

# Coltivazione della colza per scopi energetici

## Valutazione della sostenibilità ambientale attraverso la metodologia LCA (Life Cycle Assessment)

LUIGI PARI, ALESSANDRO SUARDI,  
NADIA PALMIERI, MARIA BONAVENTURA FORLEO,  
DOMENICO COALOA

Questo contributo presenta i risultati di uno studio sugli impatti ambientali legati alla coltivazione della colza per scopi energetici basato sul metodo del Life Cycle Assessment. Questo ha permesso di identificare la coltivazione con il minor impatto ambientale secondo il tipo e la quantità di fattori produttivi utilizzati. L'analisi è stata condotta su cinque modelli colturali valutati su un campione rappresentativo di aziende distribuite su un totale di 2.751 ha nel periodo 2009-2010.

**PAROLE CHIAVE:** *Life Cycle Assessment, Brassica napus L., analisi della sensibilità, colza.*

La colza (*Brassica napus L.*), insieme ad altre colture oleaginose (girasole e *Brassica carinata*), è considerata strategica per l'implementazione della filiera dei biocarburanti in Italia (PARI 2012).

Negli ultimi anni, le coltivazioni di colza per fini energetici hanno registrato un significativo sviluppo in diversi sistemi agricoli italiani tanto che si è assistito ad un progressivo aumento delle superfici, passate dai 3.500 ha nel 2006 ai circa 24.500 ha nel 2009, con una particolare concentrazione in Friuli Venezia Giulia ed in Lombardia (ISTAT 2012). Questa rapida diffusione della coltivazione si spiega in parte con la possibilità di utilizzare **l'olio di colza per scopi energetici**. L'olio, infatti, in passato usato prevalentemente per scopi alimentari, può essere impiegato tal quale come combustibile in motori diesel modificati, o come biodiesel a

seguito di un processo di transesterificazione. Poiché l'aumento delle superfici dedicate alle colture energetiche per la produzione di



Fase di raccolta della coltura di colza (Fonte: SUSCACE).

biocarburanti non può avvenire in maniera incontrollata, si rende necessaria un'attenta analisi in merito alla loro reale sostenibilità economica ed ambientale, nonché sui sistemi e le metodologie che ne consentano la stima. Diversi studi sono stati dedicati al tema della sostenibilità ambientale delle bioenergie nel corso degli ultimi anni utilizzando la metodologia del Life Cycle Assessment (FRITSCHÉ *et al.* 2006; FAO 2008; SCHARLEMANN e LAURENCE 2008; CHIARAMONTI e RECCHIA 2010; SANZ REQUENA *et al.* 2011). Il metodo del Life Cycle Assessment (LCA), ad oggi, è il più utilizzato per stimare gli impatti ambientali positivi o negativi dei processi associati alla produzione e all'uso dei biocarburanti (CHIARAMONTI e RECCHIA 2010). Questo lavoro ha l'obiettivo di presentare i primi risultati di uno studio relativo alla stima degli impatti ambientali legati alla

LUIGI PARI, CRA-ING. - ALESSANDRO SUARDI, CRA-ING. E-mail [alessandro.suardi@entecra.it](mailto:alessandro.suardi@entecra.it). - NADIA PALMIERI, Università del Molise, Facoltà di Economia - MARIA BONAVENTURA FORLEO, Università del Molise, Facoltà di Economia - DOMENICO COALOA, Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura, CRA PLF - Unità di ricerca per le Produzioni Legnose Fuori Foresta.

coltivazione del colza per scopi energetici, valutando l'applicabilità di metodologie utili a porre a confronto modelli di coltivazione con un diverso livello di intensità colturale, rappresentativi di un campione reale di aziende diffuse sul territorio italiano.

## MATERIALI E METODI

Nell'ambito dell'attività del progetto SUSACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche), coordinato dall'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del CRA, è stato possibile raccogliere, con la collaborazione degli operatori agricoli coinvolti nell'indagine, informazioni riguardanti la gestione e la coltivazione di specie vegetali per scopi energetici, tra cui la colza. In particolare, i dati acquisiti negli anni 2009-2010 circa la coltivazione di quest'ultima fanno riferimento a 2.751 ettari coltivati in 251 appezzamenti presenti in 10 regioni italiane ma con una forte concentrazione del campione delle unità in Emilia Romagna (Tabella 1 e Figura 1).

