

ECOMONDO
 THE GREEN TECHNOLOGIES EXPO
 7-10 NOVEMBRE 2017
 RIMINI ITALY

IN CONTEMPORANEA CON
KEY ENERGY

21ª FIERA INTERNAZIONALE DEL RECUPERO DI MATERIA ED ENERGIA E DELLO SVILUPPO SOSTENIBILE

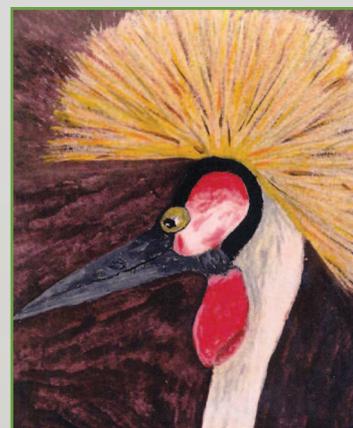
www.ecomondo.com



GREEN AND CIRCULAR ECONOMY: RICERCA, INNOVAZIONE E NUOVE OPPORTUNITÀ

- Rifiuti: strategie per la raccolta, valorizzazione, sistemi di gestione integrata, smaltimento in discarica, implementazione di un'economia circolare, compostaggio
- Gestione sostenibile della risorsa idrica
- Qualità dell'aria, monitoraggio, gestione e controllo delle emissioni odorigene
- Gestione e bonifica sostenibile nel quadro dell'economia circolare
- Industria biobased, innovazione nella bioeconomia

La "Gru coronata grigia"
 Mascotte di Ecomondo - 2017



Luciano Morselli
 Gru coronata grigia
 Acrilico su carta latte - 30x21 cm - 2017

www.ecomondo.com

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

ITALIAN
 EXHIBITION
 GROUP

A merger of
 Rimini Fiera and Fiera di Vicenza


 MAGGIOLI
 EDITORE

© Copyright 2017 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
e-mail: 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: 978.88.916.2593.9

Indice

- pag. 7 Introduzione
- pag. 11 **WASTE/TECHNICAL MATERIALS MANAGEMENT AND EXPLOITATION
RISORSE DAI RIFIUTI: SOLUZIONI INNOVATIVE E CONSEGUENZE AM-
BIENTALI VERSO L'IMPLEMENTAZIONE DI UN'ECONOMIA CIRCOLARE**
- pag. 13 La valorizzazione dei materiali di scarto tra economia, scienza e normazione: l'esperienza del progetto FAR UNIMORE "Il dialogo pubblico-privato nello sviluppo dell'economia sostenibile. Il case history della gestione dei rifiuti tra rischi ed opportunità" di Valeria Bortolotti, Luca Vespignani, Aljs Vignudelli, Luisa Barbieri, Fernanda Andreola, Isabella Lancellotti, Elena Bursi
- pag. 20 RAP-CO₂: Development of a standardized method for the quantification of the avoided emissions of the asphalt production process due to the re-use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) di Francesco Caridei, Roger Midence, Claudia Mosangini, Daniele Raschiatore
- pag. 27 Problematicità e opportunità del passaggio a tariffa – il caso di Cornaredo (MI) di Silvia Colombo, Mario Santi, Giorgio Ghiringhelli, Flavia M. Aquilio, Enzo Milano, Yuri Santagostino, Fabio Midolo
- pag. 33 Affidamento dei servizi di igiene urbana in aree con bisogni di natura sociale: il ricorso alla gara riservata ex art. 112 D.Lgs. 50/2016 quale strumento per integrare gli aspetti sociali nelle procedure di affidamento di Giorgio Ghiringhelli, Pietro Moro, Aldo Coppetti
- pag. 40 Introduzione della PAYT: primi risultati del progetto europeo WASTE4think di Michele Giavini, Elisa Amodeo, Silvia Colombo, Giorgio Ghiringhelli, Marzio Marzorati, Simona Colombo
- pag. 48 Rifiutami con il cuore. Strategia e risultati di 3 anni di attività di Cristina Gilardi, Nicoletta Nodari, Francesco Micheletti
- pag. 53 First estimation of exploitable "marine" residues from beach cleaning operations and fish markets at Emilia Romagna region di Nicolas Greggio, Carlotta Carlini, Diego Marazza, Nicola Labartino, Mariangela Soldano, Andrea Contin
- pag. 59 Database of the residual biomasses in Emilia Romagna Region and relative production sites di Nicolas Greggio, Mattia Benamati, Diego Marazza, Nicola Labartino, Sergio Piccinini, Andrea Contin
- pag. 67 Produzione di biometano da sottoprodotti agro-industriali nel contesto piacentino: fattibilità tecnica e potenzialità economica di Francesco Magli, Edoardo Micconi, Giorgia Lombardelli, Giulio Bortoluzzi, Federico Capra, Alberto Sogni, Nicola Labartino, Sergio Piccinini, Manuele Gatti

