



Produzione del colza per fini energetici: impatto ambientale e metodo di coltivazione

Nadia Palmieri¹, Maria Bonaventura Forleo¹, Alessandro Suardi², Domenico Coaloa³, Luigi Pari²

1 University of Molise, Faculty of Economics, Italy

2 CRA-ING (Agricultural Engineering Research Unit of the Agriculture Research Council)

3 CRA-PLF (Research Unit for Intensive Wood Production of the Agriculture Research Council)

(Corresponding Author: Alessandro Suardi: alessandro.suardi@entecra.it)

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'

4-5 Giugno, 2012
Trento, Italia

Summary

A seguito dell'applicazione della riforma OCM zucchero, si sono avviati piani di riconversione della filiera bieticolo-saccarifera verso diverse filiere agroenergetiche. La colza è considerata tra le colture strategiche da utilizzare per la produzione di biodiesel. Tra gli studi di riconversione sta acquistando sempre maggiore importanza l'analisi della sostenibilità ambientale ed economica del processo di cambio d'uso del suolo. Obiettivo dello studio è condurre un'analisi dell'impatto ambientale della coltivazione di colza al fine di individuare il modello colturale meno impattante.

L'analisi ambientale è condotta su cinque realtà rappresentative individuate mediante l'impiego della cluster analysis a partire da un campione di 251 appezzamenti coltivati a colza (2751 ettari totali) nel biennio 2009-2010 in diverse regioni italiane.

Per valutare le performance ambientali delle cinque realtà indagate si è applicata la metodologia del Life Cycle Assessment che ha consentito di porre a confronto le unità al fine di individuare quella che, per metodo di coltivazione, tipologia e quantità di fattori produttivi, causa un minore impatto ambientale relativo.

Keywords: Bioeconomy, Life Cycle Assessment, *Brassica napus*, L.

JEL Classification codes: Q01, Q12, Q51

Produzione del colza per fini energetici: impatto ambientale e metodo di coltivazione

Nadia Palmieri¹, Maria Bonaventura Forleo¹, Alessandro Suardi², Domenico Coaloa³, Luigi Pari²

¹ University of Molise, Faculty of Economics, Italy

² CRA-ING (Agricultural Engineering Research Unit of the Agriculture Research Council)

³ CRA-PLF (Research Unit for Intensive Wood Production of the Agriculture Research Council)

1. INTRODUZIONE

La Commissione Europea ha recentemente adottato una strategia per la creazione di una bioeconomia ritenuta un elemento chiave per consentire la crescita economica, la creazione di posti di lavoro, rilevante soprattutto in aree rurali, oltre che la riduzione della dipendenza dai combustibili fossili (Commissione europea, 2012). Tale strategia si propone, tra l'altro, di indirizzare l'economia dell'Europa verso un più ampio e sostenibile uso delle risorse rinnovabili.

Le energie da fonti rinnovabili stanno avendo in Italia una certa diffusione anche grazie alle politiche di incentivazione e presentano buone prospettive per il raggiungimento dell'obiettivo previsto dal Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili (17% al 2020 di rinnovabili sul consumo lordo). Le bioenergie, biomasse e biogas, sono le fonti che hanno dimostrato il maggiore potenziale di sviluppo in questi anni diventando le più importanti dopo l'idroelettrico (Donati, 2011). Le filiere agroenergetiche per la produzione di biodiesel da esterificazione di oli vegetali e bioetanolo da fermentazione di cereali o da biomasse stanno riscuotendo ampie convergenze.

A seguito dell'applicazione della riforma OCM zucchero, che in Italia ha portato alla chiusura di oltre il 50% degli zuccherifici presenti, le proprietà industriali (Eridania Sadam, S.F.I.R. e Coprob Italia Zuccheri di seguito denominate ESC) hanno presentato piani di riconversione della filiera bieticolo-saccarifera verso diverse filiere agroenergetiche. Il complesso progetto di riconversione colturale dei bacini di approvvigionamento degli impianti bioenergetici derivati dagli ex-zuccherifici, presuppone uno studio finalizzato ad approfondire le conoscenze sulle colture bioenergetiche coltivabili, le tecniche di coltivazione, i costi colturali, il collaudo della meccanizzazione, al fine di intervenire per rimuovere gli eventuali fattori che ostacolano la nascita della filiera bioenergetica in Italia. In tale quadro si inserisce il progetto triennale di ricerca denominato SUSPACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) coordinato dal CRA-ING (Unità di Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura) che si propone di apportare il supporto tecnico-scientifico per rispondere alle esigenze delle ESC.

La colza, insieme ad altre colture oleaginose (girasole e Brassica carinata), è una coltura strategica per l'implementazione della filiera del biodiesel in Italia (Suspace, 2008). Le biomasse e le colture oleaginose (tra cui colza, girasole, brassica carinata) possono giocare un ruolo importante nello sviluppo della bioeconomia costituendo una delle fonti energetiche rinnovabili considerate prioritarie dall'Unione Europea (Gasol et al., 2009; Zegada-Lizarazu et al., 2011).

Negli ultimi anni, le coltivazioni di colza per fini energetici (*Brassica napus*, L.) hanno registrato uno 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, 2006-2009). 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 come combustibile in motori diesel, o direttamente o come biodiesel.

L'aumento delle superfici dedicate alle colture energetiche per la produzione di biocarburanti richiama comunque l'importanza di investigare in merito alla loro reale sostenibilità, economica ed ambientale, nonché sulla necessità di poterla in qualche modo stimare. L'attitudine delle comunità e dei legislatori rispetto ai biocombustibili e alla bioenergia risulta infatti fortemente cambiata negli ultimi anni. Gli aspetti legati alla sostenibilità degli stessi (sia in termini di produzione che di uso) sono argomenti temi oramai noti, e i potenziali impatti ambientali, la sicurezza alimentare e il rischio connesso all'aumento dei prezzi dei prodotti agricoli sono diventati argomenti cruciali capaci di limitare o impedire lo sviluppo del mercato

(Chiaromonti et al., 2010). Questo potenzialmente anche a discapito di realtà territoriali adatte per una conversione del terreno finalizzata alla produzione di biomassa per energia.

Diversi studi sono stati dedicati al tema della sostenibilità ambientale delle bioenergie nel corso degli ultimi anni utilizzando la metodologia del Life Cycle Assessment (si ricordano: Howarth et al., 2008; Fritsche et al., 2006; FAO, 2008; Scharlemann et al. 2008; Chiaromonti et al., 2010; Sanz Requena et al., 2011). Il metodo del Life Cycle Assessment, ad oggi, è il più utilizzato per stimare gli impatti ambientali positivi o negativi dei processi associati alla produzione e all'uso dei biocarburanti (Chiaromonti et al., 2010).

Relativamente alla valutazione dell'impatto ambientale derivante dalla coltivazione del colza, negli anni recenti sono stati prodotti studi comparativi tra filiere produttive diverse, in ambienti con caratteristiche pedo-climatiche spesso dissimili tra loro e in condizioni di differenti pratiche colturali e confini del sistema.

Nel confronto tra colture energetiche poliennali ed annuali con metodi di coltivazione convenzionali ed organici, si evidenzia come il metodo di coltivazione convenzionale è responsabile di maggiori emissioni di gas climalteranti rispetto al metodo di coltivazione organico. La riduzione di emissione risulta comunque non comparabile con le colture poliennali, che presentano nel complesso i più bassi livelli di emissione in termini di CO₂ equivalente (Brandão et al., 2010; Lankoski et al. 2011), e, se messa a confronto con altre colture oleaginose, la colza risulta capace di ridurre maggiormente le emissioni dei gas serra (Fontaras et al., 2012; Iriarte et al., 2010).

La produttività appare, in tutte le esperienze, un parametro importante e altamente discriminante. Nello studio di Nemecek et al. (2011) si evidenzia come la colza sia una coltura meno impattante se comparata anche con i cereali autunno vernini per unità di superficie, ma se l'unità funzionale diventa il kg di prodotto, i risultati cambiano e gli impatti possono apparire peggiori (es. Effetto serra potenziale) o simili (es. ecosiccità dell'ambiente marino e terrestre). Alla stessa conclusione arrivano Chen et al. (2011).

Nel confronto con altre colture oleaginose in zone climatiche diverse, Mattsson et al. (2000), hanno evidenziato che il colza rispetto alla soia e alla palma da olio, apporta un miglioramento in termini di biodiversità, permette di ridurre significativamente i fenomeni erosivi, non intacca il contenuto di sostanza organica anche se, in presenza di un eccesso di azoto, può portare a importanti fenomeni di lisciviazione dello stesso, incrementando il rischio di eutrofizzazione delle acque. Schmidt (2010), nel suo studio comparativo del colza con la palma da olio, individua nella seconda una fonte di minore impatto, indicando come discriminanti i confini del sistema.

Il presente lavoro ha l'obiettivo di presentare i primi risultati di uno studio relativo alla stima degli impatti ambientali legati alla coltivazione del colza per scopi energetici, valutando l'applicabilità di metodologie utili a porre a confronto modelli colturali con un diverso livello di intensività rappresentativi di un campione reale di aziende diffuse sul territorio italiano.

Seguendo il medesimo approccio sviluppi futuri del presente lavoro si propongono, da un canto, di completare l'analisi con un'analisi di sostenibilità economico-ambientale; d'altro canto, di estendere la metodologia ad altre colture energetiche oggetto di studio del progetto SUSPACE al fine di poter fare confronti multipli individuando i modelli colturali e gestionali più sostenibili, sia da un punto di vista ambientale che economico.

2. MATERIALI E METODI

Nell'ambito dell'attività del progetto SuSPACE è stato possibile raccogliere, con la collaborazione di un campione di aziende agricole, informazioni riguardanti la gestione e la coltivazione di specie erbacee e arboree per uso energetico, tra cui la colza. In particolare, i dati acquisiti negli anni 2009-2010 circa la coltivazione della colza (tab. 1 e Fig.1) fanno riferimento a 2751 ettari coltivati in 251 appezzamenti presenti in 10 regioni italiane ma con una forte concentrazione del campione delle unità in Emilia Romagna. Si tratta prevalentemente di coltivazioni praticate in zone di pianura. La superficie media per appezzamento è di circa 11 ettari 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 ettari (Abruzzo, Emilia R., Lombardia, Puglia), fino a dimensioni molto grandi (Basilicata).

Per ogni appezzamento colturale sono state acquisite informazioni relative alle unità (superficie, produzione, altre colture in rotazione, ...), alle principali caratteristiche dell'impianto (data, densità, distanza sulle/tra file, ...), ai fattori produttivi impiegati nel ciclo produttivo (unità di manodopera, potenza delle macchine, fertilizzanti, diserbanti, insetticidi, ...).

Tabella 1. Dati di sintesi delle unità campionarie.

Regioni	Appezziamenti (%)	Superficie Coltivata (%)	Superficie Media	Pianura (%)
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
Totale campione	100,0%	100,0%	11,0	79,7

Fonte: nostra elaborazione, dati progetto SUSFACE.

Figura 1: Distribuzione provinciale delle superfici coltivate a colza.



Dal set di dati originari si sono selezionati quelli ritenuti più significativi dell'intensività del metodo di produzione e si è giunti a considerare le seguenti variabili: superficie coltivata; produttività per ettaro; giacitura; tre variabili circa la concimazione per ettaro: composti azotati, fosforo, potassio; diserbante per ettaro; insetticida per ettaro; potenza dei mezzi meccanici per ettaro; coltura precedente.

Quindi, 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) -; dette classi sono in numerosità variabile in relazione alla distribuzione della variabile originaria. Si sono quindi definite nuove variabili qualitative, di natura dicotomica ovvero per classi d'intensità crescente del fenomeno rilevato, e ricodificate le variabili originarie (tabb. 2-3).

Tabella 2. Suddivisione in classi delle variabili e cutting points.

Variabile	Classi	Cutting points
Superficie Coltivata (ha)	lSup; mSup; hsup	(0- 9.4); (9.4-24);(24-max)
Produttività (t/ha)	vlProdv; lProd; mProd; hProd; vhProdv	(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); (478-109);(109-max)
Q.ta P ₂ O ₅ (kg/ha)	lP; lmp; mhP; hP	(0- 18); (18-45);(45-70); (70-max)
Q.ta K ₂ 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)	sIns; nIns	si; no
Energia impiegata (kWh/ha)	lKw; mKw; hKw	(0-532); (532-800);(800-max)
Coltura precedente	frum; acolt	frumento; altre colture

Fonte: nostra elaborazione

Tabella 3. Suddivisione in classi delle variabili e frequenze relative.