Si tratta prevalentemente di coltivazioni praticate in zone di pianura. La superficie media per appezzamento è di circa 11 ha ma le unità considerate presentano un'elevata variabilità nelle dimensioni: da valori minimi di circa un ettaro in alcune regioni del centro Italia (Marche, Toscana e Umbria), a dimensioni medie tra 10 e 15 ha (Abruzzo, Emilia R., Lombardia, Puglia), fino a dimensioni molto grandi (Basilicata).

Per ogni appezzamento facente parte del campione sono state acquisite informazioni relative all'unità produttiva (superficie, produzione, colture in rotazione, ecc.), alle principali caratteristiche dell'impianto (data, densità di semina, distanza sulle/tra file, ecc.), ai fattori produttivi impiegati nel ciclo produttivo (unità di manodopera, potenza delle macchine, fertilizzanti, diserbanti, insetticidi, ecc.). Dal set di dati originari sono stati selezionati i parametri ritenuti più informativi relativamente alla definizione dell'intensità del metodo di produzione, giungendo a selezionare le seguenti variabili: superficie coltivata; produttività per ettaro; giacitura; quantità di fertilizzanti applicati per ettaro; quantità di diserbante per ettaro; quantità di insetticida per ettaro; kWh utilizzati per ettaro; coltura in precessione.

A partire dalla distribuzione dei valori assunti da dette variabili, si è proceduto ad una

loro riclassificazione in classi d'intensità crescente - da molto basso (vl) e basso (l) ad alto (h) e molto alto (vh) (analisi monodimensionale e ripartizione "naturale"<sup>(1)</sup>). Sono state, quindi, definite nuove variabili qualitative, di natura dicotomica ovvero per classi d'intensità crescente del fenomeno rilevato, e sono state ricodificate le variabili originarie (giacitura, fertilizzante potassico,

insetticida e coltura precedente) (Tabella 2). In seguito è stata condotta un'analisi multivariata e, mediante la procedura di *clustering* gerarchico sulle componenti principali (HCPC), si sono potute suddividere le unità colturali in cinque raggruppamenti omogenei i cui centroidi sono stati selezionati come gli appezzamenti più rappresentativi. Per tali cinque appezzamenti si è condotta una valu-

Regioni	Appezzamenti (%)	Superficie Coltivata (%)	Superficie Media (ha)	Superfici pianeggianti (%)
Abruzzo	0,4%	0,3%	9,0	100,0
Basilicata	2,4%	9,3%	42,6	33,3
Emilia R.	62,5%	61,3%	10,7	94,9
Friuli V. G.	0,8%	0,3%	3,6	0,0
Lombardia	2,8%	3,9%	15,5	100,0
Marche	5,6%	0,5%	1,0	21,4
Puglia	14,3%	21,2%	16,2	66,7
Toscana	3,2%	0,3%	0,9	12,5
Umbria	4,4%	0,3%	0,8	36,4
Veneto	3,6%	2,5%	7,7	100,0
<b>Totale campione</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>11,0</b>	<b>79,7</b>

Tabella 1 - Dati di sintesi delle unità campionarie (Fonte: nostra elaborazione, dati progetto SUSACE).

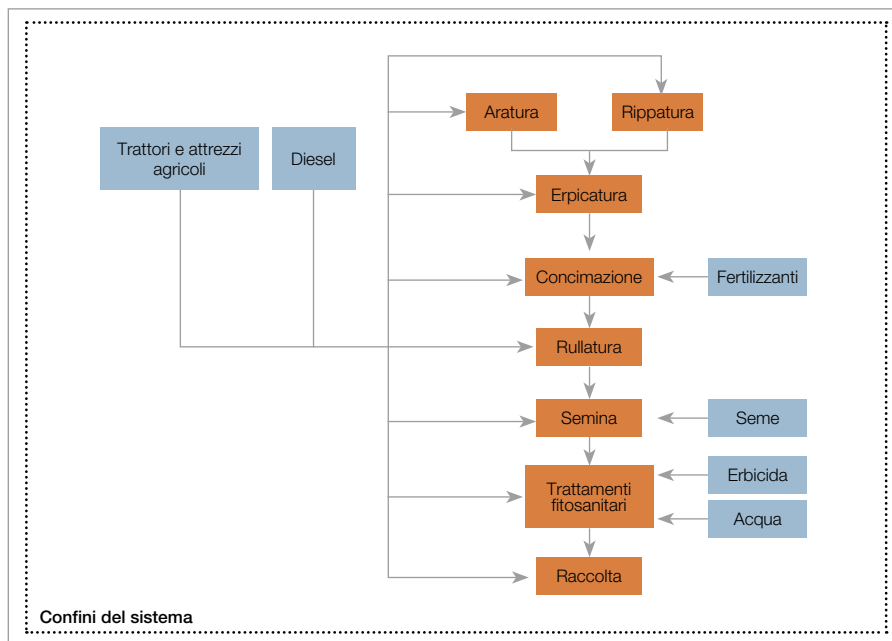


Figura 1 - Distribuzione geografica del campione.

