
VIII Convegno della Rete Italiana LCA

I nuovi orizzonti dell’LCA: verso un approccio sistemico e integrato alla progettazione di prodotti, processi e servizi

**Firenze
19-20 giugno 2014**

a cura di **Simona Scalbi e Arianna Dominici Loprieno**



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
INDUSTRIALE

ENEA

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



VIII Convegno Scientifico dell'Associazione Rete Italiana LCA

I nuovi orizzonti dell'LCA: verso un approccio sistemico e integrato alla progettazione di prodotti, processi e servizi

Firenze, 19-20 giugno 2014

A cura di Simona Scalbi e Arianna Dominici Loprieno

2014 ENEA
Agenzia per le nuove tecnologie, l'energia
e lo sviluppo economico sostenibile

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

ISBN 978-88-8286-306-7

Indice

<i>Prefazione</i>	6
METODOLOGIA	7
Una metodologia multicriteriale per la valutazione integrata della sostenibilità di sistemi produttivi cerealicoli	8
Benefici ambientali derivanti dall'applicazione di criteri di Life Cycle Design e della metodologia Life Cycle Assessment nella progettazione e sviluppo di una linea di accessori per ufficio	15
Approccio chimico-fisico alla sistematizzazione del fattore di scala nell'analisi del ciclo di vita	23
L'approccio di ciclo di vita e l'eco-innovazione come strategia di sviluppo territoriale	31
Quale integrazione è possibile tra Life Cycle Assessment e Risk Assessment?	
Risposte dalla letteratura recente	39
Life cycle sustainability assessment to support product design: a discussion	46
Il problema dell'allocazione nei processi multifunzionali: la produzione di allumina da alluminio secondario	52
	52
	58
CARBON FOOTPRINT	58
Carbon Footprint degli alimenti: costruzione di una banca dati per il progetto Meneghina Express	59
La Carbon Footprint di un'organizzazione: il caso studio dell'Università di Milano Bicocca	66
Carbon footprint: veicoli flexible fuel alimentati ad E85 prodotto da colture dedicate di Arundo donax	73
	73
La valutazione del Carbon Footprint nella filiera olivicola-elaiotecnica nel centro Italia. Il caso studio dell'Abruzzo	81
Carbon Footprint di cinque aziende florovivaistiche della Riviera di Ponente in Liguria	87
EDILIZIA	94
La Life Cycle Assessment come strumento di supporto per le piccole e medie imprese: un caso studio in Sicilia	95
Valutazione LCA degli interventi per la conservazione e manutenzione delle superfici di facciata	101
LCA di materiali isolanti in calcecanapulo per edilizia sostenibile	109
Analisi ambientale di smalto ceramico ottenuto da scorie derivanti dalla produzione del rame	116
Sviluppi degli studi LCA in edilizia: potenzialità di diffusione e ampliamento degli indicatori ambientali e dei confini di sistema	123
Modello Metabolico Urbano come strumento per l'analisi di sostenibilità dei sistemi idrici urbani: il caso studio di Reggio Emilia	130
Valutazione della sostenibilità della pratica di riciclo a freddo in-situ di pavimentazioni stradali in conglomerato bituminoso	137
LCA "from cradle to gate" di un pannello X-lam: influenza della metodologia e del tipo di allocazione	144
LCA propedeutica all'ottenimento della dichiarazione ambientale di prodotto di un modulo abitativo prefabbricato con elementi pultrusi fibrorinforzati	151
Analisi del ciclo di vita per la fase di posa in opera di un edificio per uso abitativo	159
AGRO-ALIMENTARE	167
Confronto tra modelli per la stima delle emissioni da fertilizzanti: il caso del mais da granella	168
Conciliare sicurezza alimentare e impatti ambientali: Water Footprint di scenari di produzione agricola nella Striscia di Gaza	176
Impatto ambientale delle operazioni agricole di campo: effetto della scelta della macchina operatrice edelle condizioni pedologiche	183
Applicazioni del metodo LCA per la comparazione delle prestazioni ambientali di tre sistemi di produzione di latte ovino a diversi livelli di input	190

