



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
Dip. di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali

**VALUTAZIONI DI SOSTENIBILITÀ ENERGETICO
AMBIENTALE EFFETTUATE TRAMITE ANALISI LCA PER
L'INNOVAZIONE DI PRODOTTI ORTICOLI TRASFORMATI**

*CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN:
"SCIENZE AGRARIE, ALIMENTARI E AMBIENTALI"
XXXI CICLO – 2015/2018*

DOTTORANDO

Dott. ALESSIO ILARI

Tutor:

Prof.ssa ESTER FOPPA PEDRETTI

Sommario

1. Premessa	8
1.1. Ambruosi e Viscardi (A&V)	9
1.2. Promarche	11
1.3. Obiettivi generali	14
2. Attività	14
2.1. Attività per A&V.....	14
2.1.1. Vivaio	14
2.1.2. Prodotti di I gamma	18
2.2. Attività per Promarche	22
2.2.1. Fagiolino III gamma.....	22
2.2.2. Spinacio III gamma.....	26
2.2.3. Camera di crescita e test di bio-trattamento dei residui.....	33
3. Risultati	34
3.1. Risultati per A&V	34
3.1.1. Produzione di vivaio e mitigazioni	34
3.1.2. Insalate di I gamma e confronto ex-post.....	40
3.2. Risultati per Promarche.....	43
3.2.1. Fagiolino	43
3.2.2. Spinacio.....	46
3.2.3. Camera di crescita e test su residui di spinacio.....	49
4. Discussione	53
4.1. Prodotti di I gamma	53
4.2. Prodotti di III gamma	55
5. Conclusioni	56
5.1. Prodotti di I gamma	56
5.2. Prodotti di III gamma	57
6. Allegato 1 (Full Paper)	59
7. Allegato 2 (Full Paper)	70
8. Allegato 3 (conference proceedings).....	83
9. Allegato 4 (Conference Proceedings e Poster)	87
10. Allegato 5 (Codice di programmazione)	91
11. Bibliografia.....	93

Indice delle tabelle

Tabella 1: Quantità, superficie e investimenti medi al trapianto per le specie processate dall'azienda A&V nell'anno 2015.	9
Tabella 2: Quantità di prodotto grezzo lavorata dall'azienda A&V nell'anno 2015 e rapporto percentuale sulla produzione totale.	9
Tabella 3: Quantità e vita utile per I beni a fecondità ripetuta utilizzati nel caso studio del vivaio.	15
Tabella 4: Inventario della produzione di piantine in pane di terra per le quattro specie considerate riferito all'unità funzionale di una piantina.	16
Tabella 5: Produzione unitaria e totale per l'anno di riferimento.	19
Tabella 6: Inventario per produzione e lavorazione delle insalate in I gamma (UF 1 kg di prodotto elaborato).	21
Tabella 7: Tabella di inventario dei trasporti per il caso studio fagiolino.	23
Tabella 8: Inventario della produzione e lavorazione del fagiolino.	25
Tabella 9: Categorie di impatto e relative unità di misura del metodo CML_IA baseline 3.01.	26
Tabella 10: Tabella LCI della fase di trasporto per le annate 2013-2014.	27
Tabella 11: LCI della produzione ed elaborazione dello spinacio surgelato.	32
Tabella 12: Risultati LCIA di impatto della produzione di piantine in pane di terra (U.F. 1 piantina in vassoio in polistirene da 170 fori).	35
Tabella 13: Confronto risultati dell'analisi di impatto per la produzione di piantine con compost e mix di torba.	37
Tabella 14: Confronto risultati dell'analisi di impatto per la produzione di piantine con cubi di torba e vassoio in polistirene.	38
Tabella 15: Confronto risultati dell'analisi di impatto per la produzione di piantine vassoio a foro quadrato a foro circolare.	39
Tabella 16: Impatto della produzione di insalate di prima gamma appartenenti alle quattro specie di maggiore interesse per l'azienda. Metodo di calcolo CML 2000 baseline, approccio midpoint.	40
Tabella 17: Impatto della produzione di insalate prima e dopo introduzione di misure di mitigazione. Metodo ReCiPe endpoint (E).	41
Tabella 18: Risultato dell'impatto di produzione delle insalate (grezzo al campo) per le quattro specie considerate, metodo ReCiPe endpoint (H) single score.	43
Tabella 19: Impatto della produzione di fagiolino da industria surgelato per le due soluzioni in analisi.	43
Tabella 20: Contributo relativo all'impatto totale per I due scenari testati.	45
Tabella 21: Analisi di incertezza per I dati del caso studio su fagiolino.	46
Tabella 22: Risultati caratterizzazione dell'impatto della produzione di spinacio surgelato (UF 1kg di spinacio surgelato al cancello aziendale).	46
Tabella 23: Analisi di contribuzione per l'impatto di produzione dello spinacio (2013 A e B).	48
Tabella 24: Caratterizzazione chimico-fisica del substrato di alimentazione e del compost risultante dal bio-trattamento.	50
Tabella 25: Caratterizzazione chimico-fisica delle pre-pupe.	51
Tabella 26: Bilanci di massa del bio-trattamento delle diverse matrici.	51
Tabella 27: Caratterizzazione dell'impatto di 1 tonnellata di compost prodotta dal bio-trattamento di H. illucens L. per il residuo di spinacio.	52
Tabella 28: Confronto impatto spinacio e impatto con prodotto evitato e considerando il bio-trattamento come Sistema di gestione dei residui.	53

Indice delle figure

Figura 1: Andamento delle produzioni e processamento del fagiolino nel periodo 2004-2015 per Promarche.	12
Figura 2: Andamento delle produzioni ed elaborazioni dello spinacio per il periodo 2004-2015.	13
Figura 3: Linea di semina Urbinati labda utilizzata nella fase di semina dei vassoi in polistirene.	15
Figura 4: Lavorazione di I gamma dell'Indivia riccia. a, dettaglio della linea 1 con in evidenza il prodotto mondato; b, dettaglio dell'indivia riccia senza le foglie esterne e senza il colletto.	20
Figura 5: Macchina per la triturazione degli scarti. a, dettaglio dei due motori; b, scarti triturati e linea di raccolta; c, coclea per carico su cassone o bin.	20
Figura 6: Schema della linea di processamento del fagiolino in sequenza da sinistra verso destra e dall'alto verso il basso: 1 (bunker di alimentazione); 2 (aero-separatore); 3 (lavatrice a spruzzo); 4 (separatore a tamburo); 5 (sgrappolatrice); 6 (calibratrice).	25
Figura 7: Schema dei flussi di prodotto e lavorazioni per lo spinacio relative alla linea di lavorazione N.	31
Figura 8: Camera climatica a: sezione trasversale con predisposizione per un singolo test; b: planimetria con vista del lume interno.	34
Figura 9: Risultati dell'analisi di contribuzione per le 4 specie in analisi, in dettaglio a: scarola; b: Indivia riccia; c: cicoria rossa; d: cicoria pan di zucchero (fonte: Energy and environmental sustainability of nursery step finalized to IV gamma salad production by means of LCA, Ilari A., Duca D., 2018).	36
Figura 10: Analisi di contribuzione per l'impatto relativa alla sostituzione della torba con compost per l'indivia riccia.	38
Figura 11: Analisi di contribuzione per l'impatto relativa alla sostituzione del sistema classico con uno basato su cubi di torba compressata per l'indivia riccia.	39
Figura 12: Confronto tra scenario attuale mitigate e pregresso per le quattro specie considerate metodo CML 2000 baseline.	41
Figura 13: Confronto dell'analisi di contribuzione per lo scenario non mitigato (a) e quello attuale mitigato (b).	42
Figura 14: Confronto soluzione A e B con rapporto relativo.	44
Figura 15: Analisi di contribuzione per la soluzione A della coltivazione e processamento del fagiolino.	44
Figura 16: Analisi di contribuzione per la soluzione B della coltivazione e processamento del fagiolino.	45
Figura 17: Caratterizzazione impatto della produzione di spinacio per gli anni di riferimento, confronto tra soluzioni di fertilizzazione in rapport relative.	47
Figura 18: Analisi di incertezza per lo scenario A 2013 della produzione di spinacio.	49
Figura 19: Analisi di incertezza per lo scenario B 2013 della produzione di spinacio.	49

Riassunto

Introduzione: Il presente lavoro di ricerca Triennale, cofinanziato da fondi privati, regionali e universitari ha riguardato l'analisi dell'impatto ambientale delle produzioni orticole trasformate attraverso lo strumento del Life Cycle Assessment (LCA) (ISO 14040 ISO 14044) e di alcune PCR (Product Category Rules) specifiche per colture arate e prodotti vegetali. Le due realtà aziendali indagate sono Ambruosi & Viscardi S.s. e Promarche Soc.Coop.p.a. per le quali sono state valutate rispettivamente la produzione di piantine in pane di terra per quattro specie di insalate in serra e produzione delle stesse quattro specie di insalate in lavorazione di I gamma (A&V) includendo anche delle misure di mitigazione, fagiolino e spinacio surgelati di III gamma considerando alternative di gestione in campo e trattamento dei residui di lavorazione (Promarche).

Materiali e metodi: l'approccio metodologico applicato è quello definito dalle norme ISO di riferimento (14040:2006 e 14044:2006) in termini di LCA e di alcune PCR appartenenti al sistema EPD (Environmental Product Declaration) circa le colture arabili e i prodotti vegetali trasformati. Per la fase di stesura e rielaborazione degli inventari, nonché del calcolo degli impatti è stato utilizzato il software LCA SimaPro aggiornato all'ultima versione disponibile. Per tutte le realtà ed i casi studio in esame i dati inseriti in inventario sono stati raccolti attraverso interviste ai tecnici di campo e i responsabili per le diverse attività all'interno della filiera, attraverso misure dirette o consultazione di dati ufficiali (computi metrici progetti, quaderni di campagna) o attraverso la consultazione dei database prodotti dai sistemi informatici gestionali delle aziende. Nello specifico per A&V sono stati analizzati gli impatti di produzione in serra di 4 specie di insalate proponendo come mitigazioni la sostituzione del substrato di coltivazione standard con del compost, la sostituzione del sistema di semina verso uno a cubi di torba compressata e la sostituzione dei vassoi in polistirene a foro conico con quelli a foro piramidale quadrato. Per quanto riguarda i prodotti di I gamma sono state analizzate le stesse specie confrontando due scenari uno base nel quale i residui di lavorazione sono avviati a digestione anaerobica e l'energia proviene da impianti fotovoltaici e uno pregresso nel quale venivano smaltiti in discarica e l'energia proviene da rete. Per il caso Promarche sono stati analizzati gli impatti della produzione di fagiolino surgelato confrontando due scenari di trattamento fitosanitario ed erbicida. Nel caso invece dello spinacio sono stati confrontati due scenari differenti per i protocolli di concimazione ed infine è stato inserito un processo di trattamento dei residui operato da *Hermetia illucens*. Per questo ultimo caso è stata condotta una sperimentazione per testare la capacità dell'insetto stesso di degradare il residuo fresco attraverso la messa in opera di una camera climatica.

Risultati: Per quanto riguarda le piantine in serra le quattro specie mostrano impatti simili per tutte e quattro le specie con valori per gli indici più rappresentativi in linea con quanto reperibile in letteratura. A contribuire maggiormente all'impatto è il polistirene seguito da PVC e mix di torba. Per quanto riguarda le misure di mitigazione l'uso di compost comporta una riduzione del 10% circa dell'impatto per singola piantina (GW). Nel caso dei cubi di torba invece la riduzione è del 40% circa (GW). Per quanto riguarda i vassoi a foro piramidale la riduzione è del 13% circa. Per le insalate di I gamma l'impatto risulta in linea con quanto riscontrabile in letteratura, l'impatto minore si registra per cicoria pan di zucchero e cicoria rossa e l'impatto maggiore per indivia riccia e scarola. Il confronto con il sistema pregresso di smaltimento in discarica ed uso di energia da rete mostra un risparmio in termini di impatto tra 58 e 68% a favore del sistema a digestione anaerobica. Per quanto riguarda il fagiolino il confronto tra i due scenari di gestione dei

trattamenti fitosanitari mostra come lo scenario alternativo sia meno impattante sulle categorie relative alla tossicità umana e degli ecosistemi seppur con lievi differenze. L'analisi di contribuzione mostra il ruolo primario della fase di coltivazione e secondariamente della fase industriale e di trattamento del residuo, mentre i trasporti presentano impatti trascurabili. Nel caso dello spinacio il confronto tra i due scenari di concimazione mostra un ridotto impatto della soluzione alternativa consistente per abiotico depletion, acidificazione ed eutrofizzazione meno marcato per altri indici. Inoltre, l'impatto della produzione 2013 mostra un impatto minore rispetto a quella dell'anno successivo. Anche in questo caso la contribuzione all'impatto rispecchia l'andamento esposto per il fagiolino. La camera di crescita costruita per l'allevamento degli insetti ha dimostrato una buona capacità di mantenere la temperatura e l'umidità su livelli adeguati i dati ottenuti dalla sperimentazione su residui di spinacio sono stati utilizzati, insieme a dati di letteratura, per costruire un modello LCA di trattamento degli stessi. La produzione di compost residuo scontando allo stesso l'impatto evitato del compost standard mostra impatti paragonabili a quelli relativi all'attuale sistema di smaltimento.

Conclusioni e discussioni: L'analisi di impatto ambientale condotta per la produzione di piantine di insalata in vivaio ha mostrato come il maggior impatto sia dato dall'uso di polistirene espanso considerando la carenza di studi simili in letteratura su materiale di propagazione ad uso orticolo alimentare, i risultati ottenuti potrebbero essere utili come input per altri studi su prodotti di I e IV gamma a base di insalate. Le misure di mitigazione proposte per la fase di vivaio evidenziano come il rapporto tra diverse dimensioni della sostenibilità possano influenzare in maniera sostanziale l'applicazione e l'applicabilità delle stesse, le misure più efficaci sono quelle basate sulla riduzione o sostituzione (in parte o del tutto) dei materiali che presentano maggiore impatto. Mentre la radicale sostituzione dei sistemi potrebbe comportare costi troppo elevati per le aziende. L'analisi effettuata per il fagiolino ha mostrato come l'impatto maggiore derivi dalla fase di coltivazione e dall'uso di energia. L'applicazione di alternative alla normale gestione dei trattamenti fitosanitari ha mostrato un'apprezzabile riduzione di impatto senza influenzare eccessivamente la tecnica colturale. Le considerazioni fatte sul caso studio del fagiolino possono essere fatte anche per lo spinacio. L'impatto della coltivazione, energia e gestione dei residui rappresentano le voci di maggiore interesse. Il confronto tra prodotto 2013 e 2014 ha mostrato come l'efficienza di produzione e trasformazione possa influenzare sensibilmente l'impatto finale. Il confronto tra le due soluzioni di fertilizzazioni ha evidenziato come ad influire sull'impatto non sia soltanto il quantitativo di fertilizzante distribuito ma anche la forma chimica dello stesso (per quanto riguarda l'azoto) e i relativi fattori di emissione selezionati. Infine, il sistema messo in atto per testare l'attitudine di Hermetia al bio-trattamento dei residui di trasformazione ha dimostrato stabilità nella gestione dei parametri ambientali. Il bio-trattamento dei residui di spinacio ha fatto registrare prestazioni ambientali paragonabili agli attuali sistemi di gestione dei residui con il vantaggio che il bio-trattamento, oltre a trasformare il residuo in compost stabile, produce larve e pupe di mosca soldato nera ad elevato valore aggiunto utilizzabili per alimentazione animale.

Abstract

Introduction: The present Triennial research work has been co-financed both by private and public funds. It concerns the environmental impact analysis of processed horticultural products through the Life Cycle Assessment (LCA) tool (ISO 14040 ISO 14044) and some PCR (Product Category Rules) specific for arable crops and plant products. The two companies investigated are Ambruosi & Viscardi S.s. and Promarche Soc.Coop.p.a. For Ambruosi & Viscardi (A&V) have been evaluated the production of seedlings of four species of salads and production of the same in industry processing, including also some mitigation proposal. For Promarche have been evaluated the production of frozen string bean and spinach considering alternative management in the field and treatment of processing residues.

Materials and methods: The methodological approach applied is defined by the ISO reference standards (14040: 2006 and 14044: 2006) in terms of LCA and some PCR belonging to the EPD (Environmental Product Declaration) system regarding arable crops and plant products. The LCA software SimaPro has been used for the drafting and reprocessing of inventories, as well as the impacts calculation. For all the case studies under analysis inventory data were collected through interviews with the field technicians and responsible for the different activities within the supply chain, through direct measurements or consultation of official data (metric projects, cultivation documents) or using the databases produced by the company management information systems. For A&V the impacts for seedlings of 4 species of salads were analysed proposing as mitigations the substitution of the standard cultivation substrate with compost, the substitution of the sowing system towards one with cubes of compressed peat and the substitution of the trays made of polystyrene with conical hole with square pyramidal hole. The processed product for the same species were analysed by comparing two scenarios, one baseline in which the processing residues are sent to anaerobic digestion plant and the energy comes from photovoltaic plants and a previous one in which production residues were disposed in landfills and the energy comes from the national grid. For Promarche, the impact of frozen green bean production was analysed by comparing two scenarios of phytosanitary and herbicide treatment. For spinach, two different scenarios were compared for fertilization protocols and finally a residues treatment process by *Hermetia illucens*. For this last case, an experimental trial was carried out to test the capacity of the insect itself to degrade the fresh residue through the installation of a climatic chamber.

Results: Regarding greenhouse seedlings, the four species show similar impacts with values, for the most representative indices, in line with what can be found in literature. Polystyrene, followed by PVC and peat mix, contribute more to the impact. Regarding mitigation measures, the use of compost involves in a reduction of around 10% of the impact per single seedling (GW). In the case of peat cubes, the reduction is about 40% (GW). As far as the pyramid-shaped trays are concerned, the reduction is about 13%. For fresh salads the impact is in line with what can be found in literature, the minor impact is recorded for sugarloaf chicory and red chicory and the greatest impact for curly endive and escarole. The comparison with the previous system of landfill disposal and use of grid electricity shows a saving in terms of impact between 58 and 68% in favour of the anaerobic digestion system. As for the green bean, the comparison between the two phytosanitary treatment management scenarios shows how the alternative scenario is less impacting on the categories related to human toxicity and ecosystems, albeit with slight differences. The contribution analysis shows the primary role of the cultivation phase and

secondarily the industrial phase and the treatment of the residue, while the transports have negligible impacts. For spinach, the comparison between the two fertilization scenarios shows a reduced impact of the alternative solution for abiotic depletion, acidification and eutrophication less marked for other indices. Furthermore, the impact of 2013 production shows less impact than the following year. Also, in this case the impact contribution reflects the trend shown for the string bean. The climate chamber built for insect breeding has shown a good ability to maintain temperature and humidity on adequate levels. Data obtained from experimentation on spinach residues have been used, together with literature data, to build an LCA model. The production of residual compost, discounting the avoided impact of the standard compost at the same shows impacts comparable to those relating to the current disposal system.

Conclusions and discussions: The environmental impact analysis conducted for nursery production of salad seedlings showed how the greatest impact is given using expanded polystyrene. Considering the lack of similar studies in literature on propagation material for food horticultural use, the results obtained could be useful as input for other studies on fresh salads and ready to eat products. The mitigation measures proposed for nursery phase highlight how the relationship between different dimensions of sustainability can substantially influence the application and applicability of the same, the most effective measures are those based on the reduction or replacement (in part or complete) of the materials with the greatest impact. While radical replacement of systems could entail too high costs for companies. The analysis carried out for string bean showed how the greatest impact derives from the cultivation phase and the use of energy. The alternatives application to the normal management for phytosanitary treatments has shown an appreciable reduction in impact without excessively influencing the cultivation technique. The considerations made on of string bean case study can also be made for spinach. the impact of cultivation, energy and waste management are the most interesting items. The comparison between 2013 and 2014 products showed how production and processing efficiency can significantly influence the final impact. The comparison between the two solutions of fertilization has shown how to influence the impact is not only the amount of fertilizer distributed but also the chemical form of the same (as regards nitrogen) and the related emission factors selected. Finally, the system built to test *Hermetia*'s attitude to the bio-treatment of transformation waste has demonstrated stability in the management of environmental parameters. The bio-treatment of spinach residues has recorded environmental performance comparable to current waste management systems with the advantage that bio-treatment, in addition to transforming the residue into stable compost, produces larvae and pupae of high-value that can be used as animal feed.

1. Premessa

L'attività di ricerca triennale riportata nella presente tesi di dottorato è stata cofinanziata da due aziende marchigiane operanti nel settore delle produzioni orticole trasformate di I, III e IV gamma per diverse colture vegetali. Il cofinanziamento è inserito all'interno del progetto Eureka che unisce fondi di aziende private, universitari e della Regione Marche. L'attività si focalizza sull'analisi dell'impatto ambientale delle produzioni orticole trasformate attraverso lo strumento del Life Cycle Assessment (LCA) o analisi di ciclo di vita che mira a definire il potenziale impatto e danno di un qualsiasi prodotto o servizio su differenti comparti ambientali o "aree" di protezione. Nel dettaglio, per le realtà succitate, il calcolo dell'impatto ambientale ed energetico ha interessato prodotti a diversi livelli della catena produttiva, includendo per alcuni casi, delle forme di mitigazione dell'impatto. I risultati sono stati pubblicati in riviste scientifiche e riportati in allegato.

La prima realtà produttiva, l'azienda agricola Ambruosi & Viscardi (A&V) Ss, è leader nelle Marche per la coltivazione, lavorazione e distribuzione di insalate. I prodotti di punta dell'azienda da oltre 30 anni sono quelli di I gamma: indivia riccia, indivia scarola, cicoria pan di zucchero, cicoria rossa e spinaci. Le peculiarità di questa azienda risiedono nel principio di produzione a ciclo chiuso; l'azienda, infatti, produce autonomamente parte del materiale di propagazione nelle proprie serre, trapianta e cura la crescita delle piantine in campo con propri mezzi, raccoglie, trasforma ed infine distribuisce con una propria flotta. Inoltre, negli anni, l'azienda si è dotata di un impianto di digestione anaerobica per il trattamento dei residui di lavorazione e di un parco fotovoltaico a tetto per la produzione di energia elettrica. Le analisi condotte per questa realtà riguardano sia l'impatto della produzione di piantine in pane di terra per il trapianto, al fine di colmare l'assenza totale di studi simili in letteratura, sia il calcolo d'impatto per la produzione delle quattro tipologie di insalate di I gamma, per i quali si dispone solo di alcune informazioni in letteratura, quasi sempre relative alla coltivazione di campo.

La seconda realtà aziendale è il Consorzio Cooperativo Promarche, una organizzazione di produttori (OP) ortofrutticoli della Regione Marche che opera nel settore di produzione e trasformazione di ortaggi surgelati di III gamma. I prodotti di punta sono spinacio, fagiolino e pisello e una delle peculiarità aziendali è quella di processare materia prima locale. Le produzioni agricole per spinacio e fagiolino, ad esempio, si svolgono entro un raggio massimo di 100 km verso nord e verso sud dallo stabilimento di lavorazione, sito all'estremo sud della Regione Marche. Per questa seconda azienda sono stati calcolati indici di impatto energetico ambientale per la produzione di fagiolini e di spinaci surgelati, prodotti per i quali, come nel caso aziendale precedente, si dispone solo di riferimenti bibliografici relativi alla fase di coltivazione.

Gli studi di impatto sono stati completati valutando anche delle misure di mitigazione o degli scenari di coltivazione. Per quanto riguarda la produzione di piantine con pane di terra, sono stati proposti tre scenari di mitigazione attraverso la sostituzione del substrato di crescita e del sistema di semina. Per le insalate di I gamma è stata condotta una valutazione ex post dell'inserimento di sistemi fotovoltaici e di digestione anaerobica dei residui. Nel caso dei due prodotti di III gamma, sono stati valutati due differenti scenari di trattamento fitosanitario per il fagiolino e due scenari di fertilizzazione per lo spinacio. Infine, sempre per lo spinacio è stato valutato l'impatto del bio-trattamento dei residui ad opera di insetti. Per ogni caso studio i dati utilizzati sono stati raccolti

attraverso la somministrazione di check list e interviste con i responsabili delle diverse fasi produttive di filiera, in alcuni casi sono stati misurati direttamente (come nel caso della coltivazione delle piantine in serra) per le fasi di processamento industriale invece si è attinto dai sistemi informatici gestionali delle aziende che tracciano la maggior parte delle informazioni utili a condurre un'analisi di impatto ambientale. I dati grezzi sono stati rielaborati matematicamente per essere riferiti all'unità funzionale o inseriti nel software di calcolo SimaPro® che provvede anche a questa operazione. Lo stesso software è stato utilizzato per il calcolo dell'impatto, precisamente per le fasi di classificazione e caratterizzazione.

1.1. Ambruosi e Viscardi (A&V)

Per il 2015, anno di riferimento dei dati riportati, A&V ha utilizzato 31 milioni di piantine appartenenti a diverse specie come indicato in tabella 1

Tabella 1: Quantità, superficie e investimenti medi al trapianto per le specie processate dall'azienda A&V nell'anno 2015.

Specie	Quantità (n)	Superficie (ha)	Investimento n/ha
Scarola (<i>Cichorium endivia</i> var. <i>latifolium</i> L.)	15812740	303,77	51946 ± 3102
Riccia (<i>Cichorium endivia</i> var. <i>crispum</i> L.)	8736600	172,53	51276 ± 3439
Cicoria rossa (<i>Cichorium intybus</i> L.) ^{1*}	4342750	60,46	72638 ± 5920
Pan di zucchero (<i>Cichorium intybus</i> L.) [*]	1146800	16,16	71552 ± 4649
Iceberg (<i>Lactuca sativa</i> var. <i>iceberg</i> L.)	290400	4,39	69123 ± 6623
Cavolo cappuccio (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> L.)	101500	2,96	34063 ± 5543
Cavolo verza (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabauda</i> L.)	270500	7,87	37143 ± 11217
Cavolo cinese (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>chinensis</i> L.)	84000	1,20	70000 ± 0
Finocchio (<i>Foeniculum vulgare</i> L.)	226500	3,97	55625 ± 6021

¹ Compreso radicchio a palla e tipo trevigiano; * la specie *C. intybus* L. rappresenta un insieme eterogeneo e poco studiato di cicorie ad uso alimentare.

A rimarcare il ruolo delle insalate e cicorie, le prime quattro varietà in elenco rappresentano il 97% circa del totale del materiale da propagazione utilizzato (acquistato o autoprodotta in termini di numero di piante o di superficie investita). Il prodotto grezzo in ingresso all'impianto di I gamma per lo stesso anno è stato di oltre 21 milioni di kg per i diversi prodotti, così come riportato in tabella 2

Tabella 2: Quantità di prodotto grezzo lavorata dall'azienda A&V nell'anno 2015 e rapporto percentuale sulla produzione totale.

Specie	Quantità prodotto grezzo (kg)	Rapporto tra categorie e prodotti (%)
Insalate	18260714	85%
Indivia scarola	10087092	55%
Indivia riccia	5443985	30%
Radicchio a palla	1471955	8%
Radicchio lungo	295347	2%
Cicoria pan di zucchero	821060	4%
Iceberg	141275	1%
Prodotti a foglia	1898942	9%

Spinacio	1217570	64%
Bietola	393030	21%
Cicoria	208014	11%
Cima di rapa	80328	4%
Altre colture	1271416	6%
Cavolo verza	392658	31%
Cavolo cappuccio	166081	13%
Prezzemolo	7322	1%
Carote	325535	26%
Cipolle	43349	3%
Sedano	9743	1%
Mais	18900	1%
Finocchio	94624	7%
Ruola	213204	17%

Anche in questo caso le quattro specie di insalate citate rappresentano la maggior parte del prodotto grezzo in ingresso. In particolare, l'indivia scarola copre circa il 47% del totale in ingresso, l'indivia riccia il 25.4%, la cicoria rossa (sia a palla che tipo trevigiana) l'8.2% ed infine la cicoria pan di zucchero il 3.8%. I restanti prodotti rappresentano meno del 16% del totale. Considerando i dati riportati appare chiara l'importanza per l'azienda dei prodotti principali e, di conseguenza, l'esigenza di conoscere l'impatto associato alla produzione e trasformazione di questi prodotti.

L'importanza delle insalate appartenenti al gruppo delle Indivie non è limitata soltanto alla realtà aziendale in analisi. Secondo dati EUROSTAT nel 2016 la superficie coltivata a indivie e cicorie rappresentava circa il 5.4% del totale di superficie destinata alla coltivazione di verdure fresche (incluso il melone), mantenendosi quasi invariata negli anni [1]. La fase di produzione di piantine in vivaio rappresenta la prima fase fondamentale per molte colture ortive in Italia e in altri Paesi sia a scala industriale che hobbistica [2, 3]. Durante l'analisi della letteratura riguardo l'impatto ambientale per insalate fresche è emersa la scarsa presenza di studi sulla fase di produzione di materiale da trapianto in vivaio per colture orticole. Gli studi LCA sulla produzione in vivaio di materiale da trapianto reperibili in letteratura riguardano infatti la propagazione di piante ornamentali, di arbusti o alberi per uso produttivo o riforestazione [3-5]. Tali studi sono tutti focalizzati sulla fase di coltivazione in vivaio e quindi l'approccio sui confini di sistema è dalla "culla al cancello del vivaio". Tutti considerano, come dovuto, flussi di materiali e di energia ma poiché la produzione avviene spesso in serra di vede includere anche l'impatto relativo alle strutture per la coltivazione. L'unità funzionale varia notevolmente da caso a caso. In relazione al prodotto considerato e al sistema di produzione, alcuni autori utilizzano come unità funzionale la superficie (ha, m²)[6, 7] poiché i sistemi in analisi sono estensivi e spesso la coltivazione avviene in pieno campo; altri autori considerano come unità funzionale la singola pianta o un suo multiplo in contenitori spesso di grandi dimensioni necessari allo sviluppo per più di un anno in vivaio[3, 4, 8-11]. Per quanto concerne l'impatto della produzione di piantine ad uso orticolo, le uniche informazioni desumibili riguardano studi che ampliano l'analisi a tutta o parte della filiera di produzione delle insalate per specie affini (lattuga)[12] o sulla stessa scarola[13]. Tali studi approcciano l'analisi utilizzando unità funzionali differenti (ad esempio la superficie) o fornendo dati relativi all'impatto delle piantine in pane di terra solo in forma grafica (grafici a barre o a torta) che rendono complicato il confronto. Data questa scarsità di analisi, si è deciso di dare maggiore enfasi

alla fase di vivaio dedicandole uno studio più approfondito, impostato sull'esempio degli altri studi di "nursery" per specie ornamentali o forestali.

Successiva all'analisi dell'impatto della coltivazione delle piantine in vivaio lo studio è stato esteso a coltivazione, trasporto e lavorazione del materiale grezzo per le principali quattro specie di insalate (indivia riccia, indivia scarola, cicoria rossa, cicoria pan di zucchero). Come riportato precedentemente, lo studio nasce dall'esigenza dell'azienda di conoscere l'impatto delle proprie produzioni al fine di valutare gli effetti relativi all'inserimento di sistemi alternativi di gestione dei residui e di approvvigionamento energetico. In dettaglio, l'analisi mira ad individuare la riduzione dell'impatto ex-post associato all'avvenuta installazione di pannelli fotovoltaici per l'approvvigionamento di energia elettrica in sostituzione di energia da rete nazionale e dalla gestione dei residui tramite digestione anaerobica e non per conferimento in discarica. Rispetto al caso del vivaio, per il quale non si dispone di facili confronti in letteratura, per la coltivazione e il processamento delle insalate sono presenti molti studi sull'argomento per alcune delle specie analizzate o per specie affini [12-19]; tra questi, la maggior parte analizza l'impatto di insalate del genere *Lactuca spp. L.* mentre soltanto due studi sono focalizzati sull'indivia scarola, una delle specie di maggiore interesse per A&V [13, 17]. Più in dettaglio, il primo studio tratta del materiale grezzo all'uscita del campo, quindi un prodotto di I gamma non processato confrontando tra differenti forme di gestione colturale (in serra fredda, in pieno campo con coltura pacciamata con film plastico e senza pacciamatura) e diversi livelli di fertilizzazione[17]. Il secondo studio considera le fasi di coltivazione in pieno campo (confronto tra coltivazione biologica e integrata), trasformazione, distribuzione, uso e fine vita del prodotto[13].

1.2. Promarche

L'azienda cooperativa Promarche produce trasforma ortaggi destinati alla surgelazione. Le produzioni di punta sono rappresentate da pisello, spinacio, fagiolino ma la stessa azienda processa in volumi più contenuti anche prodotti come fagiolo borlotto, bietola, cicoria, zucchini, pomodorino, broccolo, cavolfiore, patata e asparago. Per i prodotti più importanti (spinacio, fagiolino, pisello, fagiolo borlotto, bietola, cicoria) l'azienda cura direttamente la fase di coltivazione e processamento, affidando il trasporto del prodotto grezzo a terzisti e la distribuzione del prodotto finito alle aziende committenti. Nel triennio di dottorato è stata posta maggiore attenzione al fagiolino e allo spinacio, prodotti maggiormente rappresentati in termini di massa lavorata. Uno dei punti di maggiore interesse per l'azienda era trovare un destino alternativo ai residui che attualmente vengono avviati a digestione anaerobica presso impianti esterni, rappresentando così un costo di produzione. Mentre per il residuo della lavorazione del pisello esiste già una congrua valorizzazione anche economica (viene valorizzato come alimento zootecnico) per il residuo di fagiolino e soprattutto per quello di spinacio non esiste una valorizzazione considerata adeguata dall'azienda. Partendo da tale criticità, si è voluto studiare un sistema alternativo per testare poi, dal punto di vista dell'impatto ambientale, di trattamento mediante l'uso di insetti.

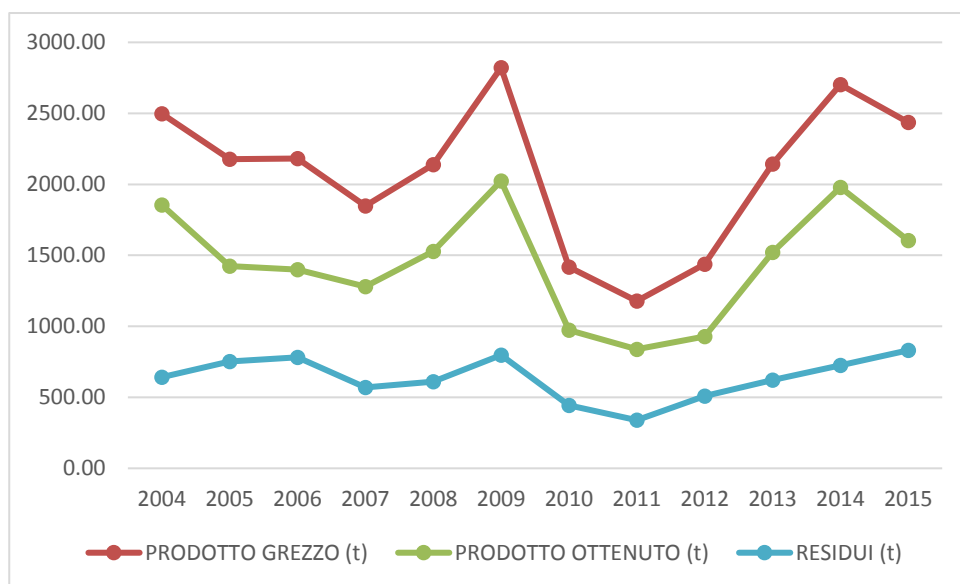


Figura 1: Andamento delle produzioni e processamento del fagiolino nel periodo 2004-2015 per Promarche.

Per quanto riguarda il fagiolino nel periodo 2004-2015 il prodotto grezzo lavorato da Promarche è compreso tra un minimo di 1.2 e un massimo 2.8 milioni di kg (figura 1). Nel 2014 in Italia sono state prodotte 169.660 tonnellate di fagioli freschi (fagiolino e fagiolo) e questa produzione ha rappresentato circa il 15% della produzione totale europea (EU28)[20]. Nello stesso anno (anno di riferimento per il presente studio) la sola Promarche ha processato 2.703 tonnellate di fagiolini che corrispondono all'1.6% della produzione italiana. Se si considera che tale produzione proviene da una limitata area, circoscritta alle tre province meridionali della Regione Marche e alla provincia di Teramo, l'importanza della stessa produzione a livello locale è ancora più alta. Infatti, considerando i dati disponibili a livello regionale (2004-2011), la produzione di Promarche rappresentava per Marche e Abruzzo tra l'8.4 e il 17.4% della produzione totale nel periodo 2004-2011 [21, 22]. Analogamente ai casi precedenti, gli studi di impatto ambientale su questa specifica produzione presenti in letteratura sono relativamente ridotti e la maggior parte dei lavori si riferisce alla sola fase di coltivazione[23-26] con solo un caso che considera la fase di processamento industriale[26]. La necessità nel definire l'impatto per le produzioni agroindustriali risiede non solo nell'assenza di studi in letteratura ma, in particolare, per le colture leguminose, per definire il reale potenziale impatto di tali produzioni considerando che le stesse sono viste come più sostenibili rispetto alla maggior parte delle colture agricole. Le colture leguminose sono considerate, infatti, come una valida alternativa all'uso di fertilizzanti azotati[27-31] oltre che una valida fonte di proteine sostenibili e a basso costo sostitutive di quelle animali[32]. La stessa FAO ha proclamato il 2016 anno internazionale dei legumi proponendo dei modelli di sostenibilità basati sulla produzione rurale caratterizzata da coltivazioni su superfici limitate, in consociazione e rotazione colturale[29, 33, 34]. Tuttavia, tali scenari non sono rappresentativi dei sistemi agroindustriali diffusi in Europa e nei paesi industrializzati. Il caso studio relativo al fagiolino considera come unità funzionale 1 kg di fagiolino surgelato. Le fasi considerate riguardano la produzione in pieno campo, il trasporto in impianto e il processamento. Per la fase di coltivazione sono stati considerati due differenti scenari che differiscono per la distribuzione di prodotti fitosanitari.

Per quanto riguarda lo spinacio, nel periodo 2004-2015 l'azienda ha processato un quantitativo variabile di materiale grezzo compreso, a seconda dell'annata, tra un minimo di 200 e un massimo di 5000 tonnellate registrate rispettivamente nel 2004 e nel 2007 (figura 2).

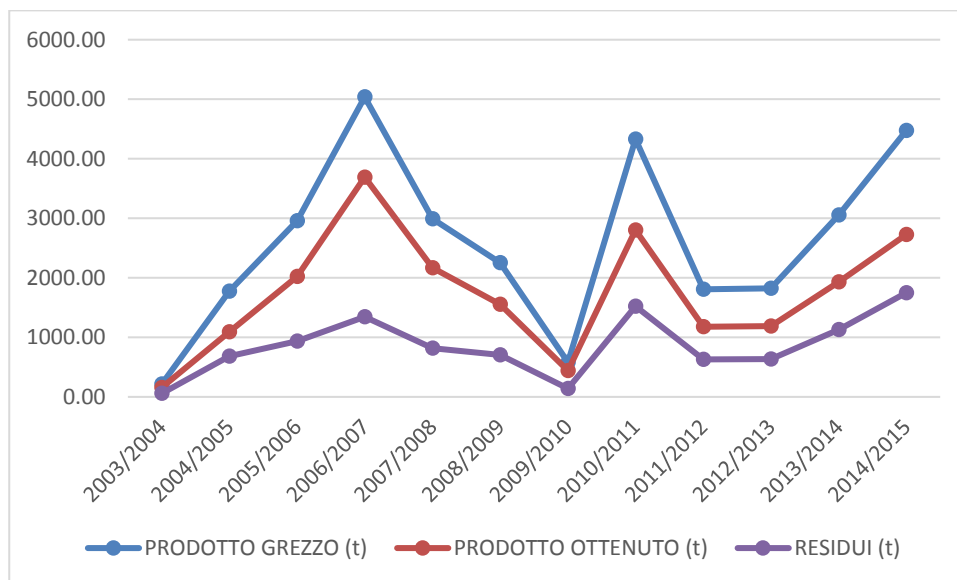


Figura 2: Andamento delle produzioni ed elaborazioni dello spinacio per il periodo 2004-2015.