Superficie	%	Produttività	t/ha	Giacitura	%	N/ha	%	P ₂ O ₅ /ha	%	K ₂ O/ha	%
lSup	24.7	vlProd	34	pianura	79.7	lN	27.5	lP	72.9	nK	96.1
mSup	51.0	lProd	48	altro	20.3	mN	52.2	lmp	10.0	sK	3.9
hSup	12.3	mProd	60			hN	20.3	mhP	9.2		
		hProd	67					hP	8.0		
		vhProd	42								
Diserb/ha	%	Insett/ha	%	kWh/ha	%	Colture prec.					
lDis	30.7	nIns	90.4	lKW	49.4	frum	77.7				
mDis	57.0	sIns	9.6	mKW	40.2	altre	22.3				
hDis	12.3			hKW	10.4						

Fonte: nostra elaborazione

L'analisi multivariata, condotta sulle nuove variabili riclassificate mediante la procedura di clustering gerarchico sulle componenti principali (HCPC), ha portato a suddividere le unità colturali in cinque raggruppamenti omogenei i cui centroidi sono stati selezionati come gli appezzamenti più rappresentativi all'interno di ciascun gruppo su cui condurre l'analisi LCA.

Esaminando le caratteristiche di tali appezzamenti sulla base delle variabili classificate (tab. 4) si evidenziano differenze tra gli stessi che interessano soprattutto la produttività per ettaro e gli indicatori di intensità nell'impiego di macchinari e di prodotti chimici. I tre appezzamenti di pianura localizzati in Emilia hanno tutti una produttività elevata: un appezzamento si distingue per caratteristiche di intensità degli indicatori relativi alla concimazione e al diserbo (111FE), tra i restanti due in un caso si osserva un più elevato indice di meccanizzazione e l'impiego di insetticidi (154BO).

Gli altri due appezzamenti si distinguono anzitutto per gli indici di produttività per ettaro -basso e molto basso-; presentano, inoltre, una diversa giacitura; tra i due, l'unità pugliese (70LE) ha minori indici d'intensità colturale e una maggiore intensità di meccanizzazione rispetto all'unità friulana (55PN).

Tabella 4. Caratteristiche degli appezzamenti rappresentativi dei gruppi omogenei.

Codice appezz.to	Regione	Sup	Prod./ha	Giac	TotN/ha	TotP/ha	TotK/ha	dis/ha	ins/ha	Energia/ha	Altra colt
191BO	Emilia R.	lSup	hProdh	pianura	mN	IP	no-K	mDis	nIns	lKw	frumento
154BO	Emilia R.	lSup	hProdh	pianura	mN	IP	no-K	mDis	sIns	mKw	frumento
111FE	Emilia R.	lSup	hProdh	pianura	hN	mhP	no-K	hDis	nIns	lKw	frumento
70LE	Puglia	lSup	lProdh	pianura	lN	IP	no-K	lDis	nIns	mKw	frumento
55PN	Friuli	lSup	vlProdh	collina	mN	mhP	si-K	mDis	nIns	lKw	altre

Fonte: nostra elaborazione

Per tali cinque appezzamenti rappresentativi si è condotta una valutazione d'impatto ambientale secondo la metodologia Life Cycle Assessment¹ (LCA) la cui applicazione, secondo le norme UNI EN ISO 14040: 2006 e UNI EN ISO 14044: 2006, deve seguire le seguenti fasi:

1. Definizione degli scopi e degli obiettivi (Goal Definition and Scoping): si definiscono gli obiettivi dello studio, l'unità funzionale, i confini del sistema ed i dati necessari;
2. Analisi dell'Inventario (Life Cycle Inventory Analysis): ovvero la raccolta dei dati;
3. Analisi degli impatti (Life Cycle Impact Assessment): si stimano i potenziali impatti ambientali;
4. Interpretazione e miglioramento (Life Cycle Interpretation and Improvement): ovvero la fase finale in cui si controllano e si valutano i risultati, al fine di elaborare delle conclusioni.

2.1. Definizione degli scopi e degli obiettivi (Goal Definition and Scoping)

Il sistema preso in esame è costituito dai processi agricoli attribuiti al ciclo di vita di 1 kg di colza prodotto dai cinque appezzamenti² rappresentativi del campione.

I confini del sistema (Fig. 2), ovvero le unità di processo che devono essere incluse in uno studio di LCA, comprendono nel presente studio tutte le fasi agricole della coltivazione della colza³. Si è scelto di prestare particolare attenzione alle fasi agricole, 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.

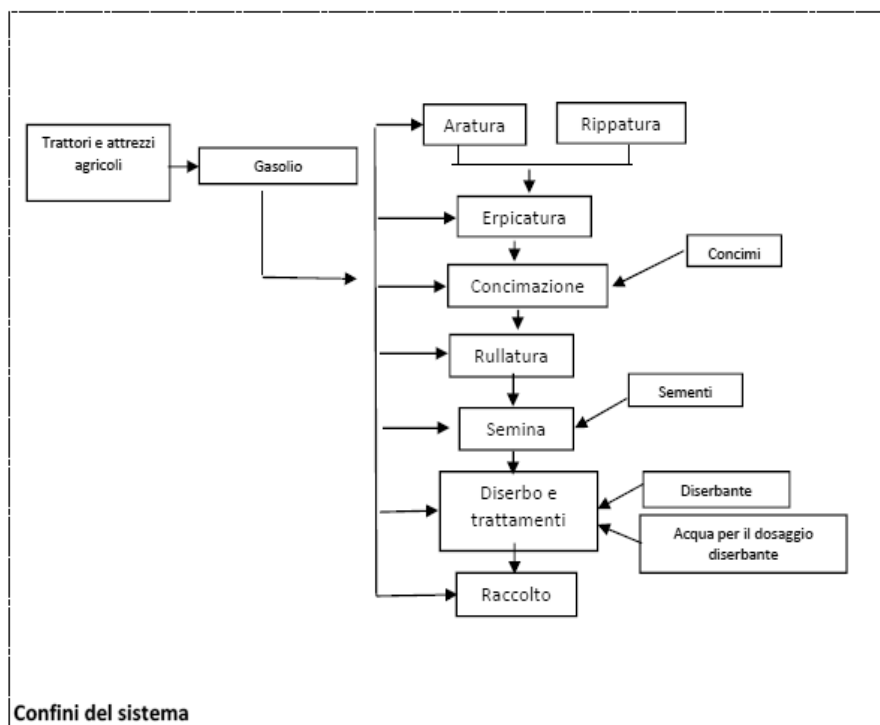
L'unità funzionale, che rappresenta l'unità di riferimento utile a quantificare tutti i flussi in input e in output dai confini del sistema, è costituita da 1 Kg di semi di colza prodotto dai cinque appezzamenti considerati.

¹ L'LCA è definito come un "procedimento oggettivo di valutazione di 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"(Neri, 2009: 10).

² Si precisa che le cinque unità non producono solo colza ma possiedono terreni dedicati anche ad altre colture.

³ Si precisa che inizialmente si era incluso nei confini del sistema anche il trasporto del colza ad un centro di conferimento per la spremitura dell'olio. Sulla scorta dei risultati ottenuti, si è deciso di eliminare il trasporto in quanto tale voce non comporta un impatto rilevante (<1%) nemmeno in aziende come la 70LE la cui distanza dal centro di conferimento è di 910 Km.

Figura 2: I confini del sistema.



2.2 Analisi dell'Inventario (Life Cycle Inventory Analysis)

Per la redazione dell'inventario 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 del codice Simapro 7.3.3⁴, della Prè Consultants. 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 agricole⁵ e dai fertilizzanti⁶.

Nelle fasi di diserbo e dei trattamenti parassitari, sono stati considerati i diserbanti ed i pesticidi utilizzati in ogni azienda ma, in mancanza di dati necessari per implementare modelli di dispersione, non sono state considerate ulteriori emissioni.

⁴ SimaPro: <http://www.pre.nl/content/simapro-lca-software?gelid=CMnxhbqT3K8CFYrP3wodHGzKGA>.

⁵ I processi agricoli sono stati inizialmente estrapolati dal database di Simapro (al fine di includere le emissioni in atmosfera della combustione del diesel e le emissioni al suolo da abrasione dello pneumatico del trattore durante la fase colturale) per poi essere modificati, in base ai dati reperiti direttamente sul campo, unicamente nella parte dei trattori/attrezzi agricoli utilizzati e del consumo di gasolio, lasciando invariati i dati relativi alle emissioni in aria e sul suolo. Ad esempio, per i trattori è stata calcolata la quota parte degli stessi riferita ad 1 ha di terreno da imputare alla singola fase agricola, poi inserita nelle varie fasi colturali con il processo "Tractor, production/CH//IU". Poiché nel software SimaPro tale processo considera un trattore di 3.000 kg con una vita utile di 7.000 h, i dati sono stati modificati per tener conto della dotazione della specifica unità aziendale (ad esempio, un trattore dal peso di 5.200 kg con una vita utile di 8.000 h). Anche per gli attrezzi agricoli si è seguito il medesimo procedimento.

Infine, dopo aver considerato tutte le fasi agricole (con i trattori/attrezzi ed i relativi consumi) si è proceduto a riportare i valori di tali fasi (inizialmente riferiti ad un ettaro di terreno) ad 1 kg di colza prodotta, dividendo per la produzione totale di ogni singolo appezzamento (espresso in Kg/ha) in modo da ottenere la quota parte di ogni fase agricola da imputare ad 1 kg di colza.

⁶ Le emissioni causate dai fertilizzanti azotati (NH₃, N₂O in aria e NO₃ in acqua) sono state stimate attraverso l'applicazione del modello proposto da Brentrup F. et. al. (2000). Il modello ha permesso la stima delle emissioni in aria di NH₃ prendendo in considerazione le differenti proprietà dei suoli europei e il differente rischio di volatilizzazione dell'NH₃ legato al tipo di fertilizzante utilizzato. Vista la complessità del modello naturale e nell'impossibilità attualmente di utilizzare i parametri citati in un modello esaustivo, come indicato dallo studio si è considerato un fattore di emissione di 0,0125 kg di N₂O-N*ha⁻¹ per kg di N impiegato. Il fenomeno della perdita di azoto per lisciviazione è legata alla presenza di nitrati nella soluzione circolante. Il modello ha preso in considerazione tre parametri principali: il bilancio dell'azoto (kg N*ha⁻¹*a⁻¹), la capacità di campo nella rizosfera (mm), calcolata sulla base della tessitura del suolo, e aspetti climatici (precipitazioni annuali, invernali e primaverili, tasso di drenaggio), hanno permesso di ottenere un fattore di emissione autunnale dell'NO₃. Questo fattore moltiplicato per il bilancio dell'azoto del terreno ha permesso di ottenere le perdite di NO₃ per lisciviazione. Il bilancio dell'azoto ha anche tenuto conto dell'azoto contenuto nei semi e asportato con la raccolta per un valore del 3% (Gecchele et al., 2012). I dati sulle caratteristiche fisico/chimiche dei terreni delle cinque aziende, necessari per il calcolo del modello, sono dati primari.

Nelle aziende che hanno utilizzato l'urea come fertilizzante è stata considerata un'emissione in atmosfera di CO₂ stimata sulla base del modello proposto dall'IPCC (IPCC, 2006). Il fosforo contenuto nei fertilizzanti va normalmente incontro ad immobilizzazione all'interno del terreno e per tale motivo non sono state considerate emissioni in acqua.

2.3 Analisi degli impatti (Life Cycle Impact Assessment)

Ai fini della valutazione degli impatti ambientali di 1 kg di colza è stato utilizzato il metodo ReCiPe Endpoint 2008 che comprende 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 caratterizzazione⁷, per poi essere ulteriormente convertiti ed aggregati, con dei fattori di pesatura⁸, a livello “endpoint” a tre categorie di danno⁹, quali il danno alla salute umana, alla diversità dell’ecosistema e il danno alle disponibilità di risorse.