The surplus production in the wine sector: environmental costs analyzed by LCA, the case of an Italian winery	197
Life Cycle Thinking applicato alla filiera ovina: una rassegna critica	205
RIFIUTI	213
Comparison between the environmental performances of plastic, bioplastic and additivated plastic	214
MFA e LCA del sistema di gestione dei RAEE in Regione Lombardia: focus sui piccoli elettrodomestici	220
The use of leaching data in LCA: landfilling of Hospital Waste incineration bottom ash	227
Analisi ambientale di processi di recupero di prodotti sanitari assorbenti	235
Confronto di scenari di gestione dei rifiuti urbani	243
Evaluation of different waste management systems for mixed MSW and organic fraction by Life Cycle Assessment: case studies	251
Fitorimediazione o escavazione e smaltimento in discarica? L'analisi del ciclo di vita (LCA) come strumento metodologico per la valutazione delle tecniche di bonifica dei siti contaminati	258
Handling agricultural residues in LCAs – A case study on woodchips from apple orchards in South Tyrol	271
Implementazione di un modello di LCA per l'analisi ambientale del servizio di pulizia di un presidio ospedaliero: il caso dell'ospedale di Conegliano	278
Impatti ambientali del processo di termovalorizzazione di rifiuti urbani: un approccio misto LCA e SFA	285
ENERGIA E NUOVE TECNOLOGIE	292
Analisi LCA comparativa di produzione da biogas di energia elettrica e biometano	293
Biogas use: a comparison of different alternatives	300
Impatti energetico-ambientali connessi alla produzione di energia elettrica in Sicilia	307
Valutazione dell'ecosostenibilità di nuove tecnologie: produzione di QDsLED con stampaggio tramite "direct laser micropatterning"	313
L'integrazione di Life Cycle Assessment e Water Footprint per la valutazione delle bioenergie	323
Analisi ambientale comparativa tra tecnologia fotovoltaica ed eolica	330
PREMIO GIOVANI RICERCATORI	337
1° CLASSIFICATO: Water footprint indicators within life cycle impact assessment to support the concept and design of a new product	338
2° CLASSIFICATO a pari merito: L'approccio Footprint Family applicato alla filiera agroalimentare: il sistema melicolo della Provincia di Torino	345
2° CLASSIFICATO a pari merito: Analisi combinata MFA/SFA/LCA per la definizione del ruolo chiave dei trattamenti termici per il recupero di materia ed energia nei piani di gestione dei rifiuti urbani	352
Relazioni su invito	359

Impatto ambientale delle operazioni agricole di campo: effetto della scelta della macchina operatrice e delle condizioni pedologiche

Jacopo Bacenetti¹, Alessandra Fusi¹, Marco Fiala¹

¹Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali – Produzione, Territorio, Agroenergia
Università degli Studi di Milano
Via G. Celoria 2, Milano, 20133
Email Coordinatore: marco.fiala@unimi.it

Abstract

In un contesto agricolo come quello italiano, caratterizzato dalla molteplicità di areali di coltivazione, contraddistinti da situazioni pedoclimatiche e operative differenti, l'utilizzo di dati secondari non sempre permette un'accurata valutazione dell'impatto ambientale del processo. In questo contributo viene posta l'attenzione sull'impatto ambientale delle operazioni agricole di campo (nel dettaglio l'aratura) evidenziando come le condizioni pedologiche e/o la scelta della macchina operatrice siano in grado di indurre considerevoli variazioni nei risultati.

1. Introduzione

La valutazione dell'impatto ambientale associato alle produzioni agricole è sempre più diffusa ed è uno strumento sempre più utilizzato sia per l'identificazione dei processi che, all'interno della filiera studiata, hanno il maggior impatto, sia per la definizione di strategie per la riduzione degli effetti negativi.

L'applicazione al settore agricolo della metodologia LCA pone alcuni problemi soprattutto per quanto riguarda la raccolta dei dati che è frequentemente dispendiosa sia economicamente che in termini di tempo. L'utilizzo di dati secondari, derivanti cioè da database o stimati attraverso modelli, è la soluzione cui si ricorre più spesso. Per quanto riguarda le operazioni agricole di campo i principali database utilizzati per studi LCA (es. Ecoinvent, USA Input Output database, LCA Food DK ecc.) comprendono solo alcuni specifici processi.

