
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
La valutazione del Carbon Footprint nella filiera olivicolo-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

AGRO-ALIMENTARE



Confronto tra modelli per la stima delle emissioni da fertilizzanti: il caso del mais da granella

Alessandra Fusi¹, Jacopo Bacenetti¹

¹Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali– produzione, Territorio, Agroenergia Università degli Studi di Milano, Via G. Celoria 2, Milano, 20133

Corresponding author: alessandra.f.m.fusi@gmail.com

Abstract

La valutazione della performance ambientale dei prodotti agricoli e alimentari non può prescindere da una stima affidabile delle emissioni associate all'utilizzo di fertilizzanti, spesso fattori decisivi in alcune categorie quali l'eutrofizzazione e l'acidificazione. Il presente studio si propone di valutare, attraverso la LCA, la performance di una coltura, prendendo in considerazione due differenti modelli per la stima delle emissioni associate all'applicazione dei fertilizzanti.

1. Introduzione

Nel corso degli anni gli aspetti ecologici ed etici connessi alla produzione di beni hanno progressivamente assunto un ruolo centrale a livello delle istituzioni e sono diventati oggetto di interesse anche da parte dei consumatori. L'effetto di un tale atteggiamento si risolve nell'inclusione di tali parametri nel processo decisionale di acquisto di beni (Roy et al., 2008; Poritosh et al., 2009).

Risulta pertanto fondamentale valutare quello che è l'impatto ambientale dei beni di consumo. Il settore agro-alimentare rappresenta un importante comparto industriale, sia a livello economico, con 1017 miliardi di € di fatturato in Europa (Federalimentare, 2011), sia a livello ambientale: l'attività agricola da sola è infatti responsabile dell'emissione del 33% dei gas serra rilasciati globalmente (Cline, 2007)

La crescente attenzione rivolta ad una produzione e un consumo sostenibili ha incoraggiato la realizzazione di diverse attività di ricerca focalizzate sui sistemi di produzione e distribuzione alimentare, comprese le attività agricole (Roy et al., 2009; Cellura et al., 2012).

Diversi studi finalizzati alla valutazione ambientale di prodotti agricoli attraverso l'impiego dell'approccio LCA (Kim et al., 2009; Bacenetti et al., 2014), hanno messo in evidenza quanto le emissioni associate all'utilizzo di fertilizzanti rappresentino un fattore decisivo in alcune categorie di impatto, quali l'eutrofizzazione e l'acidificazione.

La fase agricola inoltre spesso rappresenta la fase più critica dal punto di vista della performance ambientale dei prodotti alimentari processati. Per questi motivi si rende necessaria una corretta, e quanto più precisa, stima delle emissioni associate all'impiego di fertilizzanti, al fine di consentire una valutazione altrettanto affidabile dell'impatto dovuto alla produzione dei beni agricoli e alimentari. In letteratura sono disponibili diversi modelli per la stima delle emissioni associate all'utilizzo di tali inputs agricoli.

Nel presente lavoro sono stati presi in considerazione due modelli: uno messo a punto da Brentrup et al. (2000), incorporato in un software appositamente costruito per la stima delle emissioni in questione (EFE-So, Estimation of Fertilisers Emissions-Software), e l'altro, probabilmente il più utilizzato, elaborato dall'IPCC (2006). Il vantaggio derivante dall'utilizzo di questo secondo modello consiste nella sua facilità di impiego, conseguenza del limitato numero di informazioni necessarie per la stima delle emissioni. Per poter applicare il modello proposto da Brentrup et al. (2000) è invece necessario disporre di un numero maggiore di dati, la cui natura rende la stima più sito-specifica e pertanto più precisa. Poiché non sempre si dispone dei dati necessari all'utilizzo di quest'ultimo modello, il presente articolo si propone di valutare la differenza in termini di impatti derivante dalla scelta di uno dei due modelli sopraccitati.

A tal fine l'impatto ambientale associato alla coltivazione del mais da granella⁵ è stato valutato stimando le emissioni legate all'applicazione di fertilizzanti con il metodo IPCC e con EFE-So.