- pag. 74 Monitoraggio della qualità della raccolta differenziata presso utenze condominiali di *Riccardo Marchesi, Fabrizio Romboli, Mauro Sterpone*
- pag. 81 Il progetto POSBEMED e la gestione sostenibile della Posidonia nel Mediterraneo di *Patrizia Milano, Maria Cristina Caputo, Massimo Guido, Maria Otero del Mar*
- pag. 88 Simbiosi Industriale per l'area vasta di Taranto: stato di avanzamento della ricerca scientifica di *Bruno Notarnicola, Giuseppe Tassielli, Pietro Alexander Renzulli, Gabriella Arcese, Rosa Di Capua*
- pag. 96 Simbiosi industriale per il recupero e il riutilizzo di cascami energetici di *Bruno Notarnicola, Giuseppe Tassielli, Pietro A. Renzulli, Gabriella Arcese, Rosa Di Capua*
- pag. 102 Analisi di fattibilità di un sistema di raccolta e recupero di pneumatici e camere d'aria di bicicletta: il caso Esosport Bike di *Paolo Pipere, Nicolas Meletieu, Giorgio Ghiringhelli, Elisa Amodeo*
- pag. 108 Evaluation of the environmental benefits deriving from the use of waste CO₂ for microalgae production in a life cycle perspective di *Roberto Porcelli, Federica Dotto, Andrea Contin, Sara Boero, Matilde Mazzotti, Serena Righi*
- pag. 115 Metodo innovativo per la selezione del polielettrolita cationico per la disidratazione dei fanghi negli impianti depurazione acque reflue di *Claudio Puliti, Marco Salis, Luigi Perrone*
- pag. 121 LCA del compostaggio e della digestione anaerobica di rifiuti urbani: una rassegna bibliografica di *Eliana Mancini, Ioannis Arzoumanidis, Andrea Raggi*
- pag. 128 Processo di upgrading del biogas con impianto a membrane di *Davide Angelo Ravezzani, Luca Barbato, Luca Pedrazzi*
- pag. 134 Potenziali sviluppi dell'Ecologia Industriale in contesti urbani ibridi. Un'analisi preliminare di *Alberto Simboli, Raffaella Taddeo, Andrea Raggi, Anna Morgante*
- pag. 141 Carbon Waste Print: un nuovo metodo di calcolo della CO₂ evitata, per sistemi di tariffazione puntuale in base al servizio reso di *Andrea Valentini, Benedetta De Santis, Noemi De Santis, Enzo Vergalito*
- pag. 148 Affidamento del servizio di gestione integrata dei rifiuti urbani con una procedura innovativa: il dialogo competitivo – il caso di S.C.R.P. di *Riccardo Venturi, Giorgio Ghiringhelli, Andrea Di Lascio, Jacopo Quintavalli, Carlo Senesi, Mario Campanini*
- pag. 155 Plastica non da imballaggio nei rifiuti urbani: analisi e proposte di gestione di *Riccardo Venturi, Walter Giacetti*
- pag. 163 **WASTE/TECHNICAL MATERIALS MANAGEMENT AND EXPLOITATION
RICERCHE APPLICATE PER MIGLIORARE LA VALORIZZAZIONE DEI
RIFIUTI; POSSIBILE INTEGRAZIONE CON INDUSTRIA 4.0**
- pag. 165 Analisi tecnico - economica a supporto di scelte decisionali sulla profittabilità di impianti di compostaggio nella regione Calabria per la valorizzazione di scarti agroalimentari di *Baglio Lorenzo, Bonanno Sandro, Fichera Andrea, Leanza Andrea, Teodoro Giuseppe, Gabriele Biagio*