Se da un lato l'impiego di tali processi semplifica la costruzione dell'inventario, dall'altro pone alcune problematiche:

- solo le principali operazioni agricole di campo sono presenti mentre altre che, nelle condizioni italiane, sono da considerare ordinarie (es. insilamento, irrigazione a goccia ecc.) mancano;
- per le operazioni presenti è considerata solo la possibilità di eseguire la lavorazione con poche (spesso solo con una) tipologia di macchina operatrice. Nel caso dell'aratura, ad esempio, il database Ecoinvent considera l'esecuzione della lavorazione primaria con aratro a versoio non riportando informazione alcuna per gli aratri fenestrati e a losanga (in grado, come è noto, di ridurre sensibilmente la forza di trazione necessaria per l'aratura e, quindi, i consumi di gasolio).

L'utente, in assenza di dati primari relativamente alle operazioni di campo, è spesso costretto ad "adattarsi" e scegliere dal database il processo che più si adatta a quello effettivamente realizzato nella filiera analizzata. Ciò può portare a risultati attendibili solo se le condizioni considerate per il processo riportato nel database sono molto simili a quelle del caso studio. Nella maggior parte dei casi, purtroppo, non è così e l'affidabilità dei risultati ottenuti è dubbia.

Tale problema è serio soprattutto per l'agricoltura italiana che è caratterizzata da una molteplicità di areali di coltivazione ognuno dei quali caratterizzato da condizioni pedoclimatiche (tessitura del suolo, pH, temperatura, contenuto idrico del terreno, presenza di scheletro ecc.) e operative (forma e dimensione dei campi, pendenze ecc.) fortemente variabili.

In questo contributo, limitatamente all'operazione di lavorazione principale del terreno (aratura), è stata analizzata la variazione dell'impatto ambientale dovuta sia all'utilizzo di diverse soluzioni tecniche, sia all'esecuzione in condizioni pedologiche variabili.

2. Materiali e metodi

2.1. Scopo dello studio e unità funzionale

Lo scopo dello studio è la valutazione delle performance ambientali associate a diverse soluzioni tecnologiche per l'esecuzione dell'aratura del terreno e il confronto con l'analogo processo riportato nel database Ecoinvent. A tal fine si considerano 3 diverse tipologie di suolo (sabbioso, di medio impasto e argilloso) e 3 differenti aratri trivomeri reversibili a versoio:

- convenzionale;
- fenestrato;
- a losanga.

L'Unità Funzionale scelta è 1 ha di terreno lavorato.

2.2. Descrizione del sistema analizzato

La lavorazione principale del terreno è, all'interno del ciclo colturale delle principali colture annuali (cereali, barbabietola, proteoleaginose), l'operazione più esigente in termini di potenza trattoristica e, quindi, di consumi di gasolio. A quest'operazione è generalmente associato un impatto ambientale non trascurabile (Nemecek et al., 2011; Gonzalez-Garcia et al., 2012; Bacenetti et al., 2013). Tipicamente, in Pianura Padana, è realizzata utilizzando aratri reversibili a versoio con un numero di vomeri che, generalmente superiore a 2, dipende dalla superficie dominata. Durante l'aratura, l'aratro, attraverso il vomere e il coltro, taglia una "fetta" di suolo avente sezione parallelepipida; a seguito dell'avanzamento, il versoio rovescia la fetta lateralmente di 135°.

Per ridurre la forza di trazione necessaria (e, quindi, la potenza del trattore) sono stati sviluppati versoii fenestrati e versoii a losanga. Nel primo caso la forza di trazione è inferiore perché, rispetto ai versoii tradizionali, la superficie è fessurata e l'attrito con il suolo è minore. Nel secondo caso, invece, il versoio taglia una fetta con sezione romboidale che viene rivoltata di soli 90° per poi cadere, per gravità, fino a raggiungere il rovesciamento di 135°. La resistenza alla lavorazione è ridotta del 10% e del 20% circa, rispettivamente, per gli aratri fenestrati e per quelli a losanga (Pellizzi, 1996; Mazzetto e Lazzari, 2005).

