



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI BARI
ALDO MORO



DIPARTIMENTO JONICO IN SISTEMI
GIURIDICI ED ECONOMICI DEL MEDITERRANEO
SOCIETÀ, AMBIENTE, CULTURE
IONIAN DEPARTMENT OF LAW, ECONOMICS
AND ENVIRONMENT

16
2020

QUADERNI DEL DIPARTIMENTO JONICO

ESTRATTO da

I SIMPOSIO DEI DOTTORANDI SUL TEMA
DELLO SVILUPPO SOSTENIBILE

a cura di

Domenico Garofalo, Paolo Pardolesi, Anna Rinaldi

DOMENICO GAROFALO, PAOLO PARDOLESI, ANNA RINALDI

Il DJSGE e la sfida dello sviluppo sostenibile



EDJ ZIONI
SGE

ISBN: 978-88-945030-2-9

DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO

Riccardo Pagano

DIRETTORI DEI QUADERNI

Caludia Capozza – Adriana Schiedi – Stefano Vinci

COMITATO SCIENTIFICO

Cesare Amatulli, Massimo Bilancia, Annamaria Bonomo, Maria Teresa Paola Caputi Jambrenghi, Carnimeo Nicolò, Daniela Caterino, Nicola Fortunato, Pamela Martino, Maria Concetta Nanna, Fabrizio Panza, Pietro Alexander Renzulli, Umberto Salinas, Paolo Stefani, Laura Tafaro, Giuseppe Tassielli.

COMITATO DIRETTIVO

Aurelio Arnese, Danila Certosino, Luigi Iacobellis, Ivan Ingravallo, Ignazio Lagrotta, Francesco Moliterni, Paolo Pardolesi, Angela Riccardi, Claudio Sciancalepore, Nicola Triggiani, Antonio Felice Uricchio (in aspettativa per incarico assunto presso l'ANVUR), Umberto Violante

COMITATO DI REDAZIONE

Patrizia Montefusco (Responsabile di redazione)
Federica Monteleone, Danila Certosino,
Dottorandi di ricerca (Francesca Altamura, Michele Calabria, Marco Del Vecchio, Francesca Nardelli, Francesco Scialpi, Andrea Sestino, Pierluca Turnone)

Contatti:

Dipartimento Jonico in Sistemi Giuridici ed Economici del Mediterraneo: Società, Ambiente, Culture

Convento San Francesco – Via Duomo, 259 – 74123 Taranto, Italy

e-mail: quaderni.dipartimentojonico@uniba.it

telefono: + 39 099 372382 • fax: + 39 099 7340595

<https://www.uniba.it/ricerca/dipartimenti/sistemi-giuridici-ed-economici/edizioni-digitali>

16
2020 QUADERNI
DEL DIPARTIMENTO JONICO

I SIMPOSIO DEI DOTTORANDI SUL TEMA
DELLO SVILUPPO SOSTENIBILE

A cura di
DOMENICO GAROFALO, PAOLO PARDOLESI, ANNA RINALDI

Redazione a cura di Patrizia Montefusco



Il presente volume è stato chiuso per la pubblicazione in data 31 ottobre 2020 dall'editore "Dipartimento Jonico in Sistemi giuridici ed economici del Mediterraneo: società, ambiente, culture" dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro e messo in linea sul sito <http://edizionidjsge.uniba.it/i-quaderni> ed è composto di 464 pagine.

isbn 978-88-9450-302-9

REGOLAMENTO DELLE PUBBLICAZIONI DEL DIPARTIMENTO JONICO
IN SISTEMI GIURIDICI ED ECONOMICI DEL MEDITERRANEO:
SOCIETÀ, AMBIENTE, CULTURE – EDJSGE

Art. 1. Collane di pubblicazioni del Dipartimento Jonico

Il Dipartimento Jonico in Sistemi Giuridici ed Economici del Mediterraneo: società, ambiente, culture dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro ha tre distinte collane:

- **Collana del Dipartimento Jonico** (d'ora in poi Collana Cartacea), cartacea, affidata alla pubblicazione di una Casa Editrice individuata con Bando del Dipartimento, ospita lavori monografici, atti congressuali, volumi collettanei.
- **Annali del Dipartimento Jonico**, collana di volumi pubblicata on line dal 2013 sul sito <https://www.uniba.it/ricerca/dipartimenti/sistemi-giuridici-ed-economici>, ospita saggi, ricerche, brevi interventi e recensioni collegati alle attività scientifiche del Dipartimento Jonico. Gli Annali del Dipartimento Jonico hanno cadenza annuale.
- **Quaderni del Dipartimento Jonico**, collana di volumi pubblicata on line sul sito <https://www.uniba.it/ricerca/dipartimenti/sistemi-giuridici-ed-economici>, ospita lavori monografici, atti congressuali, volumi collettanei monotematici.

Art. 2. Coordinamento delle Collane del Dipartimento Jonico

È istituito un Coordinamento delle Collane del Dipartimento Jonico formato dai Direttori delle tre collane che dura in carica per un triennio.

Il Coordinamento è diretto dal Direttore del Dipartimento in qualità di Direttore della Collana cartacea, ed è convocato, secondo le necessità, anche su richiesta dei Direttori delle Collane.

La riunione del Coordinamento a discrezione del Coordinatore può essere allargata anche ai componenti dei Comitati Direttivi delle tre collane dipartimentali.

Il Coordinamento approva o rigetta le proposte di pubblicazione dei volumi delle Collane, dopo l'espletamento delle procedure di referaggio da parte dei Direttori e dei Comitati Direttivi. In caso di referaggi con esito contrastante, il Coordinamento decide sulla pubblicazione del contributo, sentito il parere del Comitato Direttivo della collana interessata. Il Coordinamento provvede alla formazione dei Comitati scientifici e dei Comitati Direttivi secondo le modalità stabilite dagli articoli successivi.

Art. 3. Direttori delle Collane

La Collana Cartacea è diretta d'ufficio dal Direttore del Dipartimento Jonico che può nominare uno o più condirettori scelti tra i membri del Consiglio di Dipartimento che siano in possesso degli stessi requisiti di seguito elencati per i Direttori degli Annali e i dei Quaderni.

Il/i Direttore/i degli Annali del Dipartimento Jonico è/sono eletto/i dal Consiglio di Dipartimento.

Il/i Direttore/i dei Quaderni del Dipartimento Jonico è/sono eletto/i dal Consiglio di Dipartimento.