- pag. 171 ICTs and corporate sustainability strategies. The case of Aptar Italia Spa *di Michele Del Grosso, Alberto Simboli, Nando Cutarella, Andrea Raggi*
- pag. 178 Posidonia spiaggiata e gestione dei rifiuti. Verso il recupero della biomassa *di Antonella Lomoro, Massimo Guido, Leonardo Lorusso*
- pag. 185 An experience of technological transfer in the field of eco-friendly materials and products: from GRE_EN_S research project to Growing Green Academic Spin Off *di Elena Montacchini, Silvia Tedesco, Roberto Giordano*
- pag. 192 A model for the economic and environmental optimization of integrated waste management system *di Raffaele Mosca, Valentino Tascione, Andrea Raggi*
- pag. 199 WASTE/TECHNICAL MATERIALS MANAGEMENT AND EXPLOITATION
LO SMALTIMENTO IN DISCARICA: NOVITÀ E PROBLEMATICHE
- pag. 201 “Regione Liguria - La deliberazione della giunta regionale 20/12/2016 n. 1208 - Attività di trattamento sui rifiuti preliminari al conferimento in discarica. Aggiornamento e modifica delle Linee guida regionali alla luce dei Criteri Tecnici approvati da Ispra ai sensi dell’art. 7 del D.Lgs. 36/2003” *di Cecilia Brescianini, Andrea Baroni, Domenico Oteri, Sabrina Sicher*
- pag. 209 BIOWASTE MANAGEMENT AND EXPLOITATION
XIX EDIZIONE DELLA CONFERENZA NAZIONALE SUL COMPOSTAGGIO E DIGESTIONE ANAEROBICA SESSIONE TECNICA II BIORIFIUTO
- pag. 211 L’applicazione del metabolismo industriale nella gestione dei sottoprodotti oleari *di Flavia Cavallo, Alessia Calvagno, Emanuela Giuffrida, Paolo Calleri, Raffaella Calleri*
- pag. 217 Effetto dei microelementi in impianti di biogas di tipo agricolo *di Mirco Garuti, Claudio Fabbri, Nicola Labartino, Sergio Piccinini*
- pag. 223 Gestione della frazione organica dei rifiuti solidi urbani tramite digestione anaerobica e compostaggio: l’effetto sulla disponibilità del fosforo *di Marco Grigatti, Maurizio Degli Innocenti, Alberto Confalonieri, Claudio Ciavatta, Claudio Marzadori*
- pag. 231 WATER CYCLE MANAGEMENT AND EXPLOITATION
INQUINANTI EMERGENTI NELLE ACQUE AD USO UMANO: ASPETTI NORMATIVI, SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER IL CONTROLLO ED ESPERIENZE GESTIONALI
- pag. 233 Contaminazione da PFAS nelle acque dell’area di Vicenza. Implicazioni al processo d’uso dell’acqua di una realtà industriale locale – Esperienze di AECOM Corporate *di Fabrizio Bonfanti*
- pag. 242 L’applicazione della Water Footprint nel settore siderurgico in Sicilia *di Ernesto Cocomero, Valeria Cristaldi, Arianna Di Bella, Francesco Ventura, Guadagnuolo Vincenzo*
- pag. 248 Contaminazioni da PFAS: Proposta per un quadro di indagini specifico, basato su casi studio ed esperienze dirette *di Stefano Marconetto, Jean Pierre Davit, Anna De Fina*

- pag. 255 **WATER CYCLE MANAGEMENT AND EXPLOITATION
DESALINIZZAZIONE E RISORSE IDRICHE ALTERNATIVE, RIUTILIZZO
E USI MULTIPLI DELL'ACQUA PER RIDURRE IL CONSUMO IDRICO A
LIVELLO DELLE CITTÀ O DEI BACINI**
- pag. 257 LIFE ReQpro - Modello di recupero e riutilizzo delle acque reflue per produzioni vegetali di qualità *di Paolo Mantovi, Marco Ligabue, Cosimo Parabita, Lorena Guglielmi, Paola Zanetti, Stefano Panizzi, Fernanda Moroni, Marina Monticelli*
- pag. 264 Stakeholders and cost-benefit analyses as valid tools for decision-making in water innovation *di Andrea Rausa*
- pag. 271 **MONITORING & CONTROL
EMISSIONI ODORIGENE: DALLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO
ALLE NUOVE STRATEGIE DI CONTROLLO**
- pag. 273 Emissioni odorigene da discarica: simulazione della dispersione con il modello avanzato MicroSpray, al fine di valutare l'effetto di confinamento dell'odore determinato dalla morfologia della discarica e da una barriera arborea *di Alice Mantovani, Maurizio Benzo*
- pag. 281 **MONITORING & CONTROL
LA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR: I PRINCIPALI INQUINANTI, IL RUOLO DELLE SORGENTI, I MATERIALI DA COSTRUZIONE, ARREDO E DI LARGO CONSUMO, LA VENTILAZIONE MECCANICA E NATURALE, I PARAMETRI MICROCLIMATICI, LA LEGISLAZIONE, IL CONTROLLO E LA PREVENZIONE**
- pag. 283 Inquinanti organici nelle scuole: il contributo del CNR al Progetto Treno Verde 2017 *di Angelo Cecinato, Paola Romagnoli, Catia Balducci, Lucia Paciucci, Massimiliano Frattoni, Mattia Perilli*
- pag. 290 Contaminazione fungina aerodispersa in ambienti confinati a differente uso *di Paola Margherita Bianca Gucci, Rossella Briancesco, Anna Maria Coccia, Ines Lacchetti, Giuseppina La Rosa, Lucia Bonadonna*
- pag. 297 **SITE REMEDIATION AND REQUALIFICATION
LE BONIFICHE NEL QUADRO DELLA "CIRCULAR ECONOMY"**
- pag. 299 Potenzialità di batteri foto sintetici nella rimozione di metalli pesanti da matrici contaminate *di Francesco Cardellicchio*
- pag. 305 Bonifica di siti contaminati nel Parco Etna e loro riqualificazione turistica- economica nell'ottica dello sviluppo territoriale sostenibile *di Giorgio Scelfo, Gianbattista Genovesi, Rosario Davide Zammataro, Ester Stella, Gianluca Ferlito*
- pag. 313 **AGRIFOOD, BIOBASED INDUSTRY AND BLUE GROWTH
INNOVAZIONE NELLA BIOECONOMIA: CLUSTER TECNOLOGICI, PROGETTI NAZIONALI E INTERNAZIONALI**
- pag. 315 Strumenti Di Green Marketing applicabili alle strutture turistiche sostenibili per l'ottenimento di strategie basate sulla Bioeconomy *di Valeria Cristaldi, Vanessa Gambera, Maria Teresa Clasadonte, Benedetto Puglisi, Davide Michele Carmelo Sutera, Marialuigia Firetto Carlino*