2.3 Inventario

Nel processo di aratura riportato nel database Ecoinvent l'UF è 1 ha e gli input sono: 1,55 kg di trattore, 2,16 kg di aratro, 26,1 kg di gasolio, 0,008 m² di ricovero. Le emissioni sono calcolate in proporzione al consumo di carburante mentre l'abrasione dei pneumatici in funzione del tempo di utilizzo.

In questo paragrafo, in funzione delle condizioni pedologiche (tessitura del terreno), operative (forma del campo e distanza dal centro aziendale) e meccaniche (tipologia di aratro, accoppiamento con il trattore) in cui si svolge l'aratura vengono ricalcolati gli input e gli output.

La forza di trazione necessaria (F_{TR} , N) per l'aratura dipende da: profondità di aratura (H , cm), larghezza della fetta (b_v , m), numero dei vomeri (n_v , -) e resistenza alla lavorazione (ρ , N/m · cm), secondo la seguente equazione:

$$F_{TR} = \rho \cdot H \cdot b_v \cdot n_v$$

La potenza sviluppata al gancio di traino del trattore (P_{TR} , kW) dipende dalla la velocità di avanzamento (v_a , m/s). La potenza sviluppata dal motore (P_M , kW) dipende dal rendimento globale del trattore (η_g , -) a sua volta funzione del tipo di accoppiamento realizzato e dal coefficiente di riserva della potenza che si intende considerare (k mediamente pari a 0,10-0,20):

$$P_{TR} = (F_{TR} \cdot v_a)$$

$$P_M = P_{TR} / \eta_g$$

$$P_{NOM} = P_M \cdot (1+k)$$

I consumi di carburante dipendono dal carico a cui è sottoposto il motore (C_M , %, rapporto tra P_M e P_{NOM}), dal consumo specifico (C_S , g/kWh) e dalla P_M . Ogni trattore è caratterizzato da un consumo specifico minimo ($C_{S_{MIN}}$, g/kWh) a cui corrisponde un carico motore, detto $C_{M_{min}}$, che solitamente è nell'ordine dell'80-85%. Più il trattore opera a C_M diverso da $C_{M_{min}}$, più il C_S aumenta. In questo studio per i trattori si considera un $C_{S_{MIN}} = 220$ g/kWh (Mazzetto, 2005).

Un corretto dimensionamento dei trattori accoppiati ai diversi aratri comporta, durante l'aratura, C_M prossimi a $C_{M_{min}}$ e, quindi, anche C_S tendenti al $C_{S_{MIN}}$. Tuttavia, oltre a possibili sovradimensionamenti della P_{NOM} , vi è da considerare che, durante i tempi accessori (trasferimenti, pause, svolte ecc.), la P_M si riduce notevolmente, il C_M è distante da $C_{M_{min}}$ e, quindi, il C_S aumenta.

Ipotizzando, durante i tempi accessori $C_M = 30\%$, si ottengono C_S elevati (440 g/kWh).

Per il dimensionamento del trattore mediante il quale eseguire l'operazione si sono considerate le seguenti grandezze operative:

- profondità di lavoro è di 35 cm (valore tipico per la coltivazione di cereali primaverili-estivi come il mais) ,
- velocità di avanzamento pari a 6 km/h,
- un coefficiente di riserva della potenza $k= 0,20$,
- lo zavorramento del trattore per ottenere l'aderenza necessaria.

Essendo H , b_v , n_v , v_a e η_g considerati costanti, la variazione della potenza sviluppata al gancio (P_{TR}) nei diversi casi dipende unicamente dalla resistenza alla lavorazione.

La capacità di lavoro operativa nelle diverse soluzioni è di 0,59 ha/h che corrisponde a un tempo di lavoro di 1,70 h/ha di cui 1,25 h/ha di effettiva aratura e 0,35 h/ha di tempi accessori (0,3 h/ha di svolte e 0,05 h/ha per il trasferimento tra il centro aziendale e l'appezzamento lavorato considerando una distanza di 0,5 km.

Informazioni tecniche degli aratri utilizzati e sulle diverse condizioni pedologiche sono riportate in Tabella 1. Le informazioni relative alle diverse tipologie di aratri derivano da un'indagine svolta presso un'azienda produttrice (Kuhn Italia srl) mentre quelle riguardanti la resistenza alla lavorazione sono tratte da bibliografia (Pellizzi, 1996).