(1) Utilizzo della tecnica di classificazione *k-medie* (HARTIGAN e WONG 1979).

Variabile	Classi	Cut points
Superficie Coltivata (ha)	lSup; mSup; hsup	(0- 9,4); [9,4-24]; [24-max)
Produttività (t/ha)	vlProd; lProd; mProd; hProd; vhProd	(0-0,7); [0,7-1,6]; [1,6-2,45]; [2,45-3,32]; [3,32-max)
Giacitura	pian; coll	Pianura; Collina
Q.ta N (kg/ha)	lN; mN; hN	(0- 47); [47-109]; [109-max)
Q.ta P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	lP; lmp; mhP; hP	(0- 18); [18-45]; [45-70]; [70-max)
Q.ta K <sub>2</sub> O (kg/ha)	sK; nK	si; no
Q.ta Diserbante (l/ha)	lDis; mDis; hDis	(0- 1,35); [1,35-3,6]; [3,6-max)
Q.ta Insetticida (l/ha)	slns; nlns	si; no
Energia impiegata (kWh/ha)	lKw; mKw; hKw	(0-532); [532-800]; [800-max)
Coltura precedente	frum; acolt	frumento; altre colture

**Tabella 2** - Suddivisione in classi delle variabili e cut points.



**Figura 2** - Confini del sistema: input (azzurro) e fasi del processo produttivo (arancio).

tazione d'impatto ambientale utilizzando la metodologia Life Cycle Assessment<sup>(2)</sup> (LCA), secondo le norme UNI EN ISO 14040: 2006 e UNI EN ISO 14044: 2006.

### Definizione degli scopi e degli obiettivi

Il sistema preso in esame è costituito dai processi agricoli attribuiti al ciclo di vita di 1 kg di colza prodotto dai cinque appezzamenti rappresentativi del campione.

I confini del sistema (Figura 2), ovvero le unità di processo che devono essere incluse in uno studio di LCA, comprendono nel presente studio tutte gli interventi colturali richiesti per la produzione della colza. Si è

**(2)** L'LCA è un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici ed ambientali relativi ad un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale.

scelto di focalizzare l'attenzione alla fase di coltivazione, tralasciando la produzione di olio, per verificare l'esistenza di differenze negli impatti ambientali delle varie pratiche agricole secondo le diverse modalità colturali adottate negli appezzamenti. L'unità funzionale, che rappresenta l'unità di riferimento utile a quantificare tutti i flussi in input e in output dai confini del sistema, è costituita da 1 Kg di semi di colza prodotto dai cinque appezzamenti considerati.

### Analisi dell'Inventario

Per la redazione dell'inventario (fase di raccolta dati) sono stati utilizzati dati primari reperiti direttamente in azienda mediante la compilazione di un questionario da parte di tecnici di campo; per quelli non diversamente reperibili (dati secondari) si è fatto ricorso alla banca dati (HISCHIER *et al.* 2010) del codice Simapro 7.3.3. della Pré Consultants bv (3821 AD Amersfoort, The Netherlands).

I dati primari sono relativi alle caratteristiche tecniche dei trattori e delle attrezzature agricole utilizzate, oltre al consumo di diesel, alla quantità e tipologia dei diserbanti e dei fertilizzanti impiegati. I dati secondari sono invece riferiti alle emissioni generate dalle macchine nelle varie fasi agricole (FRANCHINI e NERI 2005) e dall'evoluzione che i fertilizzanti subiscono quando raggiungono il terreno (modello proposto da BRENTUP *et al.* 2000 e da IPCC 2006). Per quanto riguarda il controllo delle erbe infestanti e i trattamenti parassitari, sono stati considerati i processi produttivi dei diserbanti e dei pesticidi utilizzati dalle aziende ma, in mancanza dei dati necessari per implementare modelli di dispersione, non sono stati valutati ulteriori impatti legati all'effetto deriva risultante durante la loro applicazione.