2. Materiali e Metodi

2.1. Scopo e campo di applicazione

Lo scopo del presente studio consiste nella valutazione della performance ambientale, attraverso la metodologia LCA, della produzione di granella di mais (mais classe 700), prendendo in considerazione due differenti modelli per la stima delle emissioni associate all'applicazione dei fertilizzanti. Dei suddetti modelli, uno è più complesso, e per ciò stesso richiede un elevato numero di informazioni, il secondo invece è uno strumento semplificato, di più facile utilizzo. Sono stati pertanto identificati due scenari di analisi:

- Scenario EFE-So, in cui viene impiegato il modello di stima delle emissioni più complesso (Brentrup et al., 2000)
- Scenario IPCC, in cui le emissioni vengono stimate attraverso il modello semplificato

L'unità funzionale selezionata per la realizzazione di tale analisi comparativa è 1 tonnellata di granella di mais.

Sono stati inclusi nella valutazione i seguenti inputs e outputs:

- Trattori e macchine operatrici
- Consumi di carburante e relative emissioni
- Semi
- Fertilizzanti ed emissioni associate al loro utilizzo
- Fitofarmaci ed emissioni associate alla loro applicazione

2.2. Analisi di inventario

Nella Tabella 1 sono riportate le operazioni colturali e i consumi di carburante (gasolio) ad esse associate, necessarie per la coltivazione del mais (i dati sono riferiti all'ettaro coltivato). I dati sono stati forniti da un'azienda agricola situata a Peschiera Borromeo (MI), la quale presenta una superficie agricola utile (SAU) totale di 33,54 ha, interamente dedicati alla produzione di cereali.

⁵ Mais destinato alla produzione di granella, la cui raccolta è realizzata mediante mietitrebbiatrice. Quest'ultima, dopo aver separato la spiga (pannocchia) dal resto della pianta (stocco), separa la granella dal tutolo.

Operazioni	Time (h/ha)	Consumi di gasol (kg/ha)	Fattori produttivi e rese
Spandimento letame	1,25	29,4	10 t/ha letame
Aratura	1,66	20,9	
Erpicatura (2 ripetizioni)	1	11,1 + 9,1	
Semina	0,5	8,4	19 kg seme
Trattamento erbicida	0,28	3,3	4,41 g/ha di Acetoclor 0,016 g/ha Nicosulfuron 0,004 g/ha Rimsulfuron 0,018 g/ha sulcotrione
Distribuzione urea	0,5	3,0	300 kg urea
Sarchiatura	0,83	4,2	
Irrigazione	1,1	12,6	2200m ³ /ha
Raccolta	2,0	42	Resa: 16,5 t mais/ha (umidità 23%)
Distribuzione concime concentrato	0,5	8,4	
Essiccazione	4		1,52 MWh elettrici Resa: 14,6 t mais/ha (umidità 13%)

Tabella 1: Operazioni colturali e inputs agricoli (dati riferiti ad 1 ha)

L'impatto ambientale delle operazioni colturali identificate è stato valutato attraverso l'impiego del database Ecoinvent v. 2.2. I dati del database sono stati tuttavia modificati inserendo le quantità di gasolio effettivamente impiegate nel caso studio analizzato (e le relative emissioni sono state adattate di conseguenza).

Le emissioni legate all'utilizzo dei fitofarmaci sono state stimate in accordo con quanto riportato nello studio di Margni et al. (2002), che identifica le seguenti percentuali di dispersione dei principi attivi applicati: 75% nel suolo, 10% in aria e 10% in acqua.

2.2.1. I modelli per la stima delle emissioni da fertilizzanti

Come precedentemente accennato, sono stati impiegati due differenti modelli: il primo si rifà agli algoritmi identificati da Brentrup et al. (2000) mentre il secondo a quelli definiti dall'IPCC.