Parametro		Unità di misura	Tipologia di aratro		
		-	Versoio	Fenestrato	Losanga
Resistenza alla lavorazione	ρ	N/(cm·m)	650	580	520
Massa aratro	M	kg	950	900	950

Tabella 1: Parametri tecnici per i diversi aratri utilizzati

Per il calcolo degli input relativi all'impiego delle macchine utilizzate per i trattori è stato considerata una vita utile (V_u , anni) di 12 anni con un impiego annuo (H_A , h/anno) di 700 ore/anno mentre per gli aratri $V_u = 12$ anni e $H_A = 167$ h/anno.

In Tabella 2, sono riportati i principali inputs per le diverse situazioni. Tali valori sono considerevolmente diversi da quelli di Ecoinvent. In particolare, i consumi di gasolio sono fortemente variabili in funzione del terreno e del tipo di aratro impiegato, variando da 15,3 kg/ha per arature con aratro a losanga su suoli sabbiosi a 57,3 kg/ha con aratri a versoio su suoli argillosi.

Suolo	Aratro		Trattore			
	Tipo	M_{CONS}^*	Potenza	Massa	M_{CONS}^*	Consumo gasolio
	-	kg/ha	kW	kg	kg/ha	kg/ha
Sabbioso	versoio	0,81	53	2950	0,74	19,1
	fenestrato	0,76	47	2620	0,66	17,0
	losanga	0,81	42	2355	0,59	15,3
Medio impasto	versoio	0,81	85	4780	1,20	31,1
	fenestrato	0,76	76	4260	1,07	27,6
	losanga	0,81	68	3825	0,96	24,9
Argilloso	versoio	0,81	158	8830	2,21	57,3
	fenestrato	0,76	140	7860	1,97	51,0
	losanga	0,81	126	7060	1,77	45,9

* M_{CONS} = massa del trattore (o dell'aratro) consumata durante l'operazione di aratura calcolata come

$$M_{CONS} = M/(H_A \cdot V_u).$$

Tabella 2: Principali input nelle diverse situazioni poste a confronto

2.3 Valutazione dell'impatto ambientale

La valutazione della performance ambientale è effettuata attraverso il metodo CML 2000 (Guinée et al., 2002). Le categorie di impatto valutate sono: Riscaldamento Globale (GWP), Acidificazione Potenziale (AP), Eutrofizzazione Potenziale (EP) e Riduzione delle Risorse Abiotiche (ADP) (Frischknecht et al., 2007). Tali categorie di impatto sono quelle più comunemente valutate nel caso di studi LCA di sistemi agricoli (Nemececk et al., 2011; Uchida e Hayashi, 2012; Castaneira e Freire, 2013; Lijo et al., 2014). L'elaborazione dei dati è stata eseguita utilizzando il software Simapro (versione 8.0.1) (Goedkoop et al., 2008).

3. Risultati

In Tabella 3 è riportato l'impatto ambientale delle diverse soluzioni tecnologiche nei tre diversi tipi di terreno.

Categoria d'impatto	Unità	Fenestrato			Losanga			Versoio		
		Argilloso	Medio im-pasto	Sabbioso	Argilloso	Medio im-pasto	Sabbioso	Argilloso	Medio im-pasto	Sabbioso
ADP	kgSbeq	1,178	0,654	0,415	1,064	0,592	0,379	1,321	0,732	0,464
AP	kgSO ₂ eq	1,189	0,652	0,408	1,071	0,589	0,370	1,334	0,731	0,457
EP	kgPO ₄ eq	0,289	0,161	0,102	0,261	0,146	0,093	0,324	0,180	0,114
GWP	kgCO ₂ eq	179,9	99,8	63,4	162,5	90,4	57,7	201,7	111,7	70,8

Tabella 3: Impatto ambientale per le diverse soluzioni tecnologiche

In Figura 1 i risultati ottenuti sono confrontati con l'analogo processo presente nel database Ecoinvent e relativo alle condizioni svizzere (Nemececk et al., 2007).

