provenienti dai processi di gestione degli impianti elettrici *di Domenico Lucanto*
- pag. 67 La gestione dei RAEE in Italia alla luce dell'applicazione del sistema Open scope *di Sebastiano Mangiagli*
- pag. 73 Progetto "Città Compatta" | Un modello applicato di gestione dei rifiuti innovativo, flessibile e tracciabile per l'Area ad alta densità del Comune di Perugia *di Massimo Pera, Marco Bagnini*

- pag. 81 Carretta Caretta *di Roberto Pirani, Paolo Garelli*
- pag. 86 Un capitolato per la TARIP *di Antonio Sperduti*
- pag. 92 Tariffa puntuale e impatto prodotto dai mezzi di raccolta *di Andrea Valentini, Luca Belfiore, Benedetta De Santis, Noemi De Santis*
- pag. 99 **WASTE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION  
NUOVE FRONTIERE PER IL RICICLO ED IL RECUPERO, IN UNA PROSPETTIVA DI ECONOMIA CIRCOLARE**
- pag. 101 Recupero biometano da fanghi e da discarica, un caso virtuoso in Emilia Romagna *di Nicola Labartino, Sergio Piccinini*
- pag. 107 EcoDesign e Manufacturing nei processi di valorizzazione del rifiuto per PVCUpCycling *di Domenico Lucanto, Andrea Procopio*
- pag. 114 Lana di pecora come ammendante naturale: una risorsa a sostegno dell'economia circolare *di Mazziotti Carla, Ugolini Francesca, Fardelli Antonio, Mari Massimo, Camilli Francesca*
- pag. 121 Study of the recyclability of thermoplastic polyurethane *di Paolo Pozzi*
- pag. 126 Recycling of Kevlar fabrics in the production of protections for sports use *di Paolo Pozzi*
- pag. 132 Studio del recupero di materiali da demolizione nella produzione di calcestruzzi e malte *di Paolo Pozzi, Pasquale DiMaro, Francesca Montalti, Esmeralda Neri*
- pag. 139 Rassegna di studi di impatto ambientale life cycle thinking sulla biogassificazione dell'organico *di Eliana Mancini, Andrea Raggi*
- pag. 146 Economia circolare e reti di imprese: la certificazione Remade in Italy valorizza le sinergie *di Monica Riva, Giulia Sebastianelli*
- pag. 153 TMB: un mix originale ed innovativo per recuperare risorse e generare un end-of-waste *di Carlo Santoro, Christoph Atzwanger*
- pag. 159 Utilizzo di ceneri di combustione di rifiuti solidi per la preparazione di manufatti cementizi *di Alessio Siciliano, Francesco Marchio, Carlo Limonti, Giulia Maria Curcio*
- pag. 167 **CIRCULAR PATHWAYS IN THE INDUSTRY  
BUONE PRATICHE DI SIMBIOSI INDUSTRIALE IN ITALIA E IL CONTRIBUTO DELLE POLICY REGIONALI QUALE LEVA STRATEGICA**
- pag. 169 Filiere sostenibili con l'economia circolare dalle tecnologie di fine vita per la simbiosi industriale *di Consuelo Nava*
- pag. 176 Politiche regionali di sviluppo ed economia circolare. Il caso della Regione Abruzzo *di Raffaella Taddeo, Anna Morgante, Giovanni Lolli, Alberto Simboli, Andrea Raggi*