A scala europea, la produzione totale di spinacio per il periodo 2010-2015 si è attestata intorno ad una media di 80.000 tonnellate[35]. Considerando la produzione di campo dell'azienda Promarche per lo stesso periodo, essa rappresenta una percentuale non trascurabile rispetto alla produzione europea e in costante aumento (con flessioni nel periodo 2012-2013) che raggiunge il 3.2 e il 4.6% per 2014 e 2015 (anni di riferimento del presente studio). Considerando le produzioni a scala regionale per Marche e Abruzzo[36], regioni interessate alla coltivazione di spinacio per Promarche, il prodotto processato dalla società ha rappresentato in media il 14% per il periodo 2005-2010. Anche per lo spinacio la letteratura non fornisce molte informazioni riguardanti analisi di impatto ambientale basate su metodo LCA[37-40]. Quindi l'esigenza di analizzare l'impatto di tali produzioni come per il fagiolino risiede sia nella volontà delle aziende interessate che nella creazione di un numero sufficiente di casi studio utili a definire la variabilità complessiva dei sistemi produttivi a differenti scale e per differenti paesi. Ciò con il fine di poter disporre di un numero sufficiente di riferimenti per definire se un prodotto sia realmente sostenibile. Nello specifico, il caso studio per lo spinacio considera l'impatto per due anni consecutivi, 2014 e 2015, valutando per ognuno due soluzioni di fertilizzazione alternative così come indicato dai tecnici aziendali nei protocolli produttivi. L'unità funzionale considerata è 1 kg di prodotto surgelato al cancello aziendale; le fasi considerate sono quindi: coltivazione in pieno campo, trasporto in azienda e processamento industriale. Per la filiera dello spinacio è stata anche valutata una possibile misura di mitigazione che riguarda la sostituzione dell'attuale sistema di smaltimento dei rifiuti con un processo di "compostaggio avanzato" basato sul bio-trattamento operato da larve di *Hermetia illucens L.*

1.3. Obiettivi generali

L'obiettivo generale dello studio svolto è la valutazione di impatto ambientale di alcune produzioni chiave per entrambe le aziende citate in precedenza. Lo scopo è l'individuazione dei nodi cruciali della filiera produttiva, ai quali è associato un maggiore impatto e per questi proporre delle misure di mitigazione valutandone, a posteriori e di concerto ai responsabili delle aziende, la fattibilità tecnica ed economica. Nel corso della fase preliminare di analisi ci si è resi conto della carenza di studi in letteratura di alcune specifiche tematiche da ciò sono emersi degli obiettivi secondari. Si è quindi deciso di focalizzare l'attenzione su alcune specifiche fasi di lavorazione, come nel caso della produzione di piantine in serra per l'azienda A&V e di produzione di spinacio e fagiolino nel caso di Promarche, o su specifici temi di utilizzo e trattamento dei residui, valutazioni che hanno condotto ad una sperimentazione per testare l'inserimento di processi di bio-trattamento operato da insetti su digestato (A&V) o su scarti della produzione di spinacio (Promarche).

Gli studi condotti si inseriscono in specifici processi produttivi, i cui elementi principali si descrivono nei paragrafi seguenti.

2. Attività

2.1. Attività per A&V

2.1.1. Vivaio

In questo caso studio (allegato 1) il sistema in analisi è rappresentato dalla coltivazione in serra non riscaldata di quattro varietà di insalate. Il ciclo di coltivazione abbraccia quindi soltanto i mesi primaverili ed estivi e si svolge tra marzo e ottobre. Le fasi di coltivazioni sono tre e riguardano semina, germinazione e crescita in serra. La semina avviene in vassoi in polistirene da 170 fori (0.52x0.33x0.06 m) utilizzando come substrato un comune mix di torbe. L'impianto principale è la seminatrice automatica Urbinati lambda, avente una capacità di lavoro di 650 vassoi/ora (figura 3). Le diverse funzioni dell'impianto sono: il posizionamento del vassoio sulla linea, il suo riempimento con torba e il rilascio pneumatico dei semi, la distribuzione di vermiculite e umettamento della stessa.



Figura 3: Linea di semina Urbinati labda utilizzata nella fase di semina dei vassoi in polistirene.

Successivamente alla semina i vassoi vengono impilati, posti su pallet e inseriti in una camera di crescita ad una temperatura di 22-25°C per 48 ore. Dopo questo intervallo di tempo, gli stessi vengono sistemati in serra alzandoli dal pavimento pacciamato tramite dei tubolari quadrati in cloruro di polivinile (PVC). La fase di crescita dura tra 20 e 35 giorni a seconda del periodo dell'anno e della specie coltivata. La fase di vivaio si considera completata quando le piantine raggiungono lo stadio di 4 foglie completamente sviluppate, fase che permette un facile trapianto e un rapido sviluppo post-trapianto in campo. Nel dettaglio, per scarola il tempo medio di crescita è di 28 giorni mentre per le altre tre specie è di 32 giorni. Gli input considerati nell'analisi appartengono a due gruppi: i beni infrastrutturali (a fecondità ripetuta) come serre, sistema di irrigazione, spaziatori e materiali pacciamanti, che rientrano nella produzione per più cicli di coltivazione secondo la loro vita utile; i beni a fecondità semplice relativi alla produzione per ogni singolo ciclo e rappresentati da semi, torba, fertilizzanti, acqua, prodotti fitosanitari ed elettricità. Gli input relativi alle infrastrutture interessate nella produzione per le quali è possibile definire massa e vita utile sono riportati in tabella 3.

Tabella 3: Quantità e vita utile per i beni a fecondità ripetuta utilizzati nel caso studio del vivaio.

Componenti	Materiali	u.m.	Quantità ¹	Vita utile (anni)	Dataset LCI
Strutture delle serre	Acciaio zincato	kg	4.7E-03	20 (Cambria et al. 2011)	USLCI
	Pali in acciaio	g	7.9E-02	20 (Cambria et al. 2011)	USLCI
	Calcestruzzo	kg	1.2E-01	20 (Cambria et al. 2011)	Ecoinvent 3
	Film polietilene	g	4.1E-01	2.75-3.75	Industry data 2.0
Sistema di irrigazione	Tubazioni polietilene alta densità	g	1.2E-01	10 (Cambria et al. 2011)	Industry data 2.0
	Irrigatori in PVC	g	2.1E-03	5 (Cambria et al. 2011)	Industry data 2.0
	Tubazioni in gomma	g	2.5E-02	10	Ecoinvent 3
Spaziatori	Spaziatori in PVC	g	1.9E-01	10	Industry data 2.0
Pacciamatura	Telo in polipropilene	g	1.1E-01	6 (Beccaro et al. 2014)	ELCD

¹Calcolo basato sulla durata di vita del materiale considerato e sul tasso di produzione per singole specie, l'importo indicato è la media di quattro specie considerate

Le serre nelle quali si svolge la coltivazione sono del tipo a tetto curvilineo[41], lunghe 50 metri e larghe 8, con altezza alla gronda di 2.4 metri e circa 4 metri al colmo. La struttura è costituita da pali in acciaio zincato con copertura in film di polietilene (PE). Il sistema di irrigazione è costituito da tre linee in PE ad alta densità parallele della lunghezza di 51 metri ognuna, unite da un collettore alla linea proveniente dal locale pompe, attiguo alla camera di germinazione. Ogni linea presenta 86 punti di derivazione per tubi in gomma da 8 millimetri lunghi circa 1 metro, sospesi e terminanti con un irrigatore in PVC. L'area calpestabile delle serre è divisa in due parti da un camminamento in calcestruzzo e ogni parte è ricoperta con una pacciamatura anti-alga in tessuto di polipropilene (PPE) trattenuto al suolo da 230 picchetti in acciaio. Ogni serra, per ogni ciclo colturale, può contenere fino a 1920 vassoi per un totale di 326.400 piantine.

In tabella 4 è riportata la parte di inventario relativa agli input consumabili.

Tabella 4: Inventario della produzione di piantine in pane di terra per le quattro specie considerate riferito all'unità funzionale di una piantina.

Step/input	u.m.	Scarola	Indivia riccia	Cicoria rossa	Cicoria pan di zucchero	database
Semina						
Vassoio EPS	g	0.5	0.5	0.5	0.5	ELCD
Mix torba	g	8.9	8.9	8.9	8.9	Ecoinvent 3
Vermiculite	g	0.2	0.2	0.2	0.2	Ecoinvent 3
Semi	mg	1.6	1.6	1.5	1.5	Ecoinvent 3
Acqua	L	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02	
Elettricità	kWh	7.69E-05	7.69E-05	7.69E-05	7.69E-05	Ecoinvent 3
Coltivazione						
Elettricità	kWh	2.70E-05	2.70E-05	2.70E-05	2.70E-05	Ecoinvent 3
Acqua	L	0.58	0.66	0.66	0.66	
Fertilizzante N-ammoniacale	mg	0.39	0.39	0.39	0.39	Agri-footprint
Fertilizzante N-nitrico	mg	0.08	0.08	0.12	0.12	Agri-footprint
Fertilizzante N-ureico	mg	0.30	0.30	0.30	0.30	Agri-footprint
P ₂ O ₅	mg	2.52	2.52	2.52	2.52	LCA Food DK
K ₂ O	mg	0.81	0.81	0.81	0.81	LCA Food DK
B	mg	9.50E-04	9.47E-04	9.48E-04	9.50E-04	Ecoinvent 3
Mo	mg	4.19E-04	4.27E-04	4.24E-04	4.25E-04	Ecoinvent 3
Cu chelato	mg	6.82E-04	6.80E-04	7.12E-04	6.83E-04	Ecoinvent 3
Fe chelato	mg	5.89E-03	5.89E-03	5.88E-03	5.89E-03	Ecoinvent 3
Mn chelato	mg	2.94E-03	2.94E-03	2.94E-03	2.94E-03	Ecoinvent 3
Zn chelato	mg	3.54E-04	3.53E-04	3.56E-04	3.55E-04	Ecoinvent 3
Propamocarb	mg	2.20E-01	2.20E-01	1.10E-01	2.20E-01	Ecoinvent 3
Solfato di rame	mg	1.18E-01	1.18E-01	1.18E-01	1.18E-01	Ecoinvent 3
Deltamethrina	mg	7.62E-04	7.33E-04	7.60E-04	7.50E-04	Ecoinvent 3
Abamectina	mg	9.19E-04	9.33E-04	9.12E-04	9.25E-04	Ecoinvent 3
Emissioni in aria						
Propamocarb	mg	2.20E-02	2.20E-02	2.20E-02	2.20E-02	
Solfato di rame	mg	1.18E-02	1.18E-02	1.18E-02	1.18E-02	
Deltamethrina	mg	7.62E-05	7.33E-05	7.60E-05	7.50E-05	
Abamectina	mg	9.19E-05	9.33E-05	9.12E-05	9.25E-05	
Emissioni in acqua						

Propamocarb	mg	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02
Solfato di rame	mg	5.88E-03	5.88E-03	5.88E-03	5.88E-03
Deltamethrina	mg	3.81E-05	3.67E-05	3.80E-05	3.75E-05
Abamectina	mg	4.60E-05	4.67E-05	4.56E-05	4.63E-05
Emissioni nel suolo					
Azoto	mg	7.99E-02	7.99E-02	8.43E-02	8.43E-02
Fosfati	mg	7.45E-01	7.45E-01	7.45E-01	7.45E-01
Potassio	mg	1.58E-01	1.58E-01	1.58E-01	1.58E-01

Una arte dei beni consumabili è impiegata nella fase di semina. Tra i consumabili più importanti si elencano il polistirene espanso (EPS) utilizzato per i vassoi, il mix di torba utilizzato come substrato di crescita e la vermiculite utilizzata come igroscopico per prevenire la disidratazione dei semi e delle plantule. Nella fase di coltivazione vengono utilizzati fertilizzanti e agrofarmaci. Dopo 5 giorni dalla collocazione in serra e ad intervalli di 5 giorni dopo la prima applicazione, le piantine vengono sottoposte a fertirrigazione con due differenti prodotti a diverso titolo. I trattamenti fitosanitari vengono di norma applicati in due interventi dopo 7 e 14 giorni dall'emergenza. I prodotti utilizzati sono 4 (Propamocarb, solfato di rame, Deltametrina e Abamectina), distribuiti in un co-formulato. I dati relativi agli input di coltivazione del vivaio sono stati acquisiti attraverso interviste, consultazione di documenti ufficiali (quaderni di campagna, registri aziendali), sondaggi e misure dirette. I dati così acquisiti sono primari e strettamente correlati al caso studio. I dati secondari reperiti da letteratura sono relativi al consumo di acqua in serra[42] così come le informazioni per la modellizzazione delle emissioni delle fertirrigazioni[43]. Il modello di destino dell'applicazione dei prodotti fitosanitari è stato definito sulla base delle indicazioni date da Margni et al.[44]. Per destino si intende la quota media di principio attivo che viene emesso nei tre principali comparti ambientali (suolo, acqua e aria).

Il metodo di calcolo dell'impatto selezionato è il CML baseline 2000 v.2.05 dell'Università di Leiden comprensivo di dieci categorie di impatto comprese le più comuni (Global Warming, Acidification, Eutrophication, Photochemical Oxidation) con approccio midpoint di valutazione dell'impatto potenziale e non del danno.

2.1.1.1. Vivaio mitigazioni

Sulla base dell'analisi di contribuzione, che verrà riportata nel relativo capitolo dei risultati, sono state proposte delle mitigazioni finalizzate alla riduzione dell'impatto generale, qui riportate in forma sintetica ed introduttiva. In particolare, gli scenari proposti sono tre e riguardano la sostituzione di materiali e i sistemi di semina.

Il primo scenario riguarda la sostituzione del mix di torba con il compost come mezzo di crescita; questa proposta nasce dal fatto che l'azienda in analisi dispone di digestato in ingenti quantitativi, che potrebbe essere opportunamente trattato per produrre compost. Inoltre, il mix di torba, essendo un materiale estratto da aree ad alto stock di carbonio, il suo uso è associato ad un elevato impatto sul riscaldamento globale.

La seconda proposta di mitigazione riguarda la sostituzione del sistema di semina dal comune vassoio in EPS ad un sistema basato su cubi di torba compressata e cassette in PE. In questo caso si intende eliminare il polistirene espanso con un supporto più resistente e riutilizzabile più volte (fino a 20 cicli, contro i 2 del vassoio in polistirene). Il sistema a cubi di torba è basato sulla completa sostituzione degli apparati di semina con i conseguenti investimenti necessari. Inoltre, le piante sono sostenute dalla cassetta in PE ma non trattenute all'interno della stessa con possibili criticità di movimentazione e maneggiamento in fase di trapianto.

La terza forma di mitigazione proposta interessa sempre il polistirene. In questo caso si è testata la risposta di impatto ambientale derivante dalla sostituzione del vassoio a foro circolare (sezione longitudinale troncoconica) con vassoi a foro quadrato (sezione longitudinale troncopiramidale). L'intento in questo caso è quello di ridurre il quantitativo di polistirene utilizzato attraverso un più razionale uso dello spazio per singola piantina: i vassoi in polistirene a foro tondo utilizzati, infatti, hanno un peso di 160 grammi, mentre quelli a foro quadrato 130 grammi. Sebbene il vassoio con foro quadrato comporti un aumento di volume del pane di terra e quindi di quantità della torba utilizzata.

2.1.2. Prodotti di I gamma

Nel presente caso studio (allegato 3), che si collega al precedente relativo alla produzione di piantine in serra, sono considerate anche le fasi di trasporto delle piantine in campo, la coltivazione delle quattro specie di insalata, il trasporto in impianto e il successivo processamento di prima gamma. Nello scenario base l'energia elettrica utilizzata in impianto proviene da fonte rinnovabile (impianto fotovoltaico a tetto da 1.2 MWe) e i residui vengono smaltiti tramite digestione anaerobica (impianto da 250 kW). Il trasporto delle piantine avviene con mezzi aziendali utilizzando carrelli in acciaio zincato e i siti di destinazione si trovano in diverse regioni tra cui Marche, Abruzzo, Puglia e Basilicata. Le aree di coltivazione, oltre alle Marche, sono concentrate nei siti vocati all'orticoltura: per la regione Abruzzo si considera la piana del Fucino e la zona sub-collinare e costiera del teramano; per la regione Puglia la piana dei laghi di Lesina e Varano; per la regione Basilicata la piana del Metaponto. La distanza dei campi è variabile (138 km circa in media) con un minimo di 4 e un massimo di 480 km. Ogni trasporto presenta delle tare, rappresentate dai carrelli che contengono 50 vassoi (8500 piante), ogni carrello pesa circa 70 kg mentre i vassoi in polistirene con piante pesano 85 kg (per ogni carrello). Il carico massimo viene raggiunto per occupazione del volume di carico e non per raggiunto limite di massa: considerando che possono essere caricati al massimo 15 carrelli per un peso complessivo di 2 tonnellate circa, l'efficienza di carico media è del 20 % del carico massimo consentito. La coltivazione avviene in pieno campo trapiantando un quantitativo di piantine per unità di superficie variabile in base a specie e gestione della coltura; l'investimento medio per indivia riccia e scarola è di circa 52000 piante/ha mentre per cicoria rossa e pan di zucchero l'investimento è decisamente superiore (70000 piante/ha). Le operazioni colturali pre-trapianto previste sono un'aratura, una erpicatura e un diserbo (Stomp® aqua 1.5 l/ha); successivamente si procede al trapianto. A seguire, gli interventi previsti sono: la fertilizzazione eseguita con due diversi prodotti fertilizzanti, rispettivamente a base minerale (500 kg/ha di Nitrofert blu®) e organica (600 kg/ha di Vulcano®); due interventi di trattamento fitosanitario

eseguiti il primo con Decis® (0.5 l/ha), Confidor 200 sl® (0.5 kg/ha) e Ortiva® (1 l/ha) e il secondo con Idrorame flow® (3 l/ha), Heliosoufre® (1.5 l/ha). La durata della fase di coltivazione è variabile: in media, per la scarola sono necessari 96 giorni, per l'indivia riccia 77 giorni, per la cicoria rossa 117 giorni, mentre per la pan di zucchero 102 giorni. Per indivia riccia e scarola è previsto (nell'ultimo mese) l'uso di elastici in gomma naturale per indurre l'eziolatura delle foglie più giovani ed aumentare così la resa produttiva in trasformazione. La raccolta è completamente manuale. Per il trasporto vengono utilizzati contenitori di forma parallelepipedica e capienza di circa 100 kg (bin) (tara c.a. 23 kg) o cassette da circa 10 kg (tara c.a. 2.5 kg). La produzione media per unità di superficie ottenuta per le specie di interesse è riportata in tabella 5.

Tabella 5: Produzione unitaria e totale per l'anno di riferimento.

Specie	Produzione unitaria (kg/ha)	Produzione totale 2015 (kg)
Scarola	32617.39	10362492
Riccia	30776.06	5062085
Radicchio	21595.83	1189252
Pan di zucchero	49250.47	634610

Il trasporto dal campo verso l'impianto di trasformazione impiega la stessa flotta di mezzi utilizzati nel trasporto delle piantine. Il riempimento di bin o cassette avviene a bordo campo. Nel caso di carico con bin il numero massimo di elementi trasportati è 110, con un carico utile (netto materiale grezzo) di 11 tonnellate e una massa complessiva trasportata di circa 13.5 tonnellate. Nel caso di trasporto con cassette il numero di elementi sale a 1120 con carico netto sempre di 11 tonnellate e un carico complessivo di 13.8 tonnellate. All'impianto, il prodotto grezzo viene stoccato in cella frigorifera (4°C) per non più di due giorni e viene quindi avviato alla lavorazione di I gamma che consiste nell'eliminazione (completamente manuale) delle foglie più esterne al cespo (nel caso di scarola e riccia viene eliminato anche l'elastico in gomma) e del colletto fino all'inserimento delle foglie mondate. La resa produttiva successiva alla monda è variabile in relazione all'habitus di crescita della specie e alla struttura della foglia. Nel caso di radicchio e cicoria pan di zucchero, che presentano crescita compatta con foglie embricate a margine continuo, la resa è più elevata mentre, per scarola e riccia che hanno foglie larghe, patenti e frastagliate ed una forma tendenzialmente espansa, la resa è minore. Nel dettaglio l'efficienza produttiva alla lavorazione di I gamma per il radicchio è del 63.54%, per la cicoria pan di zucchero dell'81.69%, per indivia scarola del 63.72%, mentre per l'indivia riccia è di appena il 57.1%. Considerando, a scopo informativo, la monda di IV gamma, destinata soltanto a scarola e riccia, la resa scende rispettivamente al 41.51% e 45.79%. La lavorazione di I gamma prevede differenti passaggi. Il cespo grezzo, in bin o cassette, viene prelevato dalla cella frigorifera e rovesciato in una tramoggia con nastro trasportatore che corrisponde alla prima macchina di lavorazione delle due linee di I gamma. Il nastro trasporta il materiale all'interno dello stabilimento dove per ogni linea sono presenti circa 13 operatori (figura 4 a,b), che prelevano il cespo grezzo, ne rimuovono lo scarto (gettato in fosse di recupero poste sotto la linea di lavorazione) e posizionano il mondato su una linea superiore che lo avvia al lavaggio.



Figura 4: Lavorazione di I gamma dell'Indivia riccia. a, dettaglio della linea 1 con in evidenza il prodotto mondato; b, dettaglio dell'indivia riccia senza le foglie esterne e senza il colletto.

Il lavaggio avviene in vasche nelle quali un operatore passa i cespi controcorrente e successivamente sotto un getto di acqua. Infine, i cespi sono posti in cassette pronte per la vendita o per la successiva lavorazione di IV gamma. Lo scarto viene convogliato da una linea dedicata ad un trita-scarti (figura 5) che lo prepara per l'immissione nell'impianto a digestione anaerobica. L'inventario per la produzione di insalate di I gamma è riportato in tabella 6.



Figura 5: Macchina per la tritatura degli scarti. a, dettaglio dei due motori; b, scarti tritati e linea di raccolta; c, coclea per carico su cassone o bin.

Tabella 6: Inventario per produzione e lavorazione delle insalate in I gamma (UF 1 kg di prodotto elaborato).

	Scarola	Riccia	Radicchio	Pan di zucchero	
Processi					
Piantine	1.6862	1.787204	2.224665	1.421336	p
Aratura	3.06E-05	3.22E-05	3.17E-05	2.02E-05	ha
Erpicatura	3.06E-05	3.22E-05	3.17E-05	2.02E-05	ha
Trapianto	3.06E-05	3.22E-05	3.17E-05	2.02E-05	ha
Fertilizzazione	3.06E-05	3.22E-05	3.17E-05	2.02E-05	ha
Applicazione fitofarmaci	3.06E-05	3.22E-05	3.17E-05	2.02E-05	ha
Trasporto	0.054854	0.094016	0.003331	0.009209	tkm
Materiali					
Acqua	0.071699	0.031276	0.055484	0.046684	m3
Stomp aqua P.A.	2.08E-05	2.26E-05	2.17E-05	1.4E-05	kg
Decis evo	3.78E-07	3.57E-07	5.23E-07	2.58E-07	kg
Confidor	3.02E-06	3.57E-06	3.14E-06	2.07E-06	kg
Ortiva	7.56E-06	8.34E-06	7.85E-06	5.17E-06	kg
Idrorame flow	1.78E-05	1.91E-05	1.85E-05	1.19E-05	kg
Heliosufre	3.21E-05	3.46E-05	3.34E-05	2.12E-05	kg
Nitrofert blu	0.015312	0.016085	0.015834	0.010079	kg
Vulcano	0.018395	0.019497	0.019069	0.012183	kg
Elastici	0.001551	0.001644			kg
Elettricità	0.022175	0.025668	0.020329	0.02154	kWh
Scarti	0.569252	0.751021	0.421967	0.538451	kg
Celle frigo	0.010866	0.012577	0.009961	0.010555	kWh
Linea scarti	0.005100	0.005904	0.004676	0.004954	kWh
Trita scarti	0.002217	0.002567	0.002033	0.002154	kWh
Illuminazione	0.001774	0.002053	0.001626	0.001723	kWh
Linea 2	0.001109	0.001283	0.001016	0.001077	kWh
Pozzo	0.000665	0.00077	0.00061	0.000646	kWh
Linea 1	0.000443	0.000513	0.000407	0.000431	kWh
Acqua di lavaggio	0.000785	0.000876	0.000711	0.000769	m3

2.1.2.1. I gamma valutazione ex-post

Nel 2010 l'azienda in oggetto si è dotata di un impianto fotovoltaico a tetto per soddisfare pienamente l'esigenza di energia elettrica mentre nel 2012 ad essere installato è stato un impianto a digestione anaerobica per la gestione dei residui. Uno degli obiettivi dell'azienda per lo studio di dottorato era di quantificare il vantaggio ottenuto dall'introduzione di tali sistemi a confronto con quelli precedenti che prevedevano lo smaltimento in discarica e l'uso di elettricità da rete. A tal fine si è simulato per l'anno di riferimento uno scenario ipotetico con i sistemi di smaltimento e approvvigionamento di energia elettrica precedente al 2010 confrontandolo con quello attuale del 2015. Il parco fotovoltaico installato è diviso in due unità (296 kW impianto in I gamma, 891 kW impianto in IV gamma) per le quali la produzione mensile ed annuale è sempre maggiore al consumo dei vari utilizzatori. Per tale motivo nell'analisi si è semplicemente sostituita la fonte di

approvvigionamento di energia. Nel caso dell'impianto per la digestione anaerobica la potenza installata è di 250 kWe e lo stesso è stato dimensionato per poter gestire tutto il residuo in ingresso dopo essere stato opportunamente miscelato ad insilato di mais.

2.2. Attività per Promarche

2.2.1. Fagiolino III gamma

In questo caso di studio (allegato 2) si è voluto indagare l'impatto della produzione di fagiolino surgelato. La prima fase della filiera è la coltivazione in pieno campo del fagiolino. Nell'anno di riferimento la superficie totale investita per la Promarche è di 317 ha, di cui 120 ha in semina precoce (semina tra metà maggio a metà giugno) e 197 ha in semina tardiva (semina tra metà giugno a metà agosto). La coltivazione prevede un'aratura a 35 cm di profondità e una erpicatura per la preparazione del letto di semina; in presemina poi si procede alla distribuzione del trattamento erbicida. Nel primo protocollo (scenario A) i prodotti distribuiti sono due in co-formulazione Stomp® aqua (Pendimethalin 1.5 l/ha) e Linuron 600 g/ha, nel protocollo alternativo (scenario B) il prodotto distribuito è uno soltanto Command 36 Cs (Clomazone 150 g/ha). Dopo il trattamento erbicida si procede alla semina e poco dopo l'emergenza delle plantule viene distribuito nitrato ammonico (N 33) in misura di 150 kg/ha, unico prodotto fertilizzante previsto da entrambi i protocolli. Il controllo fitosanitario (parassiti, malattie fungine e batteriche) è stato condotto in due interventi: il primo impiegando Altacor® (Chlorantraniliprole 100 g/ha) e Ortiva® (Azoxystrobin 2 l/ha scenario A) o in alternativa Affirm® (Emamectin benzoate 1.5 l/ha) e Ortiva® (Azoxystrobin 2 l/ha scenario B); il secondo ha impiegato Altacor® (Chlorantraniliprole 100 g/ha), zolfo e rame (2 kg ha ognuno). La raccolta è stata condotta tramite una macchina raccogliitrice dedicata BH8100 (BOURGOIN) dotata di una tramoggia di raccolta elevabile che scarica il prodotto direttamente sul camion per il trasporto. I campi sono localizzati entro un raggio massimo di 120 km dall'impianto di trasformazione e il trasporto è effettuato con una flotta di 7 mezzi con capacità di carico compresa tra 12.1 e 18.5 tonnellate. Il carico massimo stabilito dall'azienda per ragioni di qualità del prodotto è stato fissato a 12 tonnellate; da ciò, l'efficienza di carico massima oscilla tra il 99% e il 65% circa, sempre considerando il ritorno a vuoto del mezzo. La distanza media ponderata (sulla produzione) dei campi dallo stabilimento è di 57.6 km e benché un singolo mezzo potrebbe servire un cantiere di raccolta solitamente due o più mezzi vengono impiegati, rendendo difficile risalire allo specifico trasporto. Per tale ragione nel caso studio è stato considerato un trasporto medio con classe ambientale euro 2, considerando un certo numero di carichi al massimo della capacità media dei vari mezzi e un trasporto per l'eventuale residuo di raccolta con efficienza di carico minore in ragione della produzione per ogni singolo campo. L'inventario relativo ai trasporti viene riportato in tabella 7.

Tabella 7: Tabella di inventario dei trasporti per il caso studio fagiolino.

Semina precoce (2014)	Distanza dall'impianto (km)	Produzione (t)	Viaggi (n°)	Carico medio	tkm	Fattore di carico medio	Min. fattore di carico	Max. fattore di carico
	95.5	72	6	12.1	1153.6	84	65	100
	70.5	68	6	11.4	801.5	79	61	94
	95.5	107	9	11.8	1131.0	82	64	98
	18.5	68	6	11.4	210.3	79	61	94
	10	34	3	11.4	113.7	79	61	94
	70.5	60	5	11.9	841.6	83	65	99
	80	51	5	10.2	818.6	71	55	85
	117	136	11	12.4	1451.1	86	67	100
	18.5	85	7	12.1	225.3	85	66	100
	18.5	43	4	10.7	197.2	74	58	88
	7	60	5	11.9	83.6	83	65	99
	6	85	7	12.1	73.1	85	66	100
	54	60	5	11.9	644.6	83	65	99
	54	17	2	8.5	460.4	59	46	70
	18.5	77	7	11.0	202.8	76	59	91
Semina tardiva (2014)								
	18.5	60	5	11.9	220.8	83	65	99
	83	85	7	12.1	1011.0	85	66	100
	105	94	8	11.7	1231.0	81	63	97
	106	51	5	10.2	1084.6	71	55	85
	39	51	5	10.2	399.0	71	55	85
	7	68	6	11.4	79.6	79	61	94
	75	60	5	11.9	895.3	83	65	99
	75	51	5	10.2	767.4	71	55	85
	75	26	2	12.1	959.2	89	69	100
	75	60	5	11.9	895.3	83	65	99
	39	60	5	11.9	465.6	83	65	99
	39	34	3	11.4	443.4	79	61	94
	70	34	3	11.4	795.8	79	61	94
	70	77	7	11.0	767.4	76	59	91
	39	94	8	11.7	457.2	81	63	97
	39	26	2	12.8	498.8	89	69	100
	18.5	34	3	11.4	210.3	79	61	94
	54	102	9	11.4	613.9	79	61	94
	95.5	136	12	11.4	1085.7	79	61	94
	18.5	60	5	11.9	220.8	83	65	99
	15	34	3	11.4	170.5	79	61	94
	15	34	3	11.4	170.5	79	61	94
	22	60	5	11.9	262.6	83	65	99
	70	43	4	10.7	746.1	74	58	88
	75	43	4	10.7	799.4	74	58	88
	75	60	5	11.9	895.3	83	65	99
	75	60	5	11.9	895.3	83	65	99
	54	85	7	12.2	657.8	85	66	100

Per la successiva fase di processamento, la linea dedicata alla lavorazione del fagiolino è piuttosto complessa e comprende numerose macchine (figura 6). La capacità di lavoro dell'intera linea è di circa 6 t/h quindi dallo scarico al prodotto finito sono necessarie circa 2 ore per ogni trasporto da 12 tonnellate. Le fasi di lavorazione base sono 8 ed includono in sequenza:

1. Bunker di alimentazione: consiste in un largo nastro trasportatore che fa avanzare lentamente il prodotto verso le successive fasi al fine di regolarizzare il flusso ed aumentare l'efficienza di trasformazione.
2. Desabbiatura/defogliatura: l'impianto è formato da una sequenza di tre diversi macchinari. Il primo è un aereo separatore che allontana i materiali più leggeri, il secondo è una lavatrice a spruzzo che separa terra e impurità separabili con il lavaggio, il terzo è un separatore a tamburo che trattiene pietre, grumi di terra e piccoli animali (insetti o lumache).
3. Sgrappolatura: questa macchina è costituita da un tamburo dotato di ganci nel lume interno che trattengono i fagiolini ancora uniti al grappolo e li depositano in un nastro centrale al rullo stesso.
4. Calibratura: questa operazione impiega 6 tamburi fenestrati con barre fisse e mobili. Le stesse barre opportunamente regolate separano il prodotto in 2 classi di diametro, in questo caso le classi sono 7.5, 8.5 e 9.5 mm.
5. Cimatura: la macchina è sempre costituita da un tamburo rotante fenestrato con coltelli triangolari fissi nella superficie esterna che tagliano le estremità dei baccelli che fuoriescono dai fori.
6. Selezione: in questa fase una cernitrice laser accoppiata ad un sistema pneumatico ad ugelli seleziona su base colorimetrica il prodotto non conforme, allontanandolo dal restante che continua il percorso. Lo scarto prodotto non viene tuttavia eliminato ma convogliato alla precedente fase di cimatura.
7. Cottura: i fagiolini selezionati, cimati e puliti vengono convogliati alla fase di cottura da un sistema idraulico. il cuocitore multistadio scotta con vapore a 92°C il prodotto per inattivare enzimi e patogeni. A valle dello stesso una seconda cernitrice laser elimina il prodotto che ha sviluppato una colorazione non conforme agli standard.
8. Congelamento: fase finale nella quale i fagiolini vengono surgelati in un congelatore a nastro. successivamente gli stessi vengono stoccati in sacchi in polietilene da circa 600 kg in gabbie contenitive in acciaio zincato.

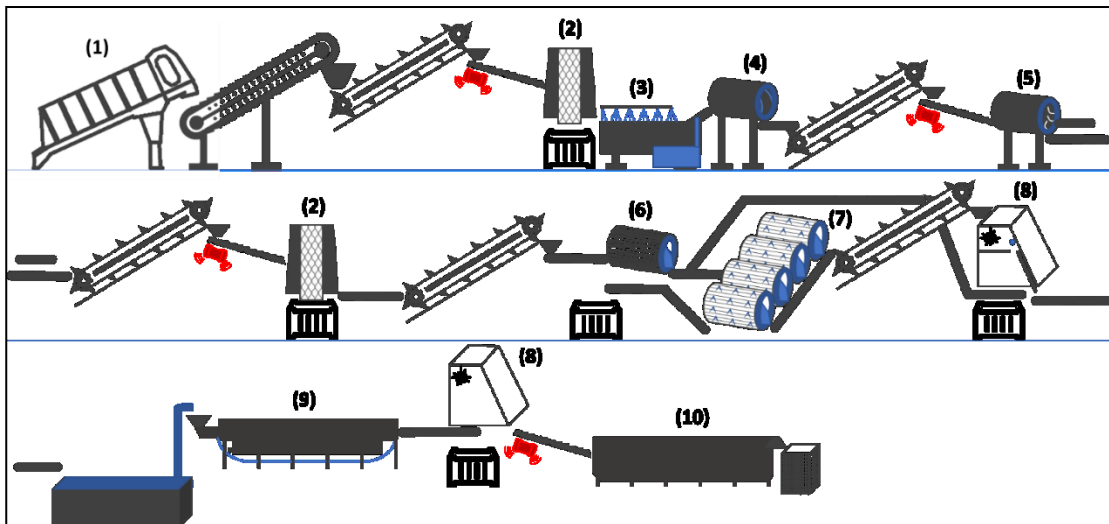


Figura 6: Schema della linea di processamento del fagiolino in sequenza da sinistra verso destra e dall'alto verso il basso: 1 (bunker di alimentazione); 2 (aero-separatore); 3 (lavatrice a spruzzo); 4 (separatore a tamburo); 5 (sgrappolatrice); 6 (calibratrice)

Dall'analisi di inventario vengono riportati in tabella 8 i risultati relativi a materiali ed energia utilizzati nella produzione di una unità funzionale di fagiolino surgelato (il calcolo tiene conto della efficienza di trasformazione industriale per gli input relativi a coltivazione e trasporto).

Tabella 8: Inventario della produzione e lavorazione del fagiolino.

Input	Emissioni in aria		Emissioni nel suolo					
Aratura ¹	7.65E-03	kg	Emissioni dirette	7.77E-05	kg	Pendimethali ²	8.88E-02	g
Erpicoltura ¹	2.29E-03	kg	Emissioni NO	3.97E-05	kg	Linuron ²	3.51E-02	g
Semina ¹	1.02E-03	kg	Emissioni NH ₃	1.39E-04	kg	Clomazone ³	1.85E-04	g
Semi	1.53E-02	kg	Emissioni indirette N ₂ O	3.22E-05	kg	Altacor ²	4.13E-03	g
Rullatura ¹	5.10E-04	kg	Pendimethalin ²	1.04E-02	g	Azoxystrobin	6.51E-02	g
Fertilizzazione ¹	6.37E-04	kg	Linuron ²	4.13E-03	g	Emamectine ³	1.85E-03	g
Fertilizzante	2.30E-02	kg	Clomazone ³	2.18E-05	g	Altacor	4.13E-03	g
Erbicidi ¹	2.69E-04	kg	Altacor ²	4.90E-04	g	Rame	2.60E-04	kg
Pendimethalin ²	2.30E-04	kg	Azoxystrobin	7.66E-03	g	Zolfo	2.60E-04	kg
Linuron ²	9.19E-05	kg	Emamectine ³	2.22E-04	g	Input		
Clomazone ³	2.30E-05	kg	Altacor	4.90E-04	g	Fagiolino grezzo	1.31E+00	kg
Acqua	4.41E-05	m ³	Rame	3.06E-05	kg	Acqua	2.09E-02	m ³
Agrofarmaci ¹	2.69E-04	kg	Zolfo	1.84E-04	kg	Elettricità	3.24E-01	kWh
Altacor ²	1.53E-02	g	Emissioni in acqua			Metano	4.36E-02	m ³
Azoxystrobin	3.06E-04	kg	Nitrati	4.10E-03	kg	Buste in plastica	1.66E-03	kg

Emamectine ³	2.30E-04	kg	Pendimethalin ²	5.22E-03	g	Output		
Acqua	2.45E-04	m ³	Linuron ²	2.07E-03	g	Fagiolino congelato	1.00E+00	kg
Agrofarmaci ²	2.69E-04	kg	Clomazone ³	1.09E-05	g	Residui di fagiolino	3.06E-01	kg
Altacor	1.53E-02	g	Altacor ²	2.45E-04	g			
Rame	3.06E-04	kg	Azoxystrobin	3.83E-03	g			
Zolfo	3.06E-04	kg	Emamectine ³	1.09E-04	g			
Acqua	1.53E-04	m ³	Altacor	2.45E-04	g			
Output			Rame	1.53E-05	kg			
Prodotto grezzo	1.31E+00	kg	Zolfo	1.68E-04	kg			

¹ Gasolio, ² Dati relativi alla soluzione A, ³ Dati relativi alla soluzione B

Per il calcolo dell'impatto potenziale è stato selezionato il metodo CML_IA baseline versione 3.01 che include 10 categorie di impatto (tabella 9) con approccio "midpoint" che valuta, quindi, il potenziale impatto e non il danno su temi ambientali.

Tabella 9: Categorie di impatto e relative unità di misura del metodo CML_IA baseline 3.01.

Categoria di impatto		u.m.
ADP	Abiotic Depletion Potential	kg Sb eq.
ADP fossil	Abiotic Depletion Potential fossil fuels	MJ eq.
GWP 100yr	Global Warming Potential	kg CO ₂ eq.
ODP	Ozone layer Depletion Potential	kg CFC-11 eq.
HTP	Human Toxicity Potential	kg 1,4 DB eq.
FEP	Fresh water aquatic Eco-Toxicity Potential	kg 1,4 DB eq.
MEP	Marine aquatic Eco-Toxicity Potential	kg 1,4 DB eq.
TEP	Terrestrial Eco-Toxicity Potential	kg 1,4 DB eq.
PCOP	Photochemical Oxidation Potential	kg C ₂ H ₄ eq.
AP	Acidification Potential	kg SO ₂ eq.
EP	Eutrophication Potential	kg PO ₄ ³⁻ eq.