È possibile osservare come, pur in presenza delle medesime condizioni operative (forma dell'appezzamento, distanza dal centro aziendale, tempi di lavoro), l'impatto ambientale della lavorazione principale del suolo, per le categorie di impatto considerate, varii notevolmente in funzione:

- i) delle condizioni pedologiche, aumentando al passare da suoli sciolti a suoli più tenaci; più nel dettaglio nei suoli sabbiosi l'impatto ambientale è circa il 35% di quello in un suolo argilloso;
- ii) della tipologia di aratro, riducendosi qualora vengano utilizzate soluzioni in grado di ridurre la forza di trazione necessaria. Mediamente l'aratro fenestrato riduce il carico ambientale del 10-11% mentre quello a losanga del 20%.

Rispetto al processo presente nel Database Ecoinvent (posto pari al 100% in Figura 1) le differenze sono evidenti:

- i) l'aratura con aratro a versoio in suolo argilloso ha un impatto ambientale pari al 170;
- ii) nel caso di aratro a losanga su suolo sabbioso invece è circa il 50%.

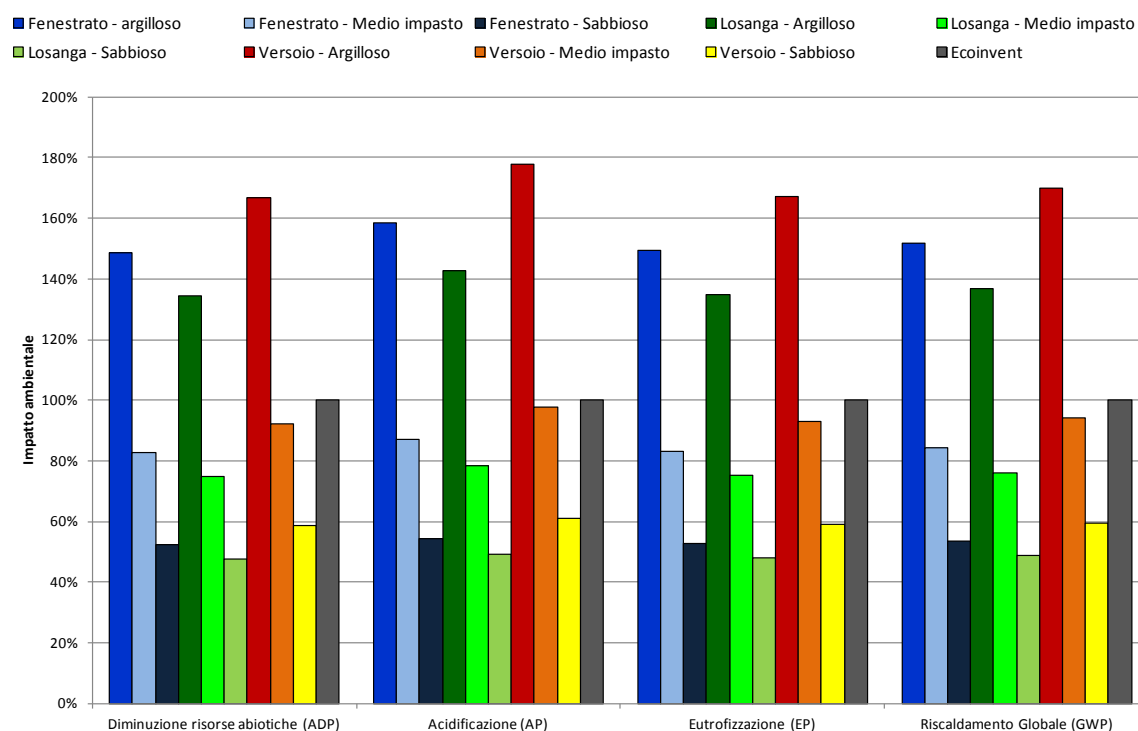


Figura 1: Confronto tre le diverse soluzioni studiate

In generale, l'impatto ambientale associato al processo di aratura presente nel database Ecoinvent risulta sempre sovrastimato nel caso di suoli non argillosi; tale sovrastima è minore su suoli di medio impasto (2-8%, 13-17% e 22-25% rispettivamente con aratro a versoio, fenestrato e a losanga) mentre è considerevole nel caso di suoli sabbiosi (39-41%, 46-48% e 51-52% rispettivamente con aratro a versoio, fenestrato e a losanga).