- pag. 183 **WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION  
RIUTILIZZO DELL'ACQUA IN AGRICOLTURA, IRRIGAZIONE SOSTENIBILE E SISTEMI NATURALI PER LA GESTIONE DEL CICLO IDRICO INTEGRATO NEL NUOVO QUADRO EUROPEO**
- pag. 185 Development of an efficient and sustainable methodology for EMerging POLLutants REmoval in WWTPs (EMPORE) *di Francisco Bosch, Silvia Oyonarte, Raquel González, Hector García, María Ángeles Bernal Romero, Daniel Prats, Miguel Company*
- pag. 191 Simulazione modellistica di un processo terziario per riuso a scopo irriguo di acque reflue civili *di Mario De Mola, Barbara Biagi, Paolo Cirello, Giancarlo Cecchini, Massimo Spizzirri, Emiliano Bernardini*
- pag. 199 Ottimizzazione delle risorse idriche in agricoltura: Il Consorzio di Bonifica Valle del Liri *di Claudio Lena, Lucia Pirolo*
- pag. 205 Valutazione ex post del recupero e riuso ai fini irrigui di acque reflue della depurazione civile alla scala reale *di Paolo Mantovi, Sergio Piccinini, Roberta Calone, Loris Canovi, Paola Zanetti*
- pag. 213 Analisi economica ed energetica per il trattamento di acque reflue non convenzionali a differenti gradi di purezza *di Michaela Oriolo, Tiziana Perri, Filippo Ravoni, Mauro Capocelli*
- pag. 223 **WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION  
AUDIT ENERGETICO E DEL CARBONIO ED EFFICIENZA NEL CICLO IDRICO URBANO: VERSO METODI STANDARD E PRATICHE VERIFICATE**
- pag. 225 Una valutazione integrata per la rimozione sostenibile dell'azoto dalle acque reflue industriali mediante processi biologici decentralizzati *di Roberto Canziani, Giovanni Bergna, Roberto Di Cosmo, Giacomo Bellandi, Andrea Turolla, Simone Visigalli, Micol Bellucci, Martina Bargna*
- pag. 233 **WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION  
BARRIERE E SOLUZIONI PER LA GESTIONE E LA VALORIZZAZIONE DEI FANGHI SOSTENIBILI NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE**
- pag. 235 Thermal Hydrolysis Process for effective and sustainable sludge treatment at sludge centers *di Davide Ferraro, Ashish Sabu, Alejandro Jimenez, Torleiv Næss Uglund*
- pag. 243 **WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION  
PIANI DI SICUREZZA IDRICA E FOGNARIA: METODOLOGIE, SUPPORTO DIGITALE E IMPLEMENTAZIONE SECONDO IL NUOVO QUADRO EUROPEO**
- pag. 245 La gestione dei nuovi rischi nella filiera idropotabile: un approccio metodologico e organizzativo per l'implementazione dei WSP *di Valentina Nisticò, Natalia Marzia*

*Gusmerotti, Filippo Corsini, Alessandra Borghini, Marco Frey, Emanuele Ferretti, Tiziana Cenderello*

- pag. 252 Thallium contamination in an Italian public water system: a multidisciplinary approach to protect environmental health of exposed population *di Daniela Nuvolone, MC Aprea, S Bertelloni, R Crebelli, A Di Benedetto, V Fuscoletti, R Guerra, L Lucentini, S Murtas, D Petri, S Pieroni, G Sciarra, E Veschetti, F Voller, I Aragona*
- pag. 259 CIRCULAR BIOECONOMY  
**DA COMMODITIES A SPECIALTIES: I SEMINATIVI NELL'ERA DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI E DELLE SFIDE PER UNA BIOECONOMIA CIRCOLARE, PRODUTTIVA, SOSTENIBILE E DI PRECISIONE, E PER PRODOTTI ALIMENTARI DI QUALITÀ E NUTRACEUTICI**
- pag. 261 40\_60 energy crops towards biogas to boost sustainable agriculture development in Sahel *di Carlo Santoro, Vito Pignatelli*
- pag. 267 CIRCULAR BIOECONOMY  
**XXI CONFERENZA SUL COMPOSTAGGIO E DIGESTIONE ANAEROBICA - CONFERENZA SUI FERTILIZZANTI ORGANICI DI QUALITÀ E LA CONSERVAZIONE DELLA FERTILITÀ ORGANICA DEL SUOLO – SESSIONE TECNICA**
- pag. 269 Sedimenti e stratificazioni negli impianti di digestione anaerobica *di Mirco Garuti, Fabio Verzellesi, Claudio Fabbri, Francesco Gallucci*
- pag. 275 <sup>15</sup>N e <sup>13</sup>C nella valutazione dell'uso dell'azoto e della conservazione del carbonio da compost *di Marco Grigatti, Giampaolo Di Biase, Alja Margon, Claudio Ciavatta*
- pag. 282 Il potenziale metanigeno (BMP) della FORSU *di Soldano Mariangela, Labartino Nicola, Piccinini Sergio*
- pag. 287 CIRCULAR BIOECONOMY  
**BIORAFFINERIE INTEGRATE NELL'AREA LOCALE: STATO DELL'ARTE E CRITICITÀ**
- pag. 289 Tecnologie innovative nel riutilizzo dei residui del settore lattiero caseario: fattibilità economica *di Claudio Lena, Lucia Pirolo*
- pag. 297 CIRCULAR BIOECONOMY  
**REGIONI COME ATTORI CHIAVE PER GUIDARE LO SVILUPPO DELLA BIOECONOMIA A LIVELLO LOCALE**
- pag. 299 La bioeconomia come occasione per un nuovo rinascimento industriale del Mezzogiorno *di Luca Bianchi, Amedeo Lepore, Stefano Palermo, Stefano Prezioso, Gerardo Cringoli*