L'accesso alle cariche di Direttore degli Annali e dei Quaderni è riservato ai docenti in servizio presso il Dipartimento Jonico ed in possesso dei seguenti requisiti:

- professori ordinari in possesso delle mediane ASN richieste per la partecipazione alle commissioni per le abilitazioni nazionali;
- professori associati in possesso delle mediane ASN per il ruolo di professore ordinario;

- RTI in possesso dell'abilitazione per la II o la I fascia, o in possesso delle mediane ASN per partecipare alle abilitazioni per la II fascia;
- RTB in possesso di abilitazione alla II o alla I fascia.

I Direttori ricevono le istanze di pubblicazione secondo le modalità prescritte dagli articoli seguenti, valutano preliminarmente la scientificità della proposta tenendo conto del *curriculum* del proponente e dei contenuti del lavoro e procedono, nel caso di valutazione positiva, ad avviare le procedure di referaggio.

I Direttori presiedono i lavori dei Comitati Scientifici e Direttivi e relazionano periodicamente al Coordinamento.

I Direttori curano che si mantenga l'anonimato dei revisori, conservano tutti gli atti delle procedure di referaggio, informano sull'esito delle stesse gli autori invitandoli, ove richiesto, ad apportare modifiche/integrazioni, decidono, d'intesa con il Coordinamento, la pubblicazione o meno in caso di pareri contrastanti dei *referees*.

Art. 4. Comitati scientifici

Ogni collana ha un proprio comitato scientifico composto dai professori ordinari e associati del Dipartimento Jonico.

Il Consiglio di Dipartimento può deliberare l'inserimento nel Comitato Scientifico di studiosi italiani o esteri non appartenenti al Dipartimento Jonico.

Art. 5. Comitati Direttivi

Ciascuna delle tre Collane ha un Comitato Direttivo formato da professori e ricercatori, afferenti al Dipartimento Jonico, in possesso, per il rispettivo settore disciplinare, delle mediane richieste dall'ASN per il ruolo successivo a quello ricoperto o, se ordinari, per la carica di commissario alle abilitazioni nazionali.

A seguito di invito del Coordinatore delle Collane del Dipartimento Jonico gli interessati presenteranno istanza scritta al Coordinamento che, in base alle indicazioni del Consiglio di Dipartimento, provvederà alla scelta dei componenti e alla loro distribuzione nei tre Comitati Direttivi.

I Comitati Direttivi collaborano con il Direttore in tutte le funzioni indicate nell'art. 3 ed esprimono al Coordinamento il parere sulla pubblicazione nella loro Collana di contributi che hanno avuto referaggi con esiti contrastanti.

Art. 6. Comitato di Redazione

Le tre Collane sono dotate di un Comitato di Redazione unico, composto da ricercatori, dottori di ricerca e dottorandi, afferenti al Dipartimento Jonico e individuati dai Comitati Direttivi, che, sotto la direzione di un Responsabile di Redazione (professore ordinario, associato o ricercatore), nominato dal Coordinamento delle Collane del Dipartimento Jonico, cura la fase di controllo *editing*, preliminare all'espletamento della procedura di referaggio.

Art. 7. Procedura di referaggio

Tutte le Collane del Dipartimento Jonico adottano il sistema di revisione tra pari (*peer review*) con le valutazioni affidate a due esperti della disciplina cui attiene la pubblicazione individuati all'interno dei Comitati Scientifici o Direttivi, oppure, ove ritenuto necessario, all'esterno dei predetti Comitati.

La procedura di referaggio è curata dal Direttore della Collana con l'ausilio dei rispettivi Comitati Direttivi.

Art. 8. Proposta di pubblicazione

La proposta di pubblicazione deve essere indirizzata al Direttore della Collana su modulo scaricabile dal sito <https://www.uniba.it/ricerca/dipartimenti/sistemi-giuridici-ed-economici>, nel quale il proponente dovrà indicare le proprie generalità e sottoscrivere le liberatorie per il trattamento dei dati personali e per l'eventuale circolazione e pubblicazione on-line o cartacea del lavoro.

Se il proponente è uno studioso "non strutturato" presso una università o centro di ricerca italiano o estero, la proposta di pubblicazione dovrà essere accompagnata da una lettera di presentazione del lavoro da parte di un professore ordinario della disciplina cui attiene la pubblicazione proposta.

Alla proposta di pubblicazione il proponente deve allegare il proprio *curriculum vitae et studiorum* (ovvero rinviare a quello già consegnato in occasione di una precedente pubblicazione) e il file del lavoro in due formati, word e pdf.

Per la pubblicazione sulla Collana Cartacea il proponente dovrà indicare i fondi cui attingere per le spese editoriali.

Le proposte di pubblicazione dovranno attenersi scrupolosamente ai criteri editoriali pubblicati sul sito <https://www.uniba.it/ricerca/dipartimenti/sistemi-giuridici-ed-economici/edizioni-digitali/come-pubblicare/criteri-redazionali-1>

Nel caso di non corrispondenza, o di corrispondenza parziale, il Responsabile di Redazione, coadiuvato dal Comitato di Redazione, invierà agli autori le indicazioni cui attenersi per la fase di *editing*.

Nel caso siano previste scadenze, pubblicate sul sito, la proposta dovrà tassativamente entro la data indicata, pena la non ammissibilità della stessa.

INDICE

DOMENICO GAROFALO, PAOLO PARDOLESI, ANNA RINALDI
Il DJSGE e la sfida dello sviluppo sostenibile. pag.9

SEZIONE I

GOAL N. 3 – SALUTE E BENESSERE

DANIELA LAFRATTA
*Tutela della salute e processi organizzativi nella sanità pubblica.
Un approccio al modello just in time nella prospettiva Kaizen.* pag.27

SEZIONE II

GOAL N. 4 – QUALITÀ DELL'ISTRUZIONE

PIERLUCA TURNONE
*L'idea di uomo nell'Agenda ONU 2030: una riflessione
antropologico-educativa* « 43

VALENTINA SAMPIETRO
Cultura, stile di vita sostenibile « 55

ROSATILDE MARGIOTTA
*La parola, strumento per lo sviluppo della democrazia:
traiettorie pedagogiche* « 71

SEZIONE III

GOAL N. 8 – LAVORO DIGNITOSO E CRESCITA ECONOMICA

MICHELE CALABRIA
Covid 19 e paralisi del mercato del lavoro tra sospensione

della condizionalità e blocco dei licenziamenti « 85

MICHELE DELEONARDIS

Lavoro autonomo e lavoro dignitoso nella prospettiva comunitari « 97

FRANCESCA NARDELLI

La questione salariale: il dibattito italiano ed europeo « 109

GIUSEPPE COLELLA

*Promozione del turismo sostenibile in un contesto urbano:
uno studio esplorativo sul caso Taranto capitale di mare* « 121