### Analisi degli impatti

Ai fini della valutazione degli impatti ambientali di 1 kg di colza è stato utilizzato il metodo ReCipe 2008 (GOEDKOOP *et al.* 2009) che comprende i due gruppi di categorie di impatto "midpoint level" e "endpoint level". I dati dell'inventario vengono associati inizialmente a delle categorie di impatto a livello "midpoint" con dei fattori di caratterizzazione<sup>(3)</sup>. Successivamente, a livello "endpoint", vengono convertiti e aggregati a tre categorie di danno (danno alla salute umana, alla diversità dell'ecosistema e il danno alle disponibilità di risorse), utilizzando dei fattori di pesatura<sup>(4)</sup>.

Per **Salute umana** si intende l'impatto che il cambiamento climatico ha: sulla salute umana, sull'assottigliamento dello strato d'ozono, sulla tossicità umana, sulla formazione di ossidanti fotochimici e di particolato e sulle radiazioni ionizzanti.

La categoria **Ecosistemi** fa riferimento all'impatto del cambiamento climatico sugli ecosistemi, in particolare su: l'acidificazione terrestre, l'eutrofizzazione di acqua dolce, l'ecotossicità terrestre, l'ecotossicità in acqua dolce, l'ecotossicità marina, l'occupazione di suolo agricolo, l'occupazione di suolo urbano e la trasformazione di suolo naturale.

Infine la categoria di danno **Risorse** fa

**(3)** La caratterizzazione rappresenta la quantificazione degli impatti generati sulle diverse categorie d'impatto mediante l'utilizzo di modelli scientifici.

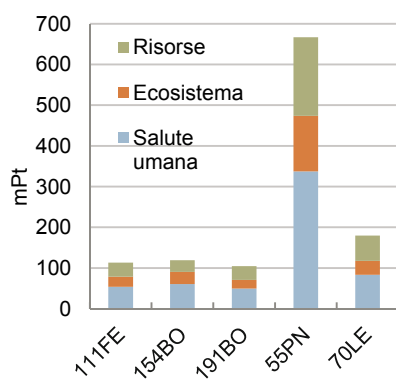
**(4)** Con la pesatura si attribuisce un peso di importanza ai diversi effetti ambientali causati dal processo, in modo che possano essere comparati tra loro per effettuare successivamente una ulteriore aggregazione dei dati. Gli effetti ambientali aggregati vengono espressi sottoforma di punteggio singolo (mPt), un'eco-indicatore che esprime in modo complessivo le prestazioni ambientali del sistema.

Cod.	Prov.	Reg.	Coltura precedente	Sup. (ha)	Prod. (t/ha)	Giacitura	N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	Diserbante (l/ha)	Pesticida (l/ha)	Energia richiesta (kWh/ha)
154	BO	Emilia R.	Frumento	7,3	2,53	Pianura	100,5	0	0	3,01	0,68	641,78
191	BO	Emilia R.	Frumento	0,9	2,83	Pianura	107,33	0	0	1,77	0	517,38
70	LE	Puglia	Frumento	1,28	1,05	Pianura	0	0	0	1,01	0	687,33
111	FE	Emilia R.	Frumento	8,40	2,88	Pianura	131,4	46	0	3,80	0	511,62
55	PN	Friuli V. G.	Altro	2,43	0,30	Collina	96,52	62,41	62,41	1,48	0	490,54

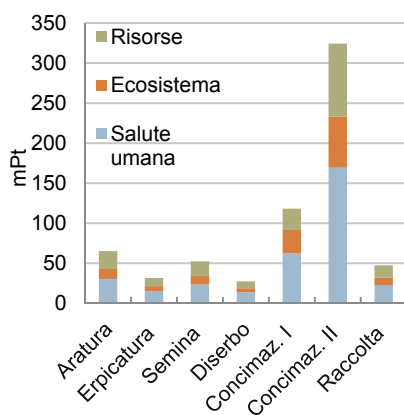
**Tabella 3** - Apezzamenti rappresentativi dei gruppi omogenei individuati.

Operazioni colturali	Arat.	Ercic.	Rull.	Semina	Diserbo e tratt.	Concim.	Raccolta
Trattrice utilizzata	4RM	4RM	4RM	4RM	4RM	4RM	MOS2RM
Potenza trattrice (kW)	132	132	33	40	52	52	147
Peso trattrice (kg)	7.500	7.500	1.400	1.400	3.000	3.000	8.700
Carburante consumato (l/ha)	32,64	27,61	1,41	4,79	3,05	1,83	27,89
Attrezzo utilizzato	aratro bivomere	erpice rotante	rullo	seminatrice pneumatica	irroratrice portata	spandiconcime	mietitrebbia
Peso attrezzatura (kg)	1.000	1.000	500	400	300	400	-
Prodotto utilizzato	-	-	-	Excalibur	Metazachlor	Urea	-
Quantità (kg/ha)	-	-	-	0,45	1,78	233	-
Durata operazione colturale (h/ha)	1,20	1,02	1,02	0,93	0,46	0,28	0,93