Nello specifico è stato utilizzato il metodo ReCipe Endpoint (H)/ Europe ReCipe H/A, con dei fattori di pesatura riferiti ai valori medi della prospettiva gerarchica¹⁰ e con dei valori di normalizzazione¹¹ europei.

3. RISULTATI

L’analisi degli impatti ha consentito preliminarmente di individuare i processi con maggiore impatto nell’ambito dei cinque appezzamenti considerati (Annex I). Da tale analisi emerge che nella maggior parte delle unità (4 su 5) la concimazione risulta essere la fase agricola maggiormente impattante, a causa del concime utilizzato. Nell’appezzamento 70LE, che non prevede la concimazione, la prima erpicatura è la fase agricola con maggiore impatto, a causa delle dimensioni dell’attrezzo agricolo (di 1.600 kg) utilizzato su un appezzamento di piccole dimensioni; le erpicature successive, invece, non presentano un impatto elevato in quanto la stessa azienda utilizza erpicatrici di peso inferiore (600 kg).

Dai risultati per singolo appezzamento, si passa ad illustrare il confronto della pesatura, normalizzazione e caratterizzazione tra le cinque unità al fine di individuare quelle più e meno impattanti.

Dal confronto della pesatura (Fig.3), 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; l’appezzamento meno impattante è quello identificato dalla codifica 191BO (tab. 5).

Tabella 5. Dati relativi all’azienda tipo: 191BO.

Operazioni culturali	Arat.	Erpic.	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*	-	-	-	0,45	Metazachlor	Urea	-
Quantità (kg/ha)	-	-	-	-	1,78	233	-
Durata operazione culturale (h/ha)	1,20	1,02	1,02	0,93	0,46	0,28	0,93

Fonte: nostra elaborazione

* Principio attivo nel prodotto

⁷ La caratterizzazione è la “quantificazione degli impatti generati sulle diverse categorie d’impatto mediante l’utilizzo di modelli scientifici” (Fiore et al, 2008: 15).

⁸ Con la pesatura si valuta “l’importanza relativa di ciascuna categoria di impatto al fine di poter ottenere risultati aggregati” (Fiore et al, 2008: 17).

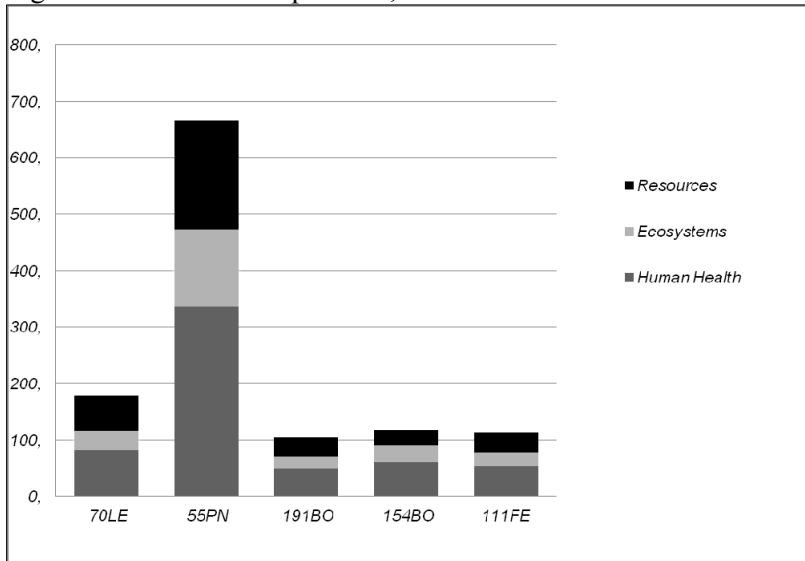
⁹ Si precisa che, le categorie di impatto “midpoint level” che a livello “endpoint” confluiscono nelle categorie di danno *Salute umana*, *Ecosistemi*, e *Risorse* sono:

- per la *Salute umana*: l’impatto del cambiamento climatico sulla salute umana, l’assottigliamento dello strato d’ozono, la tossicità umana, la formazione di ossidanti fotochimici, la formazione di particolato e le radiazioni ionizzanti;
- per gli *Ecosistemi*: l’impatto del cambiamento climatico sugli Ecosistemi, 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, la trasformazione di suolo naturale;
- per le *Risorse*: l’esaurimento dei metalli e l’esaurimento delle risorse fossili.

¹⁰ Per approfondimenti si veda il sito: <http://www.lcia-recipe.net/>

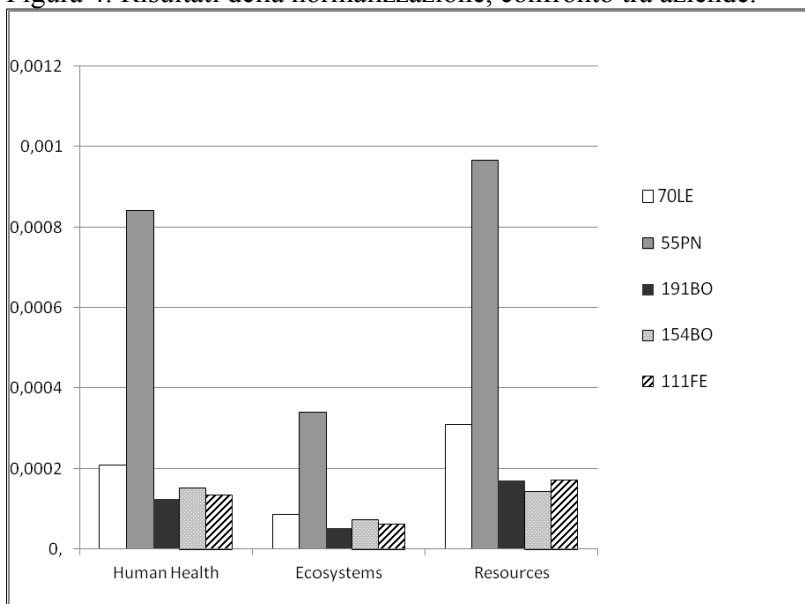
¹¹ “La normalizzazione è una tecnica opzionale che consente di quantificare il contributo di ciascuna categoria di danno rispetto alla situazione europea” (Fiore et al., 2008 :17).

Figura 3: Risultati della pesatura, confronto tra aziende.



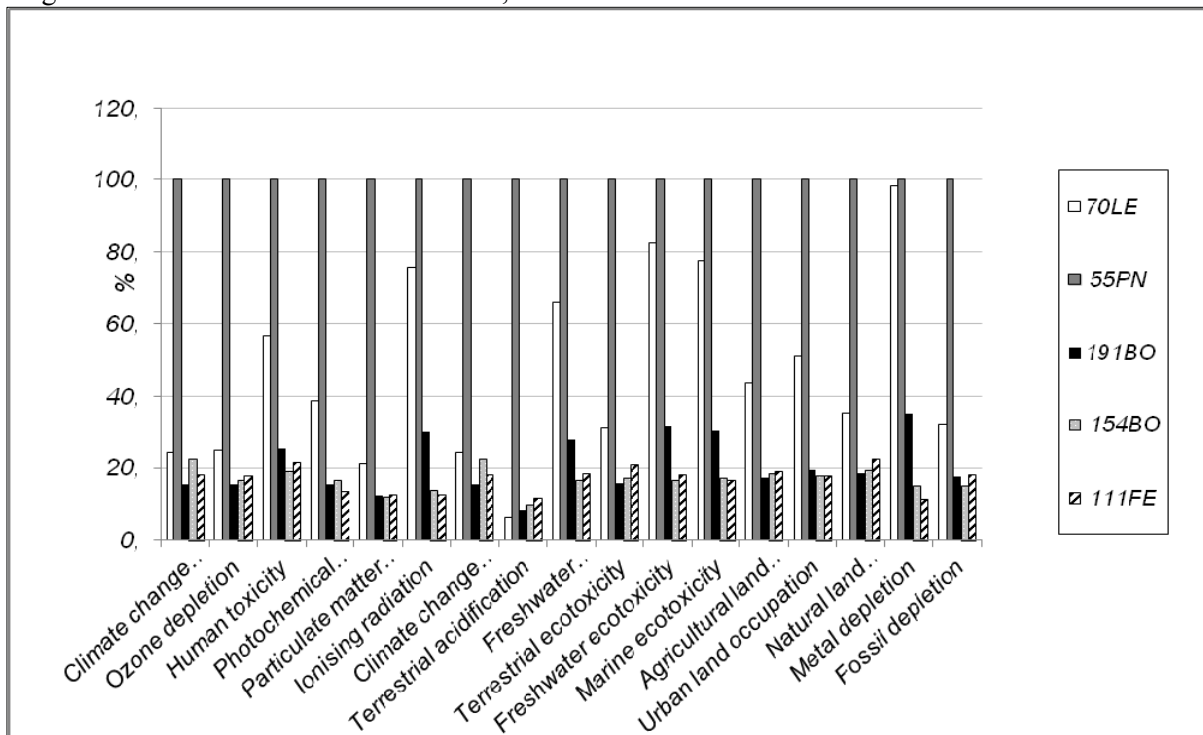
La figura che riporta il quadro della normalizzazione degli impatti (Fig. 4) rende più immediato il risultato in termini di categorie d'impatto, già deducibile dalla pesatura. Le macro categorie di danno maggiormente interessate dalla produzione della colza sono relative all'uso delle *Risorse* e alla *Salute umana*; tali impatti sono generati soprattutto dalla produzione dell'azienda 55PN. I danni agli *Ecosistemi* sono complessivamente molto inferiori rispetto alle due sopradette categorie, soprattutto se si considerano le dimensioni particolarmente contenute dell'azienda 191BO.

Figura 4: Risultati della normalizzazione, confronto tra aziende.



Da ultimo, il risultato della caratterizzazione (Fig. 5) è quello di porre a confronto il contributo delle singole aziende rispetto alle categorie intermedie di impatto interessate.

Figura 5: Risultati della caratterizzazione, confronto tra aziende.



Ci sono alcune categorie per le quali, oltre al contributo dell'azienda con maggiore impatto su tutte le categorie considerate (unità 55PN), è significativo anche l'apporto di una seconda unità (70LE): trattasi dei danni relativi all'esaurimento dei metalli, all'ecotossicità e all'eutrofizzazione in acqua dolce, all'ecotossicità marina e alle radiazioni ionizzanti.

Le altre tipologie di danno sono essenzialmente causate dalle pratiche agricole condotte dall'unità più impattante; così per l'acidificazione terrestre, la formazione di particolato, l'assottigliamento dello strato d'ozono, l'impatto del cambiamento climatico sulla salute umana e sugli ecosistemi. Per molte categorie di danno le unità 111FE e 154BO hanno una simile intensità d'impatto; l'azienda 191BO, complessivamente meno impattante alla luce dei risultati della pesatura, ha delle *performance* particolarmente sostenibili per alcune tipologie di danno (l'acidificazione terrestre, l'ecotossicità, gli impatti in termini di cambiamento climatico), mentre potrebbe migliorare i suoi impatti sulle risorse idriche, sulle radiazioni ionizzanti e sull'esaurimento dei metalli.

Con riferimento alla più e meno impattante tra le aziende (rispettivamente la 55PN e la 191BO), di seguito si presentano i risultati di dettaglio per comprendere, per ogni singola azienda, quali siano le fasi del ciclo colturale più critiche e quali le più sensibili categorie di impatto e di danno interessate (a livello "midpoint" e "endpoint").