- pag. 321 The social sustainability within Supply Chain Management: the preliminary analysis of literature *di Manuela D'Eusanio, Alessandra Zamagni, Lugiia Petti*
- pag. 328 L'applicazione del carbon footprint come strumento a supporto del emission trading nell'ottica dell'economia circolare *di Francesco Di Benedetto, Francesco Pirrone, Francesco Puglisi, Agata Matarazzo, Alberto Bertino*
- pag. 335 Digestione anaerobica: collegamento dei cicli biologici per l'oggi, biotecnologia strategica per il domani *di Mirco Garuti, Claudio Fabbri, Sergio Piccinini*
- pag. 340 Check list di autocontrollo delle performance economiche e finanziarie a supporto delle aziende per l'applicazione della bioeconomia *di Agata Matarazzo, Antonino Sabbia, Paolo Morgante, Eliana Stancanelli, Enrico Suriano*
- pag. 347 LCA - Life Cycle Assessment applicato ad un'azienda dolciaria *di Eleonora Ocello, Valeria Atanasio, Antonio Scuderi, Claudia Silluzio*

LCA del compostaggio e della digestione anaerobica di rifiuti urbani: una rassegna bibliografica

*Elia Mancini, Ioannis Arzoumanidis, [Andrea Raggi a.raggi@unich.it](mailto:a.raggi@unich.it)
Università "G. d'Annunzio", Pescara*

Riassunto

Esistono diverse tecniche di trattamento della frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FOR-SU), che negli ultimi anni sta crescendo qualitativamente e quantitativamente. Il presente lavoro ha l'obiettivo di indagare su quale di queste, in particolare compostaggio e digestione anaerobica e post compostaggio, sia generalmente preferibile dal punto di vista dei potenziali impatti ambientali. Pertanto, è stata condotta una rassegna sistematica di studi di LCA comparativa tramite lo strumento elettronico di ricerca Discovery@UdA secondo un protocollo definito dalla tecnica STARR-LCA. Dai risultati emerge che il recupero energetico è l'opzione preferibile per gran parte dei 26 studi analizzati, nonostante le sostanziali differenze tra questi in termini di definizione del campo di applicazione o del contesto di riferimento. Bisogna sottolineare, tuttavia, che per migliorare l'attendibilità dei risultati, sarebbe opportuno incrementare il campione dei documenti analizzati.

Summary

A number of options are available for the treatment of the organic fraction of municipal solid waste, which in recent years has been growing both qualitatively and quantitatively. The aim of this paper is to investigate which one of these is generally preferable from the environmental point of view, in particular between composting and anaerobic digestion with post-composting. Therefore, a systematic review of comparative LCA studies was carried out using the Discovery@UdA search tool, following a protocol defined by the STARR-LCA technique. The results show that energy recovery is the preferred option for most of the 26 analysed studies, regardless of the substantial differences between them in terms of scope or reference context. However, it should be emphasised that in order for the reliability of the results to be improved, the sample of the analysed documents should be increased.

1. Introduzione

Grazie alla crescente adozione della raccolta differenziata, nonché al miglioramento della qualità della stessa, la quantità di rifiuti organici raccolti separatamente, da cui si ottiene una frazione quasi del tutto biodegradabile, è in aumento. Questi residui, attraverso una corretta gestione integrata dei rifiuti, possono sostituire l'utilizzo di risorse prelevate tradizionalmente dai comparti ambientali in svariati campi: si pensi alla produzione di energia rinnovabile, a quella dei biopolimeri, o all'ottenimento di compost e digestato, caratterizzati da un interessante potere ammendante e nutritivo per il terreno [1]. Questo lavoro si propone di indagare sullo stato dell'arte relativo alle varie tecniche di gestione dei rifiuti organici, con particolare