2.2.2. Spinacio III gamma

Lo studio sulla produzione e il processamento industriale dello spinacio surgelato di III gamma per gli anni di riferimento 2013 e 2014 ha come obiettivo la valutazione dell'impatto ambientale della produzione e della trasformazione di spinacio surgelato. L'analisi è stata condotta per valutare le differenze tra i diversi protocolli di coltivazione forniti dai tecnici della stessa azienda che consistono in due diverse soluzioni di concimazione di fondo con un prodotto NP (18-46) e un prodotto NPK (11-22-16). Il risultato dello studio è destinato alla valutazione di impatto della filiera al fine di determinare il carico ambientale della stessa e successivamente determinare l'eventuale vantaggio nell'inserimento di un sistema di gestione dei residui di lavorazione alternativo, basato sul biotratamento operato da larve di mosca soldato nera.

Come nel caso del fagiolino, la filiera di produzione dello spinacio viene gestita dall'azienda Promarche a partire dalla coltivazione fino al prodotto finito. La fase di coltivazione in pieno campo

ha interessato nell'anno 2013 una superficie complessiva di 347 ha con una produttività media di circa 8,8 tonnellate ettaro. Nell'anno successivo (2014) la superficie complessiva coltivata è stata di 487 ha; la produttività è stata leggermente superiore all'anno precedente attestandosi su 9.2 t/ha. La coltivazione prevede sette operazioni principali, in sequenza:

- Concimazione di fondo: prevede due soluzioni alternative, la prima (scenario A), considerata scenario base, consiste nella distribuzione di un fertilizzante complesso NP a base di fosfato ammonico con titolo 18-46 in misura di 200 kg/ha. La seconda (scenario B), considerata scenario alternativo, prevede l'uso di un fertilizzante completo NPK a base di nitrato ammonico con titolo 11-22-16 in misura di 200 kg/ha.
- Gestione del suolo (lavorazioni): le operazioni in questa fase prevedono un'aratura standard a 35 cm di profondità, una erpicatura e, successiva alla semina, una rullatura per garantire l'emergenza delle piantine.
- Semina: prevede l'uso di 37.5 kg di seme ad ettaro.
- Controllo delle infestanti: l'applicazione dei formulati ad azione diserbante viene effettuata in pre-emergenza distribuendo in co-formulazione due prodotti Dual gold® (Metolachlor 0,5 kg/ha) e Venzar® (Lenacil 600 g/ha).
- Concimazione post emergenza: secondo il protocollo di produzione è prevista una concimazione post emergenza con due prodotti fertilizzanti a base azotata: urea (titolo standard 46) e nitrato di calcio (titolo 15.5) il quantitativo distribuito per entrambi è di 100 kg/ha.
- Controllo fitosanitario: gli interventi di applicazione di prodotti fitosanitari sono 2, il primo impiega un insetticida e un fungicida (Steward® Indoxacarb 125 g/ha e Curzate® Cimoxanil 0.5 kg/ha); Il secondo esclusivamente insetticida (Decis evo® Deltametrina 0.5 kg/ha e Laser® Spinosad 100 g/ha).
- Raccolta: la raccolta prevede due diversi cantieri una falcia-caricatrice raccoglie il prodotto e lo deposita a bordo campo dove una pinza montata su un ragno raccoglie le foglie e le deposita nel cassone del camion per il trasporto.

La seconda fase riguarda il trasporto in azienda. Come nel caso del fagiolino, i mezzi impiegati appartengono alla stessa flotta ed hanno un carico massimo di 14 tonnellate circa, ma il quantitativo di spinacio grezzo che può essere trasportato raggiunge un massimo di 12 tonnellate (sia per raggiungimento del volume massimo sia per imposizione da parte dell'azienda). Di conseguenza, i mezzi viaggiano con una efficienza di carico massima dell'80%. Considerando ogni singolo cantiere è possibile definire un numero di viaggi a carico massimo ed eventualmente un viaggio residuo a carico ridotto. Per il 2013 la distanza media ponderata è stata di circa 36.8 km mentre nel 2014 di 39.6 km (tabella 10).

Tabella 10: Tabella LCI della fase di trasporto per le annate 2013-2014.

Spinacio (2013)	Distanza dall'impianto (km)	Produzione (t)	Viaggi (n°)	Carico medio (t)	tkm	Fattore di carico medio	Viaggi a carico ridotto (tkm)	Fattore di carico
	18.5	114.5	10	11.45	222.0	83%	120.9	45%

54.3	105.7	9	11.75	651.6	83%	527.9	67%
70.5	105.7	9	11.75	846.0	83%	685.4	67%
10	44.1	4	11.01	120.0	83%	80.5	56%
7.5	458.1	38	12.06	90.4	84%		
7.5	352.4	29	12.15	91.1	84%	33.1	31%
18.5	352.4	29	12.15	224.8	84%	81.6	31%
75.1	88.1	7	12.59	945.2	87%		
70.5	88.1	7	12.59	887.3	87%		
22	61.7	5	12.33	271.4	86%		
118	61.7	5	12.33	1455.4	86%		
88.7	66.1	6	11.01	1064.4	83%	539.0	42%
80.8	22.0	2	11.01	889.8	76%		
118	74.9	6	12.48	1472.8	87%		
70.5	48.5	4	12.11	854.0	83%		
62.3	26.4	2	13.22	823.3	92%		
62.3	96.9	8	12.11	754.7	83%		
18.5	123.3	10	12.33	228.2	83%		
75.1	48.5	4	12.11	909.8	83%		
75.1	57.3	5	11.45	901.2	83%	695.9	64%
70.5	79.3	7	11.33	846.0	83%	514.1	51%
48.7	44.1	4	11.01	584.4	83%	392.1	56%
7.5	61.7	5	12.33	92.5	83%		
18.5	61.7	5	12.33	228.2	83%		
75.1	44.1	4	11.01	901.2	83%	604.6	56%
75.1	17.6	1	12.00	901.2	83%	422.1	39%
70.5	17.6	1	12.00	846.0	83%	396.2	39%
54.3	26.4	2	13.22	717.6	83%		
7.5	61.7	5	12.33	92.5	83%		
18.5	79.3	7	11.33	222.0	83%	134.9	51%
70.5	61.7	5	12.33	869.6	83%		
18.5	105.7	9	11.75	222.0	83%	179.9	67%

Spinacio (2014)	Distanza dall'impianto (km)	Produzione (t)	Viaggi (n°)	Carico medio (t)	tkm	Fattore di carico medio	Viaggi a carico ridotto (tkm)	Fattore di carico
	70.5	46.0	4	11.49	810.0	80%		
	7.5	137.9	11	12.53	94.0	87%		
	22	27.6	3	9.19	264.0	83%	25%	78.6
	22	36.8	3	12.25	269.6	85%		
	22	27.6	3	9.19	264.0	83%	25%	78.6
	18.5	73.5	6	12.25	226.7	85%		
	62.3	91.9	8	11.49	747.6	83%	55%	492.8
	54.3	91.9	8	11.49	651.6	83%	55%	429.5
	48.7	46.0	4	11.49	559.5	80%		
	22	165.4	14	11.82	260.0	82%		
	70.5	91.9	8	11.49	846.0	83%	55%	557.7

70.5	36.8	3	12.25	864.0	85%		
10.8	211.4	18	11.74	129.6	83%	51%	79.8
18.5	183.8	15	12.25	226.7	85%		
18.5	183.8	15	12.25	226.7	85%		
7.5	64.3	5	12.87	96.5	89%		
33.3	91.9	8	11.49	399.6	83%	55%	263.4
18.5	73.5	6	12.25	226.7	85%		
7.5	110.3	9	12.25	91.9	85%		
1	91.9	8	11.49	12.0	83%	55%	7.9
1	91.9	8	11.49	12.0	83%	55%	7.9
1	46.0	4	11.49	11.5	80%		
1	64.3	5	12.87	12.9	89%		
42.2	110.3	9	12.25	517.1	85%		
70.5	91.9	8	11.49	846.0	83%	55%	557.7
118	82.7	7	11.82	1394.4	82%		
18.5	73.5	6	12.25	226.7	85%		
1	55.1	5	11.03	12.0	83%	50%	7.1
70.5	91.9	8	11.49	846.0	83%	55%	557.7
106	73.5	6	12.25	1299.0	85%		
118	73.5	6	12.25	1446.1	85%		
118	128.7	11	11.70	1380.3	81%		
42.2	73.5	6	12.25	517.1	85%		
18.5	156.2	13	12.02	222.4	83%		
10	73.5	6	12.25	122.5	85%		
62.3	110.3	9	12.25	763.5	85%		
72	36.8	3	12.25	882.3	85%		
18.5	73.5	6	12.25	226.7	85%		
10	46.0	4	11.49	120.0	83%	69%	99.6
62.3	55.1	5	11.03	747.6	83%	50%	445.2
70.5	27.6	3	9.19	846.0	83%	25%	251.9
70.5	46.0	4	11.49	810.0	80%		
75.1	23.0	2	11.49	862.8	80%		
42.2	59.7	5	11.95	506.4	83%	81%	495.5
22	82.7	7	11.82	260.0	82%		
48.5	46.0	4	11.49	557.2	80%		
54.3	46.0	4	11.49	623.8	80%		
70.5	82.7	7	11.82	833.1	82%		
70.5	46.0	4	11.49	810.0	80%		
75.1	91.9	8	11.49	901.2	83%	55%	594.1
75.1	59.7	5	11.95	897.3	83%		
18.5	128.7	11	11.70	216.4	81%		
8.6	156.2	13	12.02	103.4	83%		
80.8	32.2	3	10.72	969.6	83%	57%	660.0
75.9	55.1	5	11.03	910.8	83%	50%	542.4

Ultima fase nella filiera riguarda il processamento del prodotto. La lavorazione avviene nello stabilimento di Promarche in una linea, linea N, dedicata ai prodotti a foglia (figura 7). L'intero processo dallo scarico del mezzo fino al prodotto surgelato impiega circa 2 ore. Le macchine utilizzate per il processamento sono descritte di seguito in sequenza di lavorazione.

1. Alimentazione del bunker: il macchinario consiste in un grosso container a fondo inclinato a nastro mobile. Al termine dello stesso è presente una sgrumatrice (rullo dentato) che ruotando in senso opposto all'avanzamento regolarizza la quantità di prodotto avviata alle fasi successive.
2. Desabbiatura: in questa fase la linea è divisa in due settori paralleli. Le macchine impiegate sono desabiatrici cioè tamburi troncoconici fenestrati. L'operazione serve a rimuovere tracce di terreno, sassi, chiocciole ed altri corpi estranei di una certa dimensione e forma. I tamburi infatti sono costruiti per trattenere le foglie di spinacio ampie e leggere, nella rotazione, i corpi estranei più pesanti tendono a precipitare più velocemente delle foglie e vengono espulsi e raccolti da nastri trasportatori.
3. Aero-separazione: il prodotto, convogliato in un'unica linea, entra nell'aeroseparatore, un macchinario dotato di tre differenti parti: un piano vibrante che distribuisce il prodotto, un ventilatore e una camera di deposizione dove il materiale cernito si deposita ricadendo su un nastro. All'uscita dell'aero separatore un soffiatore divide nuovamente il prodotto in due linee parallele.
4. Cernita laser: operazione di cernita ottica mediata da due cernitrici che, attraverso un impulso luminoso, riconoscono materiali estranei e prodotto non conforme e lo allontanano con getti d'aria compressa. A valle delle cernitrici i flussi di prodotto sono riuniti e portati ad un elevatore.
5. Lavatrice a coclea: prima macchina per il lavaggio consistente in una vasca con due coclee orizzontali che immergono e fanno avanzare le foglie di spinacio verso un nastro sgrondatore.
6. Lavatrice a tamburo: seconda macchina lavatrice che consiste in un tamburo con pareti esterne in maglia e un sistema interno di lavaggio a spruzzo.
7. Lavaggio in vasca: le macchine preposte allo scopo sono due disposte in serie. Nelle vasche l'acqua potabilizzata lava il prodotto che viene fatto avanzare ad opera di rulli trasversali con palette.
8. Scottatura: avviene ad opera di un cuocitore multistadio che utilizza vapore ad alta temperatura generato dalla combustione di gas metano. In questa fase le foglie vengono fatte avanzare nel cuocitore tramite un largo nastro sgrondatore che poi rilascia il materiale in una vasca di abbattimento con acqua fresca. Lo shock termico è necessario per preservare il colore verde brillante del prodotto. Dopo la vasca di abbattimento, delle operaie provvedono ad eliminare il prodotto non conforme eventualmente rimasto.
9. Porzionatrice: consiste in una dosatrice pneumatica che, attraverso degli stampi, riduce lo spinacio in porzioni (cubetti da 30 o 50 grammi). Tale operazione serve non solo a dosare il prodotto ma anche a rendere più veloce ed omogenea la successiva fase di congelamento.
10. Congelamento: la macchina consiste in un tunnel di surgelazione a spirale a letto mobile. I cubetti di spinacio così surgelati escono dal tunnel e vengono avviati all'ultima fase di processamento.

11. Glassatura: la glassatura consiste nel cospargere i surgelati con un sottile strato di acqua che, entrando a contatto con la superficie gelida del prodotto, congela repentinamente creando un film omogeneo, lucido e trasparente sulla superficie. La glassatura ha lo scopo di rendere esteticamente più attraente il prodotto e in parte prevenire perdite dovute a rotture a seguito di urti tra cubetti. Subito a valle della glassatrice un nastro convoglia il prodotto attraverso un metaldetector mobile che riconosce l'eventuale presenza di metalli e successivamente lo deposita all'interno di sacchi di polietilene nero (500-620 kg) per lo stoccaggio temporaneo.

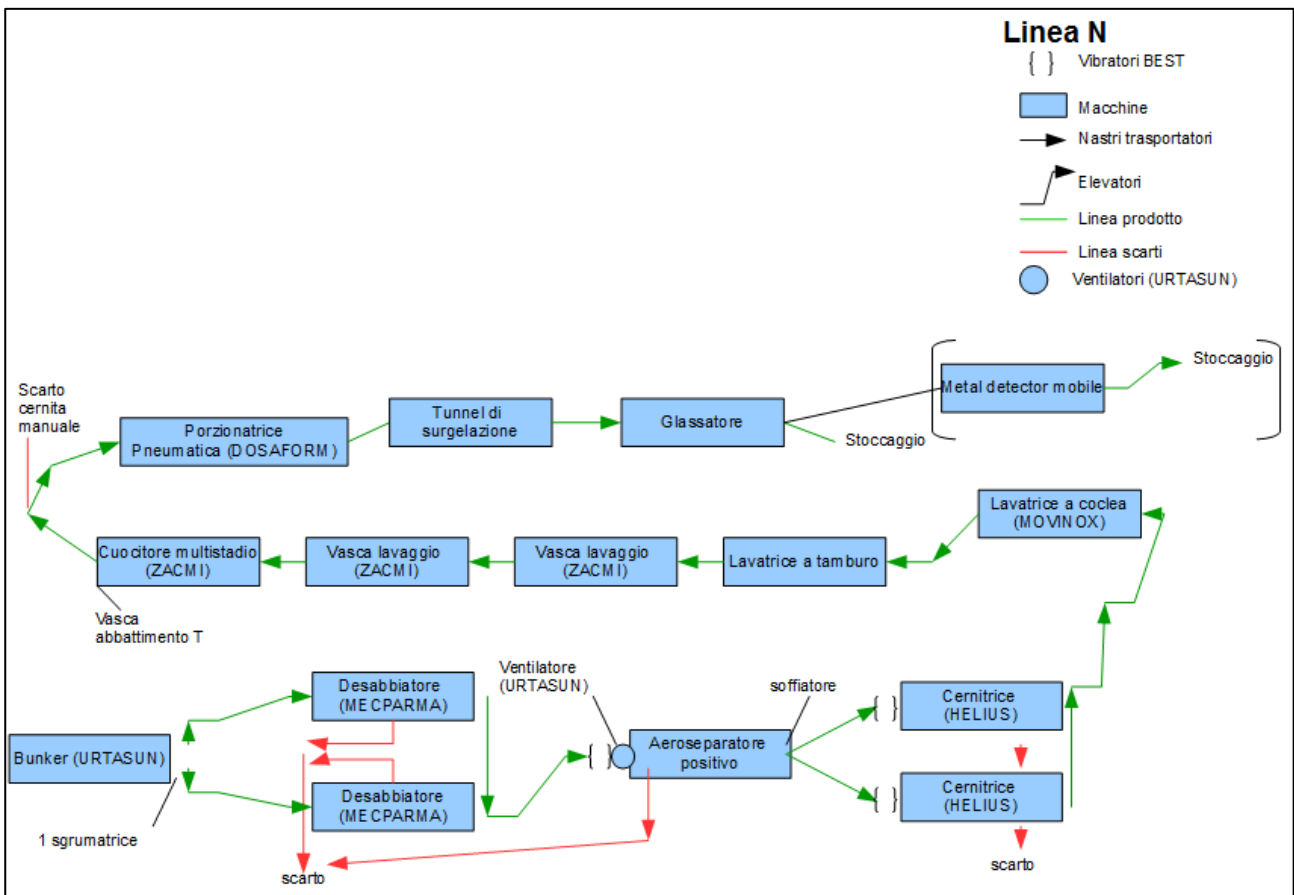


Figura 7: Schema dei flussi di prodotto e lavorazioni per lo spinacio relative alla linea di lavorazione N.

Per il presente caso studio i dati primari inseriti sono stati raccolti attraverso interviste, consultazione dei piani colturali forniti dai tecnici di campo e del sistema gestionale interno all'impianto di lavorazione. Tali dati riguardano: quantità di semi, fertilizzanti e pesticidi applicati, produzione di spinacio grezzo dal campo, caratteristiche di trasporto. Per la fase di trasformazione i dati primari sono l'efficienza di trasformazione, il consumo di elettricità dalla rete nazionale, di acqua, di gas naturale e i sacchetti di plastica utilizzati per lo stoccaggio. I dati secondari riguardano alcuni aspetti del processo di coltivazione e, in particolare, le operazioni agricole. Le emissioni e il destino di fertilizzanti e pesticidi sono stati calcolati attraverso metodi inseriti nella PCR per le colture agricole "arabili"[45]. In dettaglio, le emissioni di ammoniaca da azoto sono state calcolate attraverso i modelli stabiliti da EMEP CORINAIR, 2013[46]. Le emissioni dirette di N₂O e NO sono state calcolate seguendo le indicazioni di Bouwman et al., 2002[47]. Le emissioni indirette di N₂O e

nitrati sono state calcolate in base alle linee guida IPCC 2006[48]. Infine, le emissioni di fosforo relative al solo scenario B sono state definite seguendo le indicazioni di Prashun, 2006[49], il modello per la definizione del destino dei fitofarmaci distribuiti è quello descritto da Margni et al. 2002[44].

In tabella 11 sono riportate le voci di inventario e relativi valori per input e output riferiti all'unità funzionale di 1 kg di spinacio surgelato al cancello aziendale.

Tabella 11: LCI della produzione ed elaborazione dello spinacio surgelato.

	2013	2014	
Coltivazione, aratura	8.99E-03	8.61E-03	kg
Coltivazione, erpicatura	2.70E-03	2.58E-03	kg
Semina	1.20E-03	1.15E-03	kg
Semi	6.75E-03	6.47E-03	kg
Coltivazione, rullatura	5.99E-04	5.74E-04	kg
Fertilizzazione	1.50E-03	1.44E-03	kg
Fertilizzante pre-emergenza sol A	3.60E-02	3.45E-02	kg
Fertilizzante pre-emergenza sol B	3.60E-02	3.45E-02	kg
Fertilizzante post emergenza	3.60E-02	3.45E-02	kg
Erbicida applicazione	3.24E-04	3.10E-04	kg
Metalaclor	9.00E-05	8.62E-05	kg
Lenacil	1.08E-04	1.03E-04	kg
Acqua	7.20E-02	6.90E-02	kg
Pesticidi 1ª applicazione	3.24E-04	3.10E-04	kg
Indoxacarb	2.25E-05	2.16E-05	kg
Cymoxanil	9.00E-05	8.62E-05	kg
Acqua	9.00E-02	8.62E-02	kg
Pesticidi 2ª applicazione	3.24E-04	3.10E-04	kg
Deltametrina	9.00E-05	8.62E-05	kg
Spinosad	1.80E-05	1.72E-05	kg
Acqua	1.08E-01	1.03E-01	kg
Emissioni in aria			
Metalachlor	8.64E-06	8.28E-06	kg
Lenacil	8.64E-06	8.28E-06	kg
Indoxacarb	6.75E-07	6.47E-07	kg
Cymoxanil	1.80E-06	1.72E-06	kg
Deltametrina	2.18E-07	2.09E-07	kg
Spinosad	7.92E-07	7.59E-07	kg
Emissioni in aria sol A			
N ₂ O	2.64E-04	2.54E-04	kg
NO	1.29E-04	1.23E-04	kg
NH ₃	2.41E-03	2.31E-03	kg
N ₂ O indiretto	1.12E-04	1.07E-04	kg
Emissioni in aria sol B			
N ₂ O	2.23E-04	2.14E-04	kg

NO	1.05E-04	1.01E-04	kg
NH ₃	1.35E-03	1.29E-03	kg
N ₂ O indiretto	8.83E-05	8.47E-05	kg
Emissioni in acqua			
Metalachlor	4.32E-06	4.14E-06	kg
Lenacil	4.32E-06	4.14E-06	kg
Indoxacarb	3.38E-07	3.24E-07	kg
Cymoxanil	9.00E-07	8.62E-07	kg
Deltametrina	1.10E-07	1.05E-07	kg
Spinosad	3.96E-07	3.79E-07	kg
Emissioni in acqua sol A			
Nitrati	1.17E-02	1.12E-02	kg
Fosforo (groundwater)	1.16E-03	1.11E-03	kg
Fosforo (river)	2.90E-03	2.78E-03	kg
Fosforo (river)	9.54E-05	9.14E-05	kg
Emissioni in acqua sol B			
Nitrati	9.98E-03	9.57E-03	kg
Fosforo (groundwater)	5.54E-04	5.31E-04	kg
Fosforo (river)	1.39E-03	1.33E-03	kg
Fosforo (river)	9.54E-05	9.14E-05	kg
Emissioni nel suolo			
Metalachlor	7.34E-05	7.04E-05	kg
Lenacil	7.34E-05	7.04E-05	kg
Indoxacarb	5.74E-06	5.50E-06	kg
Cymoxanil	1.53E-05	1.47E-05	kg
Deltametrina	1.85E-06	1.77E-06	kg
Spinosad	6.73E-06	6.45E-06	kg
Prodotto grezzo	1.59E+00	1.64E+00	kg
Acqua	8.45E-03	2.88E-02	m ³
Elettricità	1.25E-01	5.02E-01	kWh
Metano	1.89E-02	5.56E-02	m ³
Buste in plastica	1.31E-03	1.31E-03	kg
output			
Spinaci surgelati	1.00E+00	1.00E+00	kg
Residui di spinacio	5.85E-01	6.42E-01	kg

Come nel caso relativo al fagiolino, anche per lo spinacio il metodo di valutazione dell'impatto selezionato è il CML_IA Baseline versione 3.01. con le stesse categorie di impatto.

2.2.3. Camera di crescita e test di bio-trattamento dei residui

Al fine di testare l'attitudine al bio-trattamento del residuo di spinacio da parte di *H. illucens*. è stata costruita una camera climatica (figura 8) dotata di sistemi di controllo della temperatura e di sistemi

di registrazione delle condizioni ambientali (temperatura e umidità) considerate cruciali per lo sviluppo delle larve (allegato 4).

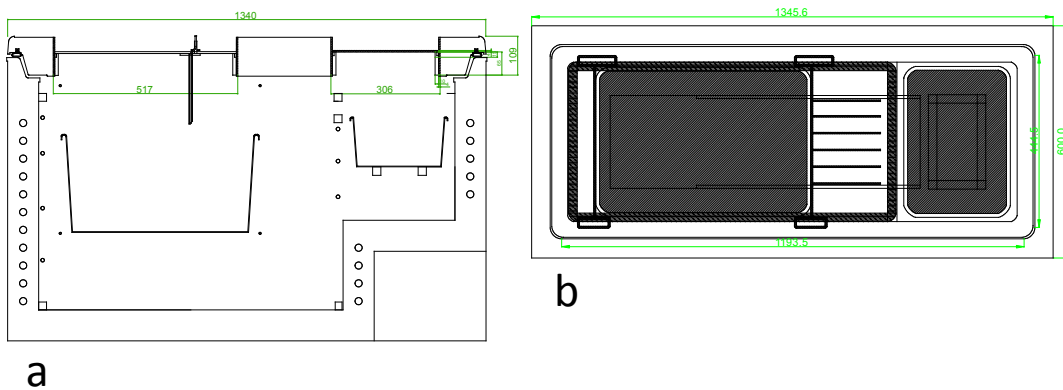


Figura 8: Camera climatica a: sezione trasversale con predisposizione per un singolo test; b: planimetria con vista del lume interno.

La camera è costituita da un sistema refrigerante commerciale accoppiato ad un cavo riscaldante da 100 W sufficiente per un volume di circa 250 litri e raggiungimento di una temperatura massima di 40°C. I due sistemi sono stati connessi ad un termostato a doppio relè (INKBIRD ITC-1000F) così da permettere l'accensione a seconda della temperatura impostata e di quella rilevata nella camera con un ritardo di 0.4 °C. I controlli inseriti riguardano anche un sistema per la registrazione automatica dei parametri di temperatura e umidità. Lo stesso consiste in un sensore DHT 22 connesso ad una interfaccia hardware Arduino UNO® opportunamente programmata (allegato 5). L'archiviazione dei dati avviene su foglio di calcolo attraverso una macro sviluppata da Parallax e modificata per l'uso. I dati di temperatura e umidità relativa sono stati registrati con un intervallo di 42 secondi. Il test di bio-trattamento relativo a questo caso studio ha interessato, oltre al residuo di spinacio, anche altre matrici residuali grezze. Nello specifico sono stati testati: pellet zootecnico per alimentazione di avicoli (Hf001), residuo di spinacio (Hf002) e mix di residui vegetali ed animali (Hf003) (65% di residui vegetali vari; 25% di residui amidacei come pasta e pane; 5% di residui animali grassi; 5% di altri residui misti[50]). Tutte e tre le tesi sono state riprodotte in doppio utilizzando 1660 larve per replica (valore stimato su peso considerando le indicazioni dell'azienda che ha fornito le larve a 4-6 giorni di vita). L'alimentata è consistita in 22 mg per larva a giorno di alimento fino all'inizio dell'impupamento. Le informazioni ottenute dal bilancio di massa dei substrati in ingresso ed uscita, unitamente ad altri dati secondari da letteratura, sono stati poi utilizzati per scalare il bio-trattamento dalla dimensione di laboratorio ad una dimensione "industriale" così da valutare l'impatto associato al trattamento di una unità di massa di residuo.

3. Risultati

3.1. Risultati per A&V

3.1.1. Produzione di vivaio e mitigazioni

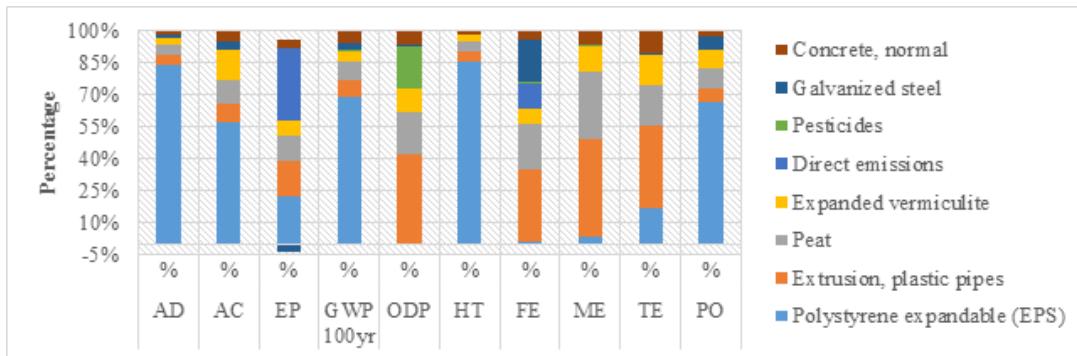
L'analisi di impatto (LCIA) è stata condotta attraverso il software SimaPro per le quattro specie in analisi. I risultati riferiti alla singola piantina in contenitore alveolato da 170 fori sono riportati in tabella 12.

Tabella 12: Risultati LCIA di impatto della produzione di piantine in pane di terra (U.F. 1 piantina in vassoio in polistirene da 170 fori).

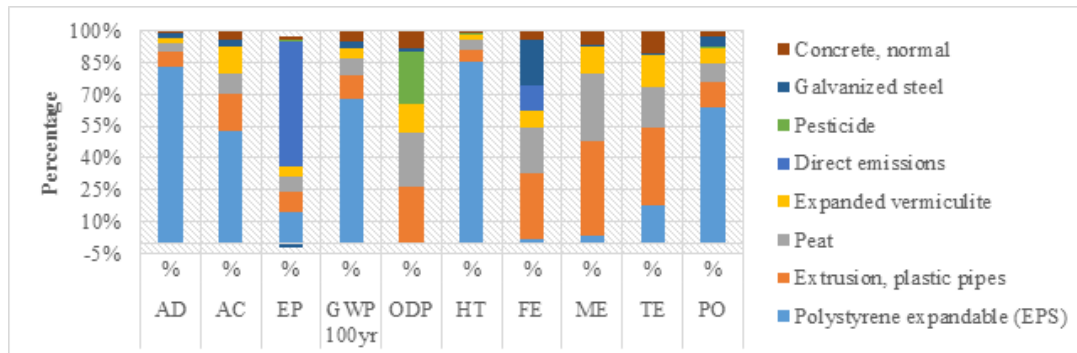
Categoria di impatto ¹	u.m.	Scarola	Indivia riccia	Cicoria rossa	Cicoria pan di zucchero
AD	kg Sb eq	2.47e ⁻⁵	2.68e ⁻⁵	2.51e ⁻⁵	2.69e ⁻⁵
AC	kg SO ₂ eq	9.84e ⁻⁶	1.14e ⁻⁵	1.08e ⁻⁵	1.26e ⁻⁵
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	2.23e ⁻⁶	3.82e ⁻⁶	3.75e ⁻⁶	4.12e ⁻⁶
GW 100yr	kg CO ₂ eq	2.37e ⁻³	2.59e ⁻³	2.45e ⁻³	2.71e ⁻³
OD	kg CFC-11 eq	3.84e ⁻¹¹	3.06e ⁻¹¹	2.70e ⁻¹¹	3.64e ⁻¹¹
HT	kg 1,4-DB eq	1.94e ⁻³	2.08e ⁻³	1.95e ⁻³	2.06e ⁻³
FE	kg 1,4-DB eq	2.30e ⁻⁴	2.20e ⁻⁴	2.16e ⁻⁴	2.75e ⁻⁴
ME	kg 1,4-DB eq	3.57e ⁻¹	3.48e ⁻¹	3.37e ⁻¹	4.70e ⁻¹
TE	kg 1,4-DB eq	2.10e ⁻⁶	2.07e ⁻⁶	1.99e ⁻⁶	2.67e ⁻⁶
PO	kg C ₂ H ₄ eq	6.12e ⁻⁷	6.85e ⁻⁷	6.43e ⁻⁷	7.26e ⁻⁷

¹Categorie di impatto incluse nel metodo CML2 baseline v2.05: Abiotic depletion (AD); Acidification (AC); Eutrophication (EP); Global warming (GW 100yr); Ozone layer depletion (OD); Human toxicity (HT); Fresh water aquatic ecotoxicity (FE); Marine aquatic ecotoxicity (ME); Terrestrial ecotoxicity (TE); Photochemical oxidation (PO).

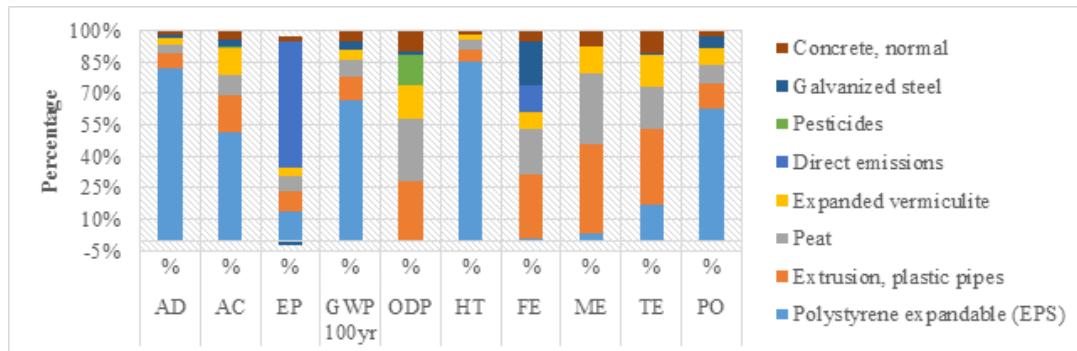
L'analisi di contribuzione mostra come la voce di maggiore impatto per le categorie AD, AC, GW, HT e PO sia il polistirene espanso e sua termo-formazione in vassoi con percentuali superiori al 53.5% del totale. Lo stesso materiale ha comunque un impatto importante anche per EP e TE rispettivamente con il 23.1% e 15.4% e ciò fa del polistirene uno dei punti critici per l'impatto relativo a questa specifica filiera. Un altro materiale che presenta un impatto importante è il PVC e relativo processo di estrusione, utilizzato per alzare i vassoi dal fondo della serra. Il materiale presenta l'impatto di maggior rilievo su OD, FE, ME e TE con valori intorno al 36%. Altri materiali con un impatto secondario ma comunque rilevante sono il mix di torba che è presente in tutte le categorie di impatto con percentuali superiori al 10% e inferiori al 30%. Anche la vermiculite espansa presenta un impatto rilevante intorno al 12% su TE, AC e ME. Le differenze tra le 4 specie considerate (figura 9) sono da imputarsi alla differente durata del ciclo di coltivazione e nella relativa allocazione delle voci relative ai beni infrastrutturali comunque tali differenze possono comunque essere considerate trascurabili. Relativamente ai beni infrastrutturali, per la categoria di eutrofizzazione (EP) si è registrato un "credito" in termini di impatto di circa il 5% derivante dall'acciaio zincato utilizzato come "scheletro" della struttura della serra. Tale credito deriva da analisi condotte per il processo di background di produzione dell'acciaio dove è stato evidenziato un contenuto inferiore in fosforo nelle acque reflue a valle del processo rispetto all'acqua in ingresso[51].



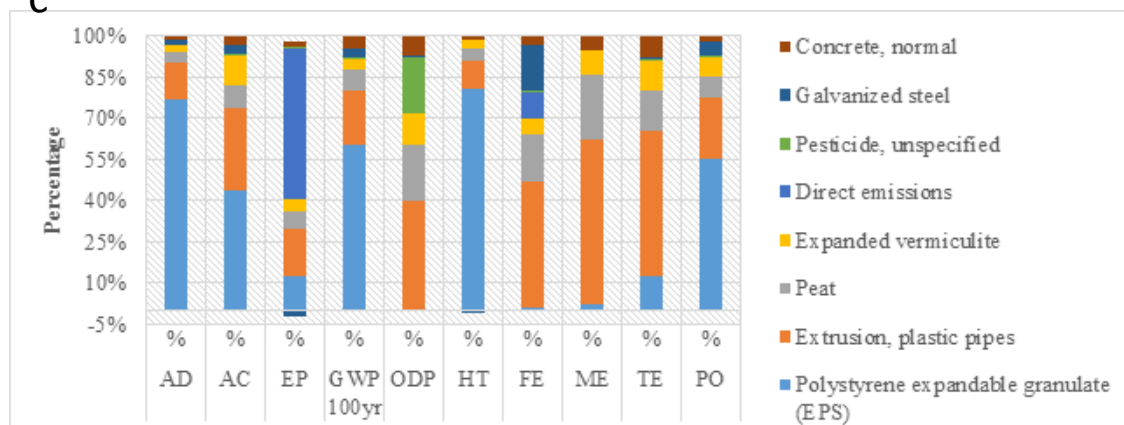
a



b



c



d

Figura 9: Risultati dell'analisi di contribuzione per le 4 specie in analisi, in dettaglio a: scarola; b: Indivia riccia; c: cicoria rossa; d: cicoria pan di zucchero (fonte: Energy and environmental sustainability of nursery step finalized to IV gamma salad production by means of LCA, Ilari A., Duca D., 2018).

Considerato l'elevato il contributo del polistirene all'impatto totale, le eventuali proposte di mitigazione non possono che essere centrate su tale materiale. Per quanto riguarda altri materiali ad elevato impatto come il PVC non si è trovata alcuna alternativa di interesse per l'azienda ed è quindi stato escluso dalle varie misure di mitigazione. Per quanto riguarda invece il substrato di crescita, cioè il mix di torba, si è voluto testare una misura sulla sua completa sostituzione in quanto rappresenta il terzo contributore per categorie di interesse come il Global Warming e anche perché l'azienda dispone di una consistente quantità di digestato solido che potrebbe essere utilizzato, previo compostaggio, in sostituzione della torba.

Come prima misura di mitigazione riportata è la sostituzione del mix di torba con del compost commerciale. Dal punto di vista dell'analisi si è sostituito il processo di produzione della torba con quello del compost; considerando che i due materiali hanno un peso specifico simile si prevede che la loro sostituzione non implichi una variazione della massa utilizzata per riempire gli alveoli.

In tabella 13 sono riportati i risultati dell'analisi per le quattro specie (C) a confronto con i risultati dello scenario base (BL).

Tabella 13: Confronto risultati dell'analisi di impatto per la produzione di piantine con compost e mix di torba.

Categoria d'impatto	Unità	Scarola (C)	Scarola (BL)	Indivia riccia (C)	Indivia riccia (BL)	Cicoria rossa (C)	Cicoria rossa (BL)	Cicoria pan di zucchero (C)	Cicoria pan di zucchero (BL)
AD	kg Sb eq	2.40E-05	2.47E-05	2.57E-05	2.68E-05	2.40E-05	2.51E-05	2.41E-05	2.69E-05
AC	kg SO ₂ eq	9.12E-06	9.84E-06	9.64E-06	1.14E-05	9.11E-06	1.08E-05	9.13E-06	1.26E-05
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	2.04E-06	2.23E-06	3.64E-06	3.82E-06	3.57E-06	3.75E-06	3.57E-06	4.12E-06
GW 100yr	kg CO ₂ eq	2.23E-03	2.37E-03	2.37E-03	2.59E-03	2.23E-03	2.45E-03	2.23E-03	2.71E-03
OD	kg CFC-11 eq	4.46E-11	3.84E-11	4.51E-11	3.06E-11	4.44E-11	2.70E-11	4.42E-11	3.64E-11
HT	kg 1,4-DB eq	1.88E-03	1.94E-03	2.02E-03	2.08E-03	1.88E-03	1.95E-03	1.88E-03	2.06E-03
FE	kg 1,4-DB eq	2.31E-04	2.30E-04	2.36E-04	2.20E-04	2.31E-04	2.16E-04	2.31E-04	2.75E-04
ME	kg 1,4-DB eq	2.45E-01	3.57E-01	2.57E-01	3.48E-01	2.45E-01	3.37E-01	2.45E-01	4.70E-01
TE	kg 1,4-DB eq	1.58E-06	2.10E-06	1.65E-06	2.07E-06	1.58E-06	1.99E-06	1.58E-06	2.67E-06
PO	kg C ₂ H ₄ eq	5.89E-07	6.12E-07	6.23E-07	6.85E-07	5.89E-07	6.43E-07	5.90E-07	7.26E-07

Considerando l'impatto relativo al GW, prendendo come esempio l'indivia riccia (figura 10), l'analisi di contribuzione mostra come lo stesso substrato di crescita passi dal terzo posto all'ottavo. Per altre categorie si registra comunque una riduzione dell'impatto totale ad eccezione di OD e FE.