Nello specifico, l'analisi di caratterizzazione dell'azienda 55PN (tab. 6) indica che la seconda concimazione (per la quale si utilizza l'urea) comporta un impatto superiore rispetto alle altre fasi colturali per la maggior parte delle categorie d'impatto, tranne che per l'assottigliamento dello strato d'ozono causato dall'emissione in atmosfera di sostanze clorate come possono esserci in pesticidi e diserbanti. Nel caso specifico l'agricoltore dell'azienda della provincia di Pordenone, ha impiegato un prodotto contenente il principio attivo Metazachlor, una sostanza considerata con scarsa mobilità nel terreno, contenente cloro e degradabile dai microrganismi terricoli in 3-9 giorni (scheda di dati di sicurezza del prodotto). L'impatto ambientale, nel nostro caso, avendo considerato zero emissioni in fase di distribuzione del diserbante (emissioni in aria dovute a fenomeni di deriva), è strettamente legato al processo di produzione del prodotto. Si noti come anche la fase di concimazione sia responsabile, sia pure in misura inferiore, di questo fenomeno ambientale. La seconda applicazione, effettuata utilizzando del concime ureico, incide in modo ancora più rilevante sull'assottigliamento dello strato d'ozono rispetto alla prima applicazione dove è stato invece impiegato un concime minerale ternario (8-24-24). Questo non tanto a causa del processo produttivo in sé, quanto più per le emissioni dovute ai processi di volatilizzazione e denitrificazione dell'azoto che sono stati calcolati nell'analisi. Il colza normalmente, in presenza di un'eccessiva quantità di fertilizzante azotato che ecceda la domanda, soprattutto nella fase invernale, va incontro al rischio di perdere una importante quantità di azoto

per lisciviazione (Rathkea et al., 2006). Nel caso dell'azienda 55PN, a seguito dell'applicazione del modello di dispersione, si è potuto osservare una perdita notevole di azoto (favorita non solo dalle precipitazioni dell'anno di riferimento, ma soprattutto dalla potenziale disponibilità dello stesso sul terreno per mancata produzione e quindi asportazione di azoto nel seme). Infatti, la resa per l'azienda in questione è risultata di appena 296 kg/ha a causa della siccità alla semina, nonché di un fenomeno temporalesco eccezionale poco prima della raccolta.

L'indicatore dell'esaurimento delle risorse fossili mostra come i concimi e la loro produzione necessiti di un'alta quantità di energia in termini di combustibili fossili. Questo aspetto è ribadito anche dall'IPCC per quanto i più moderni impianti riescano ad abbattere oltre il 50% dei consumi energetici rispetto a quelli degli anni sessanta (IPCC, 2007). L'impatto è ancora più rilevante nella concimazione con urea.

La concimazione ha inoltre inciso fortemente sul fenomeno dell'acidificazione terrestre. Le emissioni derivanti dall'uso dei fertilizzanti, soprattutto NH₃, sono parte della causa. Anche Brandão et al. (2011), ha evidenziato questo fenomeno imputando alla colza l'impatto maggiore in termini di acidificazione potenziale (kg SO₂-eq) rispetto a delle colture poliennali come Miscanto e SRC di salice.

La formazione di ossidanti fotochimici rappresenta la formazione di composti chimici molto reattivi come l'ozono. L'alto valore di questo indicatore è nel nostro caso dovuto soprattutto alle emissioni generate dalla combustione di combustibili fossili. In fase di raccolta e delle lavorazioni primarie del terreno si sono avuti i maggiori consumi di carburante che hanno inciso negativamente sulle emissioni. C'è comunque da dire che questo indicatore sarebbe in natura condizionato anche da ulteriori fattori di origine biogenica che in questo lavoro non sono stati presi in considerazione.

Per quanto riguarda l'impatto del cambiamento climatico sugli Ecosistemi, i concimi rappresentano la fonte di maggiore impatto. Parte dell'azoto presente nei fertilizzanti, una volta nel terreno, si perde in atmosfera sottoforma di ossido nitroso (N₂O) attraverso il fenomeno della denitrificazione. L' N₂O è un potente gas con effetto serra 320 volte superiore della CO₂ (IPCC, 2007), che da solo contribuisce per 5% dell'effetto serra totale globale (Brentrup et al., 2000). Anche le emissioni dei motori contengono molte molecole responsabili del fenomeno (CO₂, CH₄, CFC, N₂O ecc.) e per tale motivo le fasi agricole che hanno comportato un maggiore consumo di carburante, e quindi più emissioni, sono state anche quelle con un maggiore impatto in termini di effetto serra potenziale.

Tabella 6. Risultati della caratterizzazione suddivisi per fasi del ciclo di vita di 1 kg di colza, azienda 55PN.

Categoria d'impatto	Azienda 55PN (valori %)							
	Totale	Aratura	Erpicatura	Semina	Diserbo	Concimazione	Concimazione	Raccolta
Climate change Human Health	100	8,79	4,38	6,99	3,52	22,68	47,32	6,32
Ozone depletion	100	7,25	2,39	4,29	50,43	0,87	28,54	6,24
Human toxicity	100	12,23	10,02	17,53	12,94	4,49	39,86	2,94
Photochemical oxidant formation	100	19,22	6,98	9,99	5,96	17,64	16,06	24,15
Particulate matter formation	100	8,71	3,81	5,54	3,71	14,09	56,05	8,08
Ionising radiation	100	15,74	13,56	24,29	11,36	6,00	26,93	2,12
Climate change Ecosystems	100	8,79	4,38	7,00	3,52	22,68	47,32	6,32
Terrestrial acidification	100	2,81	1,07	1,57	1,99	14,89	74,44	3,23
Freshwater eutrophication	100	13,79	11,79	21,12	10,38	5,21	35,46	2,25
Terrestrial ecotoxicity	100	6,50	3,15	38,47	16,23	1,61	29,49	4,55
Freshwater ecotoxicity	100	17,75	15,50	21,24	10,97	5,21	27,16	2,15
Marine ecotoxicity	100	16,76	14,54	19,76	11,18	4,91	30,63	2,21
Agricultural land occupation	100	16,14	12,39	24,28	6,49	4,32	23,30	13,08
Urban land occupation	100	19,06	14,00	17,54	7,05	4,70	23,39	14,25
Natural land transformation	100	16,63	5,67	9,90	3,82	2,02	47,88	14,09
Metal depletion	100	20,31	18,59	26,61	10,28	6,62	16,40	1,18
Fossil depletion	100	11,62	5,30	9,48	4,49	13,77	47,33	8,00

Fonte: nostra elaborazione

La lettura dei risultati può essere fatta anche a livello "endpoint" (Figg.6 e 7) che, aggregando i risultati ottenuti al livello midpoint, indica in *Risorse* e *Salute umana* le categorie di danno maggiormente interessate dalla produzione della colza, con un notevole impatto generato dalla seconda concimazione. Dalla pesatura, poi, si evince che le fasi complessivamente più impattanti sono rappresentate dalle due concimazioni.

Figura 6: Risultati della normalizzazione suddivisi per fasi del ciclo di vita di 1 kg di colza, azienda 55PN.

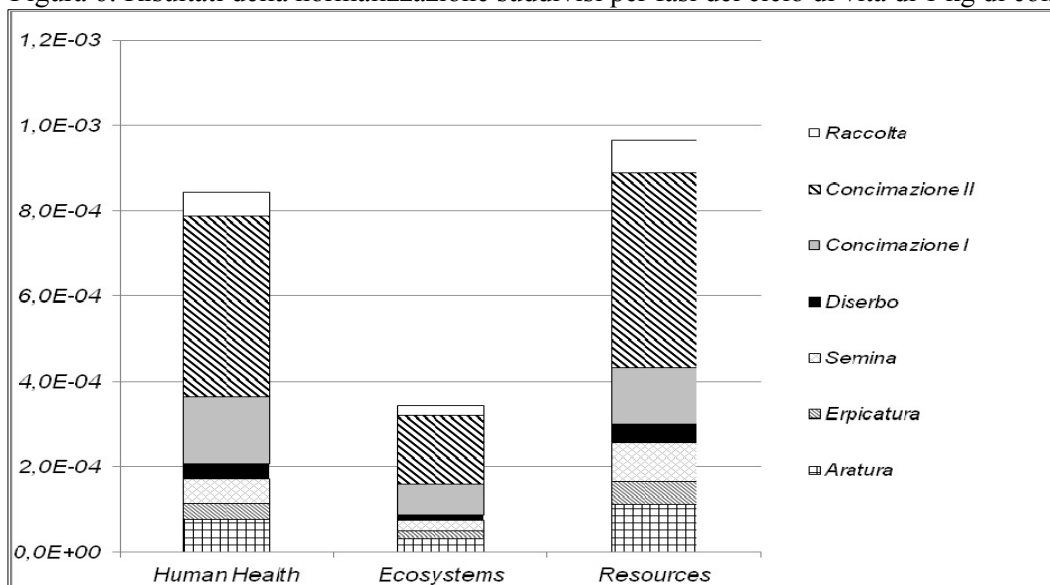
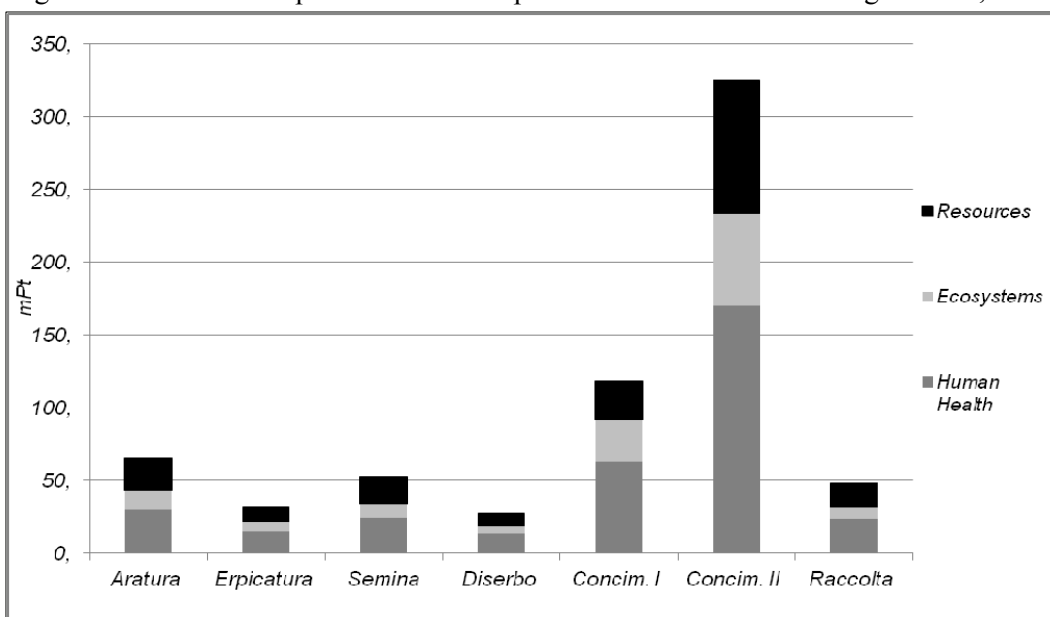


Figura 7: Risultati della pesatura suddivisi per fasi del ciclo di vita di 1 kg di colza, azienda 55PN.



Anche per l'azienda 191BO, a livello "midpoint" (tab. 7), si evince come la concimazione (per la quale si utilizza l'urea) impatti sulla maggior parte delle categorie tranne che per l'assottigliamento dello strato d'ozono, causato essenzialmente dal processo di produzione dei diserbanti, per gli stessi motivi già discussi in precedenza per l'azienda 55PN.

La seconda fase in ordine di rilevanza degli impatti è l'erpicoltura. Nell'appezzamento 191BO, l'erpicoltura è stata effettuata attraverso un erpice rotante delle dimensioni di 1000 kg con una vita utile ipotizzata di 4000 ore, trainato da un trattore di 132 kW di potenza e pesante 7500 kg. Nell'azienda 55PN è stato impiegato un attrezzo per l'erpicoltura di appena 400 kg trasportato da un trattore di 26 kW di 1500 kg, che ha comportato anche una riduzione dei consumi di carburante e di emissioni dirette in atmosfera. In termini percentuali, infatti, si può notare come l'erpicoltura dell'azienda 191BO impatti, per singola categoria, dalle 2 alle 4 volte di più rispetto all'azienda agricola 55 di Pordenone (tabb. 6 e 7). Questa fase è fortemente condizionata dalla quota di materiali impiegati durante l'operazione. Il metallo utilizzato per costruire l'attrezzo e il trattore racchiude processi altamente energivori e impattanti. Eppure i risultati della pesatura per questa fase, mostrano dati simili in termini di punteggi singoli (mPt) delle due aziende (Figg. 7 e 9).