SEZIONE IV

GOAL N. 9 – IMPRESA, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE

ANNALISA TURI

Come il fisco può agevolare lo sviluppo sostenibile « 141

RAFFAELE MUTO

Bias e Monopoli « 151

SEZIONE V

GOAL N. 10 – RIDURRE LE DISEGUAGLIANZE

FEDERICA STAMERRA

Reddito di cittadinanza e riduzione delle disuguaglianze sociali « 165

STEFANO ROSSI

La disciplina lavoristica nel terzo settore « 175

ALESSIO CARACCIOLO

*L'accesso degli stranieri extra-UE alle prestazioni di assistenza
sociale* « 191

SONIA MEGGIATO

*Gender mainstreaming: dalle strategie comunitarie alle politiche
locali* « 205

VALERIA CASTELLI
*Quote rosa e nuovo codice di autodisciplina per le società
quotate: l'annosa problematica sociale della disuguaglianza
di genere* « 221

MARCO DEL VECCHIO
*Non tradirai la promessa. Il ruolo dei riti juju nelle esperienze
di tratta delle donne nigeriane* « 227

SEZIONE VI

GOAL N. 11 – CITTÀ E COMUNITÀ SOSTENIBILI

ANGELO RUGGERI
*L'innovazione strategica sostenibile nelle organizzazioni museali:
il caso del MarTa di Taranto* « 241

MAURIZIO MARAGLINO MISCIAGNA
*La co-creazione di valore nel settore pubblico:
spunti di riflessione* « 255

SEZIONE VII

GOAL N. 12 – CONSUMO E PRODUZIONE RESPONSABILI

ANDREA SESTINO
*Gli effetti del benessere sociale percepito sull'intenzione di
acquisto dei prodotti green* « 269

MASSIMO COCOLA
*La non financial disclosure nel processo di transizione
dei modelli organizzativi verso una prospettiva social orientated* « 287

FRANCESCO SCIALPI
*La plastic tax e la sugar tax nella legge di bilancio 2020:
limiti e prospettive* « 299

ROSA DI CAPUA, PETER A. RENZULLI
*Modellizzazione delle emissioni di biogas dalle discariche
di rifiuti solidi urbani: una review della letteratura* « 311

- ROSA DI CAPUA, PETER A. RENZULLI
Life cycle assessment di impianti di produzione di biodiesel da fanghi di depurazione: una review bibliografica « 325
- ROSA DI CAPUA, BRUNO NOTARNICOLA
Life cycle assessment di reattori fotovoltaici UV-C/TiO₂ per il trattamento di acque reflue: una review bibliografica « 337
- ROSA DI CAPUA,
Novità normative in materia di economia circolare e simbiosi industriale « 349

SEZIONE VIII

GOAL N. 13 – LOTTA CONTRO IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

- CLAUDIA ILARIA SOFIA LOVASCIO
Polluter pays principle: un dovere verso le nuove generazioni « 363
- ERVINA RRUGA
Lo standard europeo dei green bonds per lo sviluppo della finanza sostenibile: quale opportunità per l'ambiente? « 373
- FRANCESCA ALTAMURA
Gli strumenti di mercato nella lotta al cambiamento climatico: riflessioni in chiave di analisi economica del diritto « 389
- NICOLÒ TREGLIA
Lo stato dell'arte e i profili evolutivi della fiscalità dei prodotti energetici: dai combustibili fossili alle fonti rinnovabili nell'ottica di una transizione ecologica « 403

SEZIONE IX

GOAL N. 16 – PACE, GIUSTIZIA E ISTITUZIONI SOLIDE

- COSIMA ILARIA BUONOCORE
Il possibile contributo dell'arbitrato allo sviluppo sostenibile « 419

MARIO SANTORO

La tutela linguistica della persona offesa dal reato nel processo penale italiano

« 435

DORELLA QUARTO

La progressiva espansione del patrocinio a spese dello Stato in ambito penale: dall'estensione "in deroga" per le vittime vulnerabili alla preclusione per gli enti

« 449

Rosa Di Capua, Peter A. Renzulli

MODELLIZZAZIONE DELLE EMISSIONI DI BIOGAS DALLE DISCARICHE DI RIFIUTI SOLIDI URBANI: UNA *REVIEW* DELLA LETTERATURA

ABSTRACT

Il conferimento in discarica di rifiuti solidi urbani è una delle possibili soluzioni di gestione dei rifiuti con un impatto ambientale maggiore rispetto agli altri sistemi di smaltimento. Nell'ambito del Goal 12 dell'Agenda 2030 si prevede di raggiungere entro il 2020 la gestione eco-compatibile dei rifiuti durante il loro intero ciclo di vita. Numerosi studi scientifici hanno affrontato la valutazione degli impatti ambientali dei sistemi di smaltimento dei rifiuti solidi urbani attraverso l'uso della metodologia Life Cycle Assessment e risolvere la problematica della modellizzazione a lungo termine del gas di discarica. Attraverso una review della letteratura, il presente lavoro mira ad esaminare l'approccio metodologico, i modelli di calcolo e i principali aspetti considerati negli studi scientifici per la stima delle emissioni del gas di discarica.

Landfilling of municipal solid waste is one of the possible waste management solutions with a higher environmental impact than the other disposal systems. As part of Goal 12 of the 2030 Agenda, it is expected to achieve eco-friendly waste management throughout its life cycle by 2020. Numerous scientific studies have dealt with the environmental impacts assessment of municipal solid waste disposal systems through the use of the Life Cycle Assessment methodology and solve the problem of the long-term modelling of landfill gas. Through a review of the literature, the present work aims to examine the methodological approach, the calculation models and the main aspects considered in the scientific studies for the estimation of landfill gas emissions.