- pag. 307 **SUSTAINABLE REMEDIATION AND SITE REQUALIFICATION**  
**LUCI E OMBRE NELLA BONIFICA DEI SITI CONTAMINATI A 20 ANNI**  
**DALL'ENTRATA IN VIGORE DEL D.M. 471/99**
- pag. 309 L'applicazione del Soil Washing per la bonifica della matrice suolo in uno stabilimento metallurgico in attività: il caso della Portovesme s.r.l. *di Giacomo Cattarossi, Pier Paolo Manca, Pietro Caredda, Raffaele Pellegatta*
- pag. 316 Riqualficazione sostenibile di un ex contesto produttivo milanese a verde pubblico *di Daniele Vezzoli, Raffaele Pellegatta, Eleonora Cerva*
- pag. 323 **MONITORING & CONTROL IN THE CIRCULAR ECONOMY ERA**  
**INQUINAMENTO ATMOSFERICO: LO STATO DELLE CONOSCENZE ALLA**  
**LUCE DELLE ESPERIENZE MATURATE, LE POLITICHE DI CONTROLLO**  
**E PREVENZIONE**
- pag. 325 PULSE: fostering sustainable environments using geodata with a participatory approach *di Francesca Sapia, Andrea Pogliaghi, Nevio Prada, Vittorio Casella*
- pag. 333 **MONITORING & CONTROL IN THE CIRCULAR ECONOMY ERA**  
**APPROCCIO GLOBALE ALLA QUALITÀ DELL'ARIA NEGLI AMBIENTI**  
**CHIUSI: LE FONTI, IL RUOLO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA E LA**  
**CORRETTA GESTIONE DEGLI EDIFICI**
- pag. 335 Qualità dell'aria indoor ed efficientamento energetico degli edifici: benefici e rischi per la salute *di Silvia Brini, Roberto Caselli, Francesca De Maio, Giuliana Giardi, Arianna Lepore*
- pag. 341 **MONITORING & CONTROL IN THE CIRCULAR ECONOMY ERA**  
**EMISSIONI DI ODORI: DALLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO ALLE**  
**NUOVE STRATEGIE DI CONTROLLO**
- pag. 343 Odori da impianti di trattamento chimico fisico biologico di rifiuti liquidi: Migliori Tecniche Disponibili a confronto *di Raffaella Martini, Giuseppe D'Agostino, Ugo Cognazzo, Roberto Picca Garin*
- pag. 349 **CIRCULAR BIOECONOMY**  
**ECONOMIA CIRCOLARE PER LA DEFINIZIONE DI UNA STRATEGIA DI**  
**CRESCITA BLU SOSTENIBILE E INTEGRATA**
- pag. 351 Proposta di una nuova circolare per meglio regolamentare la gestione delle biomasse vegetali spiaggiate *di Sergio Cappucci, Carla Creo*
- pag. 359 **HYDROGEOLOGICAL RISKS AND DISASTERS PREVENTION AND MAN-**  
**AGEMENT**  
**GESTIONE SOSTENIBILE DEI SEDIMENTI E CRESCITA BLU IN AMBITO**  
**COSTIERO E NEI MEDI E PICCOLI PORTI**
- pag. 361 Uso sostenibile delle risorse sedimentarie marine per la difesa dei litorali dall'erosione *di Paolo Lupino*

- pag. 367 Aspetti ambientali per la caratterizzazione dei sedimenti ai fini di ripascimento *di Daniela Paganelli, Paola La Valle, Monica Targusi*
- pag. 372 La strana storia delle sabbie migranti siciliane *di Giovanni Randazzo, Diego Paltrinieri, Stefania Lanza*
- pag. 379 Tecnologie innovative ad eiettori per la gestione sostenibile di fondali costieri, bocche portuali e porti turistici *di Cesare Saccani, Marco Pellegrini*
- pag. 386 I sedimenti nei grandi invasi artificiali, casi studio in Emilia-Romagna *di Simone Toller, Enrico Dinelli, Ivo Vasumini*
- pag. 393 **CIRCULAR PATHWAYS IN THE INDUSTRY  
RAW MATERIALS IN ITALIA NEL CONTESTO EUROPEO**
- pag. 395 Mineral non energy raw materials in Italy within the European framework: a landscape in transition *di Silvia Grandi, Maria Grazia Verdura*

# Rassegna di studi di impatto ambientale life cycle thinking sulla biogassificazione dell'organico

Eliana Mancini, [Andrea Raggi](mailto:a.raggi@unich.it), [a.raggi@unich.it](mailto:a.raggi@unich.it),  
Dipartimento di Economia, Università "G. d'Annunzio", Pescara