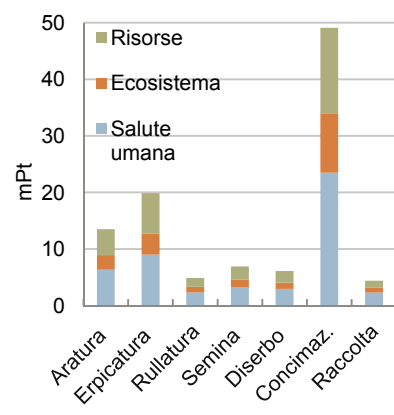
**Tabella 4** - Dati relativi all'azienda tipo: 191BO.



**Grafico 1** - Risultato della pesatura, confronto tra aziende.



**Grafico 2** - Risultati della pesatura suddivisi per fasi del ciclo di vita di 1 kg di colza (Azienda 55PN).



**Grafico 3** - Risultati della pesatura suddivisi per fasi del ciclo di vita di 1 kg di colza (Azienda 191BO).

riferimento all'esaurimento dei metalli e delle risorse fossili.

## RISULTATI

I cinque appezzamenti caratteristici evidenziano differenze soprattutto per quanto riguarda la produttività per ettaro e gli indicatori di intensità nell'impiego di macchinari (energia richiesta) e di prodotti chimici (Tabella 3).

L'analisi degli impatti ha consentito preliminarmente di individuare i processi più impattanti nell'ambito dei cinque appezzamenti considerati. Nella maggior parte delle unità (4 su 5) la concimazione risulta essere l'intervento agronomico maggiormente impattante, e con un impatto variabile in funzione del concime somministrato. Per quanto riguarda l'appezzamento 70LE, in cui non è stata effettuata alcuna concimazione, la prima erpicatura si è dimostrata l'intervento a maggiore impatto. La causa è riconducibile

alla massa dell'attrezzo agricolo impiegato (erpice di 1.600 kg). Il costo ambientale del processo produttivo dell'acciaio utilizzato per la costruzione dell'erpice, si ripercuote sull'unità funzionale scelta, sottoforma di impatti ambientali. Per lo stesso motivo, le erpicature successive, avendo utilizzato erpici di peso inferiore (600 kg), si sono mostrate più sostenibili. Da un confronto tramite pesatura (vedi nota 4) delle cinque aziende, (Grafico 1), si evince che l'azienda 55PN è complessivamente la più impattante; segue l'unità 70LE, quindi le restanti tre unità che paiono simili nella dimensione complessiva dell'impatto da esse generato; le pratiche agricole più sostenibili sono risultate essere quelle applicate all'appezzamento 191BO (Grafico 1 e Tabella 4). Relativamente alle tre macro categorie di danno, la produzione della colza incide maggiormente sulla salute umana rispetto al danno generato agli ecosistemi e allo sfrutta-

mento delle risorse (Grafico 1). Analizzando più in dettaglio i risultati della pesatura dell'azienda più impattante (55PN) si evidenzia come, a livello "endpoint" (Grafico 2), le concimazioni gravano maggiormente rispetto alle altre fasi produttive. Anche l'azienda 191BO produce impatti complessivamente maggiori sugli aggregati Risorse e Salute umana (Grafico 3), in cui si conferma il notevole contributo generato dalla pratica della concimazione. Dai dati elaborati per le due aziende si evidenzia come anche l'erpicatura e l'aratura rappresentano delle fasi complessivamente piuttosto impattanti nel ciclo produttivo: questo sia a causa dei materiali costruttivi impiegati, che per i consumi di combustibile e le emissioni prodotte dal motore durante le lavorazioni. I risultati fin qui presentati si ritiene forniscano già un quadro alquanto completo degli impatti associati al ciclo di vita di un kilogrammo di seme di colza. Le possibili azioni migliorative

dovrebbero in primo luogo concentrarsi su metodi di buona pratica agricola finalizzati all'abbattimento delle emissioni legate ai fertilizzanti e alla riduzione dei consumi di carburante. L'anticipo del periodo di semina, l'impiego di fertilizzanti ammoniacali con inibitori della denitrificazione, l'adozione di minime lavorazioni (semina su sodo quando possibile), permetterebbero di ridurre di oltre il 50% l'impiego di fertilizzante nonché di limitare fortemente sia le emissioni di  $N_2O$  in atmosfera che i fenomeni di lisciviazione (PALMIERI *et al.* 2012). Il corretto dimensionamento delle macchine agricole e dei trattori in funzione delle caratteristiche e delle dimensioni aziendali costituiscono un elemento fondamentale per l'abbattimento dei consumi e quindi delle emissioni sia dirette, causate dalla combustione del carburante, che indirette, conseguenti dal processo produttivo delle stesse macchine.