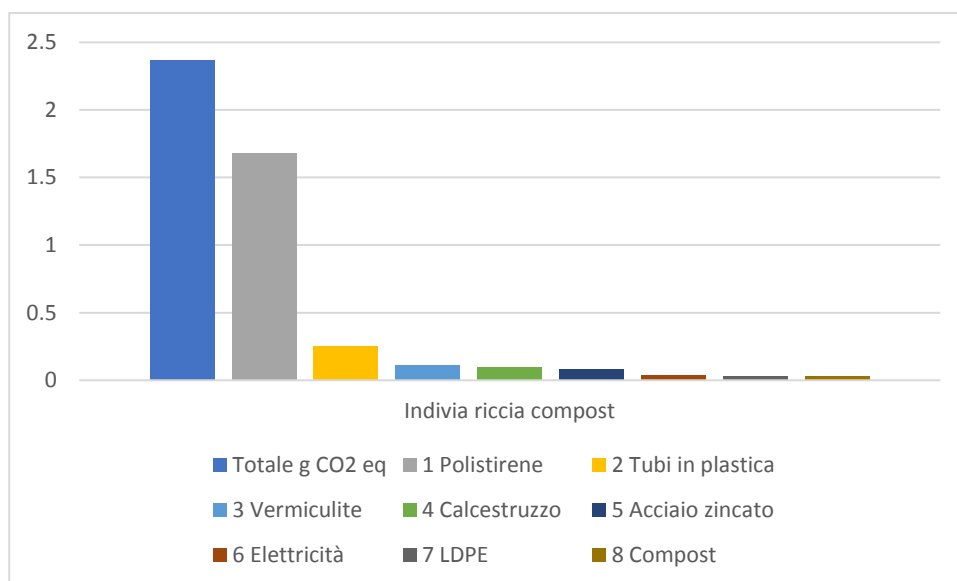


Figura 10: Analisi di contribuzione per l'impatto relativa alla sostituzione della torba con compost per l'indivia riccia.

La seconda misura di mitigazione riportata riguarda la completa sostituzione del sistema di semina verso uno a cubi di torba. In questo caso l'obiettivo era quello di eliminare totalmente il polistirene e utilizzare un supporto più "longevo" che potesse essere valido per più dei due utilizzi previsti per il vassoio in polistirene. La scelta è quindi ricaduta su un sistema a cubi di torba per il quale il supporto della torba è rappresentato da cassette in polietilene riutilizzabili fino a circa 20 volte (PC). In tabella 14 sono riportati i risultati a confronto con lo scenario baseline (BL).

Tabella 14: Confronto risultati dell'analisi di impatto per la produzione di piantine con cubi di torba e vassoio in polistirene.

Categoria d'impatto	Unità	Scarola (PC)	Scarola (BL)	Indivia riccia (PC)	Indivia riccia (BL)	Cicoria rossa (PC)	Cicoria rossa (BL)	Cicoria pan di zucchero (PC)	Cicoria pan di zucchero (BL)
AD	kg Sb eq	1.68E-05	2.47E-05	1.68E-05	2.68E-05	1.68E-05	2.51E-05	1.68E-05	2.69E-05
AC	kg SO ₂ eq	6.69E-06	9.84E-06	6.72E-06	1.14E-05	6.69E-06	1.08E-05	6.71E-06	1.26E-05
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	1.91E-06	2.23E-06	3.44E-06	3.82E-06	3.44E-06	3.75E-06	3.44E-06	4.12E-06
GW 100yr	kg CO ₂ eq	1.48E-03	2.37E-03	1.48E-03	2.59E-03	1.48E-03	2.45E-03	1.48E-03	2.71E-03
OD	kg CFC-11 eq	5.18E-11	3.84E-11	5.16E-11	3.06E-11	5.16E-11	2.70E-11	5.14E-11	3.64E-11
HT	kg 1,4-DB eq	3.28E-04	1.94E-03	3.29E-04	2.08E-03	3.28E-04	1.95E-03	3.29E-04	2.06E-03
FE	kg 1,4-DB eq	2.77E-04	2.30E-04	2.76E-04	2.20E-04	2.77E-04	2.16E-04	2.77E-04	2.75E-04
ME	kg 1,4-DB eq	3.83E-01	3.57E-01	3.83E-01	3.48E-01	3.83E-01	3.37E-01	3.83E-01	4.70E-01
TE	kg 1,4-DB eq	1.46E-06	2.10E-06	1.46E-06	2.07E-06	1.46E-06	1.99E-06	1.46E-06	2.67E-06
PO	kg C ₂ H ₄ eq	4.61E-07	6.12E-07	4.61E-07	6.85E-07	4.61E-07	6.43E-07	4.61E-07	7.26E-07

I risultati mostrano come l'impatto sia ridotto per quasi tutte le categorie, ad eccezione di OD, FE ed ME per i quali la sostituzione del polistirolo con il polietilene genera un aumento apprezzabile dell'impatto. Dall'analisi di contribuzione riportata per il GW (figura 11) e sempre a scopo esemplificativo per l'indivia riccia, è possibile notare come la prima voce di impatto sia proprio

relativa al polietilene che sostituisce il contributo del polistirene ma con magnitudo inferiore rispetto a quest'ultimo.

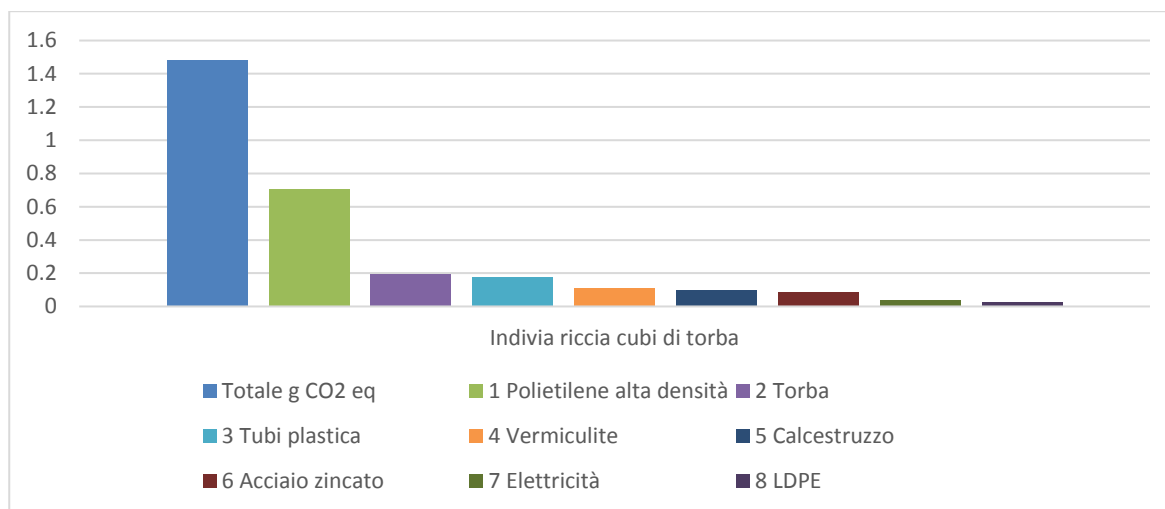


Figura 11: Analisi di contribuzione per l'impatto relativa alla sostituzione del sistema classico con uno basato su cubi di torba compressata per l'indivia riccia.

L'ultima misura di mitigazione riguarda la sostituzione dei vassoi in polistirene a foro circolare con vassoi a foro quadrato (tabella 15). Questo ultimo caso ha l'obiettivo primario di ridurre l'impatto della produzione delle piantine ma anche di superare le difficoltà tecniche previste per l'applicazione reale dei due scenari precedenti. L'utilizzo di compost, infatti, potrebbe non garantire uno sviluppo delle piante[52] paragonabile al sistema attuale. Ciò potrebbe inficiare la valutazione precedentemente sviluppata in quanto sia la minore produzione che l'aumento del ciclo di coltivazione aumenterebbero inevitabilmente l'impatto. Invece, la sostituzione del sistema di semina potrebbe presentare, ad opinione dell'azienda, problemi tecnici in fase di trapianto in quanto le piantine non sono trattenute all'interno delle cassette in polietilene, diversamente dai vassoi polistirene che "contengono" il pane di terra. La sostituzione della tipologia di vassoi in polistirene mira a ridurre l'impatto dello stesso attraverso un migliore uso dello spazio, i vassoi a foro quadrato, infatti, pesano 30 grammi in meno rispetto a quelli a foro circolare (a parità di alveoli presenti). La riduzione di impatto risultante viene in parte compensata dall'aumento del quantitativo di torba necessaria per riempire gli alveoli quadrati che presentano un volume del 19% circa superiore rispetto a quelli circolari.

Tabella 15: Confronto risultati dell'analisi di impatto per la produzione di piantine vasoio a foro quadrato a foro circolare.

Categoria d'impatto	Unità	Scarola (PQ)	Scarola (BL)	Indivia riccia (PQ)	Indivia riccia (BL)	Cicoria rossa (PQ)	Cicoria rossa (BL)	Cicoria pan di zucchero (PQ)	Cicoria pan di zucchero (BL)
AD	kg Sb eq	2.15E-05	2.47E-05	2.15E-05	2.68E-05	2.15E-05	2.51E-05	2.15E-05	2.69E-05
AC	kg SO ₂ eq	9.38E-06	9.84E-06	9.41E-06	1.14E-05	9.38E-06	1.08E-05	9.40E-06	1.26E-05
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	2.43E-06	2.23E-06	3.97E-06	3.82E-06	3.97E-06	3.75E-06	3.97E-06	4.12E-06

GW	kg CO ₂ eq	2.19E-03	2.37E-03	2.19E-03	2.59E-03	2.19E-03	2.45E-03	2.19E-03	2.71E-03
100yr									
OD	kg CFC-11 eq	5.47E-11	3.84E-11	5.45E-11	3.06E-11	5.45E-11	2.70E-11	5.44E-11	3.64E-11
HT	kg 1,4-DB eq	1.65E-03	1.94E-03	1.65E-03	2.08E-03	1.65E-03	1.95E-03	1.65E-03	2.06E-03
FE	kg 1,4-DB eq	3.14E-04	2.30E-04	3.13E-04	2.20E-04	3.13E-04	2.16E-04	3.13E-04	2.75E-04
ME	kg 1,4-DB eq	4.12E-01	3.57E-01	4.12E-01	3.48E-01	4.12E-01	3.37E-01	4.12E-01	4.70E-01
TE	kg 1,4-DB eq	2.13E-06	2.10E-06	2.13E-06	2.07E-06	2.13E-06	1.99E-06	2.13E-06	2.67E-06
PO	kg C ₂ H ₄ eq	5.78E-07	6.12E-07	5.79E-07	6.85E-07	5.78E-07	6.43E-07	5.79E-07	7.26E-07

Dai risultati è possibile vedere come l'impatto si riduca per alcune delle categorie, cioè GW, AD, AC, PO, mentre per le altre si registra un incremento. Ciò è dovuto al fatto che l'impatto del polistirene si riduce (influenzando di conseguenza le categorie ad esso correlate) mentre l'impatto della torba aumenta compensandone in parte la riduzione e, in alcuni casi, andando ad incrementarlo.

3.1.2. Insalate di I gamma e confronto ex-post

Il caso studio relativo alle insalate di I gamma riguarda il confronto tra l'impatto dello stato attuale, già mitigato dalla presenza di impianti fotovoltaici e di digestione anaerobica, e l'impatto ottenuto con la configurazione precedente all'installazione degli impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

In tabella 16 sono riportati i risultati relativi al metodo di calcolo CML 2000 baseline con approccio midpoint. Tra le 4 specie analizzate l'indivia riccia è quella che presenta l'impatto maggiore seguita da scarola, cicoria pan di zucchero e radicchio (figura 12). Le differenze maggiori sono imputabili all'efficienza di trasformazione molto bassa nel caso dell'indivia riccia e elevata nel caso di cicoria rossa e pan di zucchero.

Tabella 16: Impatto della produzione di insalate di prima gamma appartenenti alle quattro specie di maggiore interesse per l'azienda. Metodo di calcolo CML 2000 baseline, approccio midpoint.

Categoria d'impatto	Unità	Indivia riccia	Indivia riccia mitigato	Scarola	Scarola mitigato	Cicoria rossa	Cicoria rossa mitigato	Cicoria pan di zucchero	Cicoria pan di zucchero mitigato
AD	kg Sb eq	1.68E-03	1.20E-03	1.43E-03	1.06E-03	1.33E-03	1.05E-03	1.40E-03	1.05E-03
AC	kg SO ₂ eq	1.47E-03	1.26E-03	1.26E-03	1.15E-03	1.20E-03	1.11E-03	1.24E-03	1.13E-03
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	2.04E-03	2.39E-04	1.58E-03	2.13E-04	1.22E-03	2.09E-04	1.50E-03	2.11E-04
GWP100	kg CO ₂ eq	5.50E-01	1.73E-01	4.39E-01	1.54E-01	3.64E-01	1.51E-01	4.22E-01	1.52E-01
ODP	kg CFC-11 eq	1.64E-08	1.35E-08	1.42E-08	1.19E-08	1.35E-08	1.17E-08	1.39E-08	1.18E-08
HT	kg 1,4-DB eq	8.25E-02	7.61E-02	7.16E-02	6.81E-02	6.90E-02	6.64E-02	7.05E-02	6.72E-02
FE	kg 1,4-DB eq	4.25E-02	4.47E-02	3.75E-02	3.98E-02	3.70E-02	3.89E-02	3.71E-02	3.93E-02
ME	kg 1,4-DB eq	4.41E+01	4.49E+01	3.88E+01	4.03E+01	3.81E+01	3.91E+01	3.83E+01	3.97E+01
TE	kg 1,4-DB eq	3.47E-04	3.14E-04	3.03E-04	2.81E-04	2.94E-04	2.74E-04	2.99E-04	2.77E-04
PO	kg C ₂ H ₄ eq	1.49E-04	6.80E-05	1.21E-04	6.22E-05	1.04E-04	5.98E-05	1.17E-04	6.12E-05

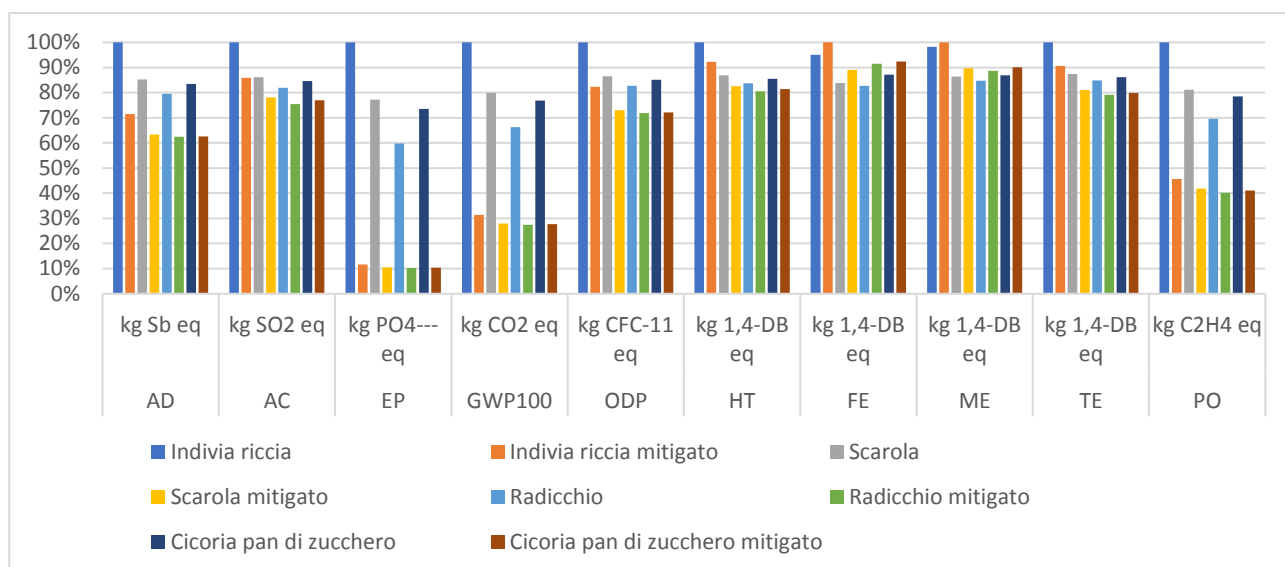


Figura 12: Confronto tra scenario attuale mitigate e progressivo per le quattro specie considerate metodo CML 2000 baseline.

Dal confronto con lo scenario progressivo si può osservare che l'impatto risulta ridotto per quasi tutte le categorie considerate, con percentuali di riduzione anche molto rilevanti. Fanno eccezione FE ed ME per le quali si registra un incremento del 5-6% e 2-4% rispettivamente (tabella 16).

Per gli stessi prodotti è stata condotta un'analisi con metodo di caratterizzazione ReCiPe endpoint (E) ed (H), al fine di confrontare i risultati con altri studi simili in letteratura. In tabella 17 sono riportati gli impatti assoluti per kg di prodotto mondato di I gamma con relativa differenza tra scenario progressivo e attuale mitigato.

Tabella 17: Impatto della produzione di insalate prima e dopo introduzione di misure di mitigazione. Metodo ReCiPe endpoint (E).

Categoria di impatto	u.m.	Indivia riccia	Indivia riccia mitigato	Δ	Indivia scarola	Indivia scarola mitigato	Δ	Cicoria rossa	Cicoria rossa mitigato	Δ	Cicoria pan di zucchero	Cicoria pan di zucchero mitigato	Δ
Climate change													
Human Health	1	1.4E-06	5.6E-07	-60.3%	1.1E-06	5.0E-07	-56.4%	9.8E-07	4.9E-07	-49.8%	1.1E-06	5.0E-07	-55.4%
Ozone depletion	1	3.0E-11	2.3E-11	-25.5%	2.6E-11	2.0E-11	-23.5%	2.5E-11	2.0E-11	-20.8%	2.6E-11	2.0E-11	-23.0%
Human toxicity	1	8.2E-07	8.7E-07	5.2%	7.3E-07	7.8E-07	7.5%	7.1E-07	7.5E-07	6.1%	7.2E-07	7.7E-07	7.2%
Photochemical oxidant formation	1	7.0E-11	5.6E-11	-20.0%	6.0E-11	5.0E-11	-16.3%	5.6E-11	4.9E-11	-13.2%	5.8E-11	4.9E-11	-15.8%
Particulate matter formation	1	2.1E-07	1.2E-07	-43.3%	1.7E-07	1.1E-07	-38.4%	1.5E-07	1.0E-07	-32.4%	1.7E-07	1.1E-07	-37.4%
Ionising radiation	1	1.4E-10	9.1E-11	-33.6%	1.2E-10	8.1E-11	-29.5%	1.1E-10	8.0E-11	-24.6%	1.1E-10	8.0E-11	-28.7%
Climate change Ecosystems	2	7.6E-09	3.0E-09	-60.2%	6.1E-09	2.7E-09	-56.4%	5.2E-09	2.6E-09	-49.8%	5.9E-09	2.6E-09	-55.4%
Terrestrial acidification	2	2.4E-11	2.1E-11	-14.2%	2.1E-11	1.9E-11	-10.0%	2.0E-11	1.8E-11	-8.3%	2.0E-11	1.8E-11	-9.7%
Freshwater eutrophication	2	1.6E-11	9.8E-13	-94.0%	1.2E-11	8.8E-13	-92.9%	9.5E-12	8.5E-13	-91.0%	1.2E-11	8.7E-13	-92.7%
Terrestrial ecotoxicity	2	9.6E-11	9.8E-11	1.9%	8.5E-11	8.7E-11	2.1%	8.4E-11	8.5E-11	2.0%	8.4E-11	8.6E-11	2.0%

Freshwater ecotoxicity	2	1.0E-12	1.4E-12	35.4%	9.0E-13	1.2E-12	36.1%	8.9E-13	1.2E-12	32.9%	8.9E-13	1.2E-12	35.4%
Marine ecotoxicity	2	1.4E-10	1.6E-10	16.2%	1.2E-10	1.5E-10	18.3%	1.2E-10	1.4E-10	16.1%	1.2E-10	1.4E-10	17.9%
Agricultural land occupation	2	3.6E-11	3.4E-11	-5.1%	3.2E-11	3.1E-11	-4.0%	3.1E-11	3.0E-11	-4.3%	3.1E-11	3.0E-11	-4.0%
Urban land occupation	2	1.4E-11	1.4E-11	-2.5%	1.2E-11	1.2E-11	-1.5%	1.2E-11	1.2E-11	-1.9%	1.2E-11	1.2E-11	-1.5%
Natural land transformation	2	4.0E-10	3.8E-10	-5.3%	3.6E-10	3.4E-10	-4.0%	3.5E-10	3.3E-10	-4.4%	3.5E-10	3.4E-10	-4.0%
Metal depletion	3	5.4E-04	5.5E-04	1.8%	4.7E-04	5.1E-04	8.4%	4.5E-04	4.8E-04	7.3%	4.6E-04	5.0E-04	8.2%
Fossil depletion	3	1.2E-02	8.6E-03	-28.7%	1.0E-02	7.6E-03	-26.0%	9.6E-03	7.5E-03	-21.8%	1.0E-02	7.6E-03	-25.3%

1 DALY (Disability Adjusted Life-Year); 2 species.yr; 3 \$

Analogamente al precedente metodo di calcolo dell'impatto, le categorie con impatto maggiore (rispetto allo scenario mitigato) sono relative al gruppo di ecotossicità/tossicità umana ai quali si aggiunge la categoria di metal depletion.

Dall'analisi di contribuzione (qui riportata per l'indivia riccia) è possibile osservare come l'impatto maggiore sia a carico della fase di coltivazione e trasporto del materiale grezzo. Il trasporto risulta rilevante in quanto: i siti di produzione sono spesso molto distanti dall'impianto di trasformazione; il trasporto è gravato da tare come cassette e bin che rendono lo stesso meno efficiente. La fase industriale presenta un impatto ridotto trattandosi di prodotto di I gamma (figura 13).

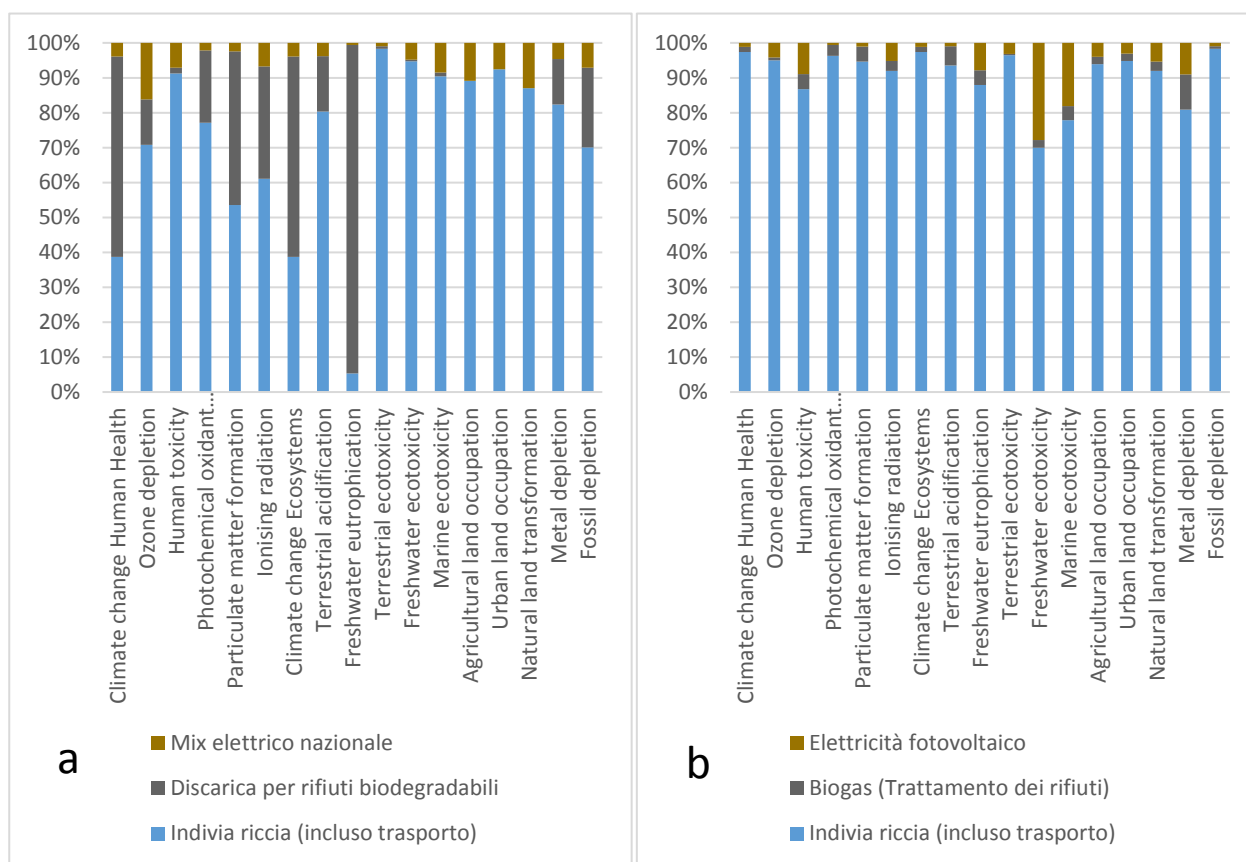


Figura 13: Confronto dell'analisi di contribuzione per lo scenario non mitigato (a) e quello attuale mitigato (b).

In tabella 18 sono riportati i risultati del calcolo di impatto con metodo ReCiPe endpoint (H) a punteggio singolo (set normalizzazione e pesatura EU28) per la fase di coltivazione.

Tabella 18: Risultato dell'impatto di produzione delle insalate (grezzo al campo) per le quattro specie considerate, metodo ReCiPe endpoint (H) single score.

	Metodo ReCiPe endpoint H single score (Pt)				
	Indivia riccia	Scarola	Cicoria rossa	Cicoria pan di zucchero	Foteinis et al. 2016[15]
	4.61	4.31	4.34	2.5	6.67
Human health	2.11	1.97	2.06	1.2	3.33
Ecosystems	0.953	0.89	0.85	0.532	1.12
Resources	1.55	1.45	1.43	0.77	2.22

3.2. Risultati per Promarche

3.2.1. Fagiolino

Come premesso nei capitoli precedenti l'analisi dell'impatto della produzione di fagiolino da industria ha interessato i dati relativi all'anno 2014. Il calcolo ha riguardato il confronto tra due differenti soluzioni di trattamento fitosanitario in campo, considerate alternative dai tecnici aziendali. L'obiettivo dello studio è valutare come scelte apparentemente marginali possono influenzare l'impatto del prodotto. In tabella 19 è riportato il risultato della caratterizzazione dell'impatto per 1 kg di fagiolino surgelato al cancello aziendale.

Tabella 19: Impatto della produzione di fagiolino da industria surgelato per le due soluzioni in analisi.

Categoria di impatto	unità	Soluzione A	Soluzione B
ADP	kg Sb eq.	1.962E-06	2.237E-06
ADP fossil	MJ eq.	9.501E+00	9.509E+00
GWP 100yr	kg CO ₂ eq.	7.439E-01	7.442E-01
ODP	kg CFC-11 eq.	7.823E-08	8.082E-08
HTP	kg 1,4 DB eq.	1.402E-01	1.332E-01
FEP	kg 1,4 DB eq.	2.065E-01	1.180E-01
MEP	kg 1,4 DB eq.	3.125E+02	3.136E+02
TEP	kg 1,4 DB eq.	1.847E-03	1.119E-03
PCOP	kg C ₂ H ₄ eq.	1.978E-04	1.985E-04
AP	kg SO ₂ eq.	3.522E-03	3.533E-03
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	1.658E-03	1.660E-03

Dalla figura 14, che riporta gli stessi risultati in rapporto relativo, è possibile evidenziare come la soluzione B presenti un impatto ridotto pari al 40-45% circa sulle categorie FE e TE. In percentuali inferiori la riduzione è stata registrata anche per la categoria HT. Un maggiore impatto è stato registrato per ADP (10%) e ODP (4%). Per tutte le altre categorie l'impatto resta pressoché invariato.

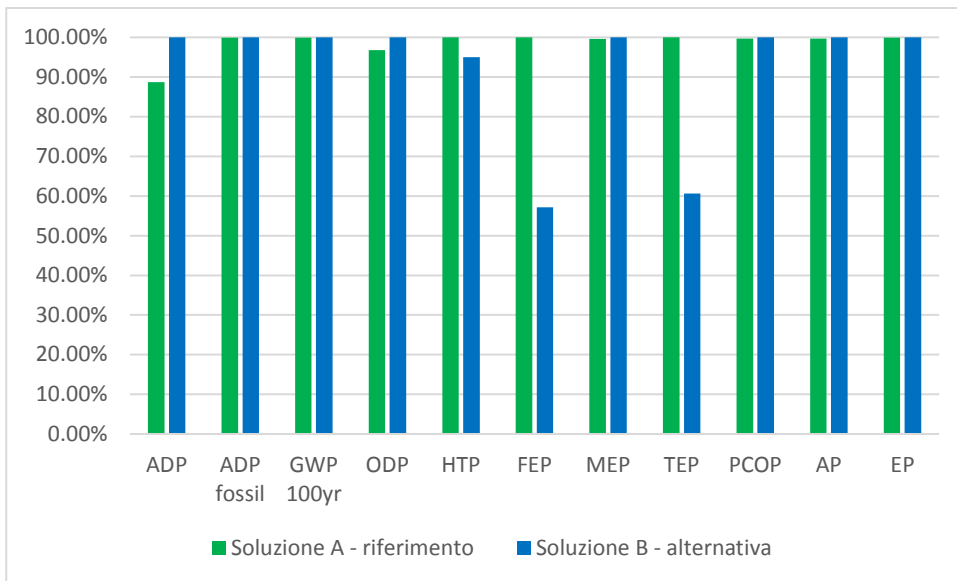


Figura 14: Confronto soluzione A e B con rapporto relativo.

In figura 15 è riportata l'analisi di contribuzione per la soluzione A. Produzione di campo, consumo di energia in impianto e trattamento dei residui tramite digestione anaerobica rappresentano i principali contributori all'impatto totale.

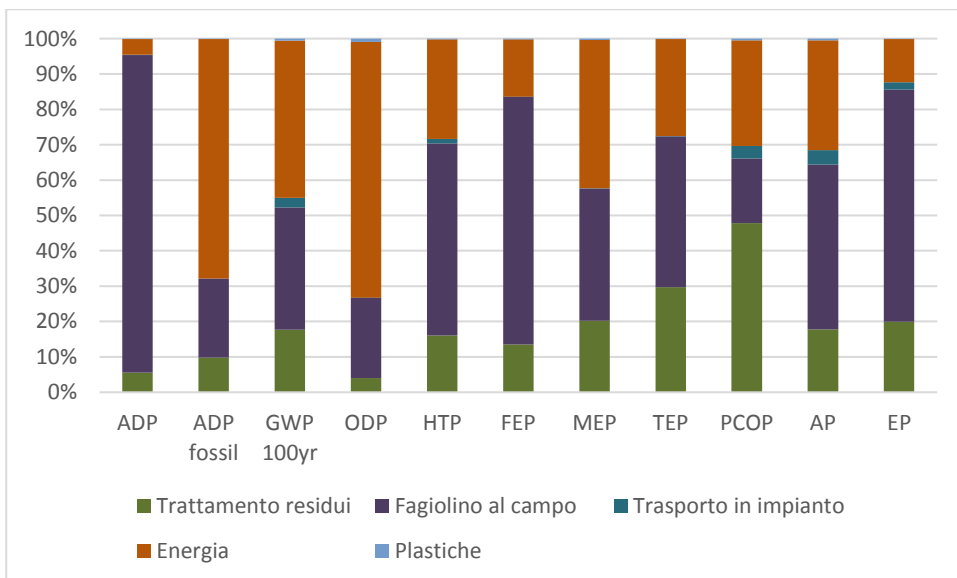


Figura 15: Analisi di contribuzione per la soluzione A della coltivazione e processamento del fagiolino.

L'analisi di contribuzione per la soluzione B (figura 16) mostra la stessa tendenza con piccole differenze su ADP, ODP, HTP, MEP e più marcate su FEP e TEP. Per FEP il principale contributore nella soluzione A è l'OFC (coltivazione in campo aperto); sostituendo gli erbicidi e il primo trattamento antiparassitario, l'impatto relativo di OFC si riduce di circa il 20%. Per TEP la differenza

è più alta e sostituendo la soluzione A con la soluzione B la riduzione su OFC è superiore al 30% (tabella 20).

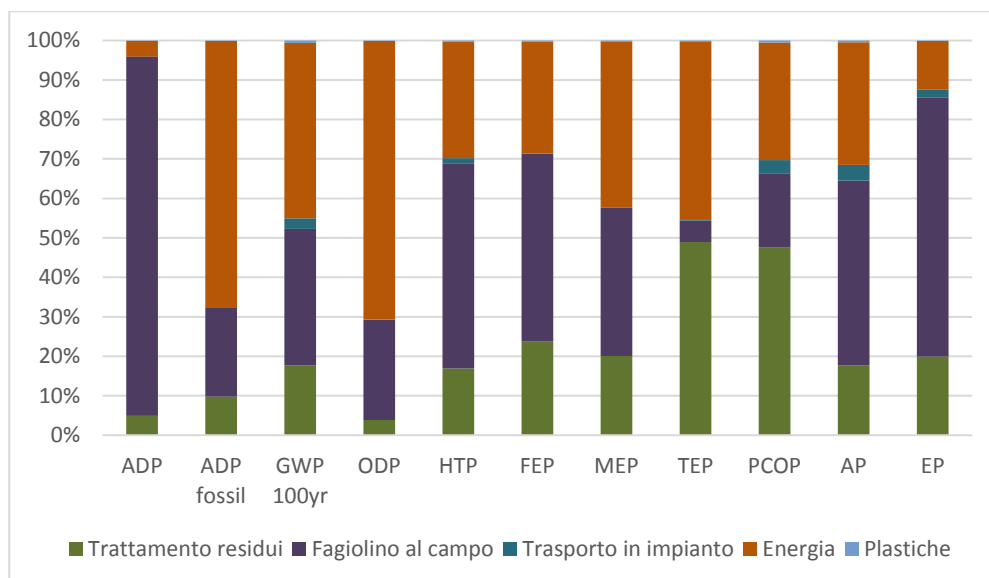


Figura 16: Analisi di contribuzione per la soluzione B della coltivazione e processamento del fagiolino.

Tabella 20: Contributo relativo all’impatto totale per I due scenari testati.

Categoria di impatto	Soluzione A					Soluzione B				
	RT	OFC	TI	En	PI	RT	OFC	TI	En	PI
ADP	5.6%	89.8%	0.0%	4.5%	0.1%	4.9%	91.0%	0.0%	4.0%	0.1%
ADP fossil	9.8%	22.4%	0.0%	67.7%	0.1%	9.8%	22.5%	0.0%	67.6%	0.1%
GWP 100yr	17.7%	34.5%	2.7%	44.5%	0.6%	17.7%	34.5%	2.7%	44.5%	0.6%
ODP	4.0%	22.7%	0.1%	72.3%	0.9%	3.9%	25.4%	0.1%	70.6%	0.1%
HTP	16.1%	54.4%	1.2%	28.1%	0.3%	16.9%	52.0%	1.3%	29.6%	0.3%
FEP	13.6%	70.0%	0.0%	16.2%	0.2%	23.7%	47.5%	0.1%	28.4%	0.3%
MEP	20.2%	37.4%	0.1%	41.9%	0.4%	20.1%	37.6%	0.1%	41.8%	0.4%
TEP	29.7%	42.7%	0.1%	27.4%	0.1%	49.0%	5.4%	0.1%	45.3%	0.2%
PCOP	47.8%	18.3%	3.5%	29.9%	0.5%	47.7%	18.5%	3.5%	29.8%	0.5%
AP	17.7%	46.7%	4.0%	31.1%	0.5%	17.7%	46.8%	4.0%	31.0%	0.5%
EP	20.0%	65.6%	2.1%	12.2%	0.2%	19.9%	65.6%	2.1%	12.2%	0.2%

RT: trattamento residui; OFC: coltivazione in pieno campo; TI: trasporto; En: energia (elettrica, metano); PI: plastiche

Al fine di valutare la qualità del dato inserito dal punto di vista dell’incertezza nella risposta del calcolo di impatto, legata alla variabilità intrinseca dei dati stessi, è stata condotta un’analisi di incertezza utilizzando lo strumento di analisi di Montecarlo. La variabilità nei dati inseriti riguarda l’emissione derivante dalla combustione di gasolio per le varie operazioni. Tali dati sono stati proporzionalmente variati in relazione al dato di consumo senza variare il metodo di calcolo. L’analisi di incertezza (tabella 21) mostra per alcune categorie di impatto una variabilità

estremamente elevata, si preda ad esempio TEP. Considerando tale risultato è stata condotta un'analisi di incertezza sul processo originale verificando che la variabilità rimane ugualmente elevata, ne deriva che l'incertezza del risultato dipende esclusivamente dall'incertezza dei dati secondari presenti nelle banche dati Ecoinvent.

Tabella 21: Analisi di incertezza per I dati del caso studio su fagiolino.

Categoria di impatto	di u.m.	Soluzione A			Soluzione B		
		SD	CV	SEM	SD	CV	SEM
ADP	kg Sb eq	2.1E-07	10.7	6.6E-09	2.2E-07	9.7	6.8E-09
ADP fossil	MJ	3.6E-01	3.8	1.2E-02	3.8E-01	3.9	1.2E-02
GWP 100yr	kg CO ₂ eq	1.4E-01	18.8	4.4E-03	1.4E-01	18.6	4.4E-03
ODP	kg CFC-11 eq	5.9E-09	7.6	1.9E-10	6.7E-09	8.3	2.1E-10
HTP	kg 1,4-DB eq	2.2E-01	151.2	6.9E-03	2.1E-01	157.8	6.8E-03
FEP	kg 1,4-DB eq	2.6E-01	124.0	8.2E-03	2.7E-01	218.0	8.5E-03
MEP	kg 1,4-DB eq	3.9E+01	12.6	1.2E+00	8.5E+01	26.7	2.7E+00
TEP	kg 1,4-DB eq	1.4E-01	3655.1	4.5E-03	1.4E-01	5733.9	4.3E-03
PCOP	kg C ₂ H ₄ eq	6.2E-05	31.3	2.0E-06	5.7E-05	28.6	1.8E-06
AP	kg SO ₂ eq	1.2E-03	33.9	3.7E-05	1.2E-03	33.4	3.7E-05
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	6.7E-04	40.1	2.1E-05	4.2E-04	25.5	1.3E-05

CI: 95

3.2.2. Spinacio

Il caso studio su Spinacio comprende l'analisi per due anni consecutivi, 2013 e 2014, per i quali, similmente al caso su fagiolino, sono previsti due scenari alternativi, considerati equivalenti in termini di produzione dai tecnici aziendali. Per tali scenari, descritti in precedenza, si riportano i risultati di caratterizzazione dell'impatto con metodo CML_IA baseline (tabella 22).

Tabella 22: Risultati caratterizzazione dell'impatto della produzione di spinacio surgelato (UF 1kg di spinacio surgelato al cancello aziendale).

Categoria d'impatto	Unità	Spinacio surgelato 2013 soluzione A	Spinacio surgelato 2013 soluzione B	Spinacio surgelato 2014 soluzione A	Spinacio surgelato 2014 soluzione B
ADP	kg Sb eq	2.97E-06	1.75E-06	3.24E-06	1.95E-06
ADP fossil	MJ	6.74E+00	6.74E+00	13.4E+00	13.4E+00
GWP 100yr	kg CO ₂ eq	7.56E-01	7.35E-01	1.14E+00	1.12E+00
ODP	kg CFC-11 eq	4.62E-08	4.59E-08	1.03E-07	1.03E-07
HTP	kg 1,4-DB eq	1.01E-01	1.01E-01	1.50E-01	1.49E-01
FEP	kg 1,4-DB eq	1.54E-01	1.54E-01	2.00E-01	2.00E-01

MEP	kg 1,4-DB eq	2.34E+02	2.33E+02	3.93E+02	3.92E+02
TEP	kg 1,4-DB eq	1.31E-03	1.31E-03	1.99E-03	1.99E-03
PCOP	kg C ₂ H ₄ eq	2.18E-04	2.24E-04	2.99E-04	3.05E-04
AP	kg SO ₂ eq	6.86E-03	5.26E-03	8.45E-03	6.76E-03
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	7.13E-03	4.63E-03	7.76E-03	5.12E-03

L'impatto maggiore si registra a carico della produzione del 2014, ciò in ragione della minore resa di trasformazione (63% circa nel 2013, 61% nel 2014), ma anche a causa degli input energetici. Infatti, per il 2014, è stata utilizzata energia elettrica per kg di prodotto ottenuto 4 volte superiore a quella utilizzata nel 2013, per il gas naturale quasi 3 volte il consumo del 2013. Considerando invece le diverse soluzioni di fertilizzazione è possibile notare come l'impatto associato alla soluzione B sia più basso per tutte le categorie di impatto comprendenti fattori di caratterizzazione per le specie chimiche derivanti dalle emissioni dirette e indirette dell'applicazione del fertilizzante stesso (figura 17). In alcuni casi la riduzione dell'impatto è meno evidente dell'atteso ad esempio per il GW la differenza meno marcata dipende dal diverso fattore di emissione per N₂O applicato in relazione alla forma azotata del fertilizzante. Nel caso invece di EP la differenza è molto marcata poiché il modello utilizzato per il calcolo dell'emissione di fosforo è lo stesso e a pesare quindi è il quantitativo di fosforo più alto nella soluzione A.