attenzione al compostaggio e alla digestione anaerobica seguita da compostaggio, e sui connessi impatti ambientali. Si focalizzerà, pertanto, sull'analisi di diversi studi basati sulla valutazione del ciclo di vita attraverso la metodologia standardizzata Life Cycle Assessment (LCA) [2] in grado di illustrare i potenziali impatti ambientali provocati da tali opzioni. Si procederà con una rassegna sistematica della letteratura scientifica con l'obiettivo di individuare e sintetizzare analogie e differenze negli articoli esaminati, seppur nella consapevolezza che i risultati delle diverse analisi LCA potrebbero essere contraddittori a causa, ad esempio, dei diversi confini del sistema, Unità Funzionale (UF) [3], ecc. La rassegna sistematica è stata condotta seguendo le linee guida dello standard tecnico STARR-LCA (*Standardized Technique for Assessing and Reporting Reviews of LCA data*) [4] per svolgere una *review* riproducibile e trasparente. Tale standard suggerisce una *checklist* composta da nove fasi, che saranno utilizzate per descrivere le principali caratteristiche del seguente lavoro nel paragrafo 2.1.

2. Relazione

L'ampiezza e la struttura di una rassegna bibliografica variano in base all'obiettivo della stessa [4]. Quella proposta in questo articolo ha l'obiettivo di confrontare il metodo e i risultati relativi agli studi LCA di due tipologie di trattamento della FORSU: compostaggio e digestione anaerobica (DA) seguita da compostaggio. Il paragrafo successivo introduce brevemente il concetto di *systematic review* per poi passare al cuore della rassegna.

2.1 Il metodo di ricerca: la *systematic review*

Le rassegne sistematiche variano per ambito di applicazione, qualità e pertinenza e possono cercare di sfruttare i risultati in modo da fornire un maggiore grado di certezza, un minor livello di errore, o rispondere a una nuova domanda utilizzando i dati esistenti [4]. Le rassegne sistematiche della letteratura presentano diffusione crescente in molti *ambiti* disciplinari, tra cui la LCA [4], ma non vi è ancora un consenso procedurale. Per questo, le rassegne sistematiche relative all'LCA si basano sulle conoscenze di altre discipline [3]. In questo studio sono state prese a riferimento le indicazioni di [4] sullo sviluppo di una rassegna sistematica di articoli di LCA. Gli autori dello *standard* introducono una *checklist*, composta da 9 fasi, che si basa soprattutto su linee guida per la rassegna sistematica in campo medico, la STARR-LCA (*Standardized Technique for Assessing and Reporting Reviews of LCA data*). Di seguito si riportano le informazioni relative allo studio in oggetto, seguendo la struttura della suddetta *checklist*:

- scelta del titolo, parole chiave e abstract: il titolo e l'abstract contengono le informazioni necessarie a classificare in maniera appropriata l'articolo durante le operazioni di ricerca;
- motivazioni legate allo svolgimento della rassegna: la rassegna si configura come sviluppo di un precedente lavoro [1], avente per oggetto l'analisi, nell'ambito di uno specifico caso-studio, dei potenziali impatti ambientali legati alle due opzioni di trattamento della FORSU richiamate in questa relazione. Durante le precedenti ricerche, infatti, erano stati individuati rari studi analoghi, quindi si è ritenuto utile impostare un lavoro di carattere sistematico che aprisse la strada a potenziali sviluppi;
- domanda e obiettivi della rassegna: l'obiettivo della ricerca è di indagare sull'opzione generalmente preferibile (da un punto di vista ambientale) per il trattamento della FORSU: il semplice compostaggio o la DA combinata al compostaggio;
- descrizione del protocollo adottato per la *systematic review*: la descrizione del protocollo è trattata dettagliatamente nel par. 2.1.1;
- risultati e caratteristiche degli studi individuali nella revisione: gli studi analizzati sono presenti in riviste scientifiche o in atti di convegno nazionale e internazionale;
- valutazione dell'errore: esistono due tipologie di errori, quello a livello dei singoli studi (relativo ai metodi di selezione e interpretazione) e quello che si verifica durante l'aggregazione

dei risultati. Errori più frequenti potrebbero verificarsi nell'interpretazione dei testi a causa di un diverso utilizzo nella terminologia dei vari autori, come affermato anche da [4];

- metodi di sintesi (qualitativi e quantitativi): i risultati sono sintetizzati in una tabella (tab. 1) che illustra gli aspetti riguardanti il metodo di svolgimento delle analisi LCA e i risultati ottenuti;
- limiti della rassegna: per migliorare l'attendibilità dei risultati, sarebbe opportuno incrementare il campione dei documenti analizzati;
- sintesi dei risultati e delle conclusioni: nelle conclusioni si tenta di offrire un'interpretazione generale, sottoforma di elenco puntato, degli aspetti ritenuti più significativi.