## ANALISI DI SENSIBILITÀ

L'analisi di sensibilità si propone di verificare "cosa succede se" gli scenari di base (relativamente ai prodotti, ai processi ed ai servizi utilizzati) vengono cambiati. In questo modo si possono valutare i costi ambientali delle alternative e delle sostituzioni. Relativamente al nostro studio LCA, la modifica della produttività per unità di superficie (*output*) o dell'unità funzionale scelta, possono portare a risultati finali anche molto diversi. Dall'analisi è risultato che produzioni ad ettaro estremamente basse hanno caratterizzato l'azienda con il maggior impatto ambientale (55PN). La bassa produttività di questa azienda è stata causata da errori di natura umana ma anche da eventi naturali avversi (siccità dopo la semina e intense

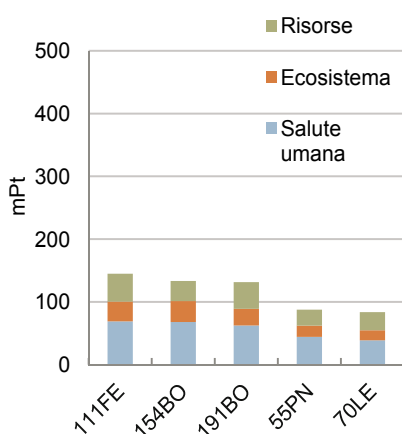
precipitazioni piovose dopo la raccolta). Nel caso di bassa produttività, gli impatti generati dal processo produttivo si "concentrano" su una limitata quantità di prodotto, tanto da rendere il processo stesso insostenibile da un punto di vista ambientale, se comparato con altre aziende che hanno ottenuto risultati produttivi migliori. Per tale motivo si è pensato di prendere come riferimento, per le singole aziende studiate, le produzioni medie nazionali ad ettaro ( $2.256 \text{ kg ha}^{-1}$ ), registrate nel biennio 2009-2010, al fine di valutare i processi produttivi adottati in funzione di una produttività non influenzata da andamenti climatici anomali (come nel caso dell'azienda 55PN). La simulazione, effettuata tenendo conto di queste modifiche (Grafico 4), ha mostrato come l'azienda meno impattante fosse la 70LE, in cui non era stata fatta alcuna concimazione. L'azienda 55PN, che nelle precedenti elaborazioni risultava la più impattante, dopo l'analisi di sensibilità ha mostrato un netto miglioramento della sostenibilità del processo produttivo adottato (Grafico 4). Le rimanenti tre aziende, localizzate in Emilia Romagna, hanno fatto registrare una produttività simile alla media nazionale e un più elevato indice di impatto ambientale. Risultati simili, ma con differente unità di grandezza, sono stati ottenuti considerando come unità funzionale l'ettaro (Grafico 5). Oltre a queste simulazioni è stata effettuata una terza analisi usando come *output* la produzione media su scala regionale (ISTAT 2009-2010) (Grafico 6). Quest'ultima ha mostrato come la pratica di coltivazione adottata dall'azienda 191BO sia quella meno impattante (risultato in linea con quello ottenuto considerando la produttività reale). Il risultato peggiore è stato quello dell'azienda 70LE.

## DISCUSSIONE

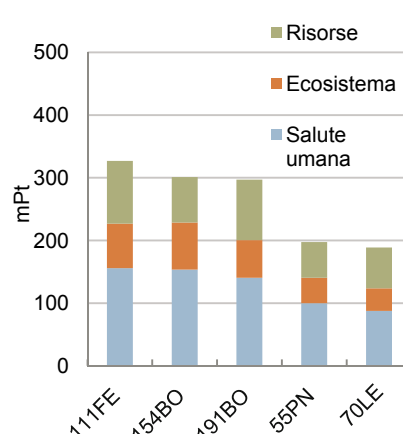
Il lavoro proposto si è prefissato di individuare gli impatti ambientali legati alla coltivazione della colza per fini energetici in Italia, fornendo un contributo per la valutazione della sostenibilità ambientale del processo produttivo del seme. Questo studio ha permesso di fare chiarezza sulle tecniche più comunemente impiegate e le pratiche più impattanti della fase di coltivazione del campione analizzato. Inoltre, si è potuto osservare come la valutazione dell'efficienza ambientale sia fortemente condizionata non solo dagli *input* impiegati (soprattutto i fertilizzanti), ma principalmente dalla produttività, e dai fattori esterni, biotici e abiotici che indirettamente possono influenzarla.