A livello “endpoint” (Figg. 8 e 9), anche l’azienda 191BO produce impatti complessivamente maggiori sugli aggregati *Risorse* e *Salute umana*, in cui un notevole contributo è generato dalla fase di concimazione. La pesatura conferma quanto sia rilevante l’attività di concimazione, ma evidenzia che anche l’erpicatura e l’aratura rappresentano delle fasi complessivamente piuttosto impattanti nel ciclo di vita considerato.

Tabella 7. Risultati della caratterizzazione suddivisi per fasi del ciclo di vita di 1 kg di colza, azienda 191BO.

Categoria d'impatto	Azienda 191BO (valori %)							
	Totale	Aratura	Erpic.	Rull.	Semina	Diserbo	Concim.	Raccolta
Climate change Human Health	100	12,03	17,19	4,44	6,14	5,20	50,92	4,08
Ozone depletion	100	7,79	10,78	2,09	3,34	42,96	29,87	3,17
Human toxicity	100	15,02	27,23	6,80	9,55	10,33	30,14	0,93
Photochemical oxidant formation	100	20,27	21,99	6,11	8,40	7,59	19,61	16,03
Particulate matter formation	100	13,53	17,41	4,61	6,08	6,02	45,60	6,74
Ionising radiation	100	17,28	31,81	7,91	11,34	9,48	21,64	0,55
Climate change Ecosystems	100	12,03	17,20	4,44	6,14	5,20	50,91	4,08
Terrestrial acidification	100	5,79	6,70	1,80	2,48	3,88	75,38	3,97
Freshwater eutrophication	100	16,13	29,63	7,38	10,57	9,07	26,60	0,63
Terrestrial ecotoxicity	100	8,44	12,78	3,05	28,41	14,54	30,32	2,46
Freshwater ecotoxicity	100	18,78	34,68	8,63	9,43	8,28	19,68	0,53
Marine ecotoxicity	100	18,26	33,64	8,38	9,10	8,41	21,63	0,58
Agricultural land occupation	100	15,55	20,75	8,62	16,72	6,82	23,70	7,84
Urban land occupation	100	17,83	25,55	9,12	11,02	7,05	22,12	7,31
Natural land transformation	100	14,98	20,93	4,14	6,36	5,21	42,45	5,93
Metal depletion	100	19,92	37,15	9,29	10,61	8,08	14,70	0,25
Fossil depletion	100	13,41	20,91	4,58	6,90	6,07	44,61	3,53

Fonte: nostra elaborazione

Figura 8: Risultati della normalizzazione suddivisi per fasi del ciclo di vita di 1 kg di colza, azienda 191BO.

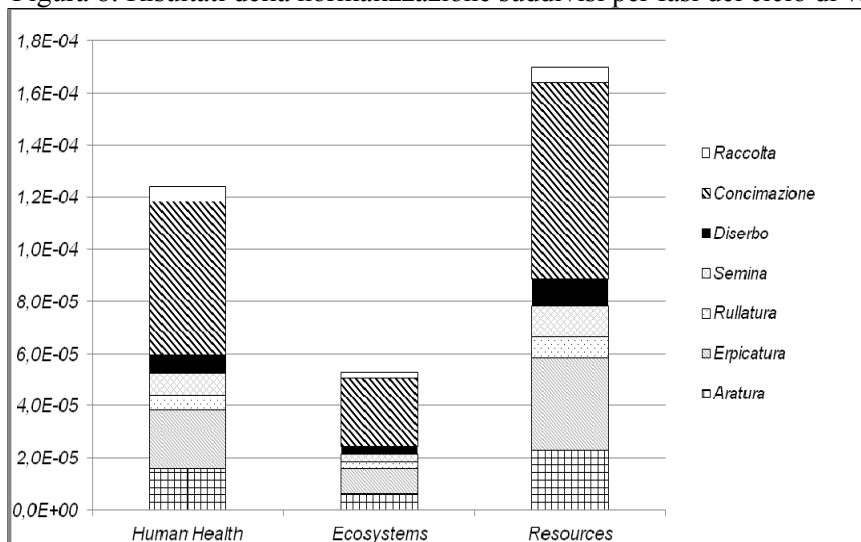
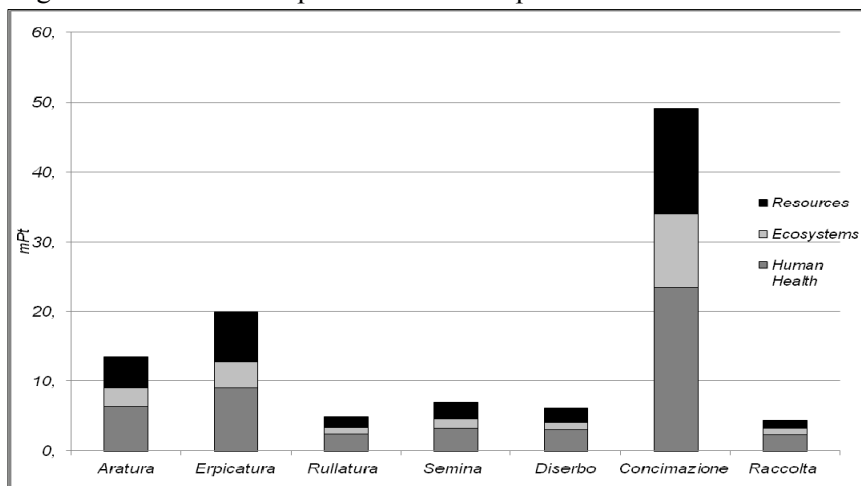


Figura 9: Risultati della pesatura suddivisi per fasi del ciclo di vita di 1 kg di colza, azienda 191BO.



I risultati fin qui presentati si ritiene forniscano già un quadro alquanto completo degli impatti associati al ciclo di vita del seme di colza.

Tuttavia, entrando più nel dettaglio delle aziende agricole attraverso un'analisi di contributo, è possibile individuare criticità e possibilità di miglioramento. In figura 10 e 11 si possono individuare i processi che, nelle due aziende, sono responsabili dei maggiori impatti ambientali (per una maggiore visibilità della figura sono eliminati i processi che singolarmente hanno un'incidenza inferiore al 2%).

Per entrambe le aziende la fonte di maggiore costo in termini energetico-ambientali è legata alla fase della concimazione, come già osservato da altri studi simili effettuati in campo agricolo (Tsoutsos et al., 2010; McLaughlin et al., 2000).

Nello specifico per l'azienda 55PN la causa maggiore di inquinamento è rappresentata dalle emissioni generate nel processo della concimazione dai gas di scarico dei trattori, nonché dalle emissioni in aria ed acqua conseguenti la degradazione dei concimi azotati nel suolo. La seconda maggiore fonte di impatto è invece da imputare alla produzione di ammoniaca necessaria per ottenere industrialmente l'urea. La filiera produttiva dell'urea risulta altamente "costosa" in termini sia energetici che ambientali. Il processo industriale infatti prevede la reazione dell'ammoniaca con l'anidride carbonica a 150-160°C e a 150 atm, con l'ottenimento di una soluzione di urea, anidride carbonica e ammoniaca (Pampana et al., 2011). Sia pur con un punteggio singolo molto più basso, questo risulta vero anche per l'azienda 191BO. Il terzo e il quarto impatto più significativo per l'azienda 55PN sono legati rispettivamente al processo produttivo della quota parte azotata del concime ternario 8-24-24 utilizzato e alle emissioni che questo, una volta in campo, produce.

Nel caso dell'azienda 191BO della provincia di Bologna, il processo di produzione della ghisa, necessaria per ottenere l'acciaio che compone i macchinari, rappresenta il terzo impatto più significativo.

Gli altri processi a seguire, per entrambe le aziende, sono soprattutto associati all'uso di combustibili fossili. In particolare, questi sono imputabili al carburante consumato durante le fasi agricole più intense, come lo sono le lavorazioni primarie del terreno e la raccolta del prodotto, nonché i combustibili fossili impiegati all'interno dei processi produttivi.

Figura 10: Analisi di contributo dei processi più impattanti nell'azienda 55PN.

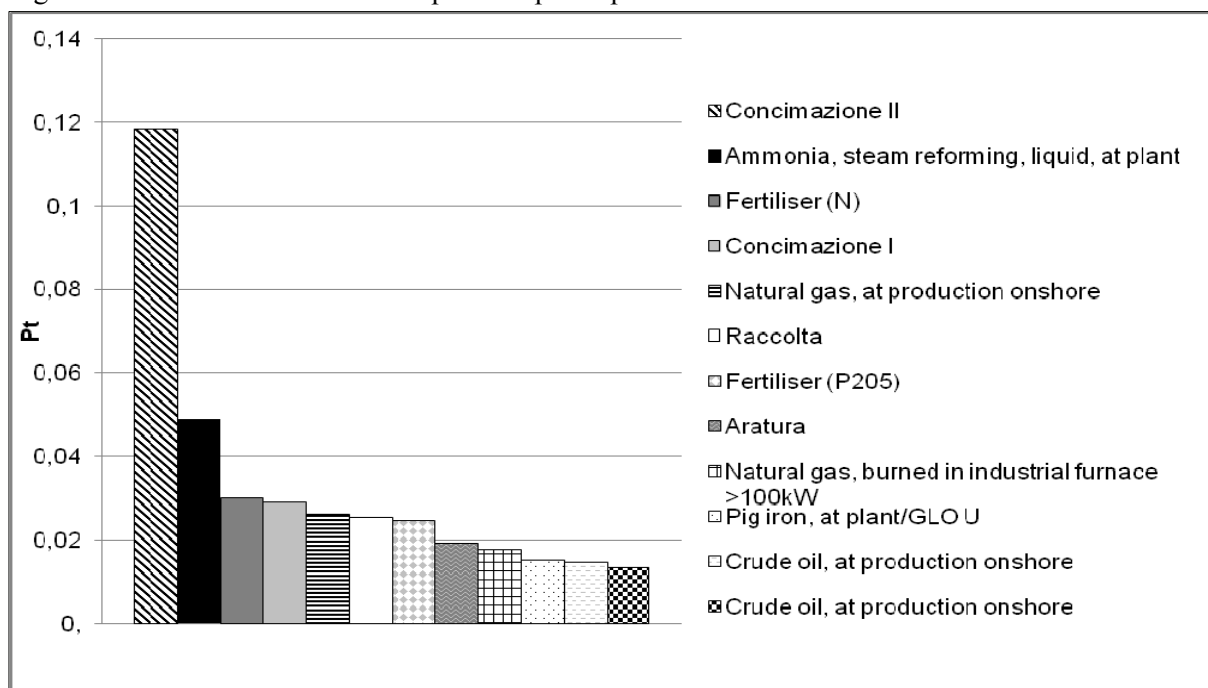
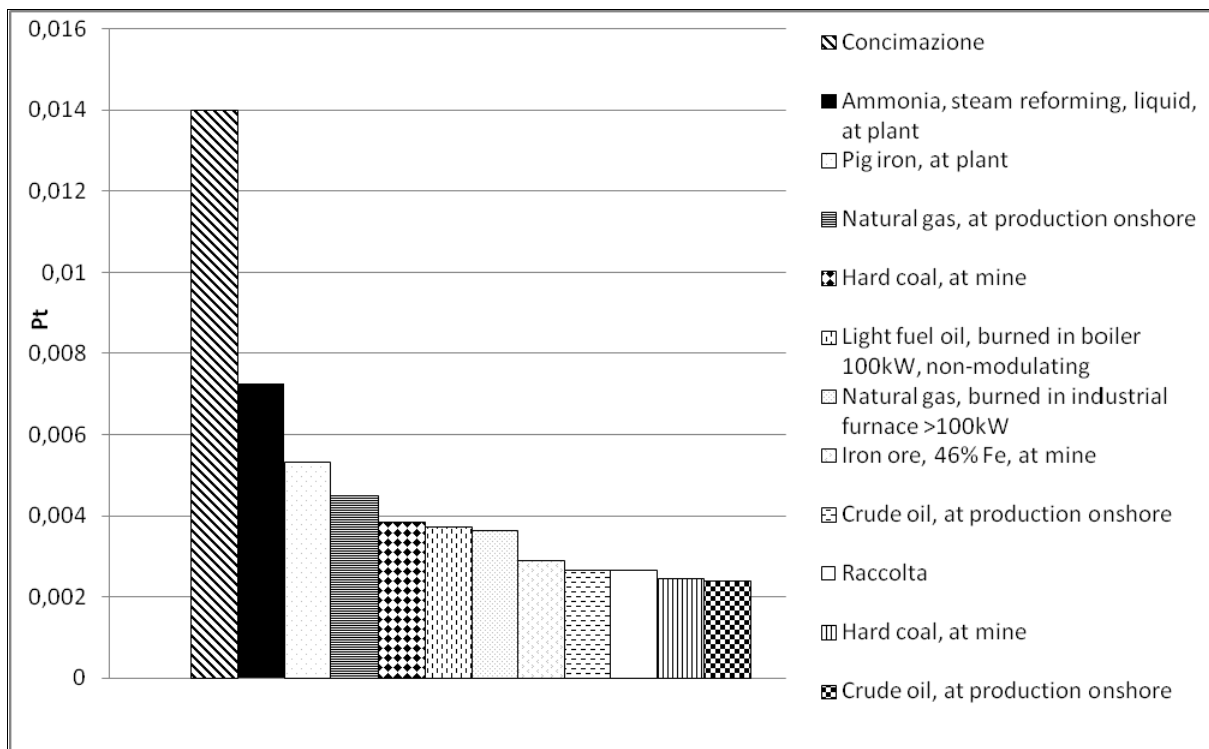


Figura.11: Analisi di contributo dei processi più impattanti nell'azienda 191BO.