PAROLE CHIAVE

Discarica di rifiuti solidi urbani – biogas – Life Cycle Assessment

Municipal solid waste landfill - biogas - Life Cycle Assessment

SOMMARIO: 1. Introduzione. – 2. Materiali e metodi – 3. Modelli e strumenti per la stima a lungo termine del biogas da discarica - 4. Metodi per il calcolo del contenuto di carbonio biogenico degli RSU smaltiti in discarica – 5. Conclusioni - 6. Bibliografia

1. La gestione dei rifiuti solidi urbani (RSU) è un argomento di interesse primario per le autorità dei diversi paesi del mondo. La produzione di rifiuti e i suoi impatti ambientali stanno crescendo rapidamente a livello globale. Si stima che nel 2025 la produzione di RSU salirà a 2,2 miliardi di tonnellate (Hoorweg e Bhada-Tata, 2012). Gli RSU rappresentano un'importante fonte di metano, un gas che contribuisce all'effetto serra. Tra le varie soluzioni di gestione dei rifiuti solidi, la discarica è l'opzione di maggiore impatto (Cherubini et al., 2009). Infatti, la frazione organica biodegradabile contenuta nei rifiuti subisce un processo di degradazione anaerobica in

discarica, dando origine al gas di discarica, composto per circa il 50% da metano e per l'altro 50% da anidride carbonica. L'impatto dei rifiuti sui fenomeni di riscaldamento globale dovuti ai gas serra deriva principalmente dalle emissioni di metano biogenico. A questo proposito, secondo le ultime stime effettuate dal gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici, circa un terzo delle emissioni di metano antropogenico in Europa può essere attribuito a questa fonte (IPCC, 2013).

La quantificazione a lungo termine della produzione di biogas di discarica è cruciale sia per la valutazione degli impatti ambientali del sito di smaltimento dei rifiuti sia per la fattibilità tecnico-economica del sistema di estrazione del biogas per il recupero di energia. Numerosi studi di valutazione del ciclo di vita (LCA), applicati ai sistemi di gestione dei rifiuti, hanno affrontato il problema della quantificazione delle emissioni del gas di discarica nel lungo periodo a partire da una certa quantità di rifiuti smaltiti (Laurent et al., 2014). La quantificazione della produzione di gas in discarica viene normalmente effettuata attraverso modelli di produzione caratterizzati da una serie di parametri di input da calcolare (Cossu et al., 1996). Il calcolo di questi dati di input è particolarmente difficile, soprattutto se si devono tenere conto delle caratteristiche specifiche del sito della discarica oggetto di studio. Esistono diversi approcci e modelli adottati dagli autori per risolvere questo problema. Lo scopo di questo lavoro è quello di esaminare la metodologia utilizzata per quantificare le emissioni nell'atmosfera delle discariche di RSU analizzate nei vari casi studio al fine di evidenziare i modelli di calcolo e i principali aspetti considerati per la stima delle emissioni del gas di discarica.

2. L'analisi bibliografica degli studi scientifici sulla LCA applicata ai sistemi di gestione dei rifiuti solidi urbani è stata condotta consultando fonti bibliografiche internazionali: database (ad esempio Scopus), riviste scientifiche specifiche (Journal of Cleaner Production, Waste Management, The International Journal of Life Cycle Assessment, Journal of Environmental Management, International Journal of Environmental Science & Technology, Waste Management & Research, Resources, Conservation and Recycling), biblioteche e motori di ricerca (Google Books, Google Scholar). Gli articoli scientifici relativi alla modellizzazione del gas di discarica sono stati quindi identificati dalla ricerca di combinazioni di parole chiave come modellizzazione del biogas, produzione di biogas, gas di discarica, emissioni a lungo termine dalla discarica, emissioni di metano, processo di degradazione anaerobica. Questo metodo ha portato all'identificazione di 80 articoli scientifici relativi agli studi di LCA sulle discariche di rifiuti solidi urbani e alla modellizzazione a lungo termine del biogas. La bibliografia raccolta è stata classificata in base al tipo di modellizzazione utilizzata dagli autori per la stima delle emissioni di biogas a lungo termine per la quale è stato analizzato l'approccio metodologico. Per i principali modelli utilizzati per stimare le emissioni di biogas nel tempo, sono stati analizzati in dettaglio i seguenti aspetti: i dati di input richiesti dal modello, la quantificazione del biogas per tonnellata

di rifiuti smaltiti, la percentuale di raccolta di biogas, la composizione del gas di discarica, l'orizzonte temporale e la considerazione della CO₂ biogenica. L'analisi di questi aspetti ha permesso di evidenziare i punti critici dei modelli.

3. L'analisi del ciclo di vita dei sistemi di smaltimento di rifiuti solidi urbani, in particolare la stima delle rispettive emissioni, richiede spesso l'uso di modelli di calcolo complessi. Oltre all'uso di software generale utilizzato in varie applicazioni come SimaPro, Umberto, Team e GaBi, sono stati sviluppati nel tempo specifici programmi di calcolo per lo studio di LCA sulla gestione dei rifiuti. L'analisi bibliografica mostra che i modelli di calcolo utilizzati per la previsione della produzione di biogas nel lungo periodo sono diversificati. Considerando tutti gli 80 articoli scientifici analizzati, il 65% degli autori (52 articoli scientifici) utilizza modelli matematici specificamente progettati per il calcolo della produzione di biogas da discarica, mentre il 35% degli autori (28 articoli scientifici) utilizza principalmente dati di database e ipotesi di letteratura. La tabella 3-1 mostra i modelli matematici più utilizzati in letteratura per la stima della produzione di gas in discarica.

La maggior parte degli autori utilizza modelli di computer come EASEWASTE (Kirkeby et al., 2005), IWM-1 e IWM-2 (White et al., 1997; McDougall et al., 2001) e ORWARE (Eriksson et al., 2002). Il ventiquattro per cento degli studi scientifici utilizza modelli matematici che considerano l'evoluzione delle emissioni di biogas nel tempo utilizzando l'equazione del decadimento del primo ordine: modello LandGEM (EPA, 2005), gruppo intergovernativo di metodologia sui cambiamenti climatici (IPCC, 2006), modello triangolare di gas (Tchobanoglous et al., 1993) e School Canyon Model (Department of the Army US, 1995). Il quattordici per cento degli studi si riferisce a studi empirici e dati statistici locali utilizzando software di calcolo come WISARD (Pricewaterhouse Coopers, 2006), WAMPS (Stenmarck, 2009), WASTED (Diaz and Warith, 2006), Solid Waste Association of North America (SWANA) Modello (Ecobalance Inc., 1999) i cui dati sono stati sviluppati da agenzie locali. L'8% utilizza modelli deterministici come Stochastic Integrated Waste Management Simulator (SIWMS) e lo strumento di supporto alle decisioni (DST) (Solano et al, 2002). Ci sono anche autori che impiegano più modelli di calcolo nei loro studi (Winkler e Bilitewski, 2007).