Gli algoritmi identificati da Brentrup et al. (2000) sono stati quindi inseriti all'interno di un software appositamente costruito (EFE-So), di cui la Figura 1 mostra l'interfaccia.

EFE-So è stato realizzato utilizzando linguaggio di programmazione Delphi©. Rispetto al modello proposto da Brentrup et al. (2000), in EFE-So sono state apportate alcune modifiche e aggiornamenti: ad esempio, relativamente ai valori di deposizione di azoto atmosferico, per permetterne una stima più precisa, è stata utilizzata (e inserita in EFE-So) una mappa che riporta i valori di tale deposizione nelle diverse regioni d'Europa, realizzata dal JRC (EC, Joint Research Centre), al posto di quella proposta nell'articolo di Brentrup et al. (2000).

L'utilizzo di tale modello, richiede l'inserimento di una serie precisa di informazioni, quali ad esempio:

- La temperatura al momento della distribuzione del concime;
- Il tempo che intercorre tra lo spandimento e l'interramento
- Caratteristiche pedologiche del terreno coltivato (tessitura, pH, profondità di falca ecc.)
- precipitazioni estive ed autunnali.

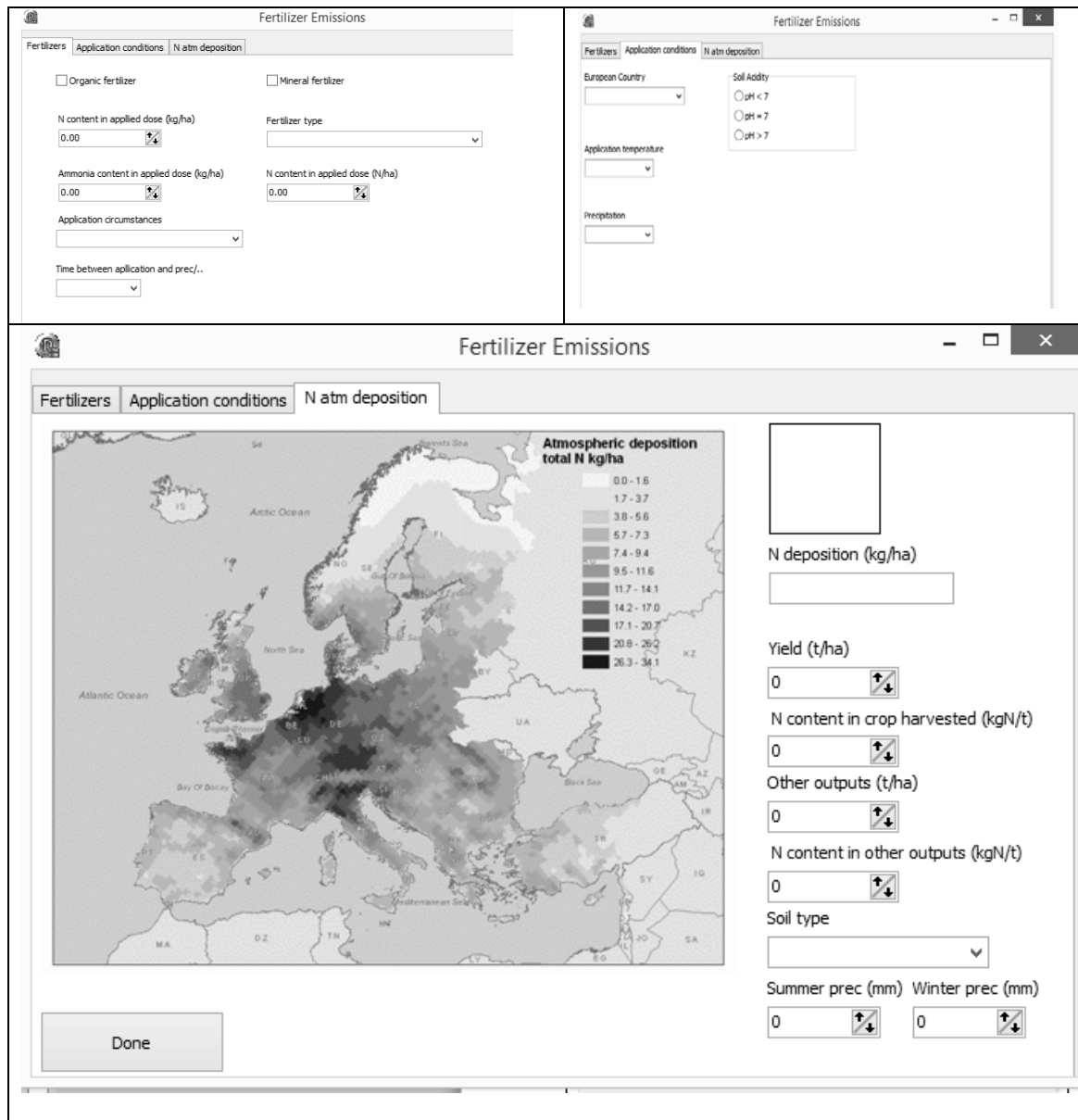


Figura 1: Interfaccia di EFE-So

Molto spesso non è possibile risalire a questo tipo di informazioni ed è pertanto necessario ricorrere a un modello più semplificato, come quello proposto dall'IPCC, per il cui utilizzo è sufficiente conoscere il contenuto di azoto dei fertilizzanti organici e minerali applicati. Le perdite di fosforo sono state stimate, in entrambi i casi, in accordo con Smil (2000), che fissa una percentuale di run-off dell'1-2% del fosforo presente nei fertilizzanti (in questo studio è stato utilizzato un fattore emissivo di 1,5%).

2.3. Analisi degli impatti

La valutazione della performance ambientale del mais, nei due scenari identificati è stata realizzata utilizzando il metodo di ReCiPe (midpoints). Le seguenti categorie di impatto sono state considerate: *climate change* (CC), *ozone depletion* (OD), *human toxicity* (HT), *photochemical oxidant formation* (POF), *terrestrial acidification* (TA), *freshwater eutrophication* (FE), *marine eutrophication* (ME) e *fossil depletion* (FD).

3. Risultati