L'analisi statistica ha permesso di identificare cinque aziende rappresentative di un vasto campione di aziende agricole intervistate (responsabili di circa l'11% della produzione di colza italiana). Tra le cinque aziende sono stati analizzati anche due casi limite (azienda che non ha praticato alcuna concimazione e azienda con bassa produttività dovuta a fattori esterni) il cui studio ha permesso di investigare scenari alternativi a quelli normalmente analizzati da altri studi (es. FONTARAS *et al.* 2012; IRIARTE *et al.* 2010; NEMECEK *et al.* 2011; CHEN *et al.* 2011).

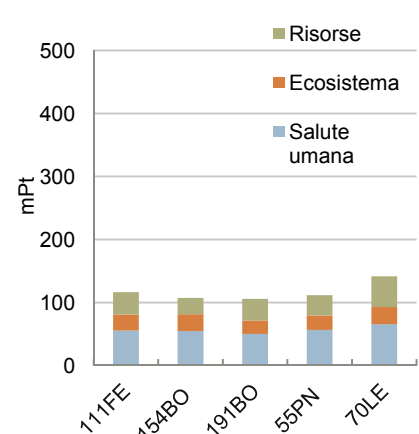
Se ipotizziamo un confronto tra le aziende, ma senza considerare questi due casi limite, e scegliendo l'ettaro come unità funzionale, si può notare che la pratica di coltivazione adottata in Emilia Romagna dall'azienda 191BO risulta essere nel complesso la più sostenibile (Grafico 5). Lo studio ha permesso inoltre di poter ipotizzare possibili azioni migliorative che si potrebbero adottare da parte dell'azienda 191BO per aumentare



**Grafico 4** - Risultati della pesatura: confronto tra aziende considerando per tutte una produttività media.



**Grafico 5** - Risultati della pesatura considerando come unità funzionale un ettaro.



**Grafico 6** - Risultato della pesatura considerando come unità funzionale la produzione media regionale per il biennio 2009-2010.



ulteriormente le *performance* ambientali, soprattutto per quanto riguarda un più efficiente utilizzo delle risorse (es. come per l'azienda 154BO che per quest'ultima categoria di danno risulta essere più performante) (Grafico 5). Il giusto dimensionamento delle macchine agricole e la scelta razionale della tipologia e delle giuste quantità di fertilizzanti adottati, possono in questo senso essere determinanti per contenere gli impatti ambientali.

Anche se l'analisi LCA può risultare ancora un metodo in evoluzione che necessita di ulteriori miglioramenti, rimane comunque un valido strumento per valutare i carichi ambientali determinati dalle singole fasi dei cicli produttivi. Questo di conseguenza permette di ottenere una scala di priorità e di miglioramenti da introdurre all'interno dei processi stessi, di individuare le esternalità negative generate dalle attività antropiche e i metodi per ridurle. Lo studio LCA ha inoltre dimostrato l'importanza che ricopre la scelta dell'unità funzionale e delle variabili relative all'obiettivo della ricerca, che possono fortemente influenzare i risultati finali. A partire dai risultati fin qui ottenuti, il passo successivo sarà quello di integrare l'analisi ambientale applicando il metodo del Life Cycle Costing (REBITZER e SEURING 2003) per una valutazione comparata e congiunta della sostenibilità economica ed ambientale della produzione della colza.

## Bibliografia

BRENTROP F., KIISTERS 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**. International Journal. Of Life Cycle Assessment 5 (6): 349-357.

CHEN H., CHEN GQ. 2011 - **Energy cost of rapeseed-based biodiesel as alternative energy in China**. Renew Energ 2011;36(5): 1374-8.

CHIARAMONTI D., RECCHIA L. 2010 - **Is life cycle assessment (LCA) a suitable method for quantitative CO<sub>2</sub> saving estimations? The impact of field input on the LCA results for a pure vegetable oil chain**. Biomass and Bioenergy. 34 (5): 787-797.

FAO ED. 2008 - **The state of food and agriculture - BIOFUELS: prospect, risks and opportunities**. 978-92-5-105980-7 Roma, Italy.

FONTARAS G, SKOULOU V, ZANAKIS G, ZABANIOTOU A, SAMARAS Z. 2012 - **Integrated environmental assessment of energy crops for biofuel and energy production in Greece**. Renew Energ 2012;43: 201-9.