2.1.1 Descrizione del protocollo adottato

Per rispondere all'obiettivo dello studio è stata effettuata una ricerca di documenti di valore scientifico attraverso lo strumento elettronico Discovery@UdA, un servizio dal quale è possibile consultare contemporaneamente diverse risorse della Biblioteca dell'Università degli Studi "G. d'Annunzio". Il periodo temporale considerato per questo lavoro comprende gli ultimi 15 anni, mentre le fonti riguardano pubblicazioni accademiche, dissertazioni/tesi e materiali di conferenze. Dapprima sono state inserite nella ricerca le parole "*anaerobic digestion*", "*composting*", "LCA" OR "*Life Cycle Assessment*" e "*food waste*", in varie combinazioni nel titolo e nell'*abstract*, ottenendo oltre 300 risultati. Per affinare le operazioni di selezione sono stati scelti alcuni argomenti, proposti dal motore di ricerca, che fungessero da filtro: "*anaerobic digestion*", "*life cycle assessment*", "*food waste*", "*waste management*", "*environmental impact analysis*", "LCA", "*composting*", "*food*", "*organic waste management*", "*garbage*", "*comparative studies*", "*solid waste management*", "*solid waste*", "*sustainability*", "*organic wastes*", "*environmental impacts*", arrivando a 155 risultati. Dopo un'attenta analisi dell'*abstract* e del titolo, sono stati selezionati 37 risultati, di cui 5 *review* (escluse dallo studio in quanto includevano nelle ricerche anche altre tipologie di materiale organico come rifiuti dell'industria alimentare o provenienti da altre filiere): 26 sono stati analizzati, mentre il resto non rientrava tra gli obiettivi dello studio.

ASPETTI ANALIZZATI	TOT
AREA GEOGRAFICA	
- Europa	11
- Altro	14
SCENARI ANALIZZATI	
- Digestione anaerobica/compost.	14
- Digestione Anaerobica	14
- Compostaggio	15
- Incenerimento/recupero energetico*	14
- Incenerimento*	1
- Discarica*	9
- Altro*	11
UNITÀ FUNZIONALE	
- Sì	25
- No	1
TIPOLOGIA DI DATI	
- Primari	0
- Secondari	7
- Primari e secondari	19
STRUMENTI*	
- Tool tradizionali LCA*	15
- Tool specifici per rifiuti*	4
STANDARD DI RIFERIMENTO	
- Dichiarato (ISO/ILCD)	15
- Non dichiarato	11
GESTIONE DELLA MULTIFUNZIONALITÀ*	
- Estensione dei confini del sistema*	9
- Allocazione*	3
METODO VALUTAZIONE IMPATTI	
- CML 2001	8
- IPCC	7
- Cumulative energy demand (CED)	3
- EDIP	3
- GHG emission	3
- Ecoindicator	2
- ReCiPe	2
- IMPACT 2002	2
- Altro	6
ANALISI DI SENSIBILITÀ	
- Sì	15
- No	11

ASPETTI ANALIZZATI	TOT
CATEGORIE DI IMPATTO	
- Emissioni di carbonio	26
- Acidificazione	18
- Eutrofizzazione	17
- Assottigliamento ozono stratosferico	11
- Formazione fotochimica di ozono	11
- Tossicità Umana	10
- Domanda cumulativa di energia/energy use	8
- Depauperamento risorse fossili e metallifere	8
- Ecotossicità	6
- Radiazioni ionizzanti	5
- Costi	4
- Formazione di particolato	4
- Arricchimento in nutrienti	3
- Uso di terreno	2
- Occupazione di terreno agricolo/urbano	2
- Altro	5
TECNICA PREFERIBILE	
- Digestione anaerobica/compost.	10
- Digestione anaerobica	6+3**
- Compostaggio	1
- Incenerimento/recupero energia*	4+2**
- Incenerimento*	0
- Discarica*	0
- Altro*	3

* aggiornamenti effettuati in itinere

** solo parzialmente preferibile

* aggiornamenti effettuati in itinere

** solo parzialmente preferibile

Tab. 1 – Tabella riassuntiva dei risultati ottenuti dalla systematic review. A sinistra sono riportati i vari aspetti ricercati negli studi analizzati, a destra le categorie di impatto considerate negli articoli e i risultati degli studi.

Oltre ai duplicati, i motivi di esclusione degli articoli sono riportati in fig. 1.



Fig. 1 – Criteri di inclusione/esclusione degli studi LCA impostati nel protocollo.

Come da protocollo, è stato creato un elenco contenente gli aspetti da ricercare negli articoli, aggiornato *in itinere* in base alle informazioni più interessanti emerse durante la lettura degli stessi. Si è deciso, ad esempio di estendere l'analisi a tutte le tecniche di gestione della FORSU e non soltanto di compostaggio e DA, poiché una in particolare -- il recupero energetico tramite combustione del rifiuto -- oltre ad essere spesso presente negli studi, in alcuni casi ha mostrato livelli di *performance* preferibili rispetto ad altre opzioni. La tab. 1 riassume tutti gli aspetti ricercati negli studi. Le voci con asterisco sono state aggiunte successivamente, grazie al processo iterativo della revisione.