La Tabella 2 riporta i valori degli impatti ambientali, associati alla produzione di mais, ottenuti utilizzando EFE-So e i fattori emissivi proposti dall'IPCC. Gli impatti associati alle emissioni da fertilizzanti sono gli unici a presentare delle differenze tra gli scenari proposti. Come già riscontrato in altri studi, anche nella presente analisi le emissioni dovute all'impiego dei fertilizzanti risultano essere fattori critici in diverse categorie di impatto: CC (tra il 35% e il 40% del totale in funzione dello scenario analizzato), TA (45% e 85% del totale a seconda dello scenario) e ME (superiore al 90% in entrambi gli scenari). Della produzione di fertilizzanti, solo quella di urea risulta essere un fattore critico, in particolare per la categoria FD, dove il suo impatto costituisce il 24% del totale per entrambi gli scenari analizzati. Altri hotspots del processo di produzione di mais per entrambi gli scenari, sono: l'acetoclor, un erbicida la cui produzione ha effetti rilevanti sulla categoria OD; l'operazione di essiccazione del mais, che rappresenta una fase particolarmente energivora del processo globale di produzione della granella; l'irrigazione, operazione per la quale sono necessarie elevate quantità di carburante ed infine l'operazione di raccolta, che sembra essere critica per la categoria POF. La Figura 2 propone un confronto grafico tra i risultati ottenuti nei due diversi scenari. Si rileva immediatamente che, nel caso la stima provenga dall'impiego di EFE-So, le categorie maggiormente influenzate dalle emissioni da fertilizzanti (TA e ME), presentino un impatto minore rispetto allo scenario IPCC, e tale differenza risulti essere molto elevata. Per le categorie TA e ME, lo scenario EFE-So presenta infatti un impatto inferiore del 73% e del 50%, rispettivamente, rispetto allo scenario IPCC. Relativamente alla categoria CC la situazione risulta invece capovolta: lo scenario EFE-So presenta, infatti, un impatto superiore del 9% circa rispetto allo scenario IPCC (tale differenza è tuttavia molto più contenuta, e pertanto più accettabile, rispetto alle categorie discusse in precedenza). I motivi di tali importanti differenze tra i due scenari considerati sono da attribuire a:

- Per la TA: le emissioni di NH_3 stimate attraverso il modello IPCC sono circa sette volte più alte rispetto alle stime ottenute mediante EFE-So
- Per la ME: la lisciviazione del nitrato stimata con i fattori emissivi proposti dall'IPCC è quasi doppia rispetto alle stime di EFE-So
- Per il CC: la stima delle emissioni di protossido di azoto risultante dall'impiego di EFE-So risulta essere superiore di circa un quarto rispetto allo scenario IPCC.

Fattore/Processo	CATEGORIA DI IMPATTO							
	CC	OD	HT	POF	TA	FE	ME	FD
	kg CO ₂ eq	kgCFC-11eq	kg 1,4-DB	kg NMVOC	kg SO ₂ eq	kg P eq	kg N eq	kg oil eq
Spandimento letame	8,24E+00	1,20E-06	7,12E-01	1,10E-01	6,39E-02	5,76E-04	3,89E-03	2,84E+00
Aratura	6,77E+00	9,45E-07	1,09E+00	7,35E-02	4,42E-02	8,35E-04	2,60E-03	2,34E+00
Erpicatura - rip 1	4,17E+00	5,38E-07	8,31E-01	4,25E-02	2,59E-02	7,20E-04	1,51E-03	1,42E+00
Erpicatura - rip 2	3,65E+00	4,60E-07	8,16E-01	3,60E-02	2,20E-02	7,09E-04	1,28E-03	1,24E+00
Semina	2,73E+00	3,80E-07	4,47E-01	3,31E-02	1,94E-02	3,39E-04	1,16E-03	9,40E-01
Applicazione dei fitofarmaci	1,15E+00	1,56E-07	2,26E-01	1,36E-02	7,93E-03	1,72E-04	4,73E-04	3,96E-01
Distribuzione urea	1,14E+00	1,56E-07	3,16E-01	1,24E-02	7,44E-03	2,15E-04	4,34E-04	4,04E-01
Sarchiatura	1,64E+00	2,12E-07	3,85E-01	1,78E-02	1,05E-02	2,98E-04	6,20E-04	5,55E-01
Irrigazione	2,34E+01	2,26E-06	1,48E+01	1,25E-01	1,07E-01	1,36E-02	6,10E-03	9,10E+00
Spandimento concime concentrato	2,73E+00	3,80E-07	4,47E-01	3,31E-02	1,94E-02	3,39E-04	1,16E-03	9,40E-01
Raccolta	1,28E+01	1,81E-06	2,45E+00	1,85E-01	1,06E-01	1,68E-03	6,45E-03	4,41E+00
Essiccazione	4,82E+01	7,42E-06	2,09E+01	9,79E-02	1,44E-01	1,81E-02	6,37E-03	1,74E+01
Emissioni da fertilizzanti EFE-So	1,08E+02	-	-	-	7,13E-01	8,85E-03	2,04E+00	-
Emissioni da fertilizzanti IPCC	8,31E+01	-	-	-	4,93E+00	8,85E-03	4,20E+00	-
Semi	2,51E+00	1,99E-07	6,64E-01	8,25E-03	1,21E-02	8,78E-04	4,40E-02	4,11E-01
Urea	3,12E+01	4,77E-06	7,55E+00	5,48E-02	1,40E-01	5,42E-03	9,33E-03	1,41E+01
Fertilizzante P2O5	4,03E-01	3,71E-08	2,85E-01	2,64E-03	6,02E-03	4,97E-04	1,37E-04	1,29E-01
Fertilizzante ammonio nitrato	2,20E+00	1,16E-07	2,90E-01	4,28E-03	7,48E-03	1,74E-04	5,79E-04	3,39E-01
Acetoclor (erbicida)	3,87E+00	2,42E-05	4,90E+00	3,69E-02	1,02E-01	1,65E-03	3,57E-03	1,50E+00
Nicosulfuron (erbicida)	1,55E-05	1,55E-11	9,44E-06	4,97E-08	1,28E-07	1,81E-08	2,15E-08	5,46E-06
Rimsulfuron (erbicida)	2,91E-06	2,15E-12	1,72E-06	9,46E-09	2,09E-08	1,54E-09	4,92E-09	1,07E-06
Sulcotrione (erbicida)	1,27E-05	3,78E-11	8,32E-06	5,34E-08	1,37E-07	6,46E-09	2,02E-08	4,87E-06
Totale EFE-So	2,65E+02	4,52E-05	5,71E+01	8,87E-01	1,56E+00	5,51E-02	2,13E+00	5,84E+01
Totale IPCC	2,40E+02	4,52E-05	5,71E+01	8,87E-01	5,77E+00	5,51E-02	4,29E+00	5,84E+01