## Riassunto

*La valorizzazione delle matrici organiche attraverso la produzione di biogas è in crescente aumento. Per conoscere i potenziali effetti di questo prodotto sui comparti ambientali è importante valutarne l'intero ciclo di vita. Questo studio presenta una panoramica dello stato dell'arte riguardo le modalità metodologiche, basate sul Life Cycle Thinking, adottate per valutare i potenziali impatti ambientali legati all'impiego del biogas proveniente da digestione anaerobica. L'analisi consiste in una rassegna sistematica della letteratura scientifica condotta secondo il metodo STARR-LCA. Le criticità rilevate riguardano la carenza di una terminologia condivisa e di informazioni sul metodo adottato che potrebbero generare difficoltà nell'analisi degli studi. Inoltre, la fase di interpretazione dei risultati risulta meno approfondita rispetto alle altre. Infine, emergono pochi studi completi di sostenibilità; carenti soprattutto gli aspetti sociali.*

## Summary

*The organic waste has been increasingly utilised for biogas production. It is crucial to assess the overall life cycle of this product to understand its potential effects on the environment. This study presents a state-of-the-art overview of the Life Cycle Thinking methodological issues in evaluating the potential environmental impacts of the utilization of biogas from anaerobic digestion. A systematic review of the literature was carried out following the STARR-LCA method. The critical issues emerged are the lacking of shared terminology and general information about the method implemented, that could generate mistakes during the analysis. Furthermore, the interpretation phase is less detailed than the other steps. Finally, complete sustainability studies are scarce; especially, social aspects are neglected.*

## 1. Introduzione

La generazione di biogas tramite digestione anaerobica (DA) viene adottata in risposta a diverse esigenze, come, ad esempio, la necessità di gestire la frazione dei rifiuti organici [1, 2], oppure l'esigenza (talvolta volontà) di un soggetto pubblico o privato di produrre energia rinnovabile [3]. Esistono numerosi esempi di implementazione della tecnologia: si passa da impianti di larga scala o centralizzati, tipici dei paesi sviluppati, a quelli domestici, di dimensioni e capacità inferiori, localizzati generalmente nelle zone rurali [4]. Le peculiarità di ciascun sistema tecnologico incidono, evidentemente, in maniera differente su ogni fase del ciclo di vita del biogas [3]. Pertanto, nell'identificazione e misurazione delle performance ambientali relative a questa tecnologia, è auspicabile l'adozione di adeguati metodi di valutazione volti, per l'appunto, a identificare e misurare i potenziali impatti ambientali legati all'intero ciclo di vita di un prodotto o servizio. In letteratura si trovano molteplici studi *Life Cycle-oriented*

riguardanti la produzione e l'utilizzo di biogas e digestato, il co-prodotto del biogas derivante dalla DA. In questo lavoro viene proposta una rassegna sistematica della letteratura relativa a tali studi, allo scopo di riportare le scelte metodologiche che gli autori hanno effettuato riguardo la valutazione degli impatti ambientali, fornendo, così, un quadro riassuntivo, seppur non esaustivo, utile a coloro che si troveranno a scegliere un appropriato criterio di valutazione riguardante tali sistemi tecnologici.

## 2. Relazione

Come anticipato nell'introduzione, verrà di seguito presentata una rassegna sistematica dello stato dell'arte con l'obiettivo di analizzare gli approcci metodologici, basati sul Life Cycle Thinking (LCT), adottati nella valutazione dei potenziali impatti ambientali legati all'impiego del biogas da DA.

Nel prossimo paragrafo verrà descritto il metodo della rassegna, mentre, nei successivi sarà presentato il lavoro svolto con i relativi risultati.

### 2.1 Metodo

Per rispondere all'obiettivo della ricerca, è stata condotta una rassegna sistematica della letteratura attraverso il metodo Standardized Technique for Assessing and Reporting Reviews of LCA data (STARR-LCA) proposto da [5] al quale si rimanda per i dettagli. Tale metodo permette di elaborare rassegne sistematiche di articoli basati sull'LCA seguendo una checklist composta da 9 fasi [5]:

1. scelta del titolo, parole chiave e abstract;
2. motivazioni legate allo svolgimento della rassegna;
3. domanda e obiettivi della rassegna;
4. descrizione del protocollo adottato per la rassegna sistematica;
5. risultati e caratteristiche degli studi individuati nella revisione;
6. valutazione dell'errore;
7. metodi di sintesi (qualitativi e quantitativi);
8. limiti della rassegna;
9. sintesi dei risultati e delle conclusioni.