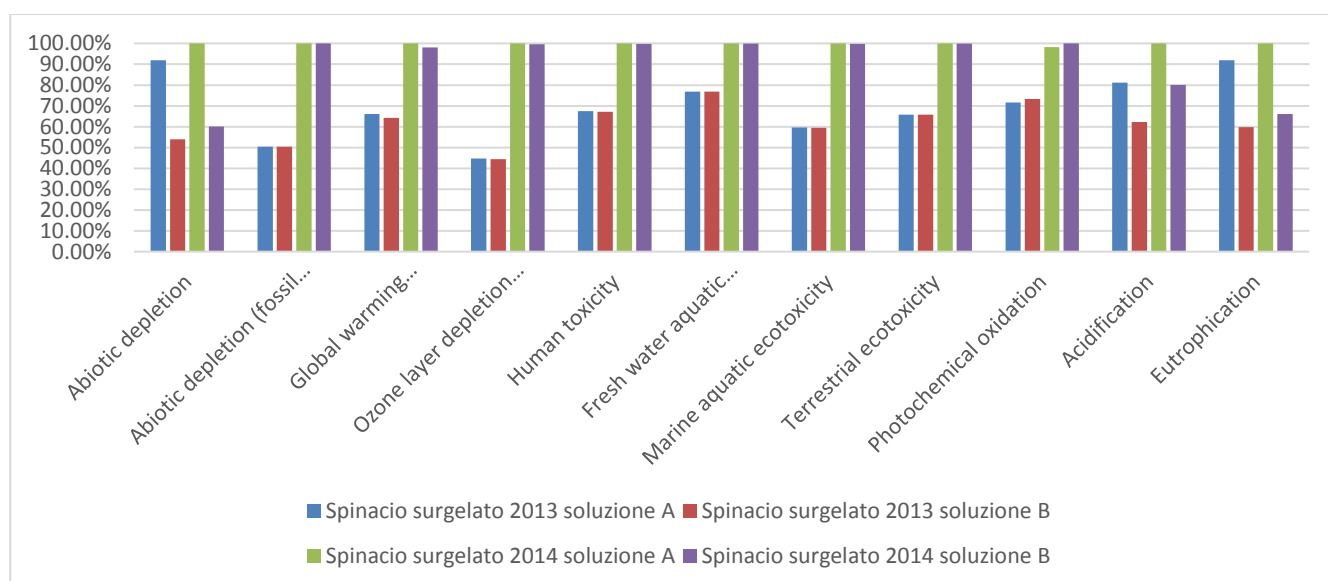


Figura 17: Caratterizzazione impatto della produzione di spinacio per gli anni di riferimento, confronto tra soluzioni di fertilizzazione in rapporto relative.

L'analisi di contribuzione (tabella 23) mostra come a contribuire maggiormente all'impatto sono la fase di produzione di campo, l'energia e il trattamento dei residui.

La fase di coltivazione presenta un impatto consistente su tutte le categorie considerate ad eccezione di ecotossicità terrestre e ossidazione fotochimica. L'energia (elettrica e gas naturale) ha un maggiore impatto su riduzione delle risorse fossili e riduzione dello strato di ozono. Il trattamento

dei residui tramite digestione anaerobica mostra un impatto su tutte le categorie, maggiormente sul gruppo di ecotossicità e di ossidazione fotochimica.

La differenza maggiore tra le due soluzioni di concimazione è prevedibilmente, come detto in precedenza, a carico di acidificazione e eutrofizzazione a causa del maggiore quantitativo di azoto e fosforo utilizzato.

Tabella 23: Analisi di contribuzione per l'impatto di produzione dello spinacio (2013 A e B).

	2013 soluzione A (%)				2013 soluzione B (%)			
	Campo e trasporto	Energia	Plastiche	Residui	Campo e trasporto	Energia	Plastiche	Residui
Abiotic depletion	91.77	1.17	0.05	7.01	86.01	1.99	0.08	11.93
Abiotic depletion (fossil fuels)	34.03	39.42	0.13	26.42	34.03	39.42	0.13	26.42
Global warming (GWP100a)	48.51	17.74	0.45	33.30	47.05	18.25	0.46	34.24
Ozone layer depletion (ODP)	35.72	51.17	0.12	12.99	35.27	51.52	0.12	13.08
Human toxicity	41.47	15.62	0.28	42.63	41.21	15.69	0.28	42.82
Fresh water aquatic ecotox.	56.47	8.64	0.18	34.71	56.47	8.64	0.18	34.72
Marine aquatic ecotoxicity	25.93	22.19	0.41	51.48	25.65	22.27	0.41	51.67
Terrestrial ecotoxicity	4.90	15.05	0.11	79.93	4.87	15.06	0.11	79.96
Photochemical oxidation	5.82	10.90	0.37	82.91	8.04	10.64	0.36	80.95
Acidification	76.03	6.36	0.19	17.41	68.75	8.30	0.25	22.70
Eutrophication	89.97	1.13	0.03	8.87	84.56	1.74	0.04	13.66

Analogamente al caso del fagiolino, l'analisi di incertezza mostra una grandissima variabilità per alcune categorie imputabile a processi di background dei database Ecoinvent; per altre categorie l'incertezza risulta contenuta intorno ai 10 punti percentuali (figure 18-19).

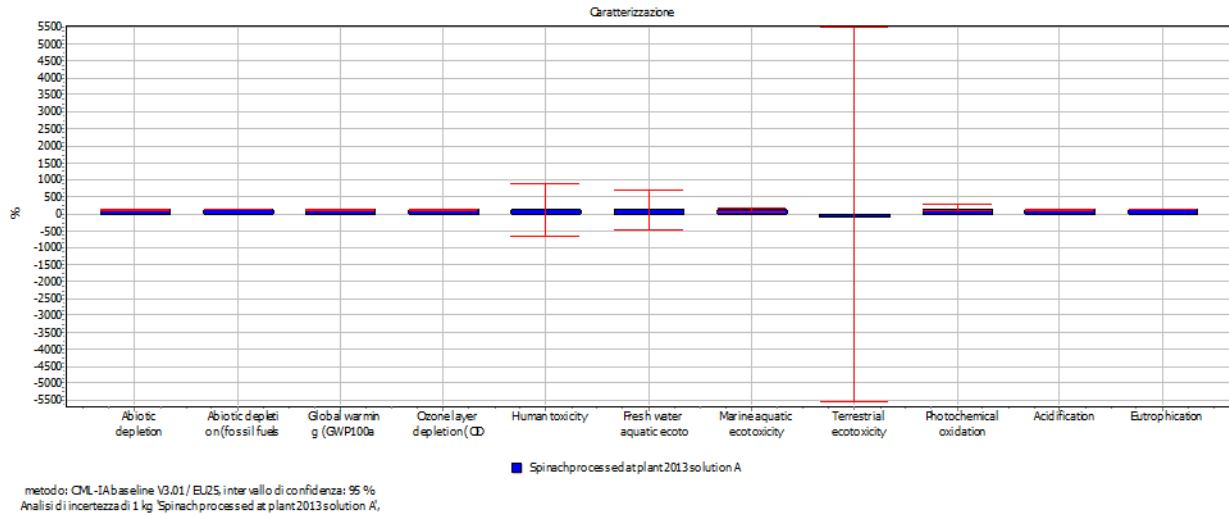


Figura 18: Analisi di incertezza per lo scenario A 2013 della produzione di spinacio.

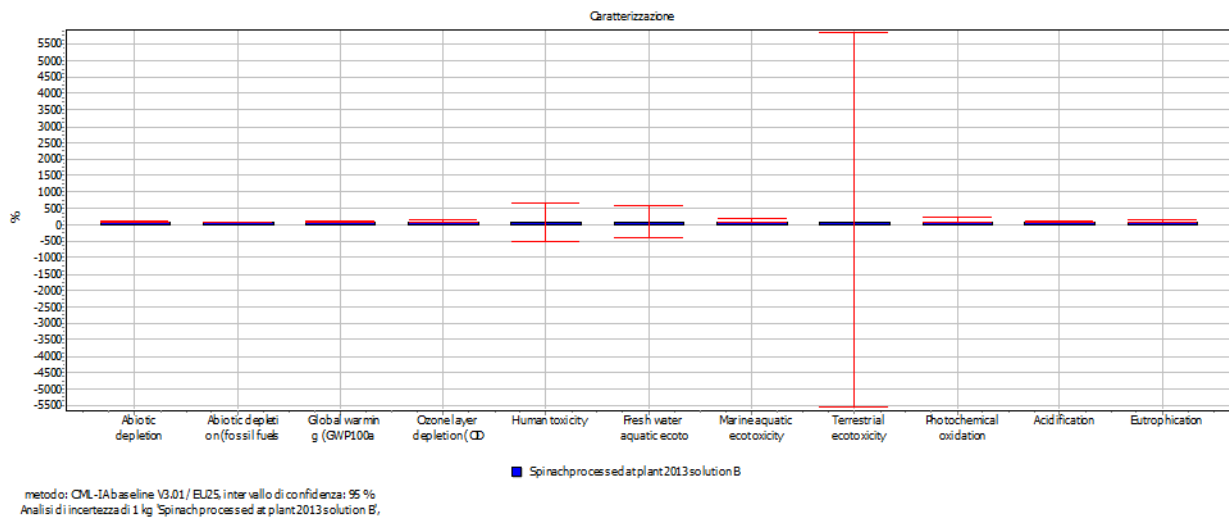


Figura 19: Analisi di incertezza per lo scenario B 2013 della produzione di spinacio.

3.2.3. Camera di crescita e test su residui di spinacio

Di seguito si riportano in sintesi i risultati relativi al primo test di bio-trattamento per il quale si riporteranno soltanto i dati relativi alla risposta della camera climatica e del sistema di misura e registrazione di umidità e temperatura. Il primo punto riguarda la valutazione dell'efficienza del sistema di garantire e mantenere le condizioni di umidità e temperatura adeguate allo sviluppo delle larve di *H. illucens*. Per quanto riguarda l'umidità relativa, il sensore ha registrato un incremento progressivo fino al raggiungimento di un valore costante, mantenutosi tale per tutto il periodo di trattamento. Nonostante le evidenti oscillazioni, corrispondenti ai momenti di ispezione della camera, è interessante osservare che la media globale delle misure si attesta al $70.07\% \pm 4.68\%$, perfettamente compatibile con le esigenze di sviluppo di *H. illucens*. Sono altresì stati rilevati dei

picchi massimi e minimi. Il massimo è stato registrato in due eventi il 28 giugno con un valore di 84.30%; il minimo si è verificato il giorno 6 agosto con un valore di 37.10%. Per quanto riguarda la temperatura le misure mostrano degli andamenti più costanti e distribuiti intorno al valore medio. Tale valore per l'intero trattamento è stato di 28.97 °C con una deviazione standard di circa 0.35°C. Nonostante la maggior costanza dei valori di temperatura, sono stati comunque registrati dei picchi evidenti. Il valore minimo è stato di 24.3°C, verificatosi per quattro misure consecutive il 4 settembre, mentre il massimo è stato di 40.7°C il giorno 6 agosto. Anche per la temperatura i valori risultano compatibili con lo sviluppo delle larve. Un ultimo aspetto che si intende riportare è l'assestamento sull'intorno del valor medio per la temperatura che è stato molto rapido, potendolo verificare già al primo giorno di trattamento. I valori medi in giorni successivi, seppur diversi (circa 28.5°C poi 29°C e 28.9°C), discostano fra loro di poco e l'ampiezza delle oscillazioni è, come detto, ridotta.

Il secondo test, eseguito su residui di spinacio, alimento zootecnico standard e mix vegetale animale (Salomone et al 2017)[50] ha mostrato una maggiore stabilità per il periodo di trattamento durato dal 31 gennaio al 18 febbraio. L'umidità media è stata del 65.9% mentre le medie giornaliere, per lo stesso parametro, sono oscillate tra 61.6% e 70.4%. Le temperature hanno fatto registrare una media di circa 29°C con medie giornaliere tra 28.8 e 29.4°C. In questa seconda prova si è misurato anche il consumo di energia elettrica necessaria al condizionamento della camera attraverso l'uso di un contatore PCE PA 8000. Il consumo complessivo, per il periodo di trattamento, è stato di 36.77 kWh. Tale risultato è assolutamente non in linea con la normale efficienza energetica di un sistema di bio-trattamento, basti pensare che per un totale di 290 g di larve fresche il consumo di energia elettrica è quasi tre volte superiore a quanto riportato da Salomone (2016)[50]. Per tali ragioni il dato di consumo energetico relativo al caso studio dello spinacio è stato ripreso dal suddetto studio.

Il secondo aspetto riporta i risultati del bio-trattamento su substrato e larve. Nello specifico sono stati testati: un pellet zootecnico per alimentazione di avicoli (Hf001), residuo di spinacio (Hf002) e un mix di residui vegetali ed animali (Hf003) costituito dal 65% di residui vegetali vari, per il 25% da residui amidacei come pasta e pane, per il 5% da residui animali grassi e per il restante 5% da altri residui misti. Tutte e tre le tesi sono state riprodotte in doppio. Anche in questo caso 1660 larve circa per replica (10.000 larve/m²) sono state alimentate con 22 mg per larva al giorno di alimento fino all'inizio dell'impupamento.

Tabella 24: Caratterizzazione chimico-fisica del substrato di alimentazione e del compost risultante dal bio-trattamento.

parametro	un	Hf001	Hf001(1/2) compost	Hf001(1/2) dev
Umidità	%	11.49	13.43	0.49
Ceneri	%	17.11	27.27	2.64
Carbonio	%	39.98	35.00	1.32
Idrogeno	%	4.78	4.02	0.09
Azoto	%	2.55	3.99	0.22
Ossigeno	%	35.59	29.72	1.45
		Hf002	Hf002(1/2) compost	Hf002(1/2) dev
Umidità	%	89.96	15.33	2.80
Ceneri	%	25.07	36.05	1.48

Carbonio	%	39.69	30.50	4.67
Idrogeno	%	4.95	3.50	0.42
Azoto	%	4.91	3.85	1.06
Ossigeno	%	25.38	25.35	4.60
		Hf003	Hf003(1/2) compost	Hf003(1/2) dev
Umidità	%	56.35	10.76	0.42
Ceneri	%	5.87	19.14	0.84
Carbonio	%	48.48	38.70	3.68
Idrogeno	%	6.73	5.58	0.45
Azoto	%	2.05	3.82	0.45
Ossigeno	%	36.87	28.48	1.52

Hf00x (1/2) indica la media per le due repliche per ogni tesi testata del compost prodotto dal bio-trattamento

Il trattamento è durato complessivamente 18 giorni. Al termine del periodo le larve hanno incominciato autonomamente a migrare in massa dal substrato, ormai completamente trasformato. I risultati (tabella 24) mostrano una generale riduzione dell'umidità ad eccezione del campione di pellet zootecnico che per effetto igroscopico acquisisce umidità dal sistema. Inoltre, per effetto di riduzione dell'umidità e del carbonio, aumentano le ceneri. Il rapporto carbonio/azoto si riduce per tutte e tre le tesi, per il pellet zootecnico passa da 15.6 a 8.7, per lo spinacio da 8 a 7.9 per il mix da 23.6 a 10. I risultati della caratterizzazione delle pre-pupe sono riportati in tabella 25.

Tabella 25: Caratterizzazione chimico-fisica delle pre-pupe.

Parametro		Hf001	σ	Hf002	σ	Hf003	σ
		larve		larve		larve	
Umidità	%	59.32	0.30	69.85	2.73	61.67	1.88
Ceneri	%	13.61	0.14	23.03	0.16	8.96	0.46
Carbonio	%	52.34	0.16	41.24	0.60	55.06	0.94
Idrogeno	%	7.32	0.05	5.38	0.02	7.83	0.12
Azoto	%	7.51	0.01	8.90	0.35	7.61	0.13
Ossigeno	%	18.76	0.36	20.61	0.14	20.05	1.31

Tabella 26: Bilanci di massa del bio-trattamento delle diverse matrici.

	Hf001	Hf002	Hf003
M iniziale larve+ sub (g)	32.5	32.5	32.5
M finale larve (g)	150.5818	29.1559	110.2393
n larve iniziale	1660	1660	1660
n larve finale	1495	857.5	1329.5
M iniziale substrato (g)	697.3	697.3	697.3
M finale substrato (g)	391.035	52.265	98.8
M media larve (g)	0.120139	0.082175	0.143602

I test condotti sui substrati Hf001 e Hf003 mostrano risultati simili tra loro (tabella 26). Il tasso di sopravvivenza è circa del 90 e 80 %, mentre nel caso dello spinacio è di gran lunga ridotto (50%). Anche la massa delle larve è notevolmente influenzata dal substrato. La massa media delle larve alimentate a pellet zootecnico è stata di 120 mg, quella delle larve alimentate con il mix vegetale e animale è stata di 140 mg, mentre nel caso dello spinacio la massa media delle larve non ha superato i 100 mg (82 mg). Per quanto riguarda il substrato di risulta, la tesi con spinacio mostra la riduzione più marcata pari al 92 % della massa iniziale; nel caso del mix la riduzione è stata comunque consistente attestandosi sull'85%, mentre nel caso del pellet zootecnico è risultata essere inferiore al 50% (44 %).

I dati riportati nelle tabelle 23, 24 e 25 sono stati quindi utilizzati per costruire un processo di gestione del residuo attraverso il software SimaPro. I dati relativi al consumo elettrico sono stati desunti da Salomone et al (2016) mentre il dato di emissione di anidride carbonica è stato definito attraverso il bilancio del carbonio, considerando tutto il carbonio non presente nelle larve o nel substrato come mineralizzato. Il valore di carbonio è stato poi riportato ad anidride carbonica moltiplicando per il rapporto dei pesi molecolari.

In tabella 27 è riportato l'impatto per una tonnellata di compost prodotto. La scelta di questa unità funzionale nasce dall'esigenza di operare poi un confronto con quanto riportato da Salomone et al (2016).

Tabella 27: Caratterizzazione dell'impatto di 1 tonnellata di compost prodotta dal bio-trattamento di *H. illucens L.* per il residuo di spinacio.

Categoria	unità	Totale
Abiotic depletion	kg Sb eq	4.3e-6
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	0
Global warming (GWP100a)	kg CO ₂ eq	88.7
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4.3e-6
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	3.37
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	0.0777
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.79e4
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.00249
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	0.0261
Acidification	kg SO ₂ eq	0.426
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	0.0234

I valori riportati sono paragonabili per alcune categorie a quanto riscontrato da Salomone, ad esempio la categoria di tossicità umana è pressoché identica. Nel caso di altre categorie l'ordine di grandezza è simile ma l'impatto da noi riscontrato è sensibilmente superiore. Si prenda ad esempio la categoria di riscaldamento globale, per la quale Salomone riscontra un impatto di 30.2 kg CO₂ eq., mentre nel caso studiato è di circa 88 kg CO₂ eq. Nel processo di bio-trattamento il substrato viene trasformato da processi aerobici paragonabili a quelli presenti nei processi di compostaggio. Ne risulta che il substrato residuo al bio-trattamento è assimilabile ad un compost e quindi, la sua produzione evita che lo stesso venga prodotto tramite processi standard. Per tale ragione, all'impatto di produzione dello spinacio andrebbe scontato l'impatto evitato della produzione di compost. Attraverso la soluzione dell'impatto evitato, l'impatto del kg di spinacio si riduce

rispettivamente del 33.99% e 34.70% per 2013 e 2014 (tabella 28) considerando gli impatti medi delle soluzioni A e B riportate in precedenza.

Tabella 28: Confronto impatto spinacio e impatto con prodotto evitato e considerando il bio-trattamento come Sistema di gestione dei residui.

FU 1 kg di spinaci surgelati al cancello aziendale. U.m. (kg CO ₂ eq/kg FU)				
Categoria di impatto	Anno di riferimento	Impatto medio per A e B	Impatto con prodotto evitato	
GWP 100yr	2013	0.75	0.49	-33.99%
GWP 100yr	2014	1.13	0.74	-34.70%

Tali risultati corrispondono all'incirca al valore di contribuzione del precedente sistema di gestione dei residui con un risparmio intorno all'1% sul GW. A tale impatto non è stato tuttavia scontato quello evitato dalla produzione di larve che possono sostituire alcuni mangimi proteici. Tuttavia, non disponendo di tali informazioni, non è possibile calcolare anche l'entità di questo secondo impatto evitato.

4. Discussione

4.1. Prodotti di I gamma

L'analisi di impatto per le piantine di insalata in vivaio ha mostrato comportamenti simili con alcune piccole differenze tra le quattro specie indagate. Tali differenze, riguardano il carico minore attribuibile alla scarola. Questo minore impatto è principalmente dovuto al ciclo di crescita più breve rispetto alle altre tre specie, tuttavia, poiché la durata del ciclo di coltivazione è soggetta a variazioni durante l'anno e le differenze sono molto limitate, possiamo considerare qualsiasi differenza relativa trascurabile. Considerando che, all'interno dell'intera filiera, l'impatto della piantina tende a perdere la sua evidenza poiché viene "mascherato" da materiali e processi utilizzati in momenti più prossimi alla produzione del bene finale che presentano impatti chiaramente più evidenti le suddette differenze possono essere trascurate. Il contributo dato dall'utilizzo del polistirene come materiale di supporto per la semina e la coltivazione è predominante anche considerando il fatto che lo stesso viene riutilizzato per due cicli di crescita in media. Il secondo processo in ordine di impatto è la produzione di tubi di PVC utilizzati per sollevare i vassoi dal terreno. Questo processo è il principale contributore per il "gruppo" di ecotossicità, ma contribuisce in modo rilevante anche in altre categorie come l'OD. La produzione di miscele di torba utilizzata come substrato per la semina è il terzo contributore. La torba ha un impatto sulle stesse categorie di impatto dei processi di estrusione dei tubi in PVC. Ciò potrebbe essere imputabile alla combustione per il riscaldamento di materiali termoplastici e alle attività di estrazione e relative emissioni per la torba. Per quanto riguarda le emissioni dirette, queste hanno un grande impatto su EP e FE riferibili rispettivamente all'applicazione di azoto, fosforo e pesticidi. Data la scarsità di studi LCA sulla fase di vivaio, e soprattutto sulla fase di vivaio per piante destinate all'orticoltura come le insalate, è possibile effettuare pochi confronti. Infatti, gli studi sull'argomento sono focalizzati su prodotti ad uso

ornamentale o forestale caratterizzati da una diversa durata del ciclo colturale e ancor di più da un diverso sistema di gestione come ad esempio coltivazione in pieno campo, diversi materiali per vasi e input di coltivazione [4]. Sulla base di queste disparità non trascurabili, qualsiasi confronto è impossibile. L'unico confronto possibile sarebbe con quanto affermato da Hospido et al. (2009) [12] per la propagazione delle piante di lattuga. Dai grafici inseriti nel suddetto studio la fase di nursery rappresenta circa il 10% del carico totale di produzione di lattuga sulla categoria del GW. Considerando il valore assoluto di 0,24 kg di CO₂ eq. calcolato per sistemi di serra non riscaldati, la propagazione delle piante produce 2,54e-2 kg di CO₂ eq. per 1 kg di lattuga. Considerando che una piantina dopo la coltivazione in pieno campo e la lavorazione potrebbe ragionevolmente produrre circa 1 kg di lattuga il valore medio indicato in questo studio (circa 2,5e-3 kg di CO₂ eq./piantina) risulta simile. Quanto esposto fin qui dimostra comunque quanto sia importante avere dati disponibili per specie differenti e sistemi di gestione differenti. Vale la pena sottolineare che altri processi che possono incidere ulteriormente sulla sostenibilità dei vivai, come il consumo di combustibili fossili per il riscaldamento [9], non sono stati considerati in questo studio, ma potrebbero essere attuali per le grandi imprese che producono piantine durante tutto l'anno [4].

Per quanto concerne le misure di mitigazione proposte per la produzione delle piantine tutte e tre mostrano evidenti vantaggi. Tuttavia, per due di queste l'applicabilità risulta affetta da problematiche non indifferenti. Nel caso della misura con sostituzione del mix di torbe con compost non è garantita la completa e soddisfacente crescita delle piantine, in quanto il compost potrebbe reprimere lo sviluppo delle plantule. Ciò, se verificato, comporterebbe una riduzione della produzione per aumento delle fallanze in emergenza o un allungamento del ciclo colturale per raggiungere l'adeguato sviluppo per il trapianto. Tali differenze potrebbero comportare anche un aumento di uso di fertilizzanti e prodotti fitosanitari. Nel caso della sostituzione del sistema di semina, il vantaggio ambientale deriva dalla maggiore vita utile dei supporti alla crescita (cassette in polietilene). In questo caso però ad essere affetta è la sostenibilità economica e tecnica. L'acquisto del sistema di semina a cubi di torba comporta investimenti di diverse decine di migliaia di euro mentre dal lato tecnico si deve considerare che le piantine nelle cassette sono libere di muoversi e nella fase di trapianto, nella quale i vassoi sono posti inclinati di fronte all'operatore, rischiano il rovesciamento. L'ultima misura di mitigazione proposta rappresenta un buon connubio tra sostenibilità e fattibilità. La sostituzione dei vassoi a foro tronco-conico con quelli a foro tronco-piramidale comporta una riduzione del quantitativo di polistirene utilizzato (da 160g a 130g per vassoio da 170 piantine) e un aumento del 19% del quantitativo di torba (per aumento del volume interno degli alveoli). Essendo il polistirolo il primo contributore e la torba il terzo, la riduzione del primo è comunque superiore all'aumento del secondo in termini di impatto. Dal lato tecnico-economico il vassoio a foro tronco-piramidale comporta un leggerissimo aumento di costo (relativo all'aumento del quantitativo di torba utilizzata) ma nessuna modificazione in termini di tecnica di semina, coltivazione o trapianto. Allo stato attuale nessuna delle tre misure è stata testata dall'azienda.

Per quanto riguarda le insalate, la differenza di impatto riscontrata tra le diverse specie risiede soprattutto nella differente resa in fase di processamento. L'indivia riccia presenta il livello di impatto maggiore data la scarsa produttività, mentre cicoria rossa e pan di zucchero, in ragione del loro habitus di crescita, presentano rese più elevate e quindi impatti più contenuti. L'unica altra differenza risiede nella presenza degli elastici in gomma naturale per scarola e indivia riccia (che

tuttavia generano un impatto trascurabile). La fase di coltivazione e trasporto del materiale grezzo presentano l'impatto maggiore su quasi tutte le categorie considerate per la lavorazione di prima gamma. I trasporti in particolare hanno un impatto considerevole in ragione del fatto che vengono necessariamente utilizzate numerose tare e che la distanza tra siti produttivi e impianto di processamento è spesso molto elevata. Per questa fase non è stata proposta nessuna misura di mitigazione poiché la distanza e le tare di trasporto servono per garantire approvvigionamento di prodotto tutto l'anno (con coltivazione nelle aree vocate) e per evitare che nel trasporto lo stesso prodotto subisca danni tali da ridurre la resa in trasformazione. Per quanto riguarda l'applicazione delle misure di mitigazione aziendali (impianti fotovoltaici e di digestione anaerobica) esse hanno dimostrato ampiamente di essere in grado di ridurre l'impatto delle produzioni agro-industriali, anche se applicate su fasi con impatto secondario. Infatti, un efficiente uso dell'energia e l'uso di energie rinnovabili sono sì efficaci ma lo sarebbero di più se applicabili e applicate al settore agricolo e dei trasporti (laddove questi ultimi siano poco efficienti). Volendo mettere in relazione i due studi fin qui discussi, la fase di vivaio all'interno dell'intero processo di lavorazione di prima gamma rappresenta l'11,8%; 3,4%; 7,3%; 7,4%; 0,7%; 6,1%; 1,2%; 2,4%; 1,7%; 4,5% rispettivamente su AD; AC; EP; GW; OD; HT; FE; ME; TE; PO, percentuali in linea con quanto riscontrato in altri studi [12].

4.2. Prodotti di III gamma

L'impatto della produzione di fagiolino surgelato sulle varie categorie selezionate deriva dalle diverse attività e processi in relazione a materiali, energia ed emissioni che si verificano nella filiera produttiva. Ad esempio, per la categoria di riduzione delle risorse abiotiche (ADP), la fase con maggiore impatto è quella di coltivazione poiché in questa viene consumata la maggior parte dei materiali impiegati. La fase di processamento industriale invece impatta maggiormente per la categoria di riduzione delle risorse abiotiche relativa ai combustibili fossili (ADP fossil) a causa dell'ingente uso di gas naturale ed elettricità impiegati. Per le altre categorie, l'impatto è distribuito in maniera più o meno uniforme tra due o tre fasi (coltivazione, processamento e gestione dei residui). Ad esempio, per le categorie EP, HTP e FEP la fase più impattante è la coltivazione, ciò a causa dell'uso di fertilizzanti e agrofarmaci e loro emissioni. In altri casi, nei quali a pesare è uso ed emissione da combustibili o energia in generale, la fase industriale presenta maggiore impatto, ciò per le elevate esigenze delle operazioni di movimentazioni lungo linea, scottatura e congelamento. Risulta evidente alla stessa maniera il ridotto impatto della fase di trasporto del materiale grezzo. La scelta dell'azienda di coltivare in aree prossime all'impianto, per ragioni economiche e tecnologiche di qualità del prodotto, ha indirettamente determinato sull'intera filiera una riduzione del contributo della fase di trasporto a livelli trascurabili per quasi tutte le categorie. Dal punto di vista del confronto con la letteratura è possibile reperire studi sulla produzione di fagiolino in pieno campo e sotto apprestamenti protetti [29], per diversi sistemi di gestione colturale (in agricoltura convenzionale, biologica o integrata) e per diverse cultivar [27]. Per tutte queste esperienze, che considerano soltanto la fase colturale, è possibile stabilire un confronto con l'impatto calcolato nel caso studio esaminato. Meno numerosi sono gli studi relativi alla fase di trasformazione [30]; comunque, i risultati ottenuti nel presente studio sono pienamente confrontabili con quanto riportato in letteratura. Il confronto tra le due diverse soluzioni di trattamento fitosanitario mostra come la semplice sostituzione degli agrofarmaci può rappresentare una soluzione efficace nel

ridurre l'impatto (su alcune categorie) senza influenzare la normale gestione della coltura o rappresentare una criticità per la sostenibilità economica della filiera.

I risultati di impatto della produzione di spinacio surgelato si prestano alle stesse considerazioni già proposte per il fagiolino. La fase che presenta il maggiore impatto è rappresentata dalla coltivazione, per quasi tutte le categorie considerate. Anche la gestione dei residui rappresenta una voce importante per alcune categorie. Ciò in ragione del fatto che questi rappresentano circa il 40% del prodotto grezzo e che gli stessi vengono smaltiti tramite digestione anaerobica in impianti distanti dall'azienda. La fase industriale, invece, presenta un impatto importante per le categorie connesse a produzione ed uso di energia a causa dell'elevato consumo della stessa sotto forma di elettricità e gas naturale. Il confronto tra le due soluzioni di fertilizzazione presenta dei vantaggi evidenti per la soluzione B (sia per 2013 che 2014) per le categorie connesse a questo specifico aspetto della coltivazione, ovvero GWP, AC e EP. Ciò in ragione del quantitativo di azoto e fosforo distribuito ma anche dei fattori di emissione applicabili in relazione alla forma chimica del fertilizzante. Il confronto tra i due anni invece mostra un impatto maggiore per il prodotto 2014 a causa di una minore efficienza di trasformazione e un maggiore uso di energia per unità di prodotto. Considerando per i residui un sistema alternativo di gestione, rappresentato dal bio-trattamento con *H. illucens L.*, le simulazioni mostrano un impatto paragonabile a quello attuale, non esisterebbe quindi alcun vantaggio ambientale nella sua applicazione. Tuttavia, va detto che attualmente il settore di mercato delle larve adulte di questo insetto è costituito in larga parte dagli alimenti per animali da compagnia, con ricavi della vendita al dettaglio pari a 35-40 euro/kg. Il bio-trattamento potrebbe quindi costituire una potenziale forma di incremento di fatturato per l'azienda, ancor più conveniente se si considera che attualmente la gestione dei residui rappresenta un costo.

5. Conclusioni

5.1. Prodotti di I gamma

L'analisi di impatto ambientale condotta per la produzione di piantine di insalata in vivaio ha mostrato come il maggior impatto sia dato dall'uso di polistirene espanso, utilizzato come supporto di semina e crescita delle piante, e secondariamente dal PVC in tubi quadrangolari utilizzati per sollevare e spaziare i vassoi al suolo. In accordo con altri studi su argomenti simili (Cambria et al 2011), il consumo di energia (elettrica) per questa fase è trascurabile ed influisce limitatamente sull'impatto finale. Contrariamente, l'impatto derivante dalle emissioni di agrofarmaci e fertilizzanti contribuisce significativamente al carico ambientale totale della filiera. Considerando la carenza di studi simili in letteratura su materiale di propagazione ad uso orticolo alimentare, i risultati ottenuti potrebbero essere utili come input per altri studi su prodotti di I e IV gamma a base di insalate. Stabilito l'impatto dei materiali plastici e termoplastici e secondariamente anche del substrato di crescita, future misure di mitigazione dovrebbero riguardare la riduzione o la sostituzione di tali materiali. Ulteriori studi sarebbero necessari anche per valutare l'impatto energetico e ambientale di altre specie di interesse orticolo. Le misure di mitigazione proposte per la fase di vivaio evidenziano come il rapporto tra diverse dimensioni della sostenibilità possano influenzare in maniera sostanziale l'applicazione e l'applicabilità delle stesse. Il termine sostenibilità infatti viene spesso impropriamente utilizzato come sinonimo di sostenibilità ambientale tuttavia, le dimensioni

della sostenibilità abbracciano anche la sfera sociale ed economica. La decisione di intraprendere o meno un percorso virtuoso dal punto di vista ambientale per un'azienda dipende frequentemente dal costo delle misure in rapporto al guadagno in termini di marketing, ma soprattutto dal vantaggio economico nel breve e medio termine. Sulla base di queste valutazioni le misure più efficaci sono quelle basate sulla riduzione o sostituzione (in parte o del tutto) dei materiali che presentano maggiore impatto. Mentre la radicale sostituzione dei sistemi potrebbe comportare costi troppo elevati per le aziende.

5.2. Prodotti di III gamma

L'analisi effettuata per il fagiolino ha mostrato come l'impatto maggiore derivi dalla fase di coltivazione e dall'uso di energia. L'applicazione di alternative alla normale gestione dei trattamenti fitosanitari ha mostrato un'apprezzabile riduzione di impatto senza influenzare eccessivamente la tecnica colturale. Considerando il fatto che le filiere che producono beni alimentari in Italia e nei paesi industrializzati appartengono ad un tessuto agro-industriale anche il consumo di energia rappresenta una importante voce di impatto. Una delle azioni di mitigazioni più diffuse in tal senso è rappresentata dall'uso di energia da fonti rinnovabili. Per ragioni tecniche o legate a politiche di tutela del territorio (per Promarche limitante per l'adozione di impianti per la produzione di energie da rinnovabili quali impianti a biogas è la prossimità al parco della Sentina) l'applicazione delle stesse è spesso inibita. La stessa valutazione è valida per la gestione dei residui che rappresentano un problema ambientale spesso non indifferente che se opportunamente affrontato può rappresentare anche una fonte di guadagno. Dal confronto con altri studi è emersa la totale assenza di analisi riguardo il processamento industriale mentre la fase di produzione agricola è ben rappresentata. L'impatto del presente studio è paragonabile a quello deducibile da letteratura con alcune differenze. Ad esempio, per quanto riguarda la categoria di Abiotic depletion (che quantifica la riduzione di risorse materiali), la differenza nell'incidenza degli impatti deriva dall'includere o meno eventuali beni infrastrutturali nell'analisi (serre, sistemi di irrigazione, etc.). Alcuni autori infatti identificano nei beni infrastrutturali uno dei maggiori contributori all'impatto per alcune delle categorie più importanti sebbene sia spesso difficile quantificare sia l'ammontare del bene stesso sia la sua vita utile, informazioni essenziali per relazionare il materiale all'unità funzionale scelta.

Le considerazioni fatte sul caso studio del fagiolino possono essere fatte anche per lo spinacio. L'impatto della coltivazione, energia e gestione dei residui rappresentano le voci di maggiore interesse. Il confronto tra prodotto 2013 e 2014 ha mostrato come l'efficienza di produzione e trasformazione possa influenzare sensibilmente l'impatto finale. Il confronto tra le due soluzioni di fertilizzazioni ha evidenziato come ad influire sull'impatto non sia soltanto il quantitativo di fertilizzante distribuito ma anche la forma chimica dello stesso (per quanto riguarda l'azoto) e i relativi fattori di emissione selezionati.

Infine, il sistema messo in atto per testare l'attitudine di *Hermetia* al bio-trattamento dei residui di trasformazione ha dimostrato stabilità nella gestione dei parametri ambientali. Il sistema di misura e acquisizione dei dati basato su dispositivi semplici e poco costosi ha evidenziato una buona capacità di registrazione. Lo stesso sistema presenta delle interessanti potenzialità nella possibilità di registrazione stand-alone, attraverso l'uso di schede SD, e di misura di ulteriori parametri,

attraverso la connessione di ulteriori sensori (misura CO₂, NH₃). Il bio-trattamento dei residui di spinacio ha fatto registrare prestazioni ambientali paragonabili agli attuali sistemi di gestione dei residui con il vantaggio che il bio-trattamento, oltre a trasformare il residuo in compost stabile, produce larve e pupae di mosca soldato nera ad elevato valore aggiunto utilizzabili per alimentazione animale.

6. Allegato 1 (Full Paper)

Int J Life Cycle Assess (2018) 23:800–810
DOI 10.1007/s11367-017-1341-8

Energy and environmental sustainability of nursery step finalized to IV gamma salad production by means of LCA

Alessio Ilari¹, Daniele Duca¹.

¹ Department of Agricultural, Food and Environmental Sciences, Marche Polytechnic University, Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italy.

Daniele Duca corresponding author: d.duca@univpm.it.

Abstract

Purpose: In the agro-food industry, related to the horticultural sector, promising products are the ones called “ready to eat”, “ready to use”. Fresh processed vegetables, belonging to the IV gamma products, are considered barely treated and potentially more sustainable than frozen ones. The principal aim of this study is assessing the environmental impact of nursery step for seedlings production, commonly included in the vegetable chain production in Italy and other countries.

Methods: The study was conducted following ISO standards on life cycle assessment (14040, 14044) with a “cradle to nursery gate” approach. Data for inventory analysis have been detected throughout surveys, questionnaires and direct measurements. In more details materials used for structures, energy and mass flows have been considered. The seedling process has been divided into three sub-phases in order to facilitate the elaboration and allows an easier use of the results. The functional unit selected was one small plant in polystyrene tray (170 holes); this choice is due to a requirement of repeatability and comparability of the analysis outcomes. Calculation method selected is the CML 2 baseline 2000 v. 2.05 with the related impact categories.

Results and discussion: Results show that the four species have a comparable environmental load. Differences among the different impact categories are lower than the 30% excluding eutrophication for escarole (-56%) with respect to sugarloaf chicory. Species that presents the lowest impact is Escarole. This is probably due to the shorter cultivation cycle. Thermoplastic and plastic materials and their production, substrates extraction and direct emissions are the main contributors affecting the environmental sustainability of seedlings production.

Conclusions: Consistently with other studies on similar research topic, energy consumption, such as electricity give a load of little relevance. The nursery step taken into account contributes to the total load of cultivation in open field in percentages ranging from 0.7% to 11.8% so it could be a relevant contributor inside the whole production chain. Further studies regarding the evaluation of alternative production system with a lower use of plastics and thermoplastics will be useful.