Tabella 2: Impatto ambientale di una tonnellata di granella di mais per le categorie considerate

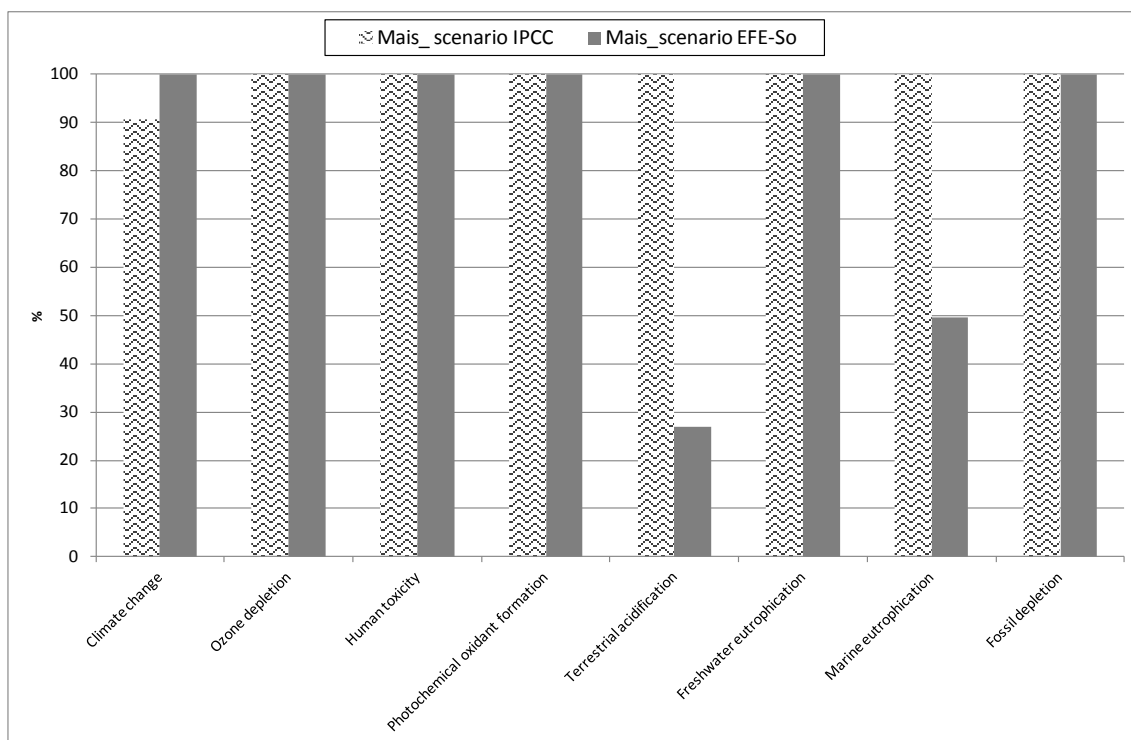


Figura 2: Confronto tra i due scenari proposti

4. Conclusioni

Il presente studio aveva come obiettivo quello di confrontare la medesima produzione agricola, variando le modalità di stima delle emissioni associate all'applicazione dei fertilizzanti. La valutazione è stata condotta utilizzando i dati forniti da un'azienda lombarda, avente superficie totale di 33,54 ettari interamente dedicati alla produzione di cereali. Il presente caso studio si dimostra un esempio rappresentativo della realtà dell'Italia settentrionale: la resa di granella e la tecnica agricola sono infatti coerenti con quanto rilevato nello studio di Borrelli et al. (2014), relativo alle rese di mais nel nord Italia, e nell'analisi condotta da Bacenetti et al. (2014).

I risultati ottenuti mostrano come, per le categorie maggiormente influenzate dalle emissioni in esame, i valori di impatto ambientale presentino notevoli differenze in funzione del modello di stima impiegato. Pertanto, in presenza dei dati necessari, è sempre preferibile ricorrere a modelli di stima che tengano in considerazione le caratteristiche del suolo, della coltura e le modalità di applicazione dei fertilizzanti. Tali informazioni permettono, infatti, una stima più precisa e sito-specifica delle emissioni in analisi. L'utilizzo di modelli semplificati, se non evitabile, introduce la necessità di porre maggiore cautela nella valutazione dei risultati ottenuti ad esempio mediante un'analisi di sensibilità.

In prospettiva, sarebbe interessante condurre studi simili su diversi tipi di colture, in modo da valutare e quantificare quale sia l'influenza dei modelli di stima delle emissioni da fertilizzante nel caso di diversi prodotti agro-alimentari.

5. Ringraziamenti

La realizzazione di EFE-So è stata resa possibile grazie ai preziosi suggerimenti dell'Ing. Gigi M. Fusi, al quale vanno i nostri ringraziamenti.

6. Bibliografia

- Bacchetti, J., Fusi, A., Negri, M., Guidetti, R., Fiala, M., 2014. Environmental assessment of two different crop systems in terms of biomethane potential production. *Science of the Total Environment* 466-467, 1066-77.