#### 2.1.1 Descrizione del protocollo adottato per la rassegna sistematica

La rassegna sistematica è stata condotta servendosi del database "Scopus" e inserendo alcuni termini, in combinazione tra loro attraverso l'uso di operatori booleani, ricercati all'interno del titolo, dell'abstract e delle parole chiave: "biogas" "use", "utilization", "utilisation", "implementation", "life cycle assessment", "lca". Sono stati presi in considerazione articoli presenti su riviste scientifiche e atti di convegno pubblicati tra il 2004 e il 2019, in lingua inglese. Non è stata esclusa alcuna tipologia di tecnica relativa alla DA o di *feedstock* impiegato negli impianti, né è stato posto alcun criterio di esclusione relativo alla localizzazione dei casi studio. Il processo di selezione degli articoli è stato suddiviso in due fasi. Nella prima sono stati esaminati attentamente il titolo, l'abstract e le parole chiave. Gli articoli ritenuti idonei, sono stati successivamente analizzati approfonditamente leggendo il testo e raccogliendo le informazioni necessarie. Sono stati esclusi tutti quei documenti che non riportassero esplicitamente le scelte metodologiche relative all'LCA, o che non applicassero un approccio al ciclo di vita.

## 2.2. Risultati

A seguito del processo di selezione descritto nel paragrafo precedente, sono stati ritenuti idonei alla rassegna 56 documenti, tra cui 7 articoli di *review*. Nessuno di questi ultimi ha svolto un'analisi dal punto di vista prettamente metodologico, ma si è incentrata su altri obiettivi, principalmente sull'individuazione degli *hotspots* riconducibili ai sistemi di DA, oppure si è focalizzata sull'analisi di sistemi all'interno di una specifica area geografica, o, ancora, di una determinata scala di impianti. Alcuni autori hanno anche proposto un nuovo paradigma di analisi.

Per quanto riguarda, invece, i casi studio, si riportano molto brevemente alcuni aspetti di generale interesse riguardo il biogas riscontrati durante l'analisi. Partendo dalle aree geografiche nelle quali si situano i casi studio analizzati, la maggior parte dei lavori è incentrata in Europa (26 articoli), pioniera nella produzione e nell'uso del biogas, come riportato anche da Tiwary *et al.* [1]; in particolare, l'Italia registra il maggior numero di lavori sull'argomento con 7 pubblicazioni, seguita da Germania, Spagna e altri. Al secondo posto si trovano i paesi asiatici, con 13 lavori, dove risalta prevalentemente la Cina. In effetti, l'importante contributo dei due continenti nello sviluppo della tecnologia è rilevato anche da Chiu e Lo [2] che analizzano la DA come soluzione alla gestione del rifiuto organico e da Tiwary *et al.* [1], che ritengono tali aree meritevoli di aver agevolato lo sviluppo di infrastrutture decentralizzate di bioenergia. La fig. 1 rappresenta la distribuzione geografica di tutti gli articoli, divisa per continenti (in un caso soltanto non è stato possibile individuare l'area poiché non specificata).

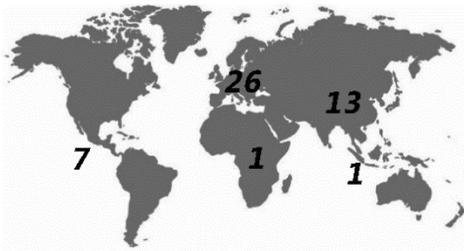


Fig. 1 – Distribuzione geografica degli articoli analizzati.

Gli impieghi del biogas sono prevalentemente rivolti alla generazione di energia (elettrica e/o termica), per autoalimentazione o per l'immissione in rete finalizzata alla vendita. In alternativa, il biogas viene sottoposto a processi di *upgrading* e purificazione necessari all'ottenimento di biometano, considerato un sostituto del gas naturale, per l'alta percentuale di metano contenuto, che, pertanto, trova impiego come carburante, o come sostituto del gas naturale attraverso l'immissione nella rete di distribuzione dello stesso. In un solo articolo è stato presentato un caso di produzione di bio-idrogeno a partire da biogas per la conversione in elettricità. La biomassa più utilizzata come *feedstock* può essere suddivisa in tre categorie: quella di acque reflue-fanghi-liquami, quella dei rifiuti urbani-agroalimentari-agricoli e infine quella delle deiezioni animali.

Passando all'obiettivo principale della rassegna, ossia all'identificazione degli aspetti metodologici, su 49 casi studio, 12 hanno illustrato la funzione del sistema prima di definire l'unità funzionale (UF). In 46 hanno specificato l'UF adottata (in 2 casi sono proposte due UF): di queste, 18 sono riferite all'*output* e 28 all'*input*. Inoltre, 2 autori ne hanno motivato la scelta. Riguardo agli articoli proponenti UF riferite all'*input*, 20 adottano criteri di massa o volume (principalmente riconducibili a tonnellate di materiale organico trattato), in 7 casi vengono adottati criteri temporali (arco temporale giornaliero o annuale). Per quanto concerne, invece,

le FU *output related*, la maggior parte (7 casi) utilizza un'unità di misura energetica. È interessante notare che in tre lavori è stato individuato come UF un paniere di beni, riportati nel dettaglio in tab. 1.