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. La denitrificazione dell'azoto e la volatilizzazione dell'ammoniaca libera a livello del terreno, sono processi fisiologici che possono essere limitati attraverso una razionale concimazione studiata in termini di tipologia del fertilizzante, tempi di distribuzione, e quantità di prodotto da distribuire. Come è noto, la colza è una coltura definita con bassa efficienza di uso dell'azoto come già evidenziato dallo studio di Rathkea et al. (2006). Lo studio citato mostra come, attraverso una gestione ottimale della concimazione, sia possibile ridurre gli input di concime azotato di più del 50% abbattendo enormemente il surplus del bilancio dell'azoto. La gestione dovrebbe interessare in primo luogo le lavorazioni del terreno. Attualmente le classiche operazioni prevedono un'aratura seguita da un'erpatura (Rathkea et al., 2006). La semina su sodo sarebbe preferibile, dove possibile, al fine di mantenere intatta la sostanza organica e l'umidità del terreno, riducendo l'intensità di meccanizzazione e i consumi di carburante. In alcuni paesi come Svezia e Danimarca è diventata pratica comune e in Gran Bretagna la semina diretta si è tradotta in un incremento delle produzioni (Rathkea et al., 2006). Certamente importante è valutare l'applicabilità di tali tecniche di agricoltura conservativa caso per caso in quanto, se da una parte può portare ad un abbattimento del fenomeno della lisciviazione dell'azoto grazie alla riduzione della mineralizzazione, dall'altra può significare un aumento nell'uso di prodotti fitosanitari (diserbanti e pesticidi) (Rathke et al, 2006).

Anche il periodo di semina risulta decisivo nell'abbattimento delle emissioni. Infatti, una semina precoce permette di ridurre le perdite di N per lisciviazione grazie alla buona capacità del colza di assorbire azoto nel periodo autunnale (Rathkea et al., 2006). La forma di concime azotato più adatta per ridurre le emissioni, potrebbe essere data dall'impiego di fertilizzanti ammoniacali combinati con inibitori della nitrificazione. Questo permetterebbe di limitare fortemente sia le emissioni di N₂O in atmosfera che fenomeni di lisciviazione (Rathkea et al., 2006). Anche un sistema che favorisca un buon drenaggio dei suoli, permetterebbe la riduzione del fenomeno di denitrificazione, che aumenta nei terreni asfittici in condizioni di anaerobiosi (Brentrup et al., 2000).

Nello studio di Rathkea et al., (2006) vengono riportati studi che evidenziano l'importanza che lo zolfo gioca nella produzione del colza e di come la coltura sia molto sensibile ad una deficienza dell'elemento nel terreno. Lo zolfo è strettamente collegato all'assorbimento dell'azoto aumentandone l'efficienza d'uso nella produzione di biomassa (Rathkea et al., 2006). Poco zolfo potrebbe significare anche maggiori perdite di

azoto che non viene assorbito, e l'effetto è tanto più elevato quanto più azoto è presente nel terreno (Rathkea et al., 2006).

Infine, il dimensionamento corretto delle macchine agricole e dei trattori in funzione delle caratteristiche aziendali è 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.

3.1. L'analisi di sensibilità

Lo studio di sensibilità sull'LCA è spesso utilizzato per risolvere problemi di allocazione e viene affrontato con l'espansione dei confini del sistema o demandando gli impatti verso il co-prodotto causa di allocazione onde valutarne l'incidenza.

Nel presente studio, in seguito a produzioni ad ettaro estremamente basse che hanno interessato l'azienda con il maggior impatto ambientale, si è pensato di uniformare le produzioni di tutte le aziende alla produzione di colza media italiana per unità di superficie, per il biennio 2009-2010, al fine di discriminare il parametro produttivo ed ottenere un confronto realmente indicativo dei costi ambientali. (Fig. 12).

Infatti, 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.

Il nuovo calcolo effettuato tenendo conto di queste modifiche ha mostrato come l'azienda meno impattante sia la 70LE, per motivi prettamente legati ai ridotti input utilizzati nel processo produttivo. Infatti, questa azienda non ha effettuato alcuna concimazione, aspetto che però ha portato ad una resa più bassa - pari a 1050 kg/ha- rispetto alla media italiana.

L'azienda 55PN, che nelle precedenti elaborazioni risultava la più impattante, con l'analisi di sensibilità si rivela ambientalmente la seconda unità a minore impatto. Questa azienda presenta un ridotto impatto ambientale ma allo stesso tempo, una produttività molto bassa causata sia da fattori umani (mancata irrigazione in presenza di siccità post semina) che da fattori naturali (fenomeno atmosferico anomalo pre-raccolta) che non danno la possibilità di conoscere la produzione che l'azienda, in condizioni "normali", avrebbe raggiunto con i fattori produttivi impiegati.

Le restanti tre aziende localizzate in Emilia Romagna, i cui livelli reali di produttività sono sostanzialmente in linea con la media nazionale, presentano invece elevati indici di impatto.

Di seguito si riportano i dati relativi all'azienda 70LE situata in provincia di Lecce che alla luce dell'analisi di sensibilità rappresenta l'azienda con le migliori *performance* ambientali rispetto alle altre analizzate (tab. 8).

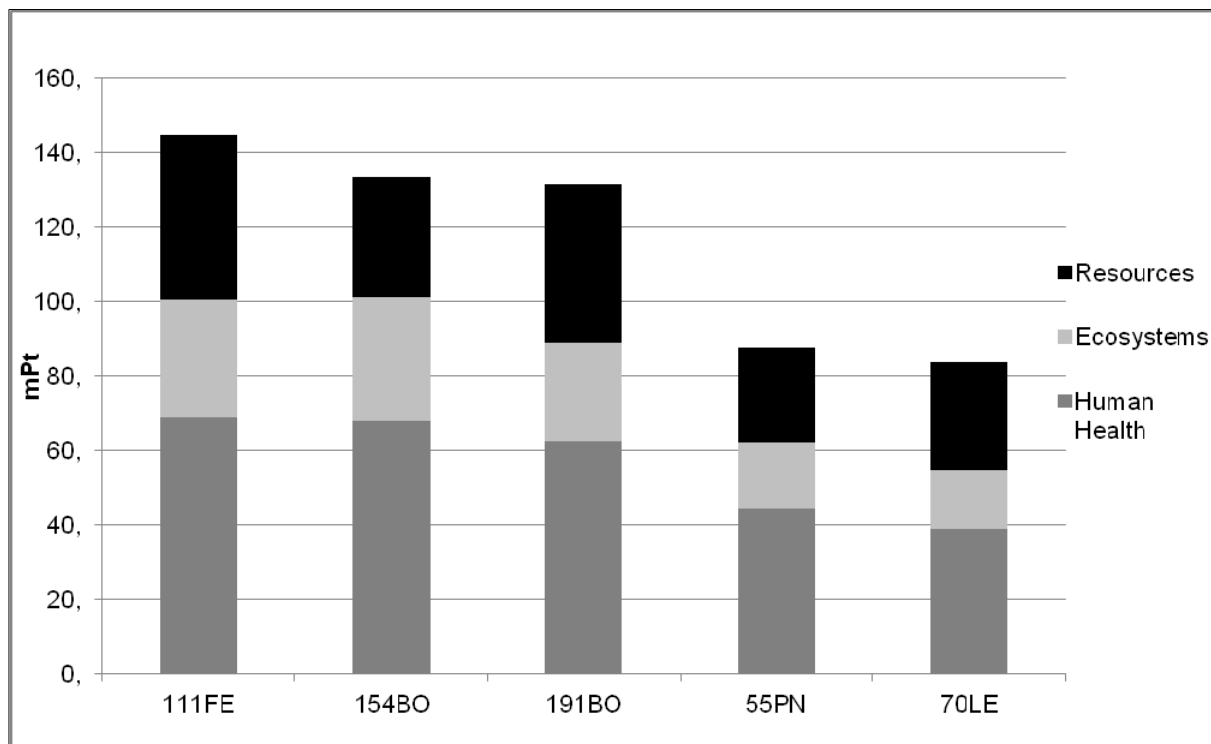
Tabella 8. Dati relativi all'azienda tipo: 70LE.

Operazioni culturali	Ripp.	Erpic.	Erpic.	Erpic.	Rullatura	Semina	Diserbo e trattamenti	Raccolta
Trattrice utilizzata	4RM	4RM	4RM	4RM	4RM	4RM	4RM	MOS2RM
Potenza trattrice (kW)	103	103	59	59	59	52	52	132
Peso trattrice (kg)	4.000	4.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	7.500
Carburante consumato (l/ha)	31,09	31,09	11,90	11,90	7,43	6,76	3,38	22,59
Attrezzo utilizzato	ripuntatore	erpice rotante	erpice a denti fissi	erpice a denti fissi	rullo dentato	seminatrice pneumatica	irroratrice portata	mietitrebbia
Peso attrezzatura (kg)	600	1.600	600	600	500	600	300	-
Prodotto utilizzato	-	-	-	-	-	-	Metazachlor*, Fluazifop-p-butile*	-
Quantità (kg/ha)	-	-	-	-	-	0,45	2,15	-
Durata operazione culturale (h/ha)	1,47	1,47	0,99	0,99	0,99	1,03	0,51	0,93

Fonte: nostra elaborazione

* Principi attivi nel prodotto

Figura12: Risultati della pesatura, confronto tra aziende considerando per tutte una produttività media di 2.256 kg/ha (dato ISTAT: media italiana anni 2009-2010).



4. Discussione

Nell'ambito delle tematiche proposte dal Convegno dell'AIEAA, il lavoro proposto si inquadra nell'obiettivo di affrontare gli aspetti ambientali connessi con la produzione di bio-energia portando un contributo per la valutazione della sostenibilità ambientale della produzione di colza attraverso l'impiego di specifici strumenti di analisi degli impatti economico-ambientali.

Selezionati alcuni indicatori d'intensività delle operazioni colturali (localizzazione, dimensione aziendale, resa produttiva, azoto, fosforo, diserbanti, potenza meccanica, ...), i dati di base sono stati sintetizzati mediante metodi di analisi multivariata al fine di individuare delle realtà rappresentative dell'intero campione su cui procedere nella valutazione dell'impatto ambientale. Le analisi statistiche multivariate condotte sul campione di unità aziendali hanno portato a focalizzare lo studio dell'impatto ambientale della coltivazione di colza su cinque diversi modelli colturali rappresentativi delle specificità presenti nel campione esaminato.

La valutazione ambientale ha individuato, tra i cinque modelli produttivi esaminati, quello più e meno impattante in termini ambientali di cui si è presentata l'analisi di dettaglio mediante caratterizzazione, pesatura e normalizzazione al fine di far emergere sia le pratiche colturali più critiche di ciascun modello produttivo, sia gli impatti ed i danni ambientali conseguenti.