- Borrelli, L., Castelli, F., Ceotto, E., Cabassi, G., Tomasoni, C., 2014. Maize grain and silage yield and yield stability in a long-term cropping system experiment in Northern Italy. *Eur. J. Agron.* 55, 12–19.
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Kuhlmann, H., 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *Int JLife Cycle Assess* 5, 349–57.
- Cellura, M., Longo, S., Mistretta, M., 2012. Life Cycle Assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. *Journal of Cleaner Production* 28, 56-62.
- Cline W., 2007. *Global Warming and Agriculture*, Centre for Global Development.
- European Commission, Joint Research Centre, <http://fate.jrc.ec.europa.eu/modelling/nutrients>, ultima visita 31/03/2014.
- Federalimentare, 2012. *Data & Trends of the European Food and Drink Industry 2012*, http://www.federalimentare.it/banche_dati.asp, ultima visita 28/03/2014.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Agriculture, Forestry and Other Land Use*, Chapter 11: N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application. Vol. 4 IPCC.
- Kim, S., Dale, B., Jenkins, R., 2009. Life cycle assessment of corn grain and corn stover in the United States. *International Journal of Life Cycle Assessment* 14:160–174.
- Margni, M., Rossier, D., Crettaz, P., Jolliet, O., 2002. Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93, 379–392.
- Poritosh, R., Daisuk, N., Takahiro, O., Qingyi, X., Hiroshi, O., Nobutaka, N., Takeo, S., 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering* 90, 1–10.
- Roy, P., Nei, D., Okadome, H., Nakamura, N., Orikasa, T., Shiina, T., 2008. Life cycle inventory analysis of fresh tomato distribution systems in Japan considering the quality aspect. *Journal of Food Engineering* 86, 225 – 233.
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., Shiina, T., 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering* 90, 1 – 10.
- Smil, V., 2000. Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *AnnuRev Energy Environ* 25, 53–88.

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