Autore	Paniere/ <i>basket</i>
[6]	“The cooking energy supplied to the entire state for one year ( $1.4 \times 10^{10}$ MJ year <sup>-1</sup> ), and the amount of nutrients made available for crops in the soil during the first year of application (235.5 kt of mineralized nitrogen N <sub>m</sub> , 157.4 kt of P and 69.0 kt of K that plant can uptake)”, pag. 1603.
[7]	“The portfolio of products that was generated by different biorefinery options at the same rate of hemicellulose extraction”, pag. 683.
[8]	“The functional unit is formed by the total content of electricity, heat, and fuel of the “baskets of benefit”, thus comprising both the energy output of the system and land use, the bioenergy part of the basket of benefit being produced on 1 ha of land”, pag. 573.

**Tab. 1** – Descrizione dei panieri di beni utilizzati come UF.

In 47 casi sono stati definiti i confini del sistema, principalmente di tipo “dalla culla alla tomba” (16) e “dalla culla al cancello” (14). Lo strumento di analisi più utilizzato è la *Life Cycle Assessment* (LCA), presente in 48 studi. Nel restante caso è stata effettuata un'analisi exergetica sul ciclo di vita degli scenari proposti [9]. Tra gli articoli che dichiarano di effettuare una LCA, Zhang *et al.* [10] presentano in particolare una LCA ibrida, mentre in altri 5 articoli viene presentata una LCA consequenziale (C-LCA). Riguardo a questa tipologia di LCA, viene proposto anche un framework sull'applicazione di modelli appropriati per condurre una C-LCA sulle bioenergie. Si propone, inoltre, un nuovo paradigma di valutazione ambientale, energetico e economico per la identificazione dei gas serra (attraverso la “*life-cycle GHG emissions accounting*”), dell'energia e dei costi/benefici. In un caso è stata adottata una denominazione più rara: “*LC energy and environmental assessment*”, mentre in un altro si dichiara di applicare uno speciale approccio alla valutazione del ciclo di vita chiamato “*basket of benefit methodology*”. A supporto dell'LCA vengono presentate altre analisi, soprattutto relative all'energia (6 casi), exergia (4 casi) e ai costi (6). In riferimento all'exergia, due autori propongono differenti analisi exergetiche per valutare l'efficienza delle risorse:

- “*exergy analysis*” e “*exergetic Life Cycle Assessment*” [6];
- “*exergy flow analysis*” a livello di processo e “*Cumulative Exergy Extraction from Natural Environment*” (CEENE) a livello di ciclo di vita [9].

In 30 casi è stata dichiarata esplicitamente l'adesione a uno standard di riferimento tra le ISO della serie 14040 o ILCD *handbook*. Per quanto riguarda la gestione della multifunzionalità, invece, emerge una netta preferenza degli autori nella scelta di estendere i confini del sistema (33 casi) per comparare le diverse opzioni proposte, mentre in soli 6 casi si utilizza l'allocazione; in due casi sono state scelte entrambe le soluzioni. In fig. 2 sono riportati i metodi di valutazione degli impatti più frequenti. Come si può osservare, il metodo CML è il più adottato, seguito da ReCiPe, IMPACT 2000, Ecoindicator e Cumulative Energy Demand (CED).

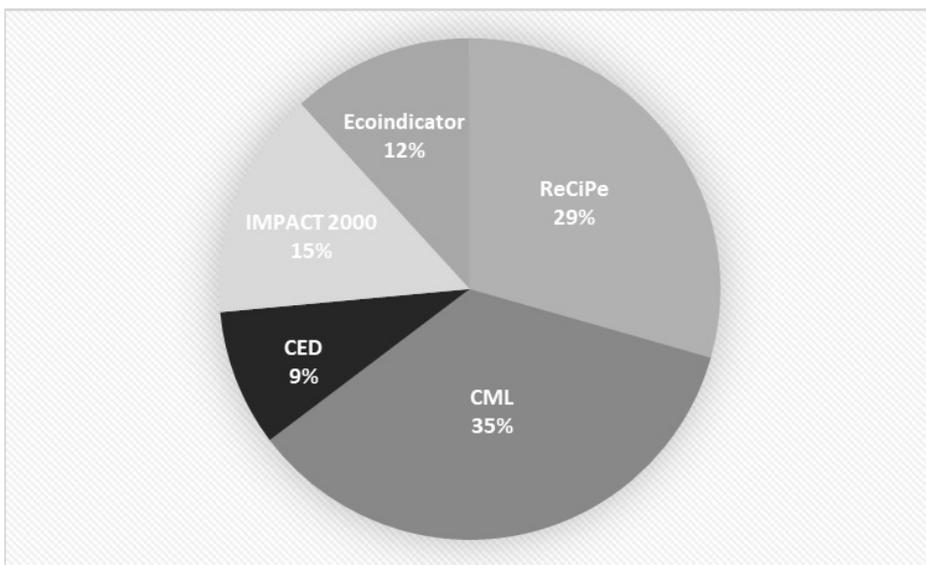


Fig. 2 – Metodi di valutazione dell'impatto più utilizzati con relativa distribuzione percentuale.