Tabella 3-1: Modelli matematici utilizzati per la stima della produzione di gas in discarica e relativi studi che li utilizzano

Tipologia di modello	Modelli matematici	Numero di studi	Riferimenti bibliografici	% del totale degli studi
Modelli computerizzati	EASEWASTE	11	Andersen et al., 2012; Bernstad e la Cour Jansen, 2011; Boldrin et al., 2010; Damgaard et al., 2011; Fruergaard e Astrup, 2011; Gentil et al., 2011;	21%

			Kirkeby et al., 2006; Manfredi et al., 2009, 2011; Slagstad e Brattebø, 2012; Zhao et al., 2009	
	IWM-2	6	Arena et al., 2003; Aye e Widjaya, 2006; Bovea et al., 2006, 2010; Güereca et al., 2006; Yi et al., 2011	11%
	ORWARE	6	Assefa et al., 2005; Björklund et al., 1999, 2000; Carlsson Reich, 2005; Dalemo et al., 1997; Eriksson et al., 2005	11%
	IWM-1	5	Beccali et al., 2001; Beigl e Salhofer, 2004; Tan e Khoo, 2006; Özeler et al., 2006; Yi et al., 2011	10%
Subtotale		28	-	53%
Modelli basati sull'equazione di decadimento del primo ordine	LandGEM	4	Abduli et al., 2011; Gunamantha e Sarto, 2012; Lagos et al., 2017; Talaiekhozani et al., 2018	8%
	IPCC	4	Lee et al., 2007; Mendes et al., 2003, 2004; Menikpura et al., 2012	8%
	Triangular Gas	3	Cabaraban et al., 2008; Koroneos e Nanaki, 2012; Saheri et al., 2012	6%
	School Canyon	1	Assamoi e Lawryshyn, 2012	2%
Subtotale		12	-	24%
Software di calcolo basato su dati statistici locali	WISARD	4	Buttol et al., 2007; Clift et al., 2000; De Feo e Malvano, 2009; Emery et al., 2007	8%
	WAMPS	1	Miliūte e Kazimieras Staniškis, 2010	2%
	WASTED	1	Diaz and Warith, 2006	2%
	SWANA	1	Ménard et al., 2004	2%
Subtotale		7	-	14%
Modelli deterministici	Decision Support Tool (DST)	3	Kaplan et al., 2009; Morris, 2005; Thorneloe et al., 2007	6%
	SIWMS	1	Hanandeh e El-Zein, 2010	2%
Subtotale		4	-	8%
Altri modelli	Modelli multipli	1	Winkler e Bilitewski, 2007	2%
Numero totale degli studi		52	-	100%

Il restante 35% degli articoli scientifici analizzati in questa review utilizza metodi non matematici, di cui il 57% stima le emissioni di biogas utilizzando dati e ipotesi dalla letteratura, il 14% si riferisce semplicemente a dati specifici del sito di smaltimento oggetto di studio, L'11% utilizza i dati predefiniti dei database LCA più comuni (BUWAL 250, 1998; ANPA, 2000) e il 4% utilizza lo schema EPD (PSR 2003: 3). Alcuni degli studi scientifici selezionati escludono la modellizzazione del biogas dai confini del sistema poiché lo smaltimento in discarica riguarda la frazione di rifiuti non biodegradabile.

4. Considerare la composizione degli RSU che entrano in discarica rappresenta un importante punto di partenza per la modellizzazione del biogas. La maggior parte degli

autori che si occupano del problema della quantificazione del gas di discarica considerano, oltre alla quantità di rifiuti smaltiti nell'anno di riferimento, il tipo di rifiuti inviati in discarica e il relativo contenuto di sostanza organica biodegradabile. La qualità dei dati considerata nello studio è molto importante per questo scopo. In questa revisione della letteratura, il 70% degli studi specifica la fonte di riferimento dei dati sulla composizione dei rifiuti.

Dall'analisi bibliografica degli articoli scientifici che specificano il tipo di dati sulla composizione dei rifiuti, emerge che il 40% degli autori fa riferimento a dati specifici del sito di smaltimento, mentre il 26% stima la composizione elementare delle diverse frazioni di rifiuti utilizzando i dati dalla letteratura. Gli studi rimanenti (34%) utilizzano dati predefiniti di database LCA, dati da fonti statistiche nazionali o locali o dati da fonti miste. In generale, l'uso di dati specifici del sito, quantificati tramite uno studio sul campo con analisi di laboratorio, consente una modellazione più realistica delle emissioni.

Gli autori che fanno uso di dati specifici del sito, oltre a considerare il peso percentuale delle diverse frazioni di rifiuti, prendono in considerazione alcune importanti caratteristiche dei rifiuti come densità, contenuto di umidità, contenuto di sostanze volatili, temperatura e pH dei rifiuti, passando infine al calcolo del contenuto di carbonio biogenico per ogni frazione di rifiuto (Gunamantha e Sarto, 2012). I cosiddetti modelli di decadimento del primo ordine e gli studi basati sulla metodologia IPCC fanno spesso uso di questi dati. I dati di letteratura sono spesso usati per definire la composizione chimica elementare delle diverse frazioni di RSU e quindi per ricavare il contenuto di carbonio e calcolare i relativi fattori di degradazione (Koroneos et al., 2012; Cherubini et al., 2008; Hanandeh et al., 2010; Hong et al., 2010). Alcuni studi LCA che modellano la produzione di biogas utilizzando software di calcolo specifici come EASEWASTE, ORWARE, WISARD e DST fanno riferimento alla composizione dei rifiuti riportata nei database e alle caratteristiche dell'area geografica dello studio (Boldrin et al., 2010; Dalemo et al., 1997; Buttold et al., 2007; Morris, J., 2005). Alcuni autori includono dati sulla composizione chimico-fisica dei rifiuti utilizzando fonti statistiche nazionali, regionali o locali. A questo proposito, vengono presi in considerazione i valori medi di composizione degli RSU del paese, della regione o della città in cui si trova la discarica (Eriksson et al., 2005; Thorneloe et al., 2007).

Infine, ci sono autori che usano varie fonti per definire la composizione rappresentativa di RSU, come la possibilità di utilizzare sia studi empirici di località vicine sia sondaggi statistici locali (Miliūte e Kazimieras Staniškis, 2010). Il contenuto di carbonio biogenico nella massa di rifiuti dipende fortemente dalla frazione biodegradabile organica degli RSU che nei casi di studio analizzati varia da una percentuale del 35% al 90% dei rifiuti totali smaltiti in discarica. Gli studi analizzati utilizzano metodi diversi per il calcolo di questi importanti dati di input necessari per determinare la quantità di carbonio organico biogenico che sarà sottoposto a processi

di biodegradazione nel lungo periodo (DOCf). La tabella 3-2 mostra un elenco delle linee guida seguite dagli autori nella determinazione del contenuto di carbonio organico degradabile (DOC) delle diverse frazioni di RSU smaltite in discarica.