FRANCHINI F., NERI P., 2005 - **Analisi ambientale della filiera vitivinicola del Cabernet Sauvignon in Friuli Venezia Giulia secondo il metodo LCA**. Doc. ENEA. <http://openarchive.enea.it/handle/10840/3854?show=full>

FRITSCHÉ U.R., HÜNECKE K., HERMANN A., SCHULZE F., WIEGMANN K. 2006 - **Sustainability standards for bioenergy**. WWF Germany, Frankfurt am Main. [www.oeko.de/oekodoc/305/2006-014-en.pdf](http://www.oeko.de/oekodoc/305/2006-014-en.pdf)

GOEDKOOP M.J., HEIJUNGS R, HUIJBREGTS M., DE SCHRYVER A., STRUIJS J., VAN ZELM R. 2009 - **ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level**. First edition Report I: Characterisation. [www.lcia-recipe.net](http://www.lcia-recipe.net)

HARTIGAN J. A., WONG M. A. 1979 - **A K-means clustering algorithm**. Applied Statistics 28, 100-108

HISCHIER R., WEIDEMA B., ALTHAUS H.-J., BAUER C., DOKA G., DONES R., FRISCHKNECHT R., HELLWEG S., HUMBERT S., JUNGLUTH N., KÖLLNER T., LOERINCİK Y., MARGNI M., NEMECEK T. 2010 - **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods**. Final report ecoinvent v2.2 No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.

IPCC 2006 - **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory**. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_11\\_Ch11\\_N2O&CO2.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf)

IRIARTE A., RIERADEVALL J., GABARRELL X. 2010 - **Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions**. J Cleaner Prod 2010;18(4):336-45.

ISTAT - **Agricoltura e zootecnia. Coltivazioni industriali**. [http://agri.istat.it/sag\\_is\\_pdwout/jsp/NewDownload.jsp?id=15A|18A|29A](http://agri.istat.it/sag_is_pdwout/jsp/NewDownload.jsp?id=15A|18A|29A) (ultimo accesso 7 Dicembre 2012).

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 2011;104(3):233-45.

PALMIERI N., FORLEO M.B., SUARDI A., COALOA D., PARI L. 2012 - **Produzione del colza per fini energetici: impatto ambientale e metodo di coltivazione**. Lavoro preparato per la presentazione al Primo Convegno della Associazione

Italiana di Economia Agraria e Applicata (AIEAA) 'Verso una bio-economia sostenibile: aspetti economici e sfide di politica economica'. Trento, 4-5 giugno 2012.

PARI L. 2012 - **I progetti di ricerca SUSCACE e FAESI: un contributo alle conoscenze scientifiche per promuovere le filiere agro-energetiche**. In: Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI. Recenti acquisizioni scientifiche per le colture energetiche. Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi 183, Supplemento 2.

REBITZER G., SEURING S. 2003 - **Methodology and application of Life Cycle costing**. The International Journal of Life Cycle Assessment 8(2):110-111

SANZ REQUENA J.F., GUIMARAES A.C., QUIRÓS ALPERA S., RELEA GANGAS E., HERNANDEZ-NAVARRO S., NAVAS GRACIA L.M., MARTIN-GIL J., FRESNEDA CUESTA H. 2011 - **Life Cycle Assessment (LCA) of the biofuel production process from sunflower oil, rapeseed oil and soybean oil**. Fuel Processing Technology 92 (2): 190-199.

SCHARLEMANN, J.P.W. AND LAURENCE, W.F. 2008 - **How green are biofuels?** Science 319, 43-44.

UNI EN ISO 14040:2006 **Environmental management, Life cycle assessment - Principles and Framework**. International Organization for Standardization (ISO).

UNI EN ISO 14044:2006 **Environmental management, Life cycle assessment - Requirements and Guidelines**. International Organization for Standardization (ISO).

**KEYWORDS:** Life Cycle Assessment, *Brassica napus* L., sensibility analysis, Oilseed rape.

**Abstract:** *The research was focused on an environmental impact analysis of the oilseed rape supply chain in Italy in order to find the most sustainable method of cultivation used.*

*The environmental analysis was carried out on five cultivation realities that were identified as most representative by using a statistical clustering analysis starting from a sample of 251 lands (2751 hectares in total) spread out to ten Italian Regions in the period 2009-2010. The environmental performance has been evaluated by Life Cycle Assessment method. This allowed to identify the cultivation method that caused the lower environmental impact according to the type and the quantity of productive factors that were used.*