La categoria di impatto più studiata è il riscaldamento globale (Zhang *et al.* [10] analizzano solamente la CO<sub>2</sub>), seguita da acidificazione, eutrofizzazione, depauperamento di risorse abiotiche (tra cui risorse fossili, acquatiche e metallifere), formazione fotochimica di ozono, impoverimento dell'ozono stratosferico, tossicità umana. In fig. 3 è possibile osservare la frequenza delle categorie di impatto più riscontrate.

Si registra una tendenziale preferenza a individuare gli effetti a livello *midpoint*. Gli articoli che hanno presentato risultati sulle categorie di danno sono 10. Gli effetti *endpoint* sono salute umana, qualità dell'ecosistema, cambiamenti climatici e risorse, individuati tramite i metodi di valutazione riportati in tab. 2.

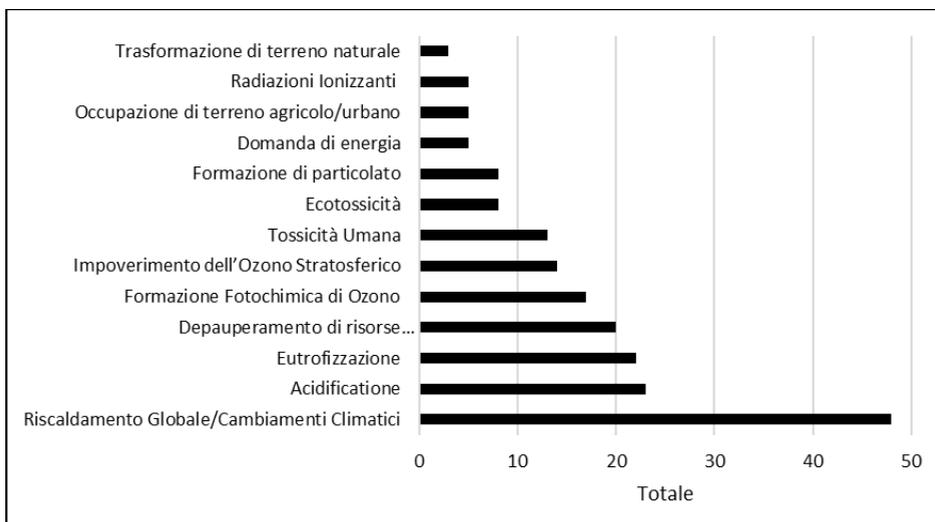


Fig. 3 – Potenziali categorie di impatto più studiate e relative frequenze.

METODO DI VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI	NUMERO DI CASI RISCONTRATI NEGLI ARTICOLI
IMPACT 2002	5
ReCiPe	4
Ecoindicator	1

**Tab. 2** – Metodi di valutazione degli impatti scelti per l'individuazione delle categorie di danno.

La fase di interpretazione dei risultati risulta meno approfondita rispetto alle altre fasi. L'analisi di sensibilità è presente in 22 casi, mentre si ricorre ancor più raramente a tecniche quali l'analisi dell'incertezza (5 casi).

Dalla lettura degli articoli, emergono pochi studi completi di sostenibilità; carenti soprattutto gli aspetti sociali.

I risultati suesposti potrebbero essere condizionati da alcuni errori commessi durante lo svolgimento dell'analisi, generando, così, delle imprecisioni nella rassegna. Gli aspetti che potrebbero limitarne l'accuratezza possono essere di diversa natura:

- errata esclusione di articoli, conformi agli obiettivi della ricerca, durante la prima selezione tramite la lettura del titolo, delle parole chiave o dell'abstract;
- erronea comprensione del testo soprattutto legata alla mancanza di una terminologia condivisa nel mondo scientifico o dovuta alla lingua;
- erronea interpretazione dei concetti sottintesi nei documenti o eccessivamente schematizzati in grafici o tabelle;
- assenza di dati o informazioni specifiche, relative sia al metodo di valutazione utilizzato, sia della tecnica di digestione anaerobica analizzata.