L'applicazione della metodologia LCA ha evidenziato come la valutazione d'impatto complessiva riferita al kg di prodotto sia fortemente condizionata dalla resa ad ettaro. Infatti, considerando i dati reali di produttività, l'analisi ha mostrato che l'azienda meno impattante è la 191BO mentre quella più impattante la 55PN.

I risultati dell'analisi di sensibilità, effettuata considerando una medesima resa ad ettaro per tutte le aziende (pari al valore medio nazionale), ha portato a modificare il quadro iniziale derivante dall'elaborazione dei dati reali confermando quanto emerso in letteratura circa la sensibilità delle analisi al parametro di riferimento degli impatti. Ciò in quanto la produzione media italiana presa a riferimento nell'analisi di sensibilità, non rispecchia la realtà di tutte le cinque aziende studiate. I motivi per l'azienda 70LE sono probabilmente legati alla mancata concimazione, mentre per la 55PN sicuramente a fattori ambientali (biotici e abiotici) e ad errori gestionali (mancata irrigazione di soccorso). La scelta di considerare un livello produttivo simile per tutte le aziende è stata comunque utile per capire come le scelte organizzative e d'intensità dei fattori produttivi impiegati possono influenzare i risultati.

Questi ultimi, a seguito delle elaborazioni dei dati agronomici e tecnico-produttivi hanno evidenziato una variabilità elevata dei risultati non solo legata ai livelli produttivi, ma anche dipendente dalle modalità organizzative e strutturali dei vari contesti agricoli e conseguentemente dalla gestione colturale. La variabilità che caratterizza un agro-ecosistema, soprattutto se fortemente antropizzato, è tale infatti che gli impatti ambientali possono variare di anno in anno. I dati pluviometrici, di temperatura e di velocità del vento nonché le caratteristiche chimico- fisiche dei terreni condizionano i risultati dei modelli.

Sicuramente l'applicazione delle buone pratiche agricole sta alla base della riduzione delle emissioni e dei costi energetici. D'altro canto, proprio in relazione alla variabilità annuale nei risultati produttivi, la valutazione del carico ambientale andrebbe riferita ad un arco temporale più ampio, sebbene questo renda più complessa l'analisi in relazione alla maggiore quantità di dati ed elaborazioni richiesti.

Da ultimo, le diverse proposte metodologiche vanno valutate in relazione agli obiettivi che si intendono perseguire ed eventualmente applicate in maniera integrata e contestuale. Ove la finalità dello studio sia quella di misurare congiuntamente la sostenibilità ambientale ed economica di un'attività produttiva, il riferimento all'unità di prodotto si ritiene utile per una comprensione del "valore" complessivo ambientale ed economico che la stessa unità contiene.

A partire dei risultati fin qui ottenuti, il passo successivo sarà quello di integrare l'analisi applicando il metodo del Life Cycle Costing per una valutazione comparata e congiunta della sostenibilità economica ed ambientale della produzione del colza.

Bibliografia citata

Brandão, M. Clift, R. Milà i Canals, L. and Basson, L. (2010). A Life-Cycle Approach to Characterising Environmental and Economic Impacts of Multifunctional Land-Use Systems: An Integrated Assessment in the UK. *Sustainability* 2: 3747-3776.

Brandão, M. Canals, M L. and Clift, R. (2011). Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: Implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. *Biomass and Bioenergy* 35 (6):2323–2336.

Brentrup, F. Kiisters, J. Lammel, J. and 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. and Chen, G.Q. (2011). Energy cost of rapeseed-based biodiesel as alternative energy in China. *Renewable Energy* 36 (5): 1374-1378.

Chiaramonti, D. and Recchia, L. (2010). Is life cycle assessment (LCA) a suitable method for quantitative CO2 saving estimations? the impact of field input on the LCA results for a pure vegetable oil chain. *Biomass and Bioenergy* 34 (5): 787–797.

Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni "L'innovazione per una crescita sostenibile: una bioeconomia per l'Europa", http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/201202_innovating_sustainable_growth_it.pdf

Donati, M. (2011). Politiche da rivedere per le rinnovabili. *L'Informatore Agrario* 39: 34-36.

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

Fiore, M. Breedveld, L. Arrivals Bojardi, C. Giaimo, L. and Notaro A. (2008). Certificazione Ambientale di prodotti agroalimentari. LCA dell'olio d'oliva. *ARS*, 122:12-20.

Fontaras, G. Skoulou, V. Zanakis, G. Zabaniotou, A. and Samaras, Z. (2012). Integrated environmental assessment of energy crops for biofuel and energy production in Greece. *Renewable Energy* 43: 201-209.

Fritsche, U.R. Hünecke, K. Hermann, A. Schulze, F. and Wiegmann, K. (2006). *Sustainability standards for bioenergy*. WWF Germany, Frankfurt am Main. <http://www.oeko.de/oekodoc/305/2006-014-en.pdf>

Gasol, C.M. Gabarell, X. Anton, A. Rigola, M. Carrasco, J. Ciria, P. and Rieradevall, J. (2009). LCA of poplar bioenergy system compared with Brassica carinata energy crop and natural gas in regional scenario. *Biomass and Bioenergy* 33 (1): 119-129.

Gecchele, F. Mosca, G. Zampetti, F. Rampin, E. (A.A. 2011-2012). Risposta del colza invernale da olio (*Brassica napus* L. var. oleifera) all'azoto: efficienza d'uso e produzione di granella. Università di Padova, Facoltà di Agraria, Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali. Tesi di Laurea.

http://tesi.cab.unipd.it/37689/1/TESI_GECHELE.pdf

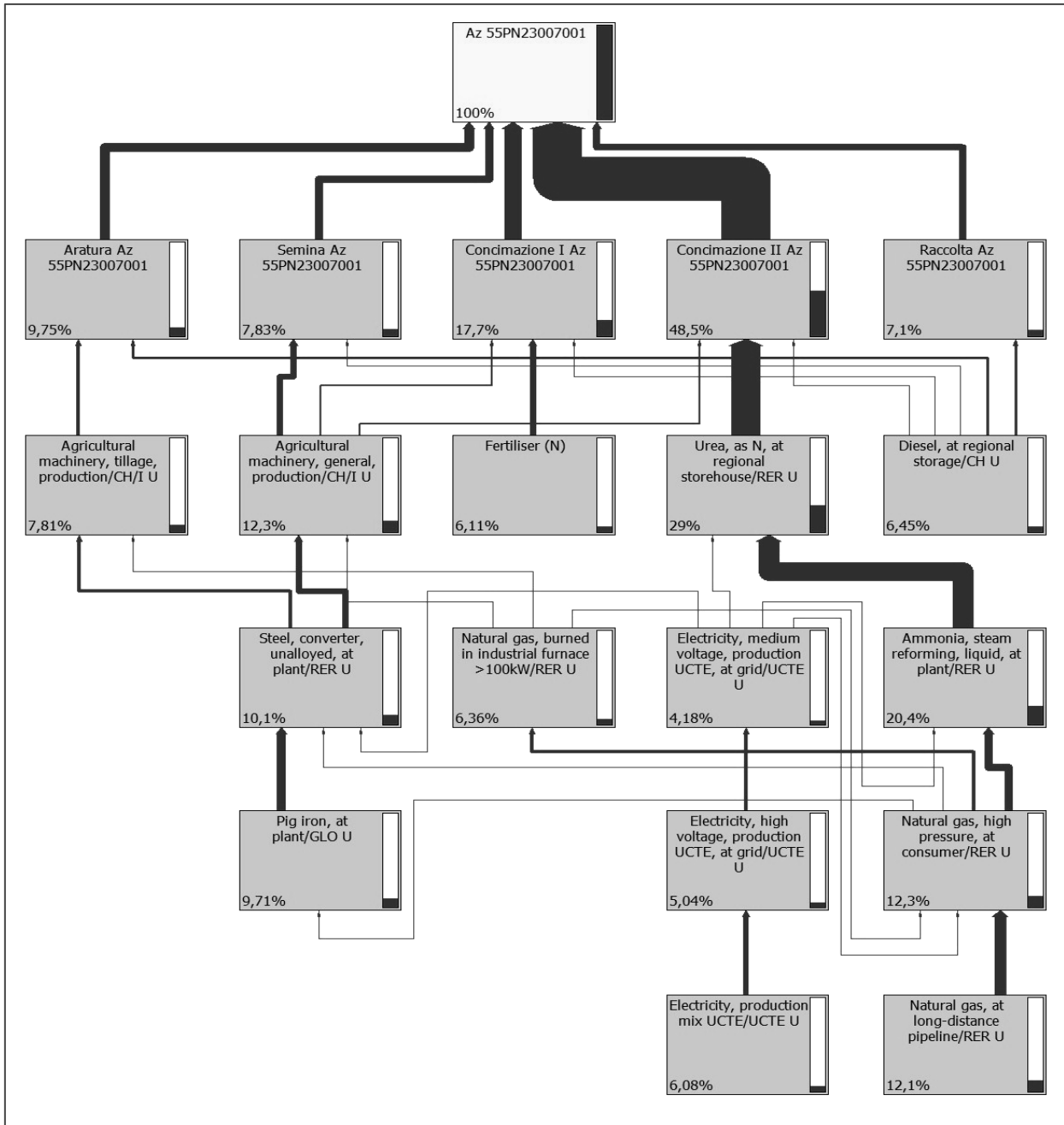
Howarth, R.W. and Bringezu, S. (ed.) (2008) Biofuels: environmental consequences and interactions with changing land use. In: Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) international biofuels project rapid assessment, Gummersbach (Germany).

<http://cip.cornell.edu/DPubS?service=UI&version=1.0&verb=Display&handle=scope>
IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf
IPCC (2007). Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch7s7-4-3-2.html
Iriarte, A. Rieradevall, J. and Gabarrell, X. (2010). Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production* 18 (4): 336–345.
ISO (2006). UNI EN ISO 14040:2006 Environmental management, Life cycle assessment - Principles and Framework. International Organization for Standardization (ISO).
ISO (2006). UNI EN ISO 14044:2006 Environmental management, Life cycle assessment - Requirements and Guidelines. International Organization for Standardization (ISO).
ISTAT, http://agri.istat.it/sag_is_pdwout/jsp/NewDownload.jsp?id=15A|18A|29A|29C
Lankoski, J. and Ollikainen, M. (2011). Biofuel policies and the environment: Do climate benefits warrant increased production from biofuel feedstocks? *Ecological Economics* 70 (4): 676–687.
Mattsson, B. Christel Cederberg, C. and Blix, L. (2000). Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): case studies of three vegetable oil crops. *Journal of Cleaner Production* 8 (4): 283–292.
McLaughlin, N.B. Hiba, A. Wall, G.J. and King, D.J. (2000). Comparison of energy inputs for inorganic fertilizer and manure based corn production. *Canadian Agricultural Engineering* 42 (1): 2.1–2.14.
Nemecek, T. Huguenin-Elie, O. Dubois, D. Gaillard, G. Schaller, B. and Chervet, A. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agricultural Systems* 104 (3): 233–245.
Neri, P. (a cura di) (2009). *L'analisi ambientale dei prodotti agroalimentari con il Metodo del Life Cycle Assessment*. ARPA Sicilia - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sicilia, Italia.
Pampana, S. and Masoni, A. (2001). Dipartimento. di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema, Università di Pisa. Dispense. <http://risorseidriche.arsia.toscana.it/UserFiles/File/idrico/RIANPA/12-Fertilizzanti.pdf>
Rathkea, G. W. Behrens, T. and Diepenbrock, W. (2006). Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus*L.): A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 117 (2–3): 80–108.
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.
Schmidt, J.H. (2010). Comparative life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil. *International Journal of Life Cycle Assessment* 15 (2): 183-197.
Suspace (2008). Scheda di progetto – Suspace. (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche).
Tsoutsos, T. Kouloumpis, V. Zafiris, T. and Foteinis, S. (2010). Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions. *Journal of Cleaner Production* 18 (4): 328–335.
Zegada-Lizarazu, W. and Monti, A. (2011). Energy crops in rotation. A review. *Biomass and Energy* 35(1): 12-25.