2.2 Risultati

Su 26 articoli analizzati, uno soltanto non riporta un riferimento spaziale specifico, poiché ha l'obiettivo di estendere la fruibilità dei risultati ottenuti [5]. Undici articoli sono riferiti all'Europa, mentre i restanti 14 si riferiscono a casi studio localizzati in altre parti del mondo, come USA e Giappone. Come accennato in precedenza, si è riscontrata una certa difficoltà nel trovare studi che riportassero esclusivamente la comparazione tra compostaggio e DA seguita da compostaggio, pertanto si è scelto di modificare il protocollo iniziale inserendo anche gli altri metodi di trattamento della frazione organica. Quelli meno frequenti sono stati raccolti nella voce "altro" (lombricoltura, gassificazione, ecc). Soltanto 6 articoli hanno effettuato una comparazione tra due soli scenari e nessuno di questi tratta lo stesso quesito del presente studio; la DA (con o senza post compostaggio) è sempre presente, ma viene confrontata soprattutto con attività di recupero energetico che viene definita in rari casi con il termine di termovalorizzazione (*waste-to-energy*), in molti altri, invece, incenerimento (*incineration*) con successivo recupero di energia. Queste ultime opzioni di trattamento sono presenti in 15 articoli e in 4 risultano essere la scelta preferibile, mentre in altri 2 ottengono risultati migliori solo per alcune categorie di impatto potenziale. Dopo questa breve introduzione sugli articoli analizzati e sul tipo di scenari osservati, si passa alla descrizione di alcuni fattori caratterizzanti gli studi LCA, iniziando dall'UF, non esplicitata soltanto in un articolo. Le UF utilizzate fanno riferimento, in più del 90% dei casi, alla gestione di una certa massa di rifiuti organici, espressa principalmente in t. In sette casi è specificato anche il periodo temporale di riferimento, che

solitamente è pari a un anno. Per quanto riguarda la tipologia di dati, utilizzati in ogni *paper*, nella gran parte dei casi sono stati sia primari sia secondari. Trattandosi di comparazioni con scenari alternativi o futuri, in nessun articolo sono presenti esclusivamente dati primari. Durante la revisione, l'attenzione è caduta sulla tipologia di *software* utilizzato per l'analisi LCA. È stato scelto di suddividere quelli più generici, come il SimaPro [6] o il GaBi [7] da quelli specifici per la gestione dei rifiuti (EASETECH [8], EASEWASTE LCA [9]) osservando che 4 studi su 19 hanno usato *tool* specifici. Nei restanti casi non è stato specificato l'utilizzo di alcuno strumento. Si noti, inoltre, che su 26 studi, soltanto 15 hanno dichiarato la conformità a uno standard di riferimento. Non sempre è stato trattato il problema della multifunzionalità. Ove dichiarato (11 casi), la scelta è stata l'estensione dei confini del sistema, in 9 studi, e l'allocation nei restanti 3. Tra i metodi di valutazione degli impatti, sono stati prioritariamente scelti i metodi orientati al problema; CML 2001 è infatti il metodo più scelto (8 studi), seguito dall'IPCC, presente in 7 casi. L'elenco completo è presente in tab. 2.1. Tra le categorie di impatto analizzate, il calcolo delle emissioni di carbonio è l'unica presente in tutti gli articoli e quattro studi si basano soltanto su questa categoria. Le categorie maggiormente esaminate sono l'acidificazione, l'eutrofizzazione, la formazione fotochimica di ozono, l'assottigliamento dell'ozono stratosferico, la tossicità umana, il depauperamento delle risorse fossili e metallifere e la domanda cumulativa di energia. L'analisi di sensibilità è stata eseguita in 15 casi. Analizzando gli esiti degli studi è emerso che la tecnica di gestione dei rifiuti urbani preferibile è la DA seguita dal compostaggio. Su 14 studi in cui è stata analizzata, è risultata preferibile in 10 casi. Anche la semplice DA si attesta su un buon livello: 6 casi su 14, mentre in altri 3 studi presenta i risultati migliori relativamente ad alcune categorie di impatto, come riscaldamento globale, acidificazione, e domanda cumulativa di energia. Il compostaggio, invece, risulta la scelta preferibile in un solo studio su 15. Merita particolare attenzione, invece, il risultato relativo all'incenerimento con recupero di energia (termovalorizzazione) che ottiene il punteggio più alto in 4 analisi (in altre due il vantaggio è parziale) su 15.