Keywords

Curly endive, Endive escarole, Sugarloaf chicory, Red chicory, Food, Polystyrene tray container, Mixed salad.

Introduction

Since the early 90', the problem of sustainable development has been pivotal. The goal of energy and environmental sustainability has become primary not only for governments or for institutions but also for enterprises which main purpose is the costs minimization strictly related to the efficient use of energy and material resources. In addition, the dimension of the objective shifted to a global level. Proofs are the numerous initiatives activated and funded at all levels (European Commission 2014; Marche region 2014). Within human activities, agriculture plays a primary role in producing raw materials and foodstuffs, but many crops leans on use of pesticides and fertilizers to obtain high productivity (Margni et al. 2002). In particular, horticulture is considered as an intensive user of resources. The intensive use of soil and cultural inputs in concentrated space and time may affect negatively the environmental sustainability of such crops (Wainwright et al. 2014). In 2011 the world harvested area dedicated to vegetable crops was about 58 Mha, accounting for 13.6%, 6.7%, 71.8%, 7.6%, 0.3% for Africa, Americas, Asia, Europe, Oceania respectively (FAOSTAT 2016). In Italy the total area devoted to horticultural products was about 456000 ha mostly for open field production (ISTAT 2016). Salads and greens are mainly used for IV gamma products production belonging to two crop groups, endive and chicory together representing, in 2011, about 6% of horticultural products in terms of cultivated area and 4% in terms of yield (ISTAT 2016). During the last years, many studies were conducted about the environmental load of salads, considering different steps of the production chain and using different impact categories for life cycle assessment (LCA). Many of them assessed the production step of raw material (Hospido et al. 2009; Saarinen et al. 2012; Romero-Gamez et al. 2014;

Foteinis and Chatzisyneon 2016; Fusi et al. 2016). Other authors included transports to retail market or processing plants (Hospido et al. 2009, Gunady et al. 2012, Fusi et al. 2016). In addition, some studies have been carried out taking into account the step of fresh material processing, finalised to IV gamma productions (Saarinen et al. 2012; Fusi et al. 2016). Other studies focused on processing impact and in particular on the role of packaging (Pagani et al. 2015). Impact categories considered are mainly: global warming (GW), fossil depletion (FD), terrestrial and potential acidification (TA and PA), freshwater-marine and potential eutrophication (FE, ME, PE), human toxicity (HT), terrestrial, marine and freshwater ecotoxicity (TE, ME and FE), ozone depletion (OD), photochemical oxidant formation (POF), and water depletion (WD), abiotic resources (AR). LCA methodology was used in recent years to assess the environmental burden of vegetable food products comparing different crop systems (Foteinis and Chatzisyneon. 2016), fertilizer input (Martínez-Blanco et al. 2011; Hasler et al. 2015) or cultivation systems (Muñoz et al. 2008; Romero-Gómez et al. 2009) over the entire life cycle. On the contrary, the knowledge regarding the nursery step aimed to the production of transplanting material for horticultural crops remains insufficient. It is possible to find information about the sustainability evaluation of nurseries finalized only to ornamental plants, tree and shrubs production (Russo and De Lucia Zeller 2008; Cambria and Pierangeli 2011; Beccaro et al. 2014). These studies are “cradle to nursery gate” oriented and their life cycle inventories consider flow resources (electricity, fertilisers, pesticides and other consumables), equipment and structures. The functional unit (F.U.) considered for ornamental and forest nursery production depends greatly on the production system. For nurseries with open field cultivation system the way to better understand the environmental impact is considering as F.U. a surface unit (ha, m²) (Lazzerini et al. 2014). In pot cultivation or generally cultivation in containers, F.U. are set on production unit (Kendall and Gregory McPherson 2012). A nursery is a primary system, providing materials used in secondary areas of production such as horticulture (Beccaro et al. 2014), and it represents the first step in many horticulture productions, both in field or under protected structures. Due to the lack of specific studies on nursery step finalized to horticultural crops, the primary aim of this work is to evaluate the environmental and energetic load of 1 production unit (1 seedling) of escarole, curly endive, red chicory and sugarloaf chicory produced under greenhouse, using polystyrene trays as support for growing and handling. The goal is also to provide other researchers of reliable data about the zero point of chain production for the most of horticultural products in Italy and other countries in the world. Assessing the impact of representative realities at a reduced scale also means to have a useful information scalable to a greater size.

Methods

For this case of study, the nursery cultivation stage of escarole, curly endive, red chicory and sugarloaf chicory has been assessed following the ISO standard 14044:2006 guidelines.

1. Industry and nursery description

The enterprise in which this study was carried out is placed in Fermo district (Marche region) **43°16'47.0"N 13°43'20.9"E**, Italy. It operates in the horticultural sector since the early 80'. It is specialized in different kind of salads open field production and processing. To overcome the necessity of propagation and transplanting material the enterprise is equipped with a nursery. It is composed by three different structures: first one regarding seedling activity carried out with a seeder line (Urbinati lambda) with a time capacity of 650 polystyrene trays per hour; a germination chamber; and greenhouses. The total greenhouse area is wide about 4100 m² and is composed of 10 greenhouses each 50 m long and 8 m large. Galvanized iron poles (21 poles, 4-6 cm outer diameter) compose the bearing structure. Each pole is 3.25 m long of which 85 cm are incorporated in a concrete block (0.20 m³). On the sum of each pair of opposite poles is inserted a curved iron rod that constitutes the roof structure together with a transversal circular bar (2.5 cm of diameter, 50 m long) which combines the various elements. The fronts present two vertical poles 4.35 m long and two other 4.70 m long. The greenhouse cover consists of low-density polyethylene film (LDPE) 200 µm thick and 670-690 m² wide. The irrigation system is made of three HDPE lines 2.5 cm of diameter, 51 m long. Four PVC joints and three HDPE tubes one inch large connect the lines. Each line has 86 attach points for sprinklers. Each sprinkler, made of PVC, is suspended by a rubber connection 8 mm thick and 105 cm long. The basal surface is divided into two parts by a concrete walkway (90 cm wide and 15 cm deep) where the polystyrene trays are lying. This surface is covered with a polypropylene anti-algae and mulching sheet (dimensions 3.25x50 m and 3.88x50 m; weight 100 g/m²). Mulching sheets are held with 230 small iron rods. In 2015 (reference year) the total seedlings production was 17.08 million of which 16.95 million belonging to the four species considered in this study. escarole production represents 60.41%, red chicory 19.47%, curly endive 16.38% and sugarloaf chicory 3.24%. The related cultivation area was about 304 hectares.

2. Goal and scope, system boundaries and process description

2.1. Goal

Goal of the study must be defined as answer to the following questions (ISO 2006): what is the intended application; what are the reasons for carrying out the study; who is the intended audience; how and for what the results will be used?

In this case, expected applications regard the sector of salad and many other horticultural products. In Italy and other countries (Ito 1992, Herrera et al. 2008), seedling cultivation represents the more reliable method for ensuring the proper growing of horticultural species. It is also the starting point of vegetables agro-food industries and represent the base for hobby farming. Two are the reasons to carry out the study: firstly, to produce a basic information useful as starting point for the analysis of the whole production chain; secondly, to fill a lack of knowledge about a fundamental step for horticulture. Some authors left outside the system boundaries the seedlings germination (Foteinis and Chatzisyneon 2016) probably because there was no information available. Although, in specific datasets for LCA (Weidema et al. 2013) already exist seedling processes they have been produced from US companies so they do not represent the European system. Furthermore, the mentioned processes consider only tree seedlings production. Potential users for this study are researchers and enterprises to which this study could be useful as comparison information, starting point for other assessments and hint of thinking to improve environmental and energetic sustainability of greenhouse seedlings production.

2.2. Process description

IV gamma production process: The comprehensive production process taken into account consists of six steps. First of all, there is the nursery step, divided into three different activities: sowing; germination; greenhouse growing. After the sowing the polypropylene trays were stored into a germination chamber for about 48 hours at 22-25°C and high relative humidity, and finally were spaced into the greenhouses over square tubular PVC supports (2 each tray row) for a variable period between 20 and 35 days (depending from the growing rate). The second step is the transportation of trays in the area dedicated to cultivation. Trays were loaded on iron charts (50 for each chart) and transported by trucks to the transplanting site. The third step is cultivation; seedlings were transplanted in rows with variable density according to the species (from 48000 to 85000 p/ha). Cultural cycle took in average 95 days. The fourth step is transport to plant of raw material: from the collection yard the bins or small crates were loaded, by a tractor, on the truck. Each bin can contain about 100 kg, each crate 10 kg. The load of raw material was transferred to the processing plant for the next elaboration. The fifth step consists in I gamma processing: after a temporary storage not exceeded 2 days in cooled chamber the tufts were manually processed to eliminate the external leafs and root collar; afterwards they were washed and spaced into plastic crates. The sixth step consists in IV gamma processing starting from I gamma products or raw tufts: the material was sorted, sectioned and washed/sanitised three times than rinsed, dried, weighted/dosed, packed and stored until the transport to markets.

2.3. System boundaries and steps description

As described in figure 1 the system boundary selected for this study consists in seedlings production step that can be divided into three sub-steps: 1. sowing; 2. germination; 3. greenhouse growing.

1. The sowing process is the first necessary step of salad open field production. Most common support material for sowing is represented by polystyrene shaped trays with variable number of cavities (the considered enterprise uses only 170 cavities trays, 0.52x0.33x0.06 m). This sub-step could be described as follows. The polystyrene trays are loaded piled into a controlled release system on the seeding line allowing for a regular and pre-set release. At the same time, the peat mix is overturned into a hopper with a bottom mixer that breaks the lumps excessively large and thanks to a belt loader, the substrate is loaded into the filling hopper. Thanks to a bucket elevator, the peat mix is overturned above a rotor that distributes the substrate inside the cavities. After the filling process, a spiked roller forms a dimple on the substrate of each cavities and another roller deposits the seeds retained by a pneumatic aspiration system. The seeds are subsequently covered with a vermiculite layer and then watered.
2. Optimal temperature for germination of endive and chicory ranges from 21 to 25°C (Tzortzakis 2009). Germination sub-step consists in a temperature and humidity controlled period not exceeded 48 hours. In this step seeds complete the imbibition and starts the germination process emitting the roots and the first two leaves. Considering that the seedlings production is concentrated in the spring and summer months the energy consumption, for this sub-step, is negligible and was not taken into account.
3. Last sub-step is greenhouse grow of seedlings. The total growing period takes in average 28 days for escarole, 32 days for curly endive, red chicory and sugarloaf chicory. The time mentioned above could be subjected to reduction or increase depending on the environmental temperature. The cultivation cycle is shorter in June, July and August and longer in March, April, September and October. The growing step is finished when the seedlings have reached the stage of four real leaves that coincides with the best size for transplanting. This step begin with the transfer of sowed polystyrene trays from germination chamber to greenhouses. The trays are placed on square tubulars that rise them from the soil surface covered with a mulching sheet. About 5 and 10 days after emergence the seedlings were fertigated with a solution 0.8-2.0 g/l of a mineral water soluble fertilizer NPK 10-50-12. After 15 days, the seedlings were fertigated with a soluble fertilizer NPK 20-20-20 with the same solution rate. Plant protection treatments were applied 7 and 14 days after sowing and exceeded the threshold of intervention. Four active ingredients were used with different dilution rate: Propamocarb, for Pythium prevention; Copper for control of blight and bacterial disease, Deltamethrine for aphids control and Abamectine for thrips.

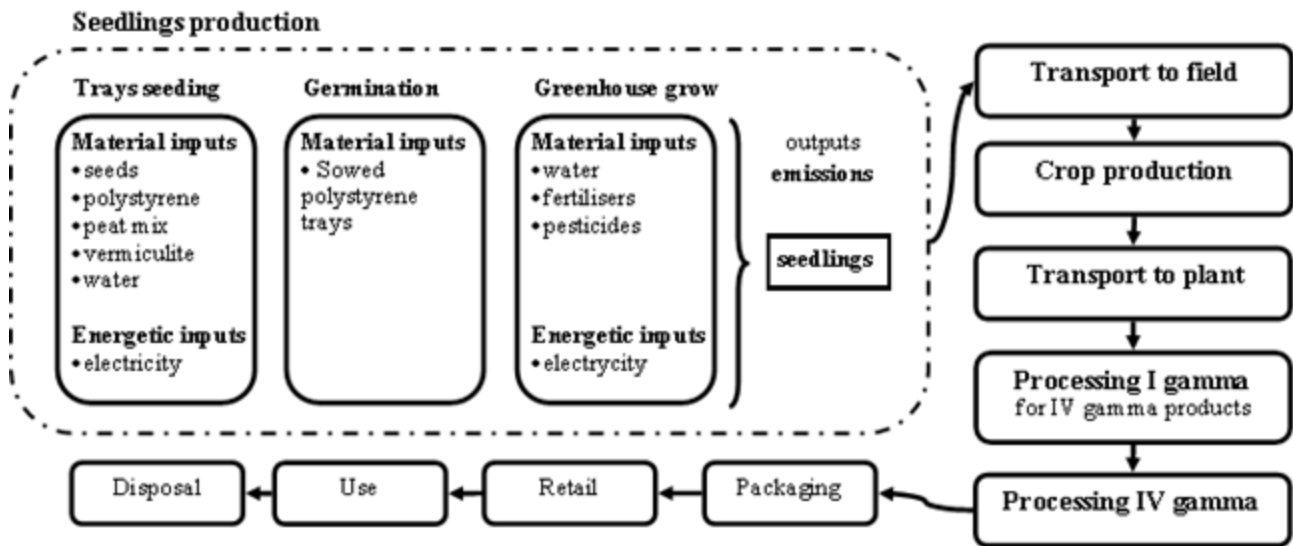


Figure 1: Process of production for IV gamma fresh salad products, highlighted with dashed line the system boundaries of this study (greenhouse seedlings production).

3. Functional unit

Functional unit in LCA studies has a key role and its choice have to follow precise criteria and satisfy the exigence of comparability with alternative and different products (ISO 2006). Although FU can be set as surface unit (Antón et al. 2014; Lazzarini et al. 2016), weight unit (Bacchetti et al. 2015) or in other ways (Riva et al. 2013), the principal good that comes from nurseries activities is usually identifiable with an integer of product. Whether it is intended wood/forest, ornamental or horticultural chain, the single plant produced represents the minimum unit to which the production can be referred. According to this last consideration and to other authors (Cambria and Pierangeli 2011; Ingram 2013) the FU in the present paper was set as one seedling (coming from a tray with 170 seedlings).

4. Life cycle inventory data

Two different types of inputs have been considered: capital goods that comprise all infrastructural goods and materials that are used for several cycles up to their deterioration (mainly greenhouses, seeding line, germination chamber); consumables that are represented from all material and energy flows entering in the production process at each cycle (mainly electricity, fuels, substrates, water, chemicals, seeds). Some authors exclude from the evaluation the capital goods with too long average lifespan (Cambria and Pierangeli 2011). In our work, also these latter were considered. The representation of such goods, referred to the FU, is reported in the life cycle inventory (LCI). LCI of greenhouse capital goods are shown in table 1; all “consumables” inputs are shown in table 2 (here reported only for escarole as an example).

Component	Material	Unit	Amount ¹	Lifespan (years)	Dataset
Greenhouse structure	Galvanized iron	kg	4.7E-03	≈20 (Cambria et al. 2011)	USLCI
	Iron rods	g	7.9E-02	≈20 (Cambria et al. 2011)	USLCI
	Concrete	kg	1.2E-01	≈20 (Cambria et al. 2011)	Ecoinvent 3
Irrigation system	LDPE film	g	4.1E-01	2.75-3.75	Industry data 2.0
	HDPE pipelines	g	1.2E-01	10 (Cambria et al. 2011)	Industry data 2.0
	PVC sprinklers	g	2.1E-03	5 (Cambria et al. 2011)	Industry data 2.0
	Rubber tubes	g	2.5E-02	10	Ecoinvent 3
Spacers	PVC spacers	g	1.9E-01	10	Industry data 2.0
Mulching	Polypropylene sheet	g	1.1E-01	6 (Beccaro et al. 2014)	ELCD

¹Calculation based on lifespan of considered material and the production rate for single species, the amount indicated is the average of four species considered for production rate see chapter Method – Industry and nursery description.

Table 1: LCI capital goods of one seedling in polystyrene tray (170 plants) 1920 trays per greenhouse.

Step/inputs	unit	Escarole	Curly endive	Red chicory	Sugarloaf chicory	note	database
Seeding							
Polystyrene trays	g	0.5	0.5	0.5	0.5	2 cultivation cycles	ELCD
Peat mix	g	8.9	8.9	8.9	8.9		Ecoinvent 3
Vermiculite	g	0.2	0.2	0.2	0.2		Ecoinvent 3
Seed	mg	1.6	1.6	1.5	1.5		Ecoinvent 3
Water	L	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02	CAS 007732-18-5	
Electricity	kWh	7.69E-05	7.69E-05	7.69E-05	7.69E-05		Ecoinvent 3
Germination							
No input							
Growing							
Electricity	kWh	2.70E-05	2.70E-05	2.70E-05	2.70E-05		Ecoinvent 3
Water	L	0.58	0.66	0.66	0.66	CAS 007732-18-5	
Fertiliser ammonia	N-mg	0.39	0.39	0.39	0.39		Agri-footprint
Fertiliser N-nitric	mg	0.08	0.08	0.12	0.12		Agri-footprint
Fertiliser N-ureic	mg	0.30	0.30	0.30	0.30		Agri-footprint
P ₂ O ₅	mg	2.52	2.52	2.52	2.52		LCA Food DK
K ₂ O	mg	0.81	0.81	0.81	0.81		LCA Food DK
B	mg	9.50E-04	9.47E-04	9.48E-04	9.50E-04		Ecoinvent 3
Mo	mg	4.19E-04	4.27E-04	4.24E-04	4.25E-04		Ecoinvent 3
Cu chelate	mg	6.82E-04	6.80E-04	7.12E-04	6.83E-04		Ecoinvent 3
Fe chelate	mg	5.89E-03	5.89E-03	5.88E-03	5.89E-03		Ecoinvent 3
Mn chelate	mg	2.94E-03	2.94E-03	2.94E-03	2.94E-03		Ecoinvent 3
Zn chelate	mg	3.54E-04	3.53E-04	3.56E-04	3.55E-04		Ecoinvent 3
Propamocarb	mg	2.20E-01	2.20E-01	1.10E-01	2.20E-01	CAS 025606-41-1	Ecoinvent 3
Copper sulphate	mg	1.18E-01	1.18E-01	1.18E-01	1.18E-01	CAS 001344-73-6	Ecoinvent 3
Deltamethrine	mg	7.62E-04	7.33E-04	7.60E-04	7.50E-04	CAS 052918-63-5	Ecoinvent 3
Abamectine	mg	9.19E-04	9.33E-04	9.12E-04	9.25E-04	CAS 071751-41-2	Ecoinvent 3
emission to air							
Propamocarb	mg	2.20E-02	2.20E-02	2.20E-02	2.20E-02		
Copper sulphate	mg	1.18E-02	1.18E-02	1.18E-02	1.18E-02		
Deltamethrine	mg	7.62E-05	7.33E-05	7.60E-05	7.50E-05		
Abamectine	mg	9.19E-05	9.33E-05	9.12E-05	9.25E-05		
emission to water							
Propamocarb	mg	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02		
Copper sulphate	mg	5.88E-03	5.88E-03	5.88E-03	5.88E-03		
Deltamethrine	mg	3.81E-05	3.67E-05	3.80E-05	3.75E-05		
Abamectine	mg	4.60E-05	4.67E-05	4.56E-05	4.63E-05		
emission to ground							
Nitrogen	mg	7.99E-02	7.99E-02	8.43E-02	8.43E-02	CAS 007727-37-9	
Phosphate	mg	7.45E-01	7.45E-01	7.45E-01	7.45E-01	CAS 014265-44-2	
Potassium	mg	1.58E-01	1.58E-01	1.58E-01	1.58E-01	CAS 007440-09-7	

Table 2: LCI of the three sub-steps of seedling production included emissions of fertilizers and pesticides.

4.1. Origin and data quality, emissions calculation methods

Primary data were collected by interviews, surveys, direct measurements and elaboration of enterprise datasets and documents. The information about greenhouse capital goods were provided by the enterprise and collected by direct survey. Fertilizer and pesticide amounts have been taken from mandatory documents drafted by the enterprise responsible. Peat mix, polystyrene, seeds and vermiculite amounts have been directly measured. Water and electricity for sowing step have been calculated starting from information provided from the responsible of nursery production.

Secondary data were collected from literature. Water consumption for greenhouse step was taken from Bailey et al. (1999). Data regarding emissions linked to fertigation have been assessed according to Antón (2004), due to the absence of a recover/reuse system for water, the only emission considered is leaching into ground compartment. Calculation of pesticides emission has been made on the basis of what stated from Margni et al. (2002). In this last case, emission in ground was not considered because the greenhouse production taken into account does not involve the use of “soil” but in the use of polystyrene trays, upon which part of the applied active ingredients stay on. The ground emission of pesticides avoided in this stage could be included in the subsequent stage of open field cultivation.

5. Assumptions and impact assessment method

The seeder line machine were excluded from every consideration because of lack on information about its useful life and the relationship between the different components constituting it. Impact assessment methodology selected is CML 2 baseline 2000 V2.05. Impact categories taken into account are: Abiotic depletion (AD); Acidification (AC); Eutrophication (EP); Global warming (GW 100yr); Ozone layer depletion (OD); Human toxicity (HT); Fresh water aquatic ecotoxicity (FE); Marine aquatic ecotoxicity (ME); Terrestrial ecotoxicity (TE); Photochemical oxidation (PO). All these choices are made to ease the comparison with results of other studies (Cambria and Pierangeli 2011).

Results

Results were reported firstly for single product and lastly for all the products according to the assessment method chosen for comparison purposes. Materials and processes with a relative influence lower than 10% were not highlighted in comments. Absolute total impact results are reported in table 3.

Impact category ¹	Unit	Escarole	Curly endive	Red chicory	Sugarloaf chicory
AD	kg Sb eq	2.47e ⁻⁵	2.68e ⁻⁵	2.51e ⁻⁵	2.69e ⁻⁵
AC	kg SO ₂ eq	9.84e ⁻⁶	1.14e ⁻⁵	1.08e ⁻⁵	1.26e ⁻⁵
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	2.23e ⁻⁶	3.82e ⁻⁶	3.75e ⁻⁶	4.12e ⁻⁶
GW 100yr	kg CO ₂ eq	2.37e ⁻³	2.59e ⁻³	2.45e ⁻³	2.71e ⁻³
OD	kg CFC-11 eq	3.84e ⁻¹¹	3.06e ⁻¹¹	2.70e ⁻¹¹	3.64e ⁻¹¹
HT	kg 1,4-DB eq	1.94e ⁻³	2.08e ⁻³	1.95e ⁻³	2.06e ⁻³
FE	kg 1,4-DB eq	2.30e ⁻⁴	2.20e ⁻⁴	2.16e ⁻⁴	2.75e ⁻⁴
ME	kg 1,4-DB eq	3.57e ⁻¹	3.48e ⁻¹	3.37e ⁻¹	4.70e ⁻¹
TE	kg 1,4-DB eq	2.10e ⁻⁶	2.07e ⁻⁶	1.99e ⁻⁶	2.67e ⁻⁶
PO	kg C ₂ H ₄ eq	6.12e ⁻⁷	6.85e ⁻⁷	6.43e ⁻⁷	7.26e ⁻⁷

¹Impact categories selected with the CML2 baseline v2.05, calculation method: Abiotic depletion (AD); Acidification (AC); Eutrophication (EP); Global warming (GW 100yr); Ozone layer depletion (OD); Human toxicity (HT); Fresh water aquatic ecotoxicity (FE); Marine aquatic ecotoxicity (ME); Terrestrial ecotoxicity (TE); Photochemical oxidation (PO).
Table 3: Absolute results for ten different impact categories selected. Calculation method CML2 baseline 2000 v2.05 indicator characterization.

1. Escarole: Regarding the different impact categories, as highlighted in figure 2, production of expandable polystyrene (ESP) represents the major contributor for AD (79.4%), AC (53.5%), GW (66%), HT (83.8%) and PO (62.3%). The same material is significantly represented in EP and TE with 23.1% and 15.4% respectively. Process of plastic pipes extrusion (used for producing spacers in greenhouse) gave the higher value for OD (37.7%), FE (31.4%), ME (42.3%) and TE (36.7%). In addition, a relevant contribution has been given to EP (16.8%). Other materials and processes for which a substantial load have been found are peat, expanded vermiculite, pesticides production and galvanized steel. Peat mix production takes part as relevant contributor in all the impact categories considered. The relative contribution ranges from 28.6% for ME to 10.5% in AC. Expanded vermiculite production contributes to the total impact for 13.6%, 13.3%, 11.1% on TE, AC, ME respectively. Pesticides contribute to OD with 17.1% of total load. Galvanized steel contributes significantly only to FE (18.4%). The last consideration for escarole seedling production impact, regards the direct emissions from pesticides and fertilizers that concur to the total impact of EP (34.8%) and FE (10.9%).

- Curly endive: According to figure 3 and consistently with the results obtained for escarole, EPS production represents the major contributor for five categories. For AD the relative contribution is 78.8%, for AC is 49.7%, for GW is 64.9%, for HT is 84.2% and for PO is 59.9%. With the same magnitude of escarole, EPS production contributes to EP and TE with the 14.6% and 16.8%. Plastic pipes extrusion process has the greater impact on OD, FE, ME, TE with 22.9%, 29%, 40.9% and 34.9% of the total impact respectively. A remarkable contribution was also noticed for AC, EP, GW and PO with 16.9%, 10.2%, 10.5% and 12%. Peat production process contributes to total impact on OD (22.2%) and the group of Terrestrial, Marine and Fresh water ecotoxicity (20.1%, 29.4%, and 18.1%). A lower contribution than the peat production has been detected for expanded vermiculite. For this process, the highest relative contributions concern AC (11.5%), OD (12.5%), ME (11.4%) and TE (13.8%). In this case, galvanized steel also contributes to FE with 19.2%. Pesticide production has an impact on OD (21.4%). Direct emissions due to fertilization and pesticides application are the biggest cause on impact for EP (60.5%) and good contributor for FE 11%.
- Red chicory: For red chicory seedling the relative contribution on impact categories are reported in figure 4. EPS production for trays is the main cause of impact on five categories and a great contributor on other two. Percentage contribution for AD is 78.1%, for AC is 48.7%, for GW is 63.8%, for HT is 83.7% and for PO is 59.3%. A minor contribution was found for EP (13.8%) and TE (16.2%). The other process causing much of the impact in different categories is plastic pipes extrusion. It is the major process for impact on FE, ME and TE with, 24.7%, 39.3% and 33.6% respectively. It contributes with a lesser value on OD (24.1%), AC (16.6%), GW (10.3%) and PO (11.8%). Peat production is the process that mainly contributes to OD with 25.2%, and to FE, ME, TE with percentage ranging from 18.8% to 30.3%. Expanded vermiculite production has a consistent impact on AC (12.1%), OD (14.1%), ME and TE (11.8%, 14.3%). Galvanized steel contributes with 19.5% to FE. Pesticide production impacts on OD with 12.1%. Direct emission from crop inputs application is the major contributor for EP (61.7%) and for FE (11.6%).
- Sugarloaf chicory: EPS production represents the impactful process for AD (73.0%), AC (41.6%), GW (57.7%), HT (79.1%), and PO (52.5%). The same process contributes in consistent way to EP and TE (12.6%, 12.1%) as shown in figure 5. Plastic pipes extrusion process mainly impacts on OD (35.7%), FE (43.1%), ME (56.4%), TE (50.3%) but presents percentages over 10% for all the other categories. A relevant contribution of peat production was detected for OD (18.7%), FE (16.1%), ME (21.8%) and TE (14.1%). Regarding expanded vermiculite production process, the most affected categories are AC (10.3%), OD (10.5%) and TE (10.7%). Pesticide production has a consistent impact only on OD (17.9%). Galvanized steel has an impact only on FE (15.3%). Direct emissions from fertilizer and pesticide affect mainly EP (56.2%) and is the major contributor.

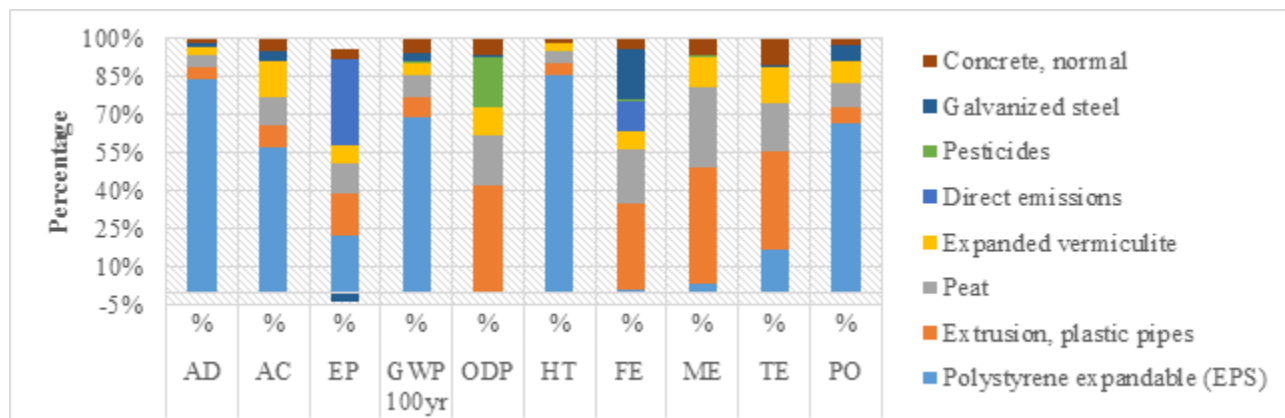


Figure 2: Relative impact of the most relevant processes for escarole seedlings

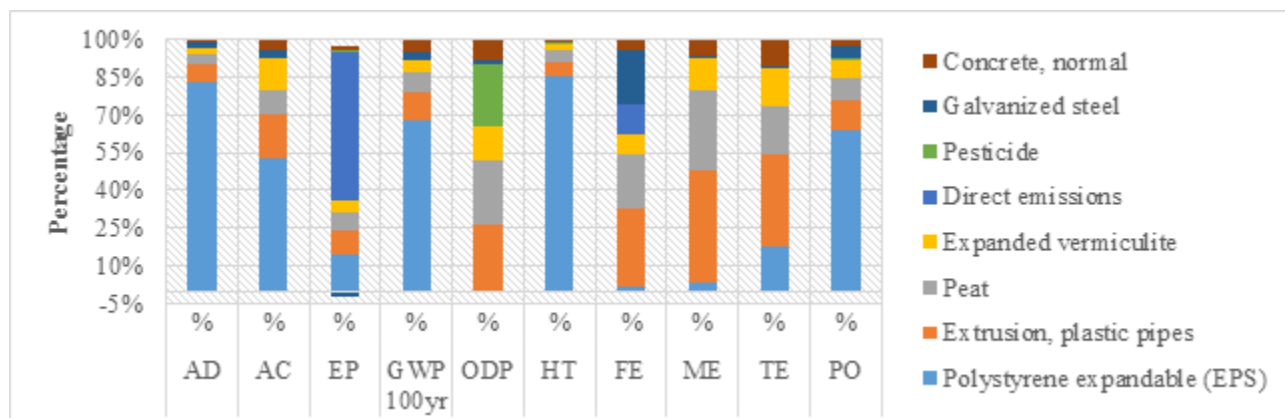


Figure 3: Relative impact of the most relevant processes for curly endive seedlings

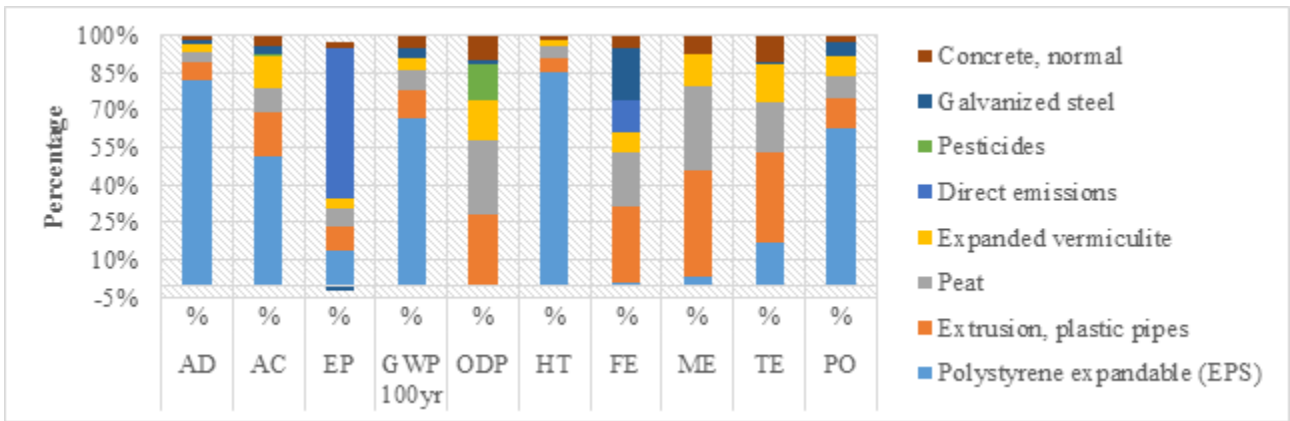


Figure 4: Relative impact of the most relevant processes for red chicory seedlings

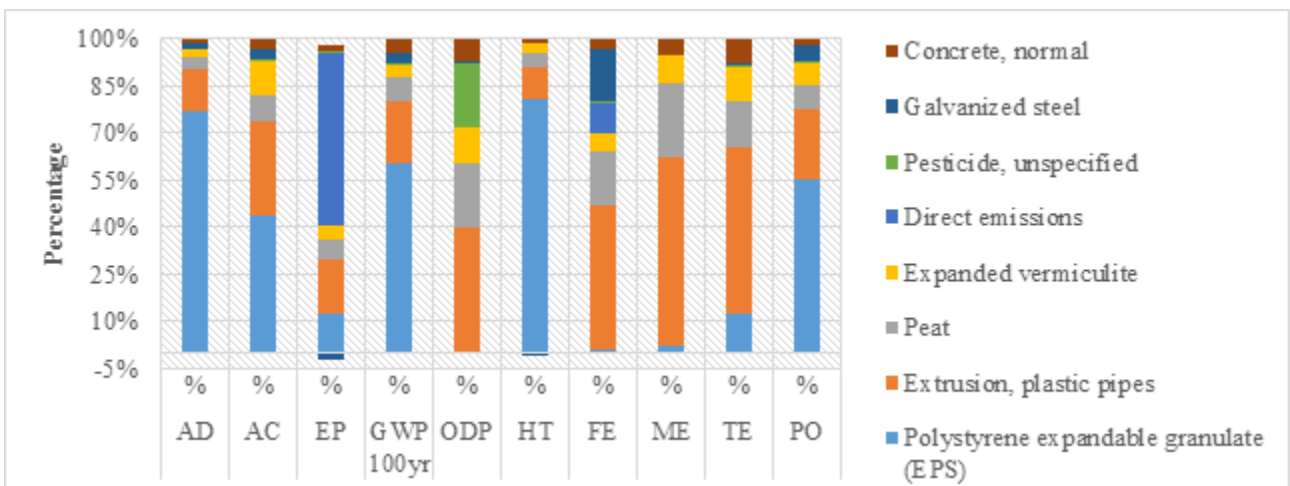


Figure 5: Relative impact of the most relevant processes for sugarloaf chicory seedlings

In figure 6 the comparison between the four species is reported.

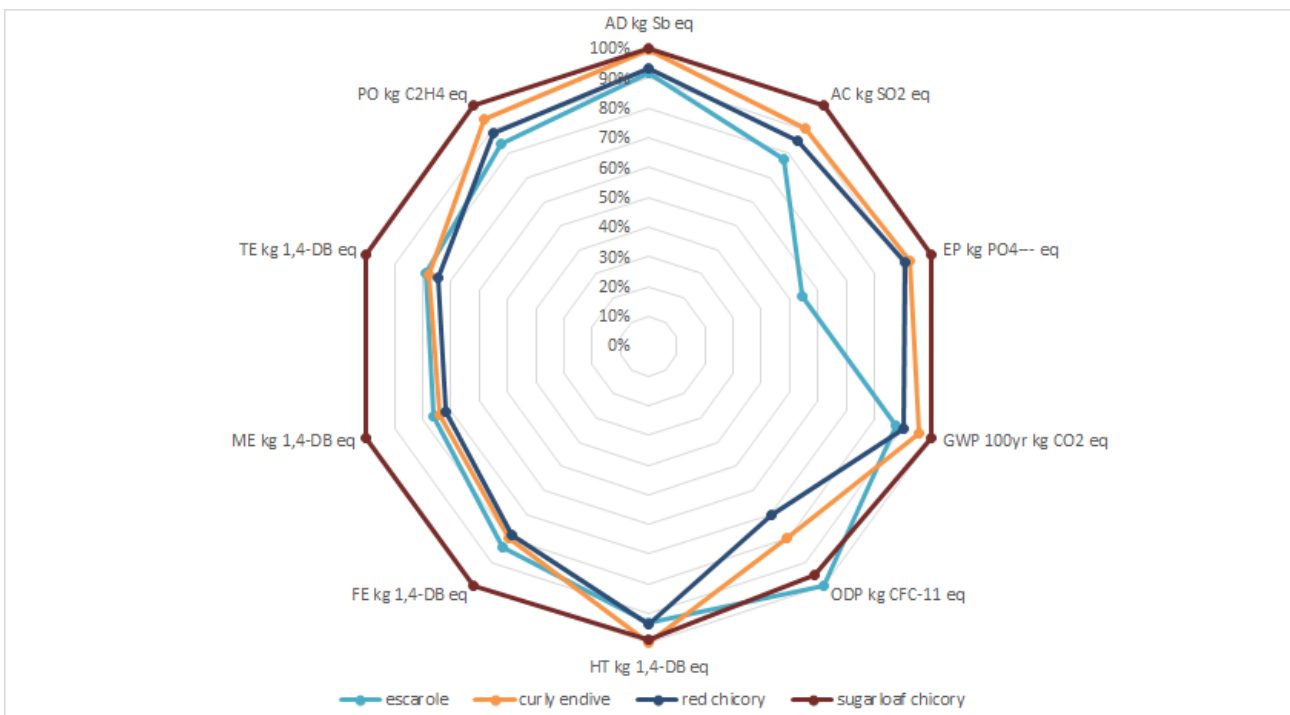


Figure 6: Comparison of relative contribution for all the species considered. Calculation method CML2 baseline 2000 v2.05

Discussion

Although with several little differences, the four seedling production processes showed similar behaviours. The magnitude order for all the impact categories and species is the same. The only differences found regards the minor load attributable to escarole (see figure 6). These results could be due to the shorter growing cycle with respect to the other three species. However, since the duration of cultivation cycle is subjected to variations during the year, and differences are very limited, we may consider any relative difference as negligible. The contribution given by the use of EPS as a support material for sowing and cultivation is significant. Considering the reuse of the same trays for two growing cycles in average, the impact of EPS on most of the categories considered is predominant. The second process in order of impact contribution is the production of plastic pipes used to raise the trays from the soil. This process is the major contributor for the ecotoxicity “group” but it contributes in relevant way also in other categories such as OD. Other consideration can be made upon peat mix production used as substrate for sowing. Peat has an impact on the same categories of plastic pipes extrusion process. This could be imputable to the combustion for heating of thermoplastic materials for extrusion and to extraction activities and relative emissions for peat. Concerning direct emissions, these have a great impact on EP and FE referable to nitrogen, phosphorus and pesticides application respectively. Given the scarcity of LCA studies on nurseries and the absence of assessments for nursery salad products few comparisons can be made. In addition, nursery activities for ornamental or forestry purposes are characterized by different length of cultivation cycle, different cultivation site (e.g. open field), different container materials and input of cultivation (Cambria and Pierangeli 2011). Based on these non-negligible disparities, any confront is impossible. As an example, according to what stated by Hospido et al. (2009) plant propagation of lettuce represents about the 10% of the total load of lettuce production. Considering the absolute value of 0.24 kg of CO₂ eq. calculated for not heated greenhouse systems, plant propagation produces 2.54e⁻² kg of CO₂ eq. for 1 kg of lettuce. Considering that one seedling could conceivably be translated into 1 kg of lettuce after cultivation and processing, the average value pointed out in this study (about 2.5e⁻³ kg CO₂ eq seedling) results similar taking into account the different product and location. These differences anyway show how important is to have data available for specific seedling species. It is worth pointing out that other processes that may further affect nurseries sustainability, like fossil fuel consumption for greenhouse heating (Aldentun 2002), were not considered in this paper but may be actual for big enterprises that produce seedlings all along the year (Cambria and Pierangeli 2011). Further studies would be necessary to assess the energy and environmental impact of other species of horticultural interest. Alike, alternative scenarios assessment would be useful to quantify the gain in introducing systems with reduced use of plastic and petroleum-derived products. Wishing to introduce the process described in this paper in the whole production chain, the relative impact of nursery production step stood at different percentages considering the CML2 impact categories. For example, the nursery step with respect to cultivation contributes with 11.8%; 3.4%; 7.3%; 7.4%; 0.7%; 6.1%; 1.2%; 2.4%; 1.7%; 4.5% respectively on AD; AC; EP; GW; OD; HT; FE; ME; TE; PO.