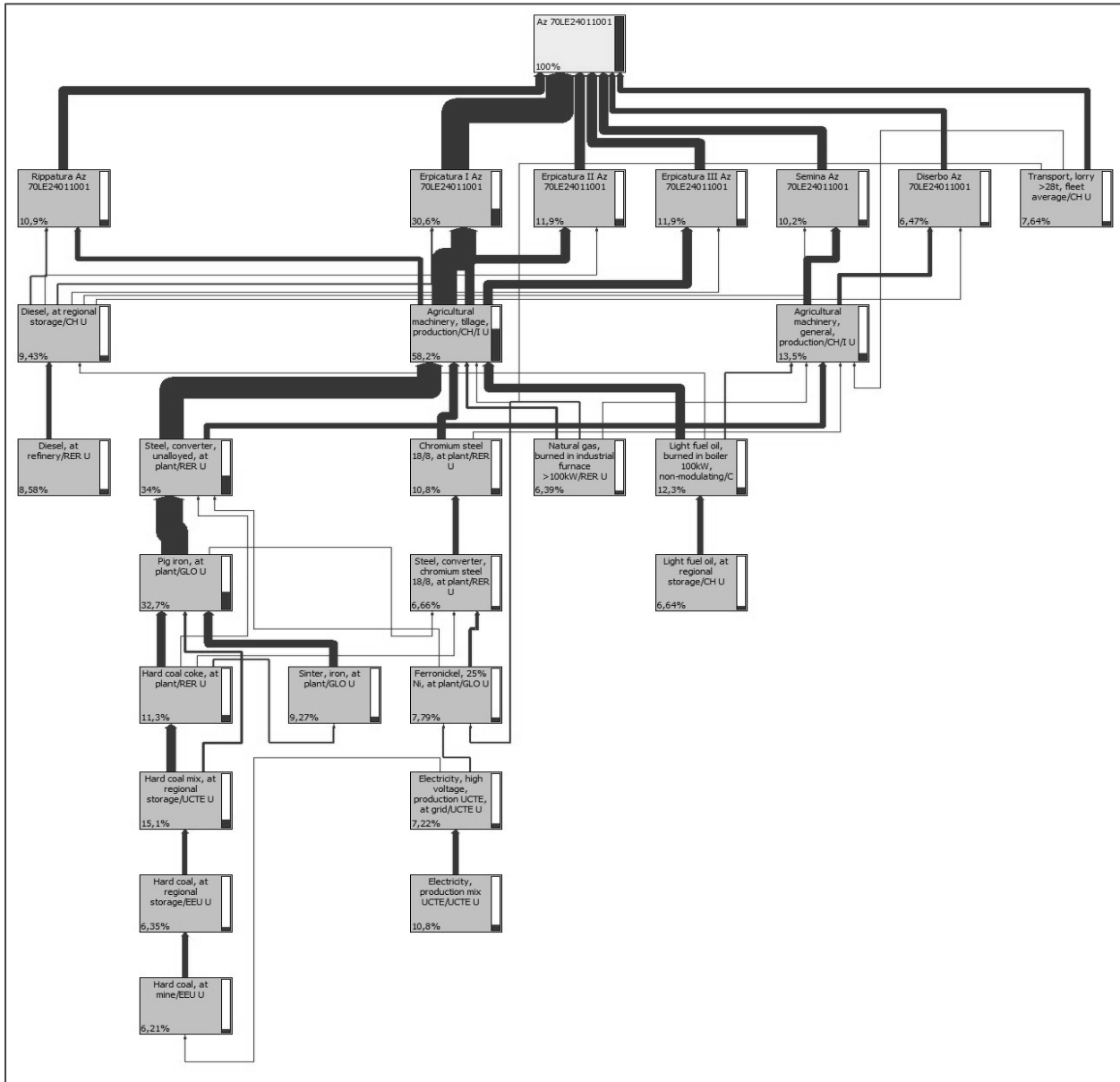
ANNEX I

Di seguito si riportano la rappresentazione grafica dei processi maggiormente impattanti nell'ambito dei cinque appezzamenti esaminati. Per esigenze grafiche, si è scelto di rappresentare solo i processi con una percentuale d'impatto superiore al 6%, ma tale scelta non incide sui risultati.

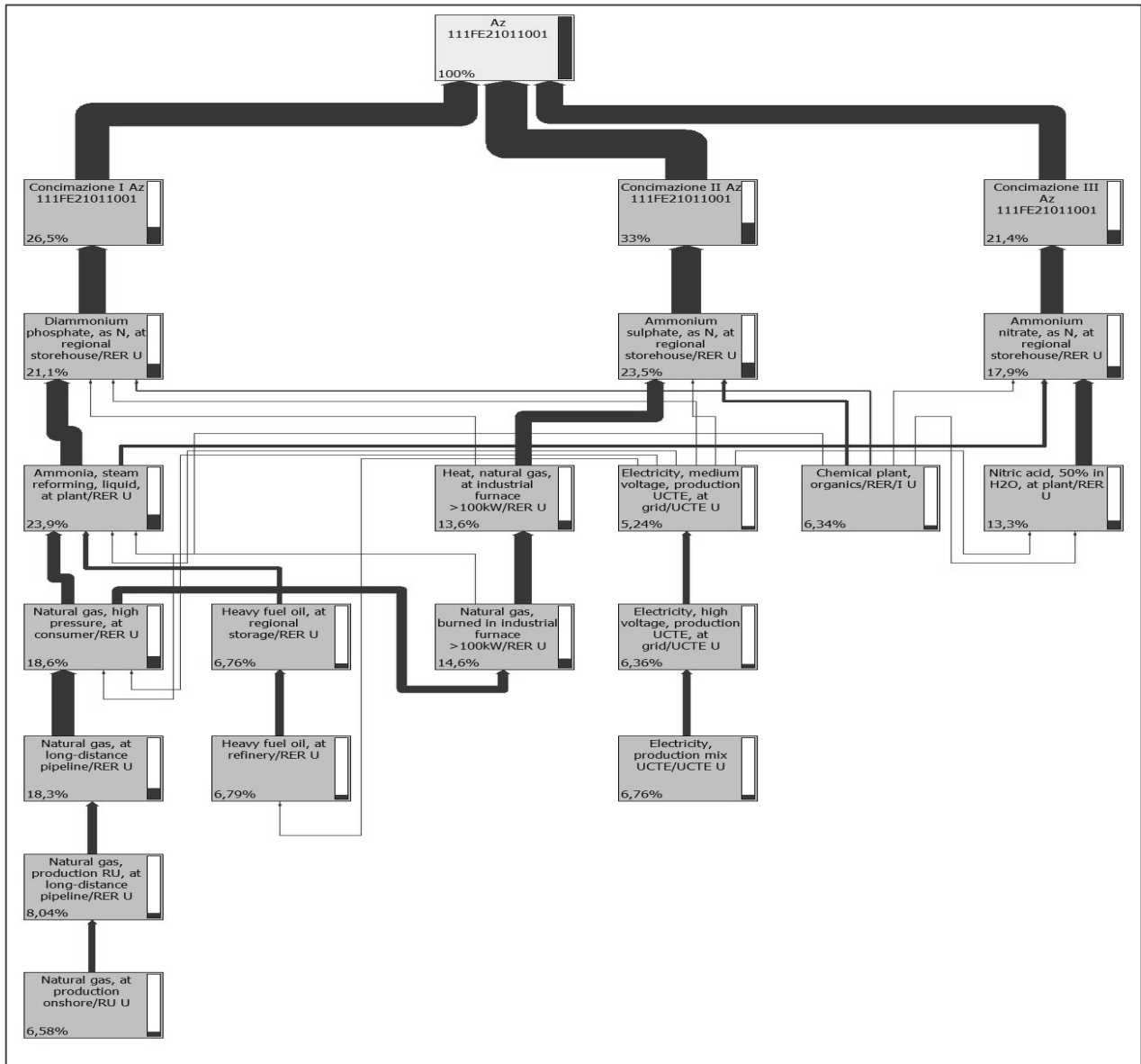
I.1 Rete dei processi azienda 55PN.



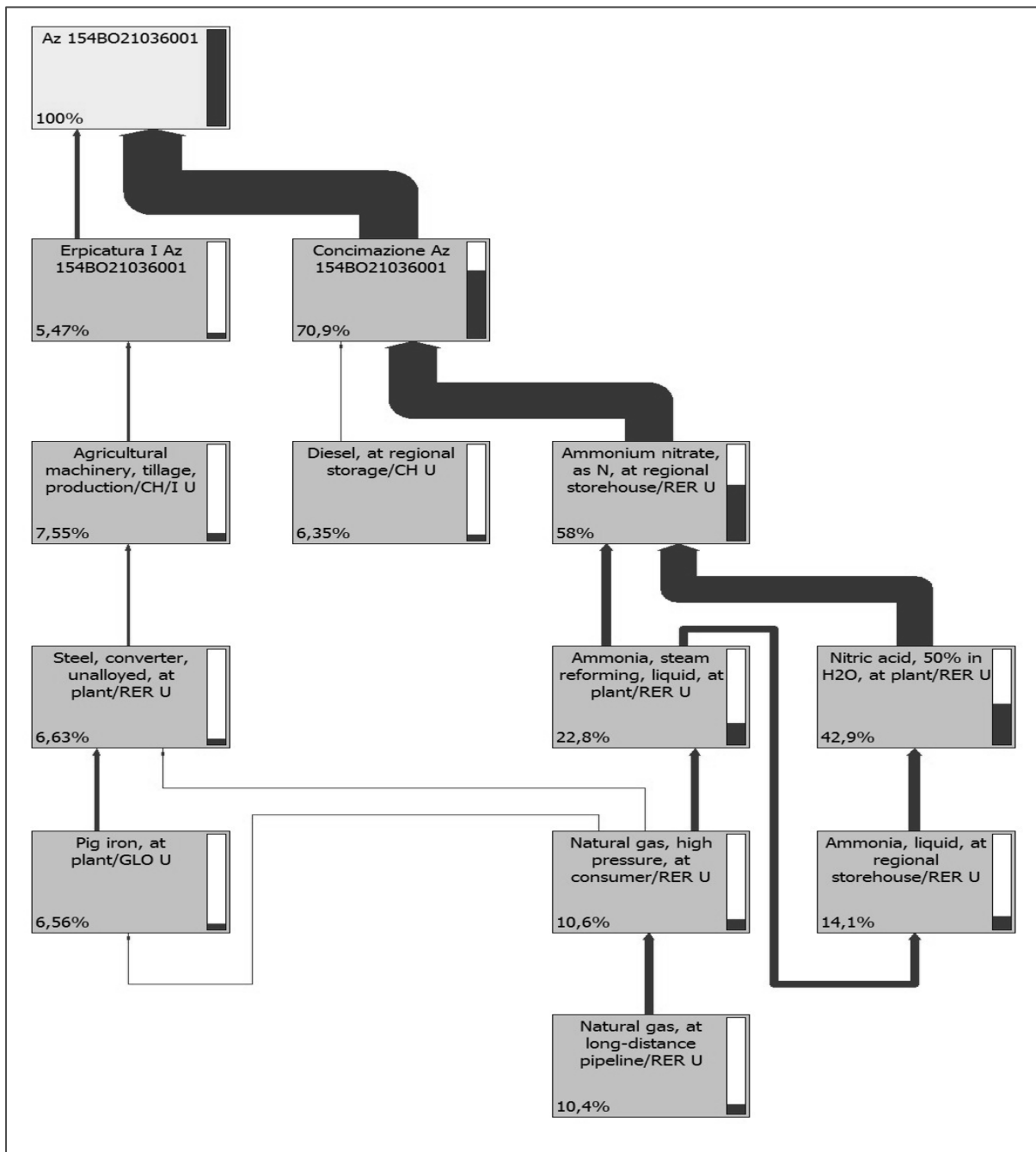
I.2 Rete dei processi azienda 70LE.



I.3 Rete dei processi azienda 111FE.



I.4 Rete dei processi azienda 154BO¹².



¹² Si precisa che l'epicatura (5,47%) è presente nel flowchart (nonostante avessimo scelto, per esigenze grafiche, di rappresentare solo i processi con una percentuale d'impatto superiore al 6%) in quanto tale processo ne include altri (ad esempio l'Agricultural machinery, tillage, production/CH/I U") con percentuali superiori al 6% .

I.5 Rete dei processi azienda 191BO.