Tabella 3-2: Metodi per il calcolo del contenuto di carbonio organico degradabile (DOC) negli RSU

Metodi per il calcolo del contenuto DOC in RSU	Autori che li utilizzano
IPCC, 2006	Gunamantha e Sarto, 2012; Lee et al., 2007; Menikpura et al., 2012;
Bingemer and Crutzen, 1987	Hanandeh e El-Zein, 2010
Tabasaran and Rettenberger, 1987	Pires et al., 2011
Sundqvist, 1999	Dalemo et al., 1997; Koroneos e Nanaki, 2012

La metodologia sviluppata dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) ha definito valori predefiniti per il calcolo del carbonio biogenico di diverse frazioni di RSU (contenuto DOC in percentuale del peso umido o secco dei rifiuti), a partire dalle frazioni di rifiuti con il più alto contenuto di DOC, come i rifiuti alimentari, ai rifiuti inerti come le ceneri. Questi studi e quelli della US Environmental Protection Agency (EPA, 2005) indicano un valore di circa il 50% per il DOCf. Gli studi scientifici che seguono la metodologia di Bingemer e Crutzen stimano il contenuto totale di carbonio biodegradabile nei rifiuti utilizzando la seguente formula:

$$CT = \sum (1 - MCx) \times Cx \times Wx$$

dove:

MCx = contenuto di umidità dei rifiuti;

Cx = percentuale di carbonio nella massa dei rifiuti;

Lx = quantità di rifiuti smaltiti in discarica.

A partire da questa formula, la percentuale di carbonio disponibile per la biodegradazione può essere stimata con il seguente rapporto (Tabasaran e Rettenberger, 1987):

$$C_e/C_0 = 0,014T + 0,28$$

dove:

C_e/C_0 = rapporto tra il carbonio disponibile per la biodegradazione e il contenuto totale di carbonio biodegradabile nei rifiuti;

T = la temperatura media all'interno della massa residua espressa in °C.

In condizioni anaerobiche, le temperature all'interno della massa dei rifiuti possono raggiungere valori compresi tra 30 e 35° C (Pires et al., 2011). Un altro metodo per calcolare il contenuto DOC è quello proposto da Sundqvist et al. (1999) che assegna delle rese di degradazione (kg di carbonio degradato per kg di carbonio) a diversi

composti di rifiuti organici. Queste rese vanno da un minimo dello 0% per la lignina fino ad un massimo del 100% per carboidrati, proteine e grassi degradabili.

5. L'analisi di casi studio sull'applicazione dell'LCA ai sistemi di smaltimento dei rifiuti ha messo in evidenza come il calcolo delle emissioni di biogas da discarica può essere effettuato utilizzando diversi modelli matematici. Come già evidenziato nella Tabella 3-1, i primi cinque metodi in ordine di utilizzo rappresentano il 60% del totale. Dallo studio di questi modelli è stato possibile identificare i dati di input richiesti per la modellizzazione del biogas e i dati di output risultanti dalla stima mostrata nella tabella 3-3.

Tabella 3-3: Dati di input e output dei principali modelli matematici utilizzati per stimare il biogas nel tempo

Principali modelli di stima del gas di discarica	Dati di INPUT richiesti dal modello	Quantificazione del biogas per tonnellata di rifiuti smaltiti (m ³ /t)	% captazione di biogas	Composizione di biogas	Orizzonte temporale di modellazione	CO ₂ biogenica (preso in considerazione SI/NO)
EASEWASTE	- Dati sulla produzione di rifiuti; - Dati sulla composizione chimico-fisica delle diverse frazioni di rifiuti; - Caratteristiche tecniche e operative della discarica.	variabile in quattro periodi di tempo definiti	variabile in quattro periodi di tempo definiti	variabile in quattro periodi di tempo definiti	100 anni	Neutrale in fase di caratterizzazione
IWM-1/ IWM-2	- Dati di produzione di rifiuti; - Dati sulla composizione di quattro flussi di rifiuti considerati dal modello; - Dati relativi all'ubicazione e alle caratteristiche tecniche e operative della discarica.	250 Nm ³ /t	40%-90%	50-55% CH ₄ e 44% CO ₂ (% in volume)	30 anni	No
ORWARE	Dati e caratteristiche tipiche di una discarica svedese con scarse possibilità di utilizzare dati specifici del sito.	Non specificato	50%	Non specificato	100 anni	Yes
LandGem	-Quantità dei rifiuti smaltiti all'anno;	170 Nm ³ /t	Non specificato	50% CH ₄ e 50% CO ₂ (% in volume)	fino a 200 anni	No

	-Dati sulla composizione chimico-fisica dei rifiuti; -Contenuto di umidità, pH e temperatura della massa di rifiuti; -Parametri ambientali; - Caratteristiche tecniche e operative della discarica.					
--	--	--	--	--	--	--

L'analisi dei più comuni modelli matematici utilizzati in letteratura per la stima delle emissioni di biogas nel lungo periodo, sottolinea come tutti questi modelli richiedano come dati di input la quantità e le caratteristiche dei rifiuti inviati in discarica, le caratteristiche ambientali dell'area in cui la discarica è localizzata e le caratteristiche tecniche e gestionali del sito di smaltimento. I risultati ottenuti dalla modellizzazione delle emissioni di biogas utilizzando i modelli sopra illustrati mostrano come la quantificazione del biogas per tonnellata di rifiuti solidi urbani smaltiti si aggiri intorno ad un valore medio di 210 Nm³. Il software di calcolo EASEWASTE divide il lasso di tempo della produzione di biogas in quattro periodi di tempo definiti per ciascuno dei quali assegna una diversa percentuale di generazione, captazione e composizione del biogas. Per quanto riguarda le stime sull'efficienza della captazione di biogas, questo parametro può variare da un minimo del 40% a un massimo del 90% e dipende dalle dimensioni, dalla forma e dalla progettazione tecnica della discarica. Questi modelli presuppongono che nel lungo periodo il biogas sarà composto per il 50% da metano e per il 50% da anidride carbonica, come confermato dai numerosi studi scientifici analizzati. L'orizzonte temporale preso come riferimento dai modelli matematici analizzati per stimare la produzione di biogas nel lungo periodo varia da un minimo di 30 anni nel caso dei modelli IWM-1/IWM-2 a un massimo di 200 anni nel caso di Modello LandGem. Questo parametro temporale è un fattore molto importante nella stima delle emissioni nell'atmosfera prodotte da un sito di smaltimento, poiché il carbonio biogenico presente nei rifiuti subirà un processo di biodegradazione in un periodo non inferiore a trenta anni. La CO₂ generata dal processo di formazione del biogas ha una natura biogenica e per questo motivo non influirà sulla categoria dell'effetto serra. Per questo motivo, la maggior parte degli studi lo considera neutrale nella fase di caratterizzazione. In conclusione, è possibile affermare che questa review della letteratura mostra come i modelli matematici utilizzati per stimare le emissioni di biogas nel lungo periodo siano complessi perché hanno molti parametri da impostare per la modellizzazione. Inoltre, è anche molto difficile disporre di dati specifici richiesti per il funzionamento dei modelli indicati.