### 3. Conclusioni

Il presente lavoro si configura come una rassegna sistematica della letteratura scientifica con l'obiettivo di analizzare gli approcci metodologici, basati sul LCT, adottati nella valutazione dei potenziali impatti ambientali legati all'impiego del biogas da DA. Il risultato della ricerca pone l'attenzione sull'utilizzo della LCA come scelta prevalente, ma, ciascun autore caratterizza la propria valutazione adottando scelte metodologiche diverse. Del resto, gli articoli studiati non sono perfettamente comparabili per via della tipologia di *feedstock* digerita, del diverso impiego degli output prodotti, ecc; quindi, è intuibile una differenza negli approcci metodologici. Tale aspetto è enfatizzato dalla mancanza di un modello condiviso di analisi, che qualche autore ha tentato di colmare attraverso una proposta di *framework*. Esiste, in realtà, un filo conduttore comune, ossia quello relativo alla gestione dei due prodotti della DA. Nella generalità dei casi si tende a identificare il biogas come prodotto primario della DA, mentre il digestato viene considerato secondario e quindi preso in riferimento per estendere i confini del sistema in sostituzione dei fertilizzanti di sintesi. Questo dipende dal fatto che la DA è considerata principalmente un metodo di produzione energetica e, in secondo luogo, di stabilizzazione del materiale organico. Tuttavia, alcuni autori hanno sottolineato la necessità di porre maggiore attenzione al ruolo di questo co-prodotto. Altre scelte comuni a molti articoli sono l'utilizzo del CML come metodo di valutazione degli impatti e dell'estensione dei

confini del sistema. La categoria di impatto *global warming*, unica presente in tutti i lavori, rispecchia le attuali preoccupazioni socio-politiche a livello globale in campo ambientale. Le criticità rilevate riguardano la carenza di una terminologia omogenea e di informazioni, che rendono difficoltosa l'interpretazione degli studi. Inoltre, la fase di interpretazione dei risultati risulta meno approfondita rispetto alle altre. Sono assenti, inoltre, casi studio che analizzano anche gli aspetti sociali del ciclo di vita dei prodotti in oggetto.

## Bibliografia

- [1] **Tiwary, A., Williams, I.D., Pant, D.C., Kishore, V.V.N.**, 2015. Emerging perspectives on environmental burden minimisation initiatives from anaerobic digestion technologies for community scale bio-mass valorisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 883-901.
- [2] **Chiu, S.L.H., Lo, I.M.C.**, 2016. Reviewing the anaerobic digestion and co-digestion process of food waste from the perspectives on biogas production performance and environmental impacts. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(24), 24435-24450.
- [3] **Huttunen, S., Manninen, K., Leskinen, P.**, 2014. Combining biogas LCA reviews with stakeholder interviews to analyse life cycle impacts at a practical level. *Journal of Cleaner Production*, 80, 5-16.
- [4] **Vasco-Correa, J., Khanal, S., Manandhar, A., Shah, A.**, 2018. Anaerobic digestion for bioenergy production: Global status, environmental and techno-economic implications, and government policies. *Bioresource Technology*, 247, 1015-1026.
- [5] **Zumsteg, J. M., Cooper, J. S., Noon, M. S.** 2012. Systematic review checklist: A standardized technique for assessing and reporting reviews of Life Cycle Assessment data. *Journal of Industrial Ecology*, 16 (Suppl. 1): S12-S21.
- [6] **Sfez, S., De Meester, S., Dewulf, J.**, 2017. Co-digestion of rice straw and cow dung to supply cooking fuel and fertilizers in rural India: Impact on human health, resource flows and climate change. *Science of the Total Environment*, 609, 1600-1615.
- [7] **Gilani, B., Stuart, P.R.**, 2015. Life cycle assessment of an integrated forest biorefinery: hot water extraction process case study. *Biofuel, Bioproducts and Biorefinery*, 9 (6), 677-695.
- [8] **Bystricky, M., Knödseder, T., Weber-Blaschke, G., Faulstich, M.**, 2010. Comparing environmental impacts of electricity, heat and fuel from energy crops: Evaluating biogas utilization pathways by the basket of benefit methodology. *Engineering in Life Sciences*, 10 (6), 570-576.
- [9] **Nhu, T.T., Dewulf, J., Serruys, P., Huysveld, S., Nguyen, C.V., Sorgeloos, P., Schaubroeck, T.**, 2015. Resource usage of integrated Pig-Biogas-Fish system: Partitioning and substitution within attributional life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 102 (3048), 27-38.
- [10] **Zhang, L.X., Wang, C.B., Song, B.**, 2013. Carbon emission reduction potential of a typical household biogas system in rural China. *Journal of Cleaner Production*, 47, 415-421.