3. Conclusioni

La presente *review* ha per oggetto l'analisi di studi comparativi di LCA sulle tecniche di gestione della FORSU per rispondere al quesito relativo a quale tecnica, tra compostaggio e integrazione di DA/compostaggio, sia l'opzione generalmente preferibile. Sono stati analizzati 26 studi pubblicati negli ultimi 15 anni, i cui risultati possono essere riassunti nei seguenti punti:

- nonostante sostanziali differenze tra gli studi relativamente a confini del sistema, UF, contesto geografico, ecc, si può ritenere che sia preferibile il recupero energetico della FORSU a quello materico, tramite integrazione di digestione anaerobica/compostaggio, semplice digestione anaerobica e in alcuni casi, termovalorizzazione. Tuttavia, bisogna tener presente che in alcuni contesti geografici e sociali, come in Sud Africa, che combatte contro una forte crisi energetica, sebbene la DA abbia registrato migliori performance soprattutto in termini di *global warming potential*, eutrofizzazione e domanda di energia, resta di fatto un'opzione troppo costosa e complessa dal punto di vista tecnologico, costringendo le popolazioni ad adottare soluzioni meno performanti ma certamente più semplici, come il recupero materico [10]. Un caso così emblematico potrebbe suggerire considerazioni di carattere generale riguardo la necessità di adottare l'approccio *Life Cycle Thinking* su ogni fronte: sarebbe utile avere informazioni complete delle opzioni analizzate, anche sotto il profilo economico e sociale, per effettuare scelte ancor più consapevoli;
- il compostaggio, nonostante sia ritenuto complessivamente un buon sistema di riciclaggio grazie all'ottenimento di compost che diventa un ottimo *carbon sink*, riduce le emissioni di origine fossile sostituendosi alla torba e fornendo azoto al terreno [11], genera notevoli emissioni di CH₄ e N₂O [12]. Queste emissioni potrebbero essere ridotte attraverso l'inceneri-

mento, nonostante i rifiuti biogenici non siano adatti a questa tecnica a causa dell'elevato contenuto di umidità [12]; per questo, gli scenari relativi a quest'ultima tecnica prevedono sempre che la componente organica venga sottoposta a combustione insieme ad altre frazioni di rifiuti, come la plastica, che presenta un alto potere calorifico [12].

Il presente lavoro si pone come primo tentativo di revisione, orientato verso una più ampia e critica analisi della letteratura al riguardo. Prospettive future, infatti, vertono sull'ampliamento del campione dei documenti analizzati, garantendo un maggior grado di attendibilità dei risultati, e sulla realizzazione di una meta analisi dei dati raccolti, al fine di fornire un ulteriore strumento interpretativo sull'argomento.

Bibliografia

- [1] **Mancini E., Arzoumanidis I. e Raggi A.**, Valutazione dei potenziali impatti ambientali legati a due opzioni di trattamento dei rifiuti organici in Abruzzo, Atti del Convegno "Resource Efficiency e Sustainable Development Goals: il ruolo del Life Cycle Thinking", Siena, 22-23 Giugno 2017 (in stampa).
- [2] **ISO 14040:2006(E)** Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. 2nd Edition 2006. International Organisation for Standardisation, Geneva.
- [3] **Morris J., Brown s., Cotton M., Matthews H. S.**, Life-cycle assessment harmonization and soil science ranking results on food waste management methods, *Environmental Science & Technology*, Vol. 51, 2017, pagg. 5360–5367.
- [4] **Zumsteg J. M., Cooper J. S., Noon M. S.**, Systematic review checklist: A standardized technique for assessing and reporting reviews of Life Cycle Assessment data, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 16 (Suppl. 1), 2012, pagg. S12-S21.
- [5] **Arafat H. A., Jijakli K., Ahsan A.**, Environmental performance and energy recovery potential of five processes for municipal solid waste treatment, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 105, 2015, pagg. 233-240.
- [6] **Pré - Product Ecology Consultants**, SimaPro 7.2.4 software, PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands, 2010.
- [7] **ThinkStep**, GaBi Software. <<http://www.gabi-software.com/international/software/>> [view 08/09/2017].
- [8] **Clavreul, J., Baumeister, H., Christensen, T.H., Damgaard, A.**, EASETECH e an environmental assessment system for environmental technologies, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 60, 2014, pagg.18-30.
- [9] **Hansen, T.L., Bhandar Gurbakhash, S., Christensen, T.H., Bruun, S., Jensen, L.S.**, Life cycle modelling of environmental impacts of application of processed organic municipal solid waste on agricultural land (Easewaste), *Waste Management and Research*, 24 (2), 2006, 153–166.
- [10] **Komakech A.J., Sundberg C., Jönsson H., Vinnerås B.**, Life cycle assessment of biodegradable waste treatment systems for sub-Saharan African cities, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 99, 2015, pagg. 100-110.
- [11] **Lombardi L., Carnevale E. A., Corti A.**, Comparison of different biological treatment scenarios for the organic fraction of municipal solid waste, *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 12, 2015, pagg. 1-14.
- [12] **Colón J., Cadena E., Colazo A.B., Quiró R., Sánchez A., Font X., Artola A.**, Toward the implementation of new regional biowaste management plans: Environmental assessment of different waste management scenarios in Catalonia, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 95, 2015, pagg. 143–155.