Conclusions

Seedling nursery production of escarole, curly endive, red chicory and sugarloaf chicory have been assessed by LCA. The greater negative environmental effect is given by the use of expandable polystyrene trays as containers and thereafter by the process of extrusion of PVC square pipes. Consistently with other studies (Cambria and Pierangeli 2011) on similar research topic, energy consumption, such as electricity give a load of little relevance. On the opposite, pesticides production and its relative emission, also fertilizers contribute significantly to environmental burden. The results obtained will be useful as input for other LCA analysis of more complex salad products based on those seedlings. Further investigations on low plastics/thermoplastics alternative systems will be necessary. Considering that the cultivation is concentrated in spring and summer months and consequently the energetic load is negligible for this specific case of study, this couldn't be actual for other realities so more detailed analysis on that are needed.

Acknowledgement

The authors are grateful to the agricultural company Ambruosi & Viscardi for providing data and allowing the collection of the essential information to conduct this study.

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

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

Aldentun Y (2002) Life cycle inventory of forest seedling production - From seed to regeneration site. J Clean Prod 10(1): 47-55.

- Antón A, Torrellas M, Núñez M, Sevigñé E, Amores MJ, Muñoz P, Montero JI (2014) Improvement of agricultural life cycle assessment studies through spatial differentiation and new impact categories: Case study on greenhouse tomato production. *Environ Sci Technol* 48(16): 9454-9462.
- Antón A (2004) Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Bacenetti J, Duca D, Negri M, Fusi A, Fiala M (2015) Mitigation strategies in the agro-food sector: The anaerobic digestion of tomato purée by-products. An Italian case study. *Sci Total Environ* 526: 88-97.
- Beccaro GL, Cerutti AK, Vandecasteele I, Bonvegna L, Donno D, Bounous G (2014) Assessing environmental impacts of nursery production: Methodological issues and results from a case study in Italy. *J Clean Prod* 80: 159-169.
- Cambria D, Pierangeli D (2011) A life cycle assessment case study for walnut tree (*Juglans regia* L.) seedlings production. *Int J Life Cycle Ass* 16(9): 859-868.
- European Commission (2014) Horizon 2020, Food Security, Sustainable Agriculture and Forestry, Marine, Maritime and Inland Water Research and the Bioeconomy. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/food-security-sustainable-agriculture-and-forestry-marine-maritime-and-inland-water>. Accessed 1 June 2016.
- Bailey D, Dick Bir B (1999) Water considerations for container production of plants. Horticulture Information Leaflet 557.
- Foteinis S, Chatzisyneon E (2016) Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece. *J Clean Prod* 112: 2462-2471.
- Fusi A, Castellani V, Bacenetti J, Cocetta G, Fiala M, Guidetti R (2016) The environmental impact of the production of fresh cut salad: a case study in Italy. *Intl J Life Cycle Ass* 21(2): 162-175.
- Gunady MGA, Biswas W, Solah VA, James AP (2012) Evaluating the global warming potential of the fresh produce supply chain for strawberries, romaine/cos lettuces (*Lactuca sativa*), and button mushrooms (*Agaricus bisporus*) in Western Australia using life cycle assessment (LCA). *J Clean Prod* 28: 81-87.
- Hasler K, Bröring S, Omta SWF, Olf HW (2015) Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. *Eur J Agron* 69: 41-51.
- Herrera F, Castillo JE, Chica AF, López Bellido L (2008) Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Bioresource Technol* 99(2): 287-296.
- Hospido A, Milà I, Canals L, McLaren S, Truninger M, Edwards-Jones G, Cliff R (2009) The role of seasonality in lettuce consumption: A case study of environmental and social aspects. *Int J Life Cycle Ass* 14(5): 381-391.
- Ingram DL (2013) Life cycle assessment to study the carbon footprint of system components for colorado blue spruce field production and use. *J Am Soc Hortic Sci* 138(1): 3-11.
- Ito T, (1992) Present State of Transplant Production Practices in Japanese Horticultural Industry. *Transplant Production Systems: Proceedings of the International Symposium on Transplant Production Systems, Yokohama, Japan, 21-26 July 1992*. K. Kurata and T. Kozai. Dordrecht, Springer Netherlands: 65-82.
- Kendall A, Gregory McPherson E (2012) A life cycle greenhouse gas inventory of a tree production system. *Int J Life Cycle Ass* 17(4): 444-452.
- Lazzerini G, Lucchetti S, Nicese FP (2014) Analysis of greenhouse gas emissions from ornamental plant production: A nursery level approach. *Urban For Urban Gree* 13(3): 517-525.
- Lazzerini G, Lucchetti S, Nicese FP (2016) Green House Gases (GHG) emissions from the ornamental plant nursery industry: a Life Cycle Assessment (LCA) approach in a nursery district in central Italy. *J Clean Prod* 112, Part 5: 4022-4030.
- Margni M, Rossier D, Crettaz P, Jolliet O (2002) Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Agr Ecosyst Environ* 93(1-3): 379-392.
- Martínez-Blanco J, Antón A, Rieradevall J, Castellari M, Muñoz P (2011) Comparing nutritional value and yield as functional units in the environmental assessment of horticultural production with organic or mineral fertilization: the case of Mediterranean cauliflower production. *Int J Life Cycle Ass* 16(1): 12-26.
- Muñoz P, Antón A, Núñez M, Paranjpe A, Ariño J, Castells X, Montera JI, Rieradevall J (2008) Comparing the environmental impacts of greenhouse versus open-field tomato production in the Mediterranean region. *Acta Hortic*. 801 PART 2: 1591-1596.
- FAOSTAT (2016) Food and Agriculture Organization of the United Nations - Statistics Division.
- ISTAT (2016) Istituto Nazionale di Statistica.
- Pagani M, Vittuari M, Falasconi L (2015) Does packaging matter? Energy consumption of pre-packed salads. *Brit Food J* 117(7): 1961-1980.
- Marche region (2014) PSR, Programma di Sviluppo Rurale. Priorità 5.
- Riva G, Pedretti EF, Toscano G, Duca D, Pizzi A, Saltari S, Mengarelli C, Gardiman M, Flamini R (2013) Sustainability of grape-ethanol energy chain. *J Agr Eng* 44: 595-599.
- Romero-Gámez M, Antón A, Soriano T, Suárez-Rey EM, Castilla N (2009) Environmental impact of greenbean cultivation: Comparison of screen greenhouses vs. open field. *J Food, Agric Environ* 7(3-4): 754-760.
- Romero-Gamez M, Audsley E, Suarez-Rey EM (2014) Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. *J Clean Prod* 73: 193-203.

Russo G, De Lucia Zeller B (2008) Environmental evaluation by means of LCA regarding the ornamental nursery production in rose and sowbread greenhouse cultivation. *Acta Hortic.* 801 PART 2: 1597-1604.

Saarinen M, Kurppa S, Virtanen Y, Usva K, Mäkelä J, Nissinen A (2012) Life cycle assessment approach to the impact of home-made, ready-to-eat and school lunches on climate and eutrophication. *J Clean Prod* 28: 177-186.

Tzortzakis NG (2009) Effect of pre-sowing treatment on seed germination and seedling vigour in endive and chicory. *Hortic Sci* 36(3): 117-125.

Wainwright H, Jordan C, Day H (2014) Environmental impact of production horticulture. *Horticulture: Plants for People and Places*, Springer Netherlands. 1: 503-522.

Weidema BPBC, Hirschier R, Mutel C, Nemecek T, Reinhard J, Vadenbo CO, Wernet G, (2013). The ecoinvent database: Overview and methodology, Data quality guideline for the ecoinvent database version 3.

7. Allegato 2 (Full Paper)

Articolo under review su Journal of Cleaner Production.

Cradle to gate environmental impact assessment of frozen green bean production using a life cycle assessment.

Alessio Ilari¹, Daniele Duca¹, Giuseppe Toscano¹, Ester Foppa Pedretti¹.

¹ Department of Agricultural, Food and Environmental Sciences, Marche Polytechnic University, Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italy.

Daniele Duca corresponding author: d.duca@univpm.it.

Declaration of interest: The authors declare that the activities linked to this study have not be influenced from pecuniary or other personal interest, direct or indirect.

List of abbreviations

ADP: Abiotic Depletion Potential

ADP fossil: Abiotic Depletion Potential fossil fuels

GWP 100yr: Global Warming Potential

ODP: Ozone layer Depletion Potential

HTTP: Human Toxicity Potential

FEP: Fresh water aquatic Eco-Toxicity Potential

MEP: Marine aquatic Eco-Toxicity Potential

TEP: Terrestrial Eco-Toxicity Potential

PCOP: Photochemical Oxidation Potential

AP: Acidification Potential

EP: Eutrophication Potential

OFC: open field cultivation

TI: transport to industry

RT: residues treatment

IP: industry processing

En: energy (including electricity and natural gas)

PI: plastics (including plastics elaboration)

CI: confidence interval

SD: standard deviation

CV: coefficient of variability

SEM: mean standard error

Abstract

Purpose: main objective of this study is to assess the impact of green bean production and processing aimed to frozen green bean production. Information collected regards a medium industry located in the south of Marche region and the

whole production system, from field to industry, is located in a range of about 100 km between Marche and Abruzzo regions. The aim of this study is to assess the impact of 1 kg of frozen green bean.

Methods: the analysis has been conducted following ISO 14040 and 14044 on LCA and PCR for arable crops v. 2.0. LCI and LCIA phase have been performed using LCA software SimaPro® v. 8.2.3.0 with updated databases. LCI data have been collected through interviews, consulting official documents and company production plans. Data regarding industrial phase have been gathered from automated management systems software.

Results and discussion: the impact of 1 kg of frozen green bean show an impact of about 0.7 kg of CO₂ eq for GWP, 1.9E-4 kg of C₂H₄ eq kg for PCOP, 3.5E-3 kg of SO₂ eq for AP and 1.7E-3 kg of PO₄³⁻ for EP. The analysis conducted comparing two different solutions of plant protection and herbicides application shows how solution A has a lower impact on ADP, ADP fossil, GWP 100yr, ODP, MEP, PCOP, AP and EP from 0.04% to 11% about. On the other hand, solution B has a lower impact on HTP, FEP, MEP and TEP between 4 and 40%.

Conclusions: The analysis conducted shows the impact of frozen green bean at industry level representative of medium size processing plant with average technology. Until now the information available was limited to open field production impact of raw green bean without any kind of industry transformation. Simply replacing herbicide treatment and one pesticides application, for preventing weed and pest resistance, generates a consistent reduction of impact on different categories of ecotoxicity group without increasing too much the impact on other categories. The only exception can be found for ADP category. The reason lies in the lower active ingredient concentration and higher commercial product used for solution B.

Keywords

Frozen Green bean, Food processing, III Gamma, LCA.

Introduction

2016 was declared by 68th assembly of United Nations as the International Year of Pulses (IYP). The aim behind this decision is to enhance the public awareness about the nutritional benefits of pulses. The reasons given are not, however, limited only to food properties of legumes, but are rooted in the concepts of food security and the sustainability of food production systems[33, 53]. Pulses are considered a sustainable renewable and low-cost source of nutrients for humans, herbivorous and other plants. The biological processes of nitrogen fixation are seen by many authors as the base for the transition from a fossil fuel economy to a bio-based economy even more in the agricultural sector[28-30]. Legumes could replace partially or totally N fertilizers [27] preventing direct emissions of N₂O and indirect emissions linked to industrial production of mineral N fertilizers[31]. Considering the high protein content of pulses they could also replace partially meat and dairy products in human diets [32]. If we restrict the evaluation to the agricultural system and chains described by the IYP documents, pulses crops could really contribute to a more sustainable agriculture. The model introduced by IYP and by many authors regards the cultivation in small scale surfaces, in intercropping, crop rotation and agroforestry systems [29, 34]. The large amount of legumes cultivation in Europe and in industrialized countries in the world does not belong to the rural systems but to industrial chains for the production of different processed products. In 2014 in Italy the production of fresh beans was about 169660 tonnes, about the 15% of EU28 production[20]. In this case study only one industry processed about 2000 tonnes of raw green bean that represents the 1.6% of the total Italian production. According to the latest data available at regional level, production represented in 2011 the 8.7% of total production for Marche and Abruzzo regions[22]. In the previous 7 years (from 2004 to 2011) the same percentage was between 8.4% and 17.4%[21]. Life cycle assessment (LCA) is a valid tool applied worldwide to assess environmental impact of food products[26, 54, 55]. Aim of this study is to calculate, by means of the LCA tool, the environmental and energetic load of frozen green bean production. Although the system under analysis is specific of the considered case study the same can be seen as a good estimation for other similar processing systems in Europe and around the world. Whereas numerous raw or processed food products can be found in literature [56-58], there are few studies on green beans [23-25] and only one includes industrial processing step[26]. Therefore, the results of this study could represent a first point of reference for a very widespread but little-known sector

Methods

6. System description

The system under analysis is characterized by two main steps for production and processing and one step for raw material transportation.

First step consists in open field cultivation. In 2014, reference year, the total surface devoted to green bean cultivation was 317 ha, with 120 ha in early sowing (from middle of May and middle of June) and 197 ha in late sowing (from middle

of June to middle of August). Fields are located at a distance ranging from 6 to 117 km from the processing plant. The transportation of harvested green bean to the processing plant is performed with 11 different trucks carrying 12 tonnes each load. The transportation does not involve the use of a container but the material is loaded directly into the truck bed. The environmental class varies between EURO 1 and EURO 5. The processing occurs after less than three hours after harvesting and consists in a complex series of elaborations. In sequence we have: Line feeding (bunker, conveyor belt, vibrating plan); Defoliation (fan); Washing (spray washer); Green bean clusters separator; Green bean clusters splitting (5 machines); Defoliating (fan); Grading (3 machines); Snipping (3 machines); Optical sorting (laser); Hydraulic transport (pump); Blanching (belt blancher); Optical sorting; Freezing. Each operation is coupled with conveyors, lifting belt, vibrating plan and other machines. In total the green bean processing line under analysis includes 47 machines for the first phase (up to the Hydraulic transport) and 15 machines for the second phase (from Hydraulic transport to freezing). The entire processing is performed in 2-3 hours based on raw material quality. The company produces both for itself and for other companies. Frozen green beans are often sell in bulk to other companies, then reprocessed, packed and delivered to markets or packed and sold to other companies without information about the product destination. Due to the absence of exhaustive information about retail and possible reprocessing steps, the study will not take in consideration the retail step.

7. Goal and scope definition, process description and system boundaries

The first step to develop a LCA analysis is to define the goal and the scope.

7.1. Goal

The study focuses on the production and elaboration of green bean intended to the production of frozen food products. The aim is the evaluation of the environmental impact of frozen green bean production and processing. The analysis was also carried out in order to evaluate the differences between different possible cultivation protocols, to provide information on environmental impact of the processing phase and lastly to have a comparison term with similar studies in literature [25]. The outcome of the study is intended to whom is involved in the production or elaboration or interested about the potential environmental impact of green bean.

7.2. Scope Definition

Following the ISO standards, the scope has been defined as follows:

- **Product system to be studied:** the product system under analysis refers to the production of frozen green bean starting from the agricultural cultivation in open field.
- **Functions of the system:** the system under analysis provides the only function of food production. The system does not produce coproducts but only residues.
- **Functional Unit:** the functional unit selected is one kg of frozen green bean at the industry gate.
- **Allocation procedures:** due to the absence of coproducts and by-products no allocation procedure has been performed. In addition, for residues no allocation procedure has been provided due to the absence of relevant economic value of the same and the impossibility to apply system expansion.
- **LCIA methodology:** Impact assessment method selected for this study is CML_IA baseline v 3.01 with eleven impact categories. The method has been selected because is one of the most widespread and used, allowing a more meaningful comparison with other similar studies on similar products.

7.3. System boundaries and process description

The processes under analysis regard a part of the production chain of green bean. The workflow starts with the open field cultivation and ended with the production of frozen green bean. The various steps are described as follows.

Open field cultivation (OFC): cultivation includes six main processes: soil management, sowing, weed control, fertilization, pest management and harvest. Soil management practices include a 35 cm deep ploughing and harrowing to prepare the seedbed. Green bean has been sowed in early and late sowing with a precision seed drills using 100 kg/ha of seeds, no basal dressing is envisaged in the basic cultivation protocol. Weed control has been performed by herbicides: Stomp® aqua (Pendimethalin 1.5 l/ha) and Linuron 600 g/ha of active ingredient (solution A baseline scenario). Alternatively, according to company's experience, the same weed control can be replaced with Command 36 Cs (Clomazone 150 g/ha) (solution B alternative scenario), without affecting product quality and quantity. After seedlings emergence 150kg/ha of ammonium nitrate (content in N 33%) has been spread as the only post-emergence fertilization. Pest and disease control has been performed in two interventions, first one using Altacor® (Chlorantraniliprole 100 g/ha) and Ortiva® (Azoxystrobin 2 l/ha - solution A baseline scenario). As alternative in this case Affirm® (Emamectin benzoate 1.5 l/ha - solution B alternative scenario) can be used in replacement of Altacor®. The second intervention includes Altacor® with the same amount as the first treatment and copper and sulphur in co-formulation (2 kg/ha each). The harvesting was carried out with a green bean harvester BH8100 (BOURGOIN). The harvester is equipped with a hopper that can be raised up to 4.3 meters. Therefore, the drainage takes place directly in the truck bed, without the use of load-carrying accessories such as belts or clamshell.

Transport to industry (TI): As previously mentioned, the transport was carried out using 7 trucks (table1) with a maximum capacity of 12.1 - 18.5 tonnes. In the reference year the fields were 43, located in an area between 6 and 117 km as reported in table 2, with a mean distance of about 52 km. As described before, after the collection the harvester unloads the raw product directly into the truck. The actual truck load is about 12 tonnes, so the loading factor varies between 65 and 99% with a related empty return. Considering the short distance between the different fields and the plant (average weighted distance 57.6 km) a single truck could be able to serve one field at a time but, to guarantee a constant supply for each field, two or more vehicles are used depending on the distance. To better understand the specific logistics, in Table 3 is reported the number of travels and the equivalent value of average tkm for each field.

Table 1: Trucks characteristics used for raw product transportation.

Truck	EURO class	Vehicle mass (t)	Load capacity (t)	Power (kW)	Engine capacity (cc)	Fuel	Eco-diesel	Loading factor (%)
1	3	26	14.50	353	12882	Diesel	Yes	83
2	1	26	13.65	309	13798	Diesel	No	88
3	2	26	13.50	315	12680	Diesel	Yes	89
4	1	24	12.10	265	13798	Diesel	No	99
5	3	26	14.80	353	12882	Diesel	Yes	81
6	5	32	18.50	323	10837	Diesel	Yes	65
7	2	26	13.80	355	12580	Diesel	Yes	87

Table 2: Main characteristics of fields involved in green bean production for the reference year.

Early sowing (2014)	Surface (ha)	Field location (municipality)	Distance from plant
	8.5	Osimo	95.5
	8	Morrovalle	70.5
	12.5	Osimo	95.5
	8	Giulianova	18.5
	4	Val vibrata	10
	7	Morrovalle	70.5
	6	Recanati	80
	16	Jesi	117
	10	Giulianova	18.5
	5	Giulianova	18.5
	7	Monteprandone	7
	10	Sentina	6
	7	Casette d'Ete	54
	2	Casette d'Ete	54
	9	Giulianova	18.5
Late sowing (2014)			
	7	Giulianova	18.5
	10	Sambucheto	83
	11	Falconara	105
	6	Chiaravalle	106
	6	Roseto	39
	8	Monteprandone	7
	7	Chiarino	75
	6	Chiarino	75
	3	Chiarino	75
	7	Chiarino	75
	7	Roseto	39
	4	Roseto	39
	4	Morrovalle	70
	9	Morrovalle	70
	11	Roseto	39
	3	Roseto	39
	4	Giulianova	18.5

12	Casette d'Ete	54
16	Osimo	95.5
7	Giulianova	18.5
4	Corropoli	15
4	Corropoli	15
7	Sant'omero	22
5	Morrovalle	70
5	Corridonia	75
7	Corridonia	75
7	Corridonia	75
10	Casette d'Ete	54

Table 3: Transportation information for LCI phase.

Early sowing (2014)	Distance from plant (km)	Production (tonnes)	Travels (n°)	Average weight/load	tkm	Average loading factor	Min. loading factor	Max. loading factor
	95.5	72	6	12.1	1153.6	84	65	100
	70.5	68	6	11.4	801.5	79	61	94
	95.5	107	9	11.8	1131.0	82	64	98
	18.5	68	6	11.4	210.3	79	61	94
	10	34	3	11.4	113.7	79	61	94
	70.5	60	5	11.9	841.6	83	65	99
	80	51	5	10.2	818.6	71	55	85
	117	136	11	12.4	1451.1	86	67	100
	18.5	85	7	12.1	225.3	85	66	100
	18.5	43	4	10.7	197.2	74	58	88
	7	60	5	11.9	83.6	83	65	99
	6	85	7	12.1	73.1	85	66	100
	54	60	5	11.9	644.6	83	65	99
	54	17	2	8.5	460.4	59	46	70
	18.5	77	7	11.0	202.8	76	59	91
Late sowing (2014)								
	18.5	60	5	11.9	220.8	83	65	99
	83	85	7	12.1	1011.0	85	66	100
	105	94	8	11.7	1231.0	81	63	97
	106	51	5	10.2	1084.6	71	55	85
	39	51	5	10.2	399.0	71	55	85
	7	68	6	11.4	79.6	79	61	94
	75	60	5	11.9	895.3	83	65	99
	75	51	5	10.2	767.4	71	55	85
	75	26	2	12.1	959.2	89	69	100
	75	60	5	11.9	895.3	83	65	99
	39	60	5	11.9	465.6	83	65	99
	39	34	3	11.4	443.4	79	61	94
	70	34	3	11.4	795.8	79	61	94
	70	77	7	11.0	767.4	76	59	91
	39	94	8	11.7	457.2	81	63	97
	39	26	2	12.8	498.8	89	69	100
	18.5	34	3	11.4	210.3	79	61	94
	54	102	9	11.4	613.9	79	61	94
	95.5	136	12	11.4	1085.7	79	61	94
	18.5	60	5	11.9	220.8	83	65	99
	15	34	3	11.4	170.5	79	61	94
	15	34	3	11.4	170.5	79	61	94
	22	60	5	11.9	262.6	83	65	99
	70	43	4	10.7	746.1	74	58	88
	75	43	4	10.7	799.4	74	58	88
	75	60	5	11.9	895.3	83	65	99

75	60	5	11.9	895.3	83	65	99
54	85	7	12.2	657.8	85	66	100

Industry processing (IP): Industry processing takes place in the plant of Promarche soc.coop. p.a. located in the municipality of San Benedetto del Tronto (AP), Marche region. The entire industry processing takes about 2 hours to process the raw material of a single transport from the field. Whereas the mass of each load is equal to 12 t the operational capacity of the whole process is 6 t/h. As mentioned before the industry processing includes 8 basic elaborations.

- 1- Bunker feeding - The raw material is overturned by the truck directly into the bunker where a feeding belt move it slowly. In the distal part of the bunker there are rollers with bevelled teeth which, rotating in the opposite direction to the feed, distribute the material and regulate the feeding to the subsequent phases. (number 1 in figure 1).
- 2- Desanding and defoiling - The elaboration is carried out in three different steps with three machines, in order: a fan (number 2) that separates green beans from light material such as leaves and grass; a spray washer that by immersion and spray eliminates earth and washable materials (number 3); a drum separator (number 4) that acts as a sand trap eliminating any small stones or animals (insects and snails) that have not been removed previously.
- 3- Debunching and declustering - Beans are immature pods typically gathered in clusters, in mechanical harvesting they are often grouped together and therefore it is essential to separate them. Declustering process consists in a drum separator with hooks in the inner lumen of the drum that retain and separates the clusters (number 5 in figure 1). The unseparated clusters are moved away from a tape after they have been released by the hooks.
- 4- Grading - Consists in the first sorting elaboration. The process consists in a series of fenestrated drums (number 6 in figure 1) with alternate fixed and mobile bars which, when adjusted, allow the product to be divided into two diametric categories above and below a certain threshold. For the specific case, the classes are three: 7.5 mm, 8.5 mm and 9.5 mm.
- 5- Snipping - The elaboration consists in the cutting of the terminal parts of the pod, which are fibrous and resistant to cooking. The machine consists in a drum with windowed walls and triangular cutters leaning against the outer wall. In the rotation the apices enter the drum openings and are cut by the cutters. Also for this elaboration the basic machine is a rotating drum (number 7 in figure 1).
- 6- Sorting - A laser sorter conducts the process (number 8 in figure 1). The system consists in a conveyor belt and a series of compressed air nozzles that discard the product that is recognized as non-compliant by the laser beam. The selection of the material is carried out on colour basis, therefore all the components with a specific colour like to green bean pass through. Up to this point, the selection machines have a high efficiency and therefore, to maximize the yield, the waste of the laser selection system is re-introduced into the system at the point of snipping phase.
- 7- Blanching - Blanching machine (number 9 in figure 1) is physically separated from the previous part of the processing line. The product is conveyed to the blanching through a pump. The water used is then recovered and put back into circulation. The blanching machine is a multistage cooker that uses methane to generate high temperature steam (92 °C). After blanching, there is another laser sorter that eliminates, after cooking, any product that has developed a coloration not compliant with commercial standards.
- 8- Freezing - It is the final stage in string bean processing (number 10 in figure 1). The process takes place in a belt chiller. After this treatment the green beans are conveyed to a vibrating plane and stored in black polyethylene bags (500-620 kg) supported by metal cages.

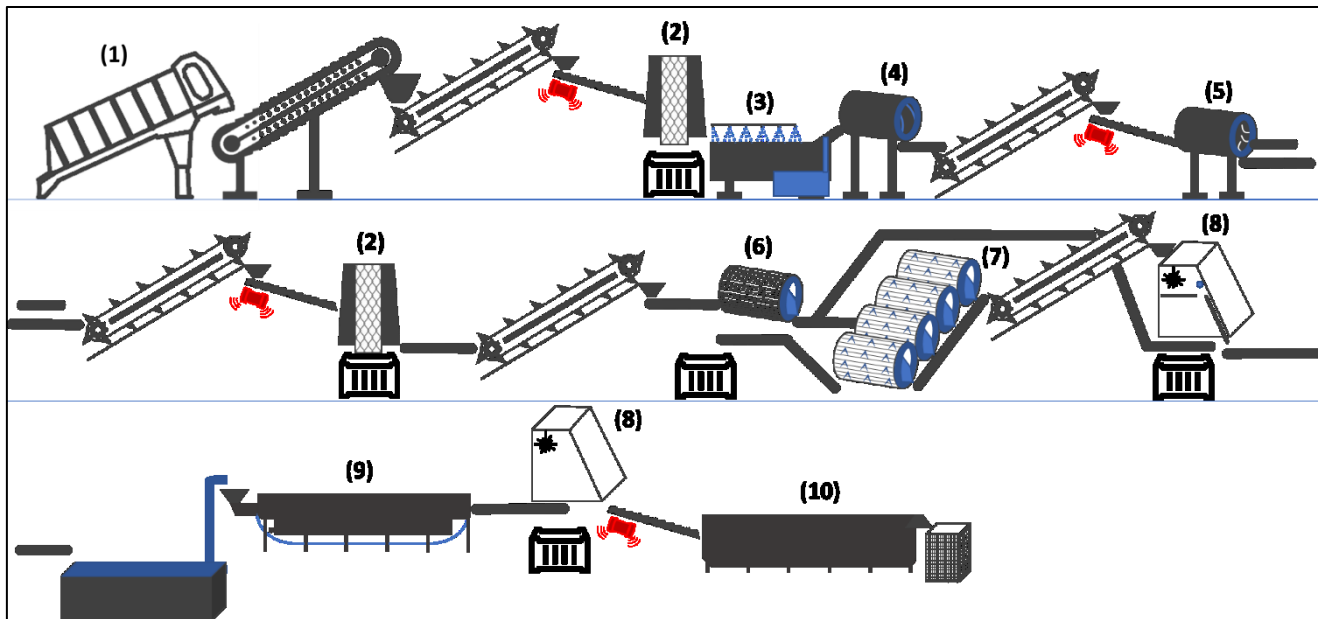


Figure 1: Graphical representation of frozen green bean processing line.

The system boundary is described in figure 2 and includes the four steps previously described.

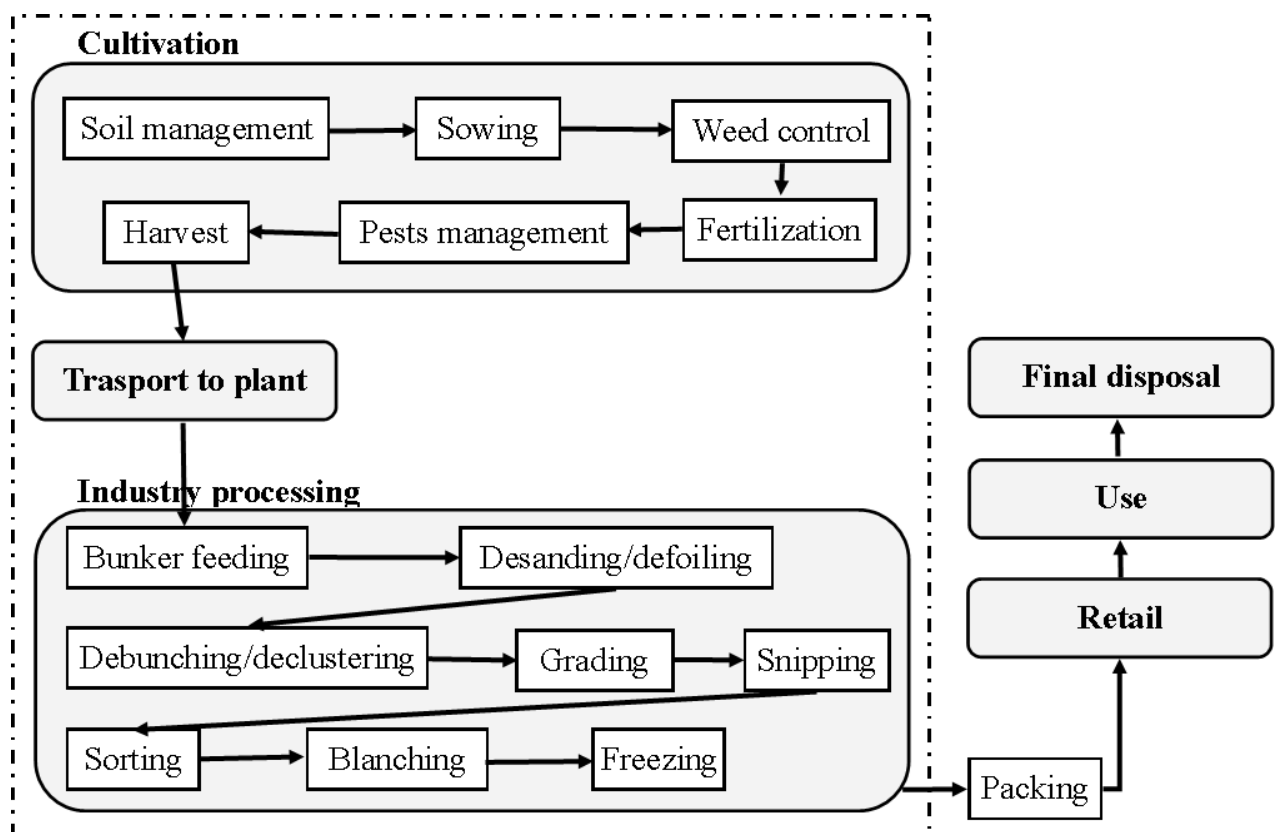


Figure 2: System boundaries of the production chain under analysis.

8. Life cycle inventory data

8.1. Origin and data quality, emissions calculation methods

Primary data were collected through interviews, consulting the company's cultivation plans and through the internal management system of the processing plant. Primary data regard: quantity of seeds, fertilizers and pesticides applied, raw production from field, transport characteristics. Regarding the processing plant primary data cover transformation efficiency, electricity consumption from national grid, water, natural gas, plastic bags used for storage. Secondary data regard mainly some aspects of the cultivation process and in particular

agricultural operations, emissions and fate of fertilizers and pesticides have been modelled following different sources. In details, ammonia emissions from nitrogen have been calculated following EMEP/CORINAIR, 2013 and IPCC 2006. Direct emissions of N₂O and NO have been calculated following Bouwman et al., 2002. Indirect emissions of N₂O and nitrates have been calculated based on IPCC, 2006 guidelines. Finally, phosphorus emissions have been defined following Prahsun, 2006.

Table 4: LCI table

Input		Emission to air			Emission to soil		
Ploughing ¹	7.65E-03 kg	Emission direct N ₂ O	7.77E-05 kg	Pendimethali ²	8.88E-02 g		
Harrowing ¹	2.29E-03 kg	Emission NO	3.97E-05 kg	Linuron ²	3.51E-02 g		
Sowing ¹	1.02E-03 kg	Emission Ammonia	1.39E-04 kg	Clomazone ³	1.85E-04 g		
Seeds	1.53E-02 kg	Emission indirect N ₂ O	3.22E-05 kg	Altacor ²	4.13E-03 g		
Rolling ¹	5.10E-04 kg	Pendimethalin ²	1.04E-02 g	Azoxystrobin	6.51E-02 g		
Fertilizing ¹	6.37E-04 kg	Linuron ²	4.13E-03 g	Emamectine ³	1.85E-03 g		
Fertilizer	2.30E-02 kg	Clomazone ³	2.18E-05 g	Altacor	4.13E-03 g		
Erbicides ¹	2.69E-04 kg	Altacor ²	4.90E-04 g	Copper	2.60E-04 kg		
Pendimethalin product ²	2.30E-04 kg	Azoxystrobin	7.66E-03 g	Sulfur	2.60E-04 kg		
Linuron product ²	9.19E-05 kg	Emamectine ³	2.22E-04 g	Input			
Clomazone product ³	2.30E-05 kg	Altacor	4.90E-04 g	Raw product	1.31E+00 kg		
Water	4.41E-05 m ³	Copper	3.06E-05 kg	Water	2.09E-02 m ³		
Pesticides 1 ¹	2.69E-04 kg	Sulfur	1.84E-04 kg	Electricity	3.24E-01 kWh		
Altacor product ²	1.53E-02 g	Emission to water		Natural Gas	4.36E-02 mc		
Azoxystrobin product	3.06E-04 kg	Nitrate	4.10E-03 kg	Plastic bags	1.66E-03 kg		
Emamectine product ³	2.30E-04 kg	Pendimethalin ²	5.22E-03 g	Output			
Water	2.45E-04 m ³	Linuron ²	2.07E-03 g	Frozen green bean	1.00E+00 kg		
Pesticides 2 ¹	2.69E-04 kg	Clomazone ³	1.09E-05 g	Green bean residues	3.06E-01 kg		
Altacor product	1.53E-02 g	Altacor ²	2.45E-04 g				
Copper	3.06E-04 kg	Azoxystrobin	3.83E-03 g				
Sulfur	3.06E-04 kg	Emamectine ³	1.09E-04 g				
Water	1.53E-04 m ³	Altacor	2.45E-04 g				
Output		Copper	1.53E-05 kg				
Production	1.31E+00 kg	Sulfur	1.68E-04 kg				

¹ Diesel, ² Data relatives to solution A, ³ Data relatives to solution B

9. Impact assessment method

Impact assessment method selected is the CML_IA Baseline version 3.01. The method includes eleven impact categories as reported in table 5 with the related measurement units.

Table 5: List of impact categories included in CML_IA baseline method.

IC		um
ADP	Abiotic Depletion Potential	kg Sb eq.
ADP fossil	Abiotic Depletion Potential fossil fuels	MJ eq.
GWP 100yr	Global Warming Potential	kg CO ₂ eq.
ODP	Ozone layer Depletion Potential	kg CFC-11 eq.
HTP	Human Toxicity Potential	kg 1,4 DB eq.
FEP	Fresh water aquatic Eco-Toxicity Potential	kg 1,4 DB eq.
MEP	Marine aquatic Eco-Toxicity Potential	kg 1,4 DB eq.
TEP	Terrestrial Eco-Toxicity Potential	kg 1,4 DB eq.
PCOP	Photochemical Oxidation Potential	kg C ₂ H ₄ eq.
AP	Acidification Potential	kg SO ₂ eq.
EP	Eutrophication Potential	kg PO ₄ ³⁻ eq.

The calculation approach is at a Midpoint level, and then no normalization or weighting factor has been selected.

Results

First result regards the comparison between the two alternatives in herbicide and pesticides application as reported in chapter 2.3.

Table 6: Impact of 1 kg of frozen green bean for solution A (reference) and B (alternative)

Category	unit	Solution A	Solution B
ADP	kg Sb eq.	1.962E-06	2.237E-06
ADP fossil	MJ eq.	9.501E+00	9.509E+00
GWP 100yr	kg CO ₂ eq.	7.439E-01	7.442E-01
ODP	kg CFC-11 eq.	7.823E-08	8.082E-08
HTP	kg 1,4 DB eq.	1.402E-01	1.332E-01
FEP	kg 1,4 DB eq.	2.065E-01	1.180E-01
MEP	kg 1,4 DB eq.	3.125E+02	3.136E+02
TEP	kg 1,4 DB eq.	1.847E-03	1.119E-03
PCOP	kg C ₂ H ₄ eq.	1.978E-04	1.985E-04
AP	kg SO ₂ eq.	3.522E-03	3.533E-03
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	1.658E-03	1.660E-03

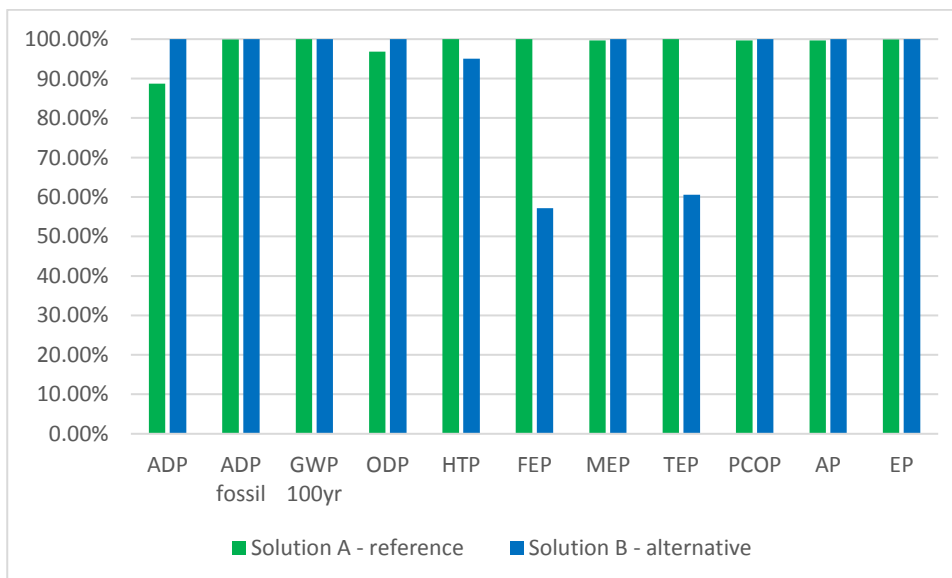


Figure 3: Relative comparison of impact between solution A (reference) and B (alternative)

Compared to solution A, solution B entails evident reduced impacts on HTP, FEP, and TEP due to the reduced concentration of active ingredient. On the other hand, for ADP the impact is higher in relation to the lower concentration in active ingredient, which involves in a greater use of commercial product. For all the other categories, no substantial differences are found with exception of ODP in which solution A is less impacting for the same reason explained before.