4. Conclusioni

L'analisi condotta, relativamente alla lavorazione principale del terreno, ha evidenziato come la scelta di differenti soluzioni tecnologiche per l'esecuzione dell'aratura possa influenzare considerevolmente l'impatto ambientale di quest'operazione. I risultati ottenuti mostrano anche come, a parità di macchina operatrice utilizzata, altresì le condizioni pedologiche abbiano un effetto ragguardevole sulla variazione dell'impatto ambientale. Pertanto, l'utilizzo acritico di dati secondari provenienti dai principali database utilizzati per studi LCA può condurre a risultati errati. Nel caso specifico, tra i 9 casi studiati solo l'aratura in suoli di medio impasto con aratro a versoio ha un impatto ambientale simile a quello dell'analogo processo riportato in Ecoinvent.

In conclusione è possibile affermare che, ai fini dell'ottenimento di studi di LCA affidabili, soprattutto per un contesto agricolo come quello italiano caratterizzato da una molteplicità di colture attuate in areali contraddistinti da condizioni pedoclimatiche altamente variabili, risulta fondamentale ricorrere il più possibile a dati sitospecifici per la costruzione dell'inventario. Oltre a ciò, la realizzazione di un Inventario Nazionale delle Emissioni per le principali operazioni agricole di campo appare un utile strumento in grado di migliorare l'accuratezza degli studi LCA, in particolare di quelli cui la fase di campo rappresenta un'importante parte dell'intero ciclo produttivo.

5. Bibliografia

- Bacenetti J., Fusi A., Guidetti R., Fiala M. 2013. Life Cycle Assessment of maize cultivation for biogas production Life Cycle Assessment of maize cultivation for biogas production. X Conference of Italian Society of Agricultural Engineering "Horizons in agricultural, forestry and biosystems engineering" Viterbo, 8-12 September 2013.
- Castanheira, E.,G., Freire F., 2013. Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems. *J. Clean. Prod.* 54, 49-60.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Hischier, R., Hellweg, S., Humbert, S., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M., Nemecek, T. 2007 Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007
- Goedkoop, M., de Schryver, A., Oele, M. 2008. Introduction to LCA with SimaPro 7. PRé Consultants, the Netherlands.
- González-García, S., Bacenetti, J., Negri, M., Fiala, M., Arroja, L., 2012. Comparative environmental performance of three different annual energy crops for biogas production in Northern Italy. *J. Clean. Prod.* 43, 71-83.
- Guinée J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., Koning A. et al. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (2002), p. 692
- Lijó, L., González-García, S., Bacenetti, J., Fiala, M., Feijoo, G., Lema, J.M., Moreira, M.T., 2014a. Life Cycle Assessment of electricity production in Italy from anaerobic co-digestion of pig slurry and energy crops. *Renewable Energy* Doi: 10.1016/j.renene.2014.03.005.
- Mazzetto F., Lazzari M. 2005 *Prontuario di Meccanica Agraria e Meccanizzazione*. Reda. Edizioni per L'agricoltura
- Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., Chervet, A. 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agr. Syst.* 104 (3), 233-245.
- Nemecek, T., Kägi, T., Blaser, S. 2007 *Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems*. Ecoinvent report version 2.0. Editors: O. Volume: 15. Swiss Centre for LCI, ART. Dübendorf and Zurich, CH.
- Pellizzi G. 1996 *Meccanica e meccanizzazione Agricola*. Edagricole.
- Uchida, S., Hayashi, K., 2012. Comparative life cycle assessment of improved and conventional cultivation practices for energy crops in Japan. *Biomass Bioenerg.* 36, 302-315.

Edito dall'ENEA
Unità Centrale Relazioni, Servizio Comunicazione

Lungotevere Thaon di Revel, 76 – 00196 Roma
www.enea.it

Revisione editoriale: Giuliano Ghisu
Copertina: Cristina Lanari

Pubblicata on-line nel giugno 2014

con il patrocinio di:



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



SETAC ITALIAN BRANCH



ISPRA

ENEA

ISBN 978-88-8286-306-7