Bibliografia:

Abduli, M. A., Naghib, A., Yonesi, M., & Akbari, A. (2011). Life cycle assessment (LCA) of solid waste management strategies in Tehran: landfill and composting plus landfill. *Environmental monitoring and assessment*, 178(1-4), 487-498.

Andersen, J. K., Boldrin, A., Christensen, T. H., Scheutz, C. (2012). Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: an environmental assessment using life cycle assessment-modelling. *Waste management*, 32(1), 31-40.

Arena, U., Mastellone, M. L., & Perugini, F. (2003). The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study. *Chemical Engineering Journal*, 96(1-3), 207-222.

Assamoi, B., & Lawryshyn, Y. (2012). The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting for waste diversion. *Waste management*, 32(5), 1019-1030.

Assefa, G., Björklund, A., Eriksson, O., & Frostell, B. (2005). ORWARE: an aid to environmental technology chain assessment. *Journal of Cleaner Production*, 13(3), 265-274.

Aye, L., & Widjaya, E. R. (2006). Environmental and economic analyses of waste disposal options for traditional markets in Indonesia. *Waste management*, 26(10), 1180-1191.

Beccali, G., Cellura, M., & Mistretta, M. (2001). Managing municipal solid waste. *The Int. journal of LCA*, 6(4), 243-249.

Beigl, P., & Salhofer, S. (2004). Comparison of ecological effects and costs of communal waste management systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(2), 83-102.

Bernstad, A., & la Cour Jansen, J. (2011). A life cycle approach to the management of household food waste—a Swedish full-scale case study. *Waste management*, 31(8), 1879-1896.

Bingemer, H.G., Crutzen, P.J., 1987. The production of methane from solid waste. *Journal of Geophysical Research* 92, 2181–2187.

Björklund, A., Dalemo, M., Sonesson, U. (1999). Evaluating a municipal waste management plan using orware, *Journal of Cleaner Production* 7 (1999) 271–280.

Björklund, A., Bjuggren, C., Dalemo, M., Sonesson U. (2000). Planning Biodegradable Waste Management in Stockholm, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 3, N. 4, pp. 43-58.

Boldrin, A., Hartling, K. R., Laugen, M., & Christensen, T. H. (2010). Environmental inventory modelling of the use of compost and peat in growth media preparation. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1250-1260.

Bovea, M.D., Powell, J.C. (2006). Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management, *Journal of Environmental Management* 79 (2006) 115–132.

Buttol, P., Masoni, P., Bonoli, A., Goldoni, S., Belladonna, V., Cavazzuti, C. (2007). LCA of integrated MSW management systems: Case study of the Bologna District, *Waste Management* 27 (2007) 1059–1070.

BUWAL 250, 1998. Life cycle inventory for packagings, vols. I and II. Environmental Series No. 250/I and II. Berne, Switzerland: Swiss Agency for the Environment, Forest and Landscape (SAEFL).

Cabaraban, M.T.I., Khire, M.V., Alocilja, E.C. (2008). Aerobic in-vessel composting versus bioreactor landfilling using life cycle inventory models, *Clean Techn Environ Policy* (2008) 10, 39-52.

Carlsson Reich, M. (2005). Economic assessment of municipal waste management systems—case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC). *Journal of Cleaner Production*, 13(3), 253-263.

Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2008). Life cycle assessment of urban waste management: Energy performances and environmental impacts. The case of Rome, Italy. *Waste management*, 28(12), 2552-2564.

Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S., 2009. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34(12), 2116-2123.

Cossu R., Andreottola G., Muntoni A. (1996). Modelling landfill gas production. In "Landfilling of Waste: Biogas", Christensen T.H., Cossu R. e Stegmann R. Eds. (Editore E&FN SPON of Chapman & Hall), pp. 237-268. ISBN 0 419 19400 2.

Clift, R., Doig, A., & Finnveden, G. (2000). The application of life cycle assessment to integrated solid waste management: Part 1—Methodology. *Process Safety and Environmental Protection*, 78(4), 279-287.

Damgaard, A., Manfredi, S., Merrild, H., Stensøe, S., & Christensen, T. H. (2011). LCA and economic evaluation of landfill leachate and gas technologies. *Waste management*, 31(7), 1532-1541.

Dalemo, M., Sonesson, U., Björklund, A., Mingarini, K., Frostell, B., Jönsson, H., ... & Thyselius, L., 1997. ORWARE—A simulation model for organic waste handling systems. Part 1: Model description. *Resources, Conserv. and recycling*, 21(1), 17-37.

De Feo, G., Malvano, C. (2009). The use of LCA in selecting the best MSW management system. *Waste manag.*, 29(6), 1901-1915.

Diaz, R., & Warith, M. (2006). Life-cycle assessment of municipal solid wastes: Development of the WASTED model. *Waste management*, 26(8), 886-901.

Emery, A., Davies, A., Griffiths, A., & Williams, K. (2007). Environmental and economic modelling: A case study of municipal solid waste management scenarios in Wales. *Resources, Conservation and Recycling*, 49(3), 244-263.

EPA, 2005. U.S. Landfill Gas Emissions Model. LandGem v 3.02. Environmental Protection Agency Office of Research and Development Washington, DC 20460. <https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>

Eriksson, O., Reich, M. C., Frostell, B., Björklund, A., Assefa, G., Sundqvist, J. O., Granath, J., Bajy, A., Thyselius, L. (2005). Municipal solid waste management from a systems perspective. *Journal of Cleaner Production*, 13(3), 241-252.

- Fruergaard, T., Astrup, T., 2011. Optimal utilization of waste-to-energy in an LCA perspective. *Waste Management*, 31(3), 572-582.
- Gentil, E.C., Gallo, D., Christensen, T.H. (2011). Environmental evaluation of MSW prevention. *Waste manag.*, 31(12), 2371-2379.
- Güereca, L. P., Gassó, S., Baldasano, J. M., & Jiménez-Guerrero, P. (2006). Life cycle assessment of two biowaste management systems for Barcelona, Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 49(1), 32-48.
- Gunamantha, M., Sarto (2012). Life cycle assessment of municipal solid waste treatment to energy options: Case study of KARTAMANTUL region, Yogyakarta. *Renewable energy*, 41, 277-284.
- Hanandeh, A. E., & El-Zein, A. (2010). Life-cycle assessment of municipal solid waste management alternatives with consideration of uncertainty: SIWMS development and application. *Waste Management*, 30(5), 902-911.
- Hoorweg, D., Bhada-Tata, P., 2012. *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Washington D.C., World Bank, Urban Development & Local Government Unit, March 2012, No. 15, 98.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5. Waste*. Chapter 2: Waste generation, composition and management data. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>
- IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1535 pp.
- Kaplan, P. O., Ranjithan, S. R., & Barlaz, M. A. (2009). Use of life-cycle analysis to support solid waste management planning for Delaware. *Environ. Sci. Technol.*, 43, 1264–1270.
- Kirkeby, J.T., Birgisdottir, H., Hansen, T.L., Christensen, T.H., Bhandar, G.S., & Hauschild, M. (2006). Evaluation of environmental impacts from MSW management in the municipality of Aarhus, Denmark (EASEWASTE). *Waste Management & Research*, 24(1), 16-26.
- Koroneos, C. J., & Nanaki, E. A. (2012). Integrated solid waste management and energy production-a life cycle assessment approach: the case study of the city of Thessaloniki. *Journal of Cleaner Production*, 27, 141-150.
- Lagos, D. A., Héroux, M., Gosselin, R., & Cabral, A. R. (2017). Optimization of a landfill gas collection shutdown based on an adapted first-order decay model. *Waste Management*, 63, 238-245.
- Laurent, A., Clavreul, J., Bernstad, A., Bakas, I., Niero, M., Gentil, E., Christensen, T.H., Hauschild, M.Z., 2014. Review of LCA studies of solid waste management systems–Part II: Methodological guidance for a better practice. *Waste management*, 34(3), 589-606.

Lee, S. H., Choi, K. I., Osako, M., & Dong, J. I. (2007). Evaluation of environmental burdens caused by changes of food waste management systems in Seoul, Korea. *Science of the Total Environment*, 387(1), 42-53.

Manfredi, S., & Christensen, T. H. (2009). Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling. *Waste management*, 29(1), 32-43.

Manfredi, S., Tonini, D., & Christensen, T. H. (2011). Environmental assessment of different management options for individual waste fractions by means of life-cycle assessment modelling. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 995-1004.

Ménard, J.-F., Lesage, P., Deschénes, L., Samson, R. (2004). Comparative Life Cycle Assessment of Two Landfill Technologies for the Treatment of Municipal Solid Waste, *Int J LCA* 9 (6) 371 – 378.

Mendes, M. R., Aramaki, T., & Hanaki, K. (2003). Assessment of the environmental impact of management measures for the biodegradable fraction of municipal solid waste in Sao Paulo City. *Waste Management*, 23(5), 403-409.

Mendes, M. R., Aramaki, T., & Hanaki, K. (2004). Comparison of the environmental impact of incineration and landfilling in São Paulo City as determined by LCA. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(1), 47-63.

Menikpura, S. N. M., Gheewala, S. H., & Bonnet, S. (2012). Sustainability assessment of municipal solid waste management in Sri Lanka: problems and prospects. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 14(3), 181-192.

Miliūte, J., & Kazimieras Staniškis, J. (2010). Application of life-cycle assessment in optimisation of municipal waste management systems: the case of Lithuania. *Waste Management & Research*, 28(4), 298-308.

Morris, J. (2005). Comparative LCAs for curbside recycling versus either landfilling or incineration with energy recovery (12 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 10(4), 273-284.

Özeler, D., Yetiş, Ü., & Demirel, G. N. (2006). Life cycle assesment of municipal solid waste management methods: Ankara case study. *Environment International*, 32(3), 405-411.

Pires, A., Chang, N. B., & Martinho, G. (2011). Reliability-based life cycle assessment for future solid waste management alternatives in Portugal. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(4), 316-337.

PSR 2003:3 Product – Specific Requirements (PSR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group Collecting and disposal service of Municipal Solid Waste (MSW) in a sanitary landfill. http://www.environdec.com/psr/e_psr0303.pdf

Saheri, S., Mir, M. A., Basri, N. E. A., Mahmood, N. Z., & Begum, R. A. (2012). Life cycle assessment for solid waste disposal options in Malaysia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(5), 1377-1382.

Slagstad, H., & Brattebø, H. (2012). LCA for household waste management when planning a new urban settlement. *Waste management*, 32(7), 1482-1490.

Solano, E., Ranjithan, S. R., Barlaz, M. A., & Brill, E. D. (2002). Life-cycle-based solid waste management. I: Model development. *Journal of Environmental Engineering*, 128(10), 981-992.

Sundqvist, J.-O., 1999. Life Cycle Assessments and Solid Waste. Guidelines for Solid Waste Treatment and Disposal in LCA. Swedish Environmental Research Institute, Stockholm, Sweden. Final Report 279, 1e133, IVL, AFR-Report.

Tabasaran O, Rettenberger R (1987). Basis for the planning of biogas extraction manual. Erich Schmidt Verlag, Berlin

Talaiekhosani, A., Nematzadeh, S., Eskandari, Z., Dehkordi, A. A., & Rezaia, S. (2018). Gaseous emissions of landfill and modeling of their dispersion in the atmosphere of Shahrekord, Iran. *Urban climate*, 24, 852-862.

Tan, R. B., & Khoo, H. H. (2006). Impact assessment of waste management options in Singapore. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(3), 244-254.

Thorneloe, S.A., Weitz, K., Jambeck, J., 2007. Application of the US decision support tool for materials and waste management. *Waste Management* 27, 1006–1020.

Yi, S., Kurisu, K. H., & Hanaki, K. (2011). Life cycle impact assessment and interpretation of municipal solid waste management scenarios based on the midpoint and endpoint approaches. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(7), 652-668.

Winkler, J., & Bilitewski, B. (2007). Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management. *Waste management*, 27(8), 1021-1031.

Zhao, Y., Wang, H. T., Lu, W. J., Damgaard, A., & Christensen, T. H. (2009). Life-cycle assessment of the municipal solid waste management system in Hangzhou, China (EASEWASTE). *Waste Management & Research*, 27(4), 399-406.