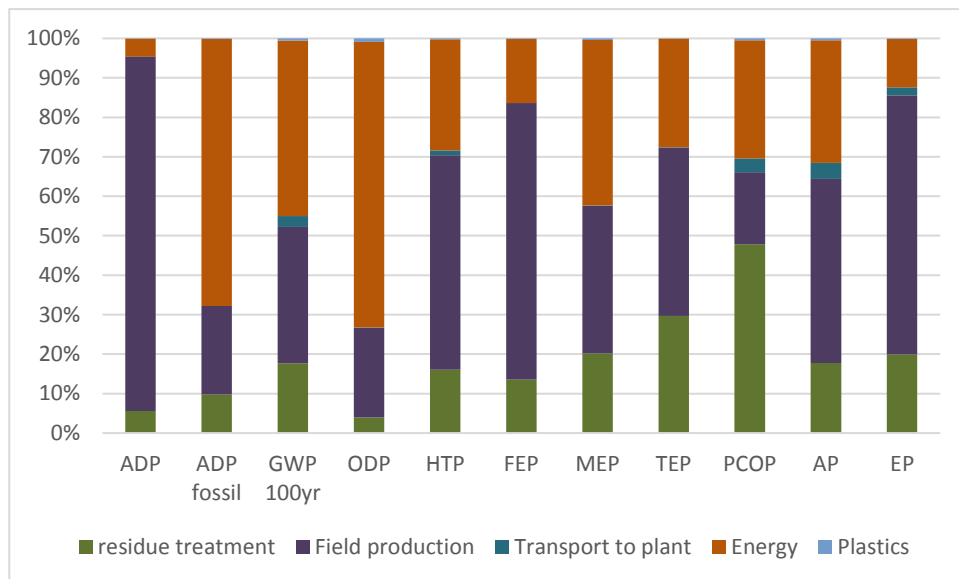


Figure 4: Contribution analysis for solution A (reference)

The contribution analysis for solution A shows how Field production, Energy use and Residue treatment are the main contributors to the total impact.

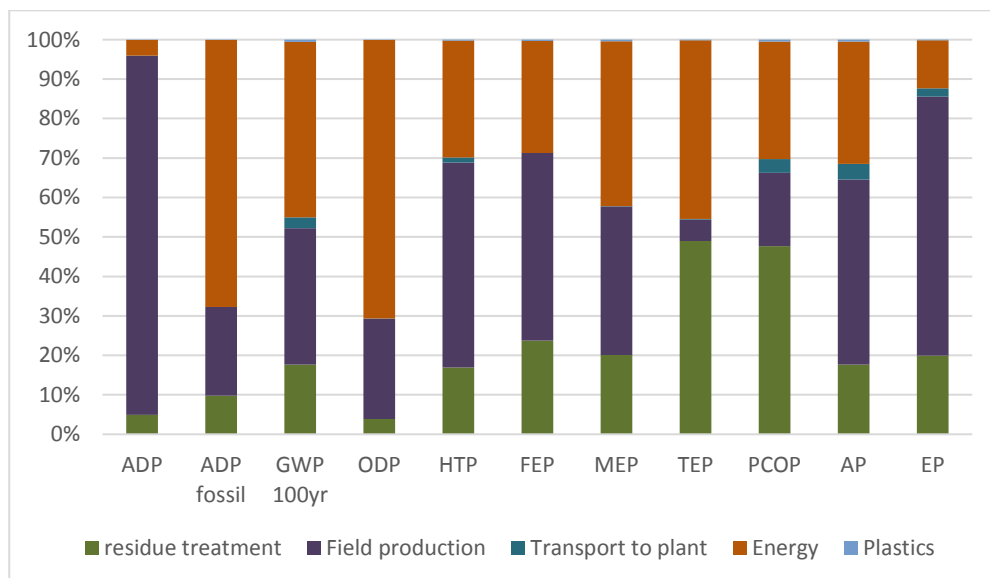


Figure 5: Contribution analysis for solution B (alternative)

The contribution analysis for solution B show the same trend with little differences on ADP, ODP, HTP, MEP and more marked on FEP and TEP. For FEP the major contributor in solution A is OFC (open field cultivation), replacing herbicides and 1st pesticides treatment the relative impact of OFC drops of about 20%. For TEP the difference is higher and replacing solution A with solution B the reduction on OFC is higher than 30%

Table 7: Contribution analysis comparison, relative impact between solution A and B

IC	Solution A (reference)					Solution B (alternative)				
	RT	OFC	TI	En	Pl	RT	OFC	TI	En	Pl
ADP	5.6%	89.8%	0.0%	4.5%	0.1%	4.9%	91.0%	0.0%	4.0%	0.1%

ADP fossil	9.8%	22.4%	0.0%	67.7%	0.1%	9.8%	22.5%	0.0%	67.6%	0.1%
GWP	17.7%	34.5%	2.7%	44.5%	0.6%	17.7%	34.5%	2.7%	44.5%	0.6%
100yr										
ODP	4.0%	22.7%	0.1%	72.3%	0.9%	3.9%	25.4%	0.1%	70.6%	0.1%
HTP	16.1%	54.4%	1.2%	28.1%	0.3%	16.9%	52.0%	1.3%	29.6%	0.3%
FEP	13.6%	70.0%	0.0%	16.2%	0.2%	23.7%	47.5%	0.1%	28.4%	0.3%
MEP	20.2%	37.4%	0.1%	41.9%	0.4%	20.1%	37.6%	0.1%	41.8%	0.4%
TEP	29.7%	42.7%	0.1%	27.4%	0.1%	49.0%	5.4%	0.1%	45.3%	0.2%
PCOP	47.8%	18.3%	3.5%	29.9%	0.5%	47.7%	18.5%	3.5%	29.8%	0.5%
AP	17.7%	46.7%	4.0%	31.1%	0.5%	17.7%	46.8%	4.0%	31.0%	0.5%
EP	20.0%	65.6%	2.1%	12.2%	0.2%	19.9%	65.6%	2.1%	12.2%	0.2%

To evaluate the effect of variability on LCI data a montecarlo analysis has been conducted both for scenario A and B, the results of SD, CV and SEM are reported on table (6).

Table 8: Uncertainty analysis for Solution A and B.

IC	um	Solution A (reference)			Solution B (alternative)		
		SD	CV	SEM	SD	CV	SEM
ADP	kg Sb eq	2.1E-07	10.7	6.6E-09	2.2E-07	9.7	6.8E-09
ADP fossil	MJ	3.6E-01	3.8	1.2E-02	3.8E-01	3.9	1.2E-02
GWP 100yr	kg CO2 eq	1.4E-01	18.8	4.4E-03	1.4E-01	18.6	4.4E-03
ODP	kg CFC-11 eq	5.9E-09	7.6	1.9E-10	6.7E-09	8.3	2.1E-10
HTP	kg 1.4-DB eq	2.2E-01	151.2	6.9E-03	2.1E-01	157.8	6.8E-03
FEP	kg 1.4-DB eq	2.6E-01	124.0	8.2E-03	2.7E-01	218.0	8.5E-03
MEP	kg 1.4-DB eq	3.9E+01	12.6	1.2E+00	8.5E+01	26.7	2.7E+00
TEP	kg 1.4-DB eq	1.4E-01	3655.1	4.5E-03	1.4E-01	5733.9	4.3E-03
PCOP	kg C2H4 eq	6.2E-05	31.3	2.0E-06	5.7E-05	28.6	1.8E-06
AP	kg SO2 eq	1.2E-03	33.9	3.7E-05	1.2E-03	33.4	3.7E-05
EP	kg PO4--- eq	6.7E-04	40.1	2.1E-05	4.2E-04	25.5	1.3E-05

CI: 95

The great variability found for some categories, for example TEP, derives from background processes of Ecoinvent® database modified. These processes are included in open field cultivation and regards the operation of soil cultivation, sowing, fertilizing, and application of plant protection. The modifications introduced regard the use of diesel and related emissions and the use of machinery. All the modifications have been included maintaining the original proportion, so the great variability found in the uncertainty analysis are not related to primary data.

Discussion

As expected, the impact of frozen green bean production on different impact category derives from various activity and process step depending on materials and emissions occurred. For example, the main contributor for ADP is the cultivation step because in this phase is consumed the most relevant amount of resources. The industry step is the major contributor for ADP fossil because of the large use of energy (as electricity and natural gas). For other categories the impact is equally distributed between two or three phases (cultivation, industry processing and residues treatment). In some cases, the higher impact is related to cultivation, for example EP, HTP, FEP, because of fertilizers and pesticides emissions. In other cases, industry processing contributes more than other phases because of the large use of energy for product handling and thermal treatment. What is absolute evident is the low impact of transportation of raw material. The company that produces these products chooses to collect raw material near the processing plant for technological and economic reasons. This is translated into a negligible impact of transport step for almost all the categories considered. Other studies in literature reported the impact for green bean production in open field and under greenhouse[25] or for different cultivars under conventional, organic or integrated management[23]. The impact calculated in this study, for the cultivation step, is comparable. Unfortunately, to our knowledge, there is just only one study on environmental impact of industry processing for green bean[26]. Impacts for both the cultivation and industrial steps are similar.

Conclusions

The analysis showed that the main contributors to total impact are open field production and energy use. A possible solution to reduce impact could be represented by an improved weed and pest control as proposed in the paper. For what concerning energy a possible way of impact mitigation is to replace standard energy sources (electricity from grid) with renewable energy. Residues represent an environmental issue that properly fixed could represent a proper and valid mitigation strategy. Compared to other studies focused on field cultivation the impact is about the same. The only evident difference can be found for ADP in which the higher or lower impact derives from considering or not the infrastructures in LCI. Many authors identify in infrastructure goods one of the main contributors for the most important impact category. However, considering capital goods in LCA analysis involves in a series of difficulties, for example define the correct lifetime of these inputs.

Acknowledgement

The authors are grateful to the agricultural company Promarche for providing data and allowing the collection of the essential information to conduct this study.

1. Nations, U., *International Year of Pulses, 2016*. 2014.
2. FAO, *Pulses nutritious seeds for a sustainable future*. 2016.
3. Crews, T.E. and M.B. Peoples, *Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2004. **102**(3): p. 279-297.
4. Hauggaard-Nielsen, H., et al., *Productivity and carbon footprint of perennial grass-forage legume intercropping strategies with high or low nitrogen fertilizer input*. Science of the Total Environment, 2016. **541**: p. 1339-1347.
5. Jensen, E.S., et al., *Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review*. Agronomy for Sustainable Development, 2012. **32**(2): p. 329-364.
6. Bedoussac, L. and E. Justes, *The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth*. Plant and Soil, 2010. **330**(1): p. 19-35.
7. Basosi, R., et al., *Mineral nitrogen fertilizers: Environmental impact of production and use*, in *Fertilizers: Components, Uses in Agriculture and Environmental Impacts*. 2014. p. 3-43.
8. Multari, S., D. Stewart, and W.R. Russell, *Potential of Fava Bean as Future Protein Supply to Partially Replace Meat Intake in the Human Diet*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2015. **14**(5): p. 511-522.
9. Pelzer, E., et al., *Crop management affects the performance of a winter pea-wheat intercrop*. Agronomy Journal, 2016. **108**(3): p. 1089-1100.
10. EUROSTAT, *Crop production in EU standard humidity, [apro_cpsh1], fresh beans*. v3.4.3-20180921-ca611-PROD_EUROBASE

DATA-EXPLORER_PRODmanaged24. 2014.

11. ISTAT, *I.Stat export database, agricultural production and surface dataset for Marche region*. 2011.
12. ISTAT, *I.Stat export database, agricultural production and surface dataset for Marche and Abruzzo region*

2004-2011.

13. Kulak, M., et al., *Life cycle assessment of bread from several alternative food networks in Europe*. Journal of Cleaner Production, 2015. **90**: p. 104-113.
14. L. Milà i Canals, I.M., A. Hospido, K. Plassmann, S. McLaren, G. Edwards-Jones, B. Hounsome, *Life cycle assessment (LCA) of domestic vs. imported vegetables. Case Stud. Broccoli, Salad Crop. Green Beans, Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, Guildford, UK (2008)*. 2008.
15. Schmidt Rivera, X.C., et al., *The influence of fertiliser and pesticide emissions model on life cycle assessment of agricultural products: The case of Danish and Italian barley*. Science of the Total Environment, 2017. **592**: p. 745-757.

16. Roy, P., et al., *A review of life cycle assessment (LCA) on some food products*. Journal of Food Engineering, 2009. **90**(1): p. 1-10.
17. Meier, M.S., et al., *Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – Are the differences captured by life cycle assessment?* Journal of Environmental Management, 2015. **149**: p. 193-208.
18. Parajuli, R., G. Thoma, and M.D. Matlock, *Environmental sustainability of fruit and vegetable production supply chains in the face of climate change: A review*. Science of The Total Environment, 2019. **650**: p. 2863-2879.
19. Abeliotis, K., V. Detsis, and C. Pappia, *Life cycle assessment of bean production in the Prespa National Park, Greece*. Journal of Cleaner Production, 2013. **41**: p. 89-96.
20. Romero-Gómez, M., et al., *Environmental impact of screenhouse and open-field cultivation using a life cycle analysis: the case study of green bean production*. Journal of Cleaner Production, 2012. **28**(Supplement C): p. 63-69.
21. H.F. Carmo, B.E.d.M., A.E. Wander, F.R.B. Moreira, A.C. Gonzaga, P.M. de O Silveira, A.G. da Silva, J.G. Silva, P.L.O.de A. da Machado, *Balanço energético e pegada de carbono nos sistemas de produção integrada e convencional de feijão-comum irrigado*. Pesqui. Agropecuária Bras., 2016. **51** (2016): p. 1069-1077.

8. Allegato 3 (conference proceedings)

Energy and environmental analysis of chains for horticultural products belonging to I, III, IV gamma.

Alessio Ilari¹, Daniele Duca¹, Ester Foppa Pedretti¹, Giuseppe Toscano¹

Department of Agricultural, Food and Environmental Sciences, Marche Polytechnic University, Via Breccie Bianche 10, 60131 Ancona, Italy.

Alessio Ilari: a.ilari@pm.univpm.it

Abstract:

Within the agricultural world, the horticultural sector is currently considered as one of the largest contributors in terms of environmental impact. This is due to the intensity of soil and inputs for cultivation. Processed horticultural products, mainly frozen and “ready to use”, are becoming very popular, thanks to usability and availability on the market and to the fact that they are well matched with the growing frenzy of human activities. From a wider point of view, I, III, IV, gamma products require elaborate and energivorous equipment for processing, with which could be associated an even greater risk of environmental impact. The overall sustainability analysis of food chains is therefore an essential goal.

The life-cycle assessment methodology (LCA) ISO 14040:2006, 14044:2006 has been applied to some important products considering two medium agro-food enterprises of Marche region. Through questionnaires, surveys and database elaboration, energy and material flows throughout the production chain have been detected. The production chain steps analysed have reference to: transports, field production and plant processing. The analysed products include fresh and “ready to use” salads and frozen vegetables. SimaPro[®] v.8.1.1. software for impact assessment has been used. The results obtained offer a plurality of uses ranging from knowledge of the process impact level to the detection of steps with higher associated impact, information usable as base for other studies or as comparative data. Other possible uses are those related to the assessment of any mitigation measures, aimed at increasing the energy, environmental and economic efficiency of the production process.

Keywords: *LCA, Agro-food, Sustainability, Production chain.*

Introduction

Agriculture is currently called to be a major player in preserving the environment and in producing healthy raw materials. This is due to the increasingly interest of consumers on the effects of agricultural activities that may occur along the life of food products [59]. According to [60] horticulture can be considered as one of the major contributors within the agricultural branches. Horticultural crops are characterised of an ever increasing use of pesticides, fertilizers and soil that causes growing environmental impact on the ecosystems. In the last years, the interest on processed products, such as fresh washed and ready to eat vegetables, caused a shifting of traditional and rural agriculture to an industry-based system. The food industry is one of the world’s largest industrial sectors and hence is a large user of energy [56], food production, preservation and distribution consume a large amount of energy that could cause a considerable environmental impact. Life cycle assessment is a methodological tool that can be useful to evaluate the environmental burden of products, services and activities taking into consideration their entire life cycle [61]. The most used approaches to carry out an LCA study are based on the application of PCR from EPD[®] (specific for food products) or on ISO standards. Other applications equally common are based on ISO/TS

14067:2013 and ISO/TS 14046:2014 standards respectively assessing Carbon Footprint and Water Footprint. Aim of this study is to evaluate the environmental and energetic load of different products afferent to three categories of processed vegetables conventionally established in Italy. The product considered are curly endive, escarole, red chicory, sugarloaf chicory for I and IV gamma and green bean for III gamma.

Materials and methods

Before the impact assessment, it is necessary to standardise the analysis into three steps: system description; system boundaries and inventory analysis [5, 62]; set the proper functional unit.

Studied system and boundaries

For all the products, an approach “cradle to industry gate” has been chosen (figure 1). Production system related to the five vegetables considered is the same and its boundaries regard the open field production, raw material transport and factory processing. Depending on the pre-established final product, the salad tufts are undergo to different treatments. In this case only I gamma chain has been considered. I gamma products may be used in the IV gamma chain as semi-finished products. Green bean and salad production takes place in different locations and industries specialised respectively in frozen vegetable products and fresh ones.

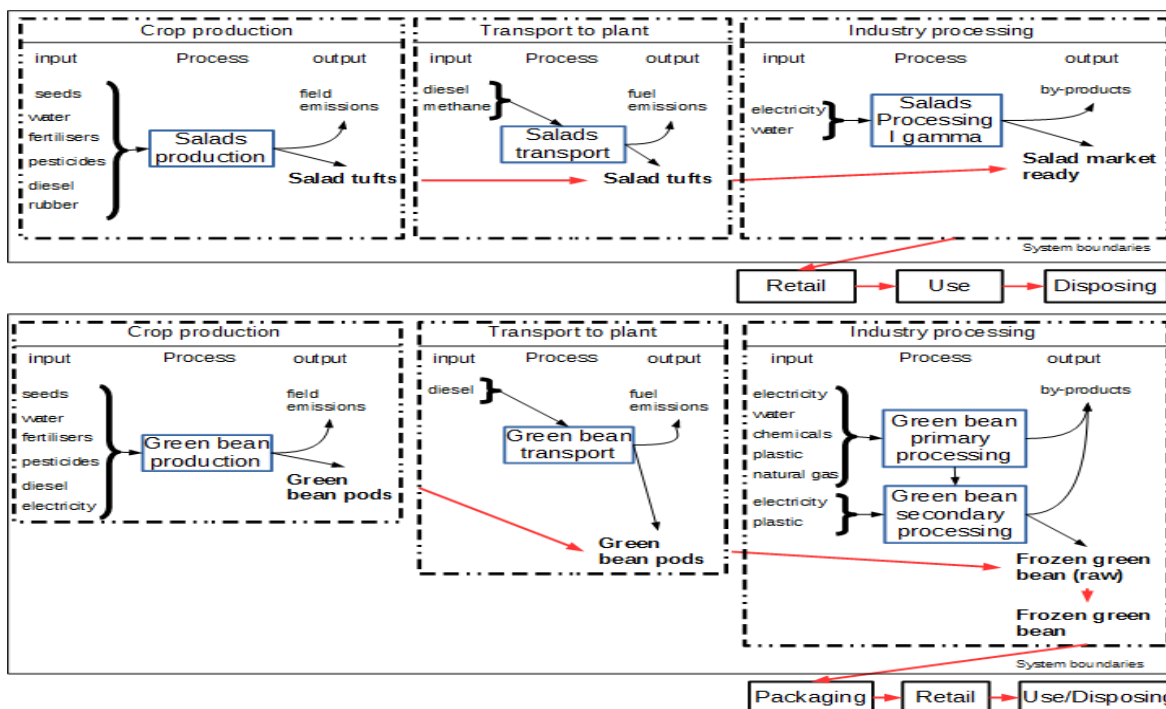


Figure 6 System boundaries for salads and green bean products, foreground processes and product flow highlighted with respectively blue squares and red arrows.

Processes inventory and functional unit

Foreground inventory analysis of the cultivation step covers for salads production: seeds; pesticides; fertilisers; fuels and rubber bands (used for tufts whitening). For green bean production: seeds; fertilizers and pesticides. Inventory of the transport stage comes from SimaPro[®] datasets. Primary data of the processing step for salads are electricity, plastic and cardboard. Regarding the processing step of green bean the foreground data collected are electricity, water, natural gas, and plastic bags for temporary storage. Data concerning emissions from field due to fertilizers and pesticides application has been evaluated according to what stated from IPCC 2013 guidelines and other authors

[44]. Functional unit for all products has been set to one weight unit (kg) of product consistent with other studies on the same sector [15, 17, 61, 63]. The Impact analysis has been carried using software SimaPro v 8.1.1.16 PhD.

Results and discussion

For impact assessment analysis of green bean (figure 2), impact calculation method selected was CML 2 baseline 2000 V2.05 / the Netherlands, 1997. Four principal processes have been highlighted: green bean open field (OF) production; transport to plant; green bean processing (industry activities); green bean packed (packaging). Results show that the cropping step is the primary contributor for Eutrophication (E) and Terrestrial ecotoxicity (TE) and it has a considerable weight even for the other impact categories except Ozone layer depletion (ODP), Human toxicity (HT) and Fresh water aquatic ecotoxicity (FWAE). Packaging stage contribute mainly to ODP, HT, and FWAE categories. Processing stage instead has a great impact on Abiotic depletion (AD), Global warming (GW), Marine aquatic ecotoxicity (MAE) and a relevant role in the other categories excluded HT and FWAE.

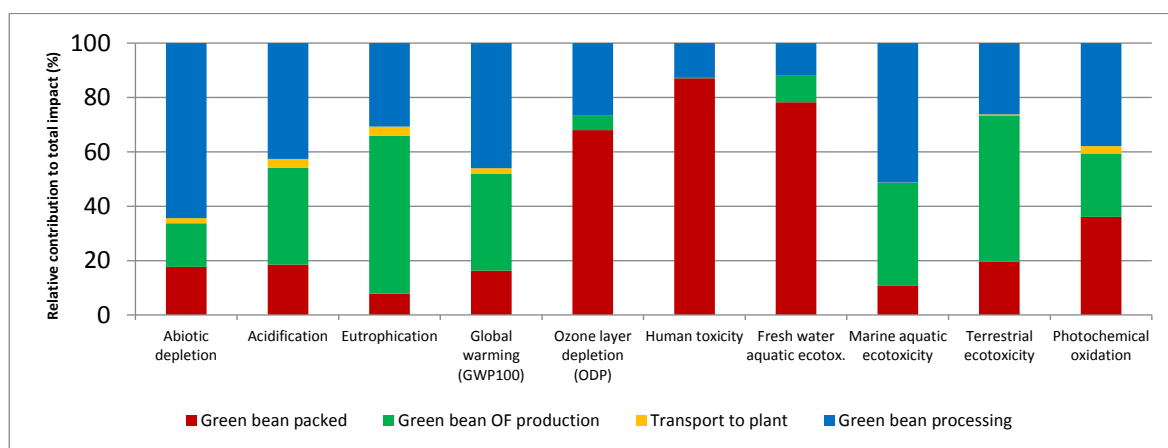


Figure 7 Results of impact assessment of green bean life cycle considered, impact method of calculation selected CML 2 baseline 2000 V2.05, impact categories: Abiotic depletion (AD), Acidification (A), Eutrophication (E), Global warming (GW), Ozone layer depletion (OLD), Human toxicity (HT), Fresh water aquatic ecotoxicity (FWAE), Marine aquatic ecotoxicity (MAE), Terrestrial ecotoxicity (TE), Photochemical oxidation (PO).

For salad impact, the main four I gamma products that may constitute the mix of the IV gamma ones were compared. Results (figure 2) show that curly endive has the higher impact. On the other side red chicory has the lower, escarole and sugar loaf chicory are positioned at burden intermediate level. This could be due to the lower yield of curly endive; no clear difference related to other inputs on production chain has been found as well as no evident differences are visible between impacts categories selected.

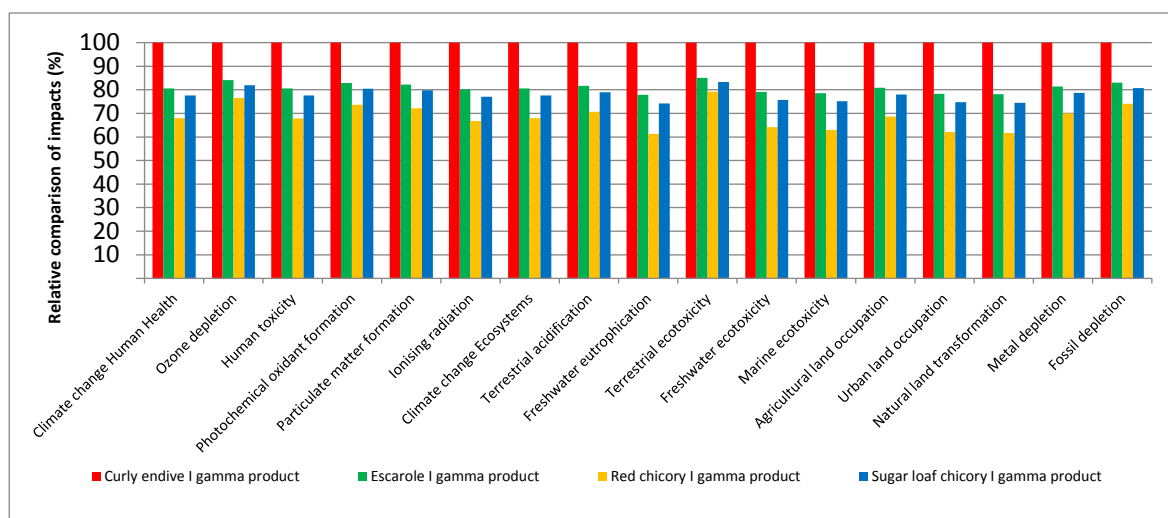


Figure 8 Comparison of four different ingredients of IV gamma fresh salad ready to eat at the stage of I gamma single products. Method used ReCiPe Endpoint (H) v 1.10.

Conclusions

LCA methodology highlights an excellent representativeness and repeatability. This is proved by the similarity on results obtained with ones of other similar studies. For example the value obtained for GW category of green bean in the cultivation step it's $2.59E-1$ CO₂eq that is consistent with what stated by other authors [63].

References

- Del Borghi, A., M. Gallo, C. Strazza and M. Del Borghi (2014). "An evaluation of environmental sustainability in the food industry through Life Cycle Assessment: The case study of tomato products supply chain." *Journal of Cleaner Production* **78**: 121-130.
- Foteinis, S. and E. Chatzisyneon (2016). "Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece." *Journal of Cleaner Production* **112**: 2462-2471.
- Margni, M., D. Rossier, P. Crettaz and O. Jolliet (2002). "Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems." *Agriculture Ecosystems & Environment* **93**(1-3): 379-392.
- Mourad, A. L., L. Coltro, P. A. P. L. V. Oliveira, R. M. Kletecke and J. P. O. A. Baddini (2007). "A simple methodology for elaborating the life cycle inventory of agricultural products." *International Journal of Life Cycle Assessment* **12**(6): 408-413.
- Romero-Gómez, M., A. Antón, T. Soriano, E. M. Suárez-Rey and N. Castilla (2009). "Environmental impact of greenbean cultivation: Comparison of screen greenhouses vs. open field." *Journal of Food, Agriculture and Environment* **7**(3-4): 754-760.
- Romero-Gómez, M., E. Audsley and E. M. Suarez-Rey (2014). "Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain." *Journal of Cleaner Production* **73**: 193-203.
- Roy, P., D. Nei, T. Orikasa, Q. Xu, H. Okadome, N. Nakamura and T. Shiina (2009). "A review of life cycle assessment (LCA) on some food products." *Journal of Food Engineering* **90**(1): 1-10.
- Russo, G. and B. De Lucia Zeller (2008). Environmental evaluation by means of LCA regarding the ornamental nursery production in rose and sowbread greenhouse cultivation. *Acta Horticulturae*. **801 PART 2**: 1597-1604.
- Shiina, T., D. Hosokawa, P. Roy, T. Orikasa, N. Nakamura and M. Thammawong (2011). Life cycle inventory analysis of leafy vegetables grown in two types of plant factories. *Acta Horticulturae*. **919**: 115-122.
- Wainwright, H., C. Jordan and H. Day (2014). Environmental impact of production horticulture. *Horticulture: Plants for People and Places*, Springer Netherlands. **1**: 503-522.

9. Allegato 4 (Conference Proceedings e Poster)

SYSTEM FOR ORGANIC RESIDUES BIOTREATMENT: FIRST EXPERIENCE ON DIGESTATE

Ilari, A.¹, Duca, D.¹, Toscano, G.¹, Colocci, A.², Foppa Pedretti, E.¹

¹ *Marche Polytechnic University, Department of Agricultural, Food and Environmental Sciences, Via Breccie Bianche 10, 60131 Ancona (AN), Italy.*

² *Marche Polytechnic University, Department of Life and Environmental Sciences, Via Breccie Bianche, 60131 Ancona (AN), Italy.*

Alessio Ilari: a.ilari@pm.univpm.it

Keywords: *Hermetia Illucens*; GHG; Climate Chamber; Residues; Digestate.

INTRODUCTION

The trend in terms of sustainability for the near future seems to be the rational use and extraction of biotic and abiotic resources i.e. water and resources for energy use. The two most widespread approaches to address the problem of sustaining the economic development maintaining the production levels unchanged are: increasing the resource use efficiency and the use of alternative sources such as by-products and waste. The research discussed in this article is based on this second point. In recent years there has been a proliferation of studies about the bio-treatment of organic residues. One of the most interesting is the use of insects. Insects can be a low environmental impact vector and a valid protein source to be used for animal or human food and a source of energy [64-66] or for waste treatment [67-70]. The transformation efficiency of residues into high added value products strongly depends on the insect adaptability to the substrate. An insect seems to combine all these peculiarities, the black soldier fly, BSF, (*Hermetia illucens* L.). This insect can quickly turn decomposing material of animal or vegetable origin into stable compost and high-value lipid-protein biomass. The scope of this study was to set up and use a system for bioreaction monitoring of environmental parameters, crucial for evaluating BSF performance on substrates degradation.

MATERIALS AND METHODS

The consists on a heating and cooling system connected to a double relay thermostat. For temperature and humidity monitoring, the chamber was provided with a DHT22 sensor connected to an Arduino hardware interface programmed with a specific code. The data were then automatically archived in an excel sheet using a macro developed by Parallax modified for the occurrence. The first rearing test has been performed using solid digestate as substrate the larvae density has been set on 5 larvae/cm² that is the maximum density found by Parraz Paz. After this first experience the chamber has been modified to allow the presence of three different tests in duplicate (six trays in total). Three different substrates have been tested: Zootechnic feed (Hf001), Mix of vegetables and animal residues (Hf002) and spinach residues (Hf003). In this second rearing test the larvae density has been set on 1.8 larvae/cm². In all cases larvae of 4-6 days were used. about 10000 larvae for the first test and 1660 (for replicates) were fed with 22 mg/larvae/day of substrate as it is till the beginning of the prepupa phase, coinciding with the migration of the larvae from the substrate. Feed, substrates and insects were analysed to evaluate the content of humidity, ashes, major elements, metals, etc.

RESULTS AND DISCUSSION

Obtained results show how the system maintained the temperature (set on 29°C) in the optimal range. The average temperature in 90 days was 28.9±0.4 °C. For the same period, the humidity average value was 70.1±4.7%. The substrate analysis shows how the treatment reduces the water content of about 29%, carbon

content of 10% and increases nitrogen, phosphorus and potassium of 3, 19 and 27 % respectively. The C/N ratio decreases of about 13% and the total mass has been practically halved. From the point of view of insects rearing, the studied substrate had a reduced C/N ratio in relation to what reported by [71] and, in general, its capacity to support the complete development of BSF was not sufficient. In fact, the total survival rate was about 37% according to [72] but the average insect mass was only 22 mg (about 9 times lower than the average values in literature) [50, 73]. The second test show a reduction of 80% of water content for treatment Hf002 and Hf003. Humidity in Hf001 increase of 2% due to hygroscopicity. C/N ratio decreased for Hf001 and Hf003, instead for Hf002 remained unchanged.

CONCLUSION

Confirming what was claimed by [71] the C/H ratio of substrates is crucial for BSF efficiency in waste bioconversion. The climate chamber has shown that it can maintain environmental parameters at optimal levels for insect development. The best substrate was Hf003 with high mass reduction and high bioconversion rate. On the other side Hf002 showed the higher mass reduction with a low bioconversion rate.

REFERENCES

- Čičková, H., Newton, G. L., Lacy, R. C., & Kozánek, M. (2015). The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management*, *35*, 68-80. doi: 10.1016/j.wasman.2014.09.026
- Gobbi, P., Martinez-Sanchez, A., & Rojo, S. (2013). The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *EJE*, *110*(3), 461-468.
- Kim, W. T., Bae, S. W., Park, H. C., Park, K. H., Lee, S. B., Choi, Y. C., . . . Koh, Y. H. (2010). The Larval Age and Mouth Morphology of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *International Journal of Industrial Entomology*, *21*(2), 185-187.
- Leong, S. Y., Kutty, S. R. M., Malakahmad, A., & Tan, C. K. (2016). Feasibility study of biodiesel production using lipids of *Hermetia illucens* larva fed with organic waste. *Waste Management*, *47*, 84-90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.030>
- Li, W., Li, Q., Zheng, L., Wang, Y., Zhang, J., Yu, Z., & Zhang, Y. (2015). Potential biodiesel and biogas production from corncob by anaerobic fermentation and black soldier fly. *Bioresource Technology*, *194*, 276-282. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.112>
- Oonincx, D. G. A. B., van Broekhoven, S., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *PLoS ONE*, *10*(12), e0144601. doi: 10.1371/journal.pone.0144601
- Parra Paz, A. S., Carrejo, N. S., & Gómez Rodríguez, C. H. (2015). Effects of Larval Density and Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). *Waste and Biomass Valorization*, *6*(6), 1059-1065. doi: 10.1007/s12649-015-9418-8
- Rehman, K. u., Rehman, A., Cai, M., Zheng, L., Xiao, X., Somroo, A. A., . . . Zhang, J. (2017). Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). *Journal of Cleaner Production*, *154*, 366-373. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.019>
- Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., & Savastano, D. (2017). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 890-905. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.06.154

Surendra, K. C., Olivier, R., Tomberlin, J. K., Jha, R., & Khanal, S. K. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98, 197-202. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.022>



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE



Biogas Science 2018

TORINO, ITALY - SEPTEMBER 17-19



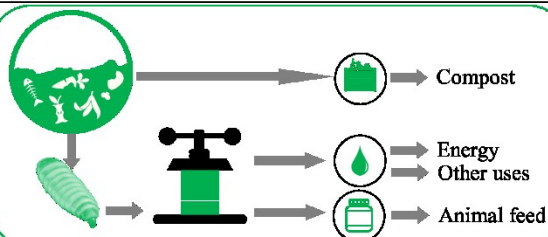
SYSTEM FOR ORGANIC RESIDUES BIOTREATMENT: FIRST EXPERIENCE ON DIGESTATE

Ilari, A.¹, Duca, D.¹, Toscano, G.¹, Colocci, A.², Foppa Pedretti, E.¹

¹ Marche Polytechnic University, Department of Agricultural, Food and Environmental Sciences, Via Breccia Bianche 10, 60131 Ancona (AN), Italy.

² Marche Polytechnic University, Department of Life and Environmental Sciences, Via Breccia Bianche, 60131 Ancona (AN), Italy.

Alessio Ilari: a.ilari@pm.univpm.it



Introduction:

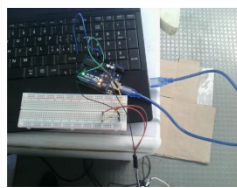
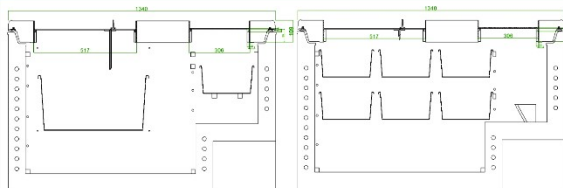
One of the most interesting bio-treatment systems for organic waste and residues is the use of insects (Čičková et al., 2015; Diener et al., 2009; Ooninx et al., 2015; Parra Paz et al., 2015). Insects can be less impactful and a valid protein and energy source (Leong et al., 2016; Li et al., 2015; Surendra et al., 2016). The bio-treatment by insects also produces a residue comparable to compost. The scope of this study was to set up a system for bioreaction monitoring of environmental parameters and to assess the attitude of digestate and other residues to support insect bio-conversion.

Materials and methods:

An heating and cooling system connected to a double relay thermostat has been modified for temperature and humidity control. Environmental condition monitoring has been conducted with a DHT22 sensor connected to an Arduino hardware interface.

Data were automatically archived in an excel sheet using a macro developed by Parallax modified for the occurrence.

First rearing test has been performed using solid digestate as substrate with larvae density of 5 larvae/cm² that is the maximum density found by Parra Paz. After, three different substrates have been tested: zootechnic feed (Hf001), spinach residues (Hf002) and mix of vegetables and animal residues (Hf003) with a density of 1.8 larvae/cm². In all cases larvae of 4-6 days were used. about 10000 larvae for the first test and 1660 (for replicates) were fed with 22 mg/larvae/day of substrate till the beginning of the prepupa phase, coinciding with the migration of the larvae from the substrate. Feed, substrates and insects were analysed to evaluate the content of humidity, ashes and major elements.

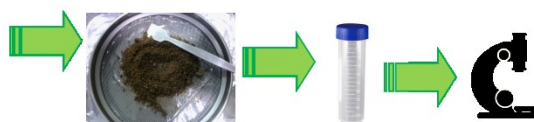


```
#include <DHT.h>
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT122
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
int chk;
float hum;
float temp;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("LABEL: t, hum, temp");
  dht.begin();
}

void loop()
{
  if (isnan(h) || isnan(t) ||
```

```
Serial.println("nan");
return;
}
hum = dht.readHumidity();
temp = dht.readTemperature();
Serial.println("Humidity: ");
Serial.println(hum);
Serial.println("Temp: ");
Serial.println(temp);
Serial.println(" Celsius");
Serial.println("DATA, TIME");
Serial.println(hum);
Serial.println(" ");
Serial.println(temp);
delay(42000);
```



Parameter	unit	digestate (solid)		Hf001(feed/substrate)		Hf002(feed/substrate)		Hf003(feed/substrate)	
		before	after	before	after	before	after	before	after
Temperature ¹	°C	28.9 ± 0.4		28.9 ± 1.0					
Umidity ¹	%	70.1 ± 4.7		61.2 ± 7.4					
Water content ²	%	77.8 ± 0.3	55.0 ± 0.0	11.5 ± 0.03	13.4 ± 0.4	90.0 ± 0.1	15.3 ± 2.3	56.3 ± 1.1	10.8 ± 0.4
Ash ²	%	17.0 ± 0.5	20.2 ± 0.7	15.1 ± 0.3	23.6 ± 2.1	21.5 ± 0.7	30.6 ± 1.9	5.9 ± 0.3	18.1 ± 0.5
Carbon (C) ²	%	38.2	39.0	35.4	30.3	34.0	25.8	48.4	36.6
Nitrogen (N) ²	%	2.8	3.2	2.3	3.5	4.2	3.3	2.0	3.6
Phophorus ²	mg/kg	7535.9	9004.0	8143.7	13552.1	4315.3	11154.8	2995.1	11168.6
Potassium ²	mg/kg	10236.7	13051.4	11637.1	19798.9	40992.7	66081.4	11172.9	40829.6
C/N	-	13.6	12.2	15.4	8.8	8.1	8.0	24.2	10.2
Survival rate ³	%	37		90 ± 0.06		52 ± 0.06		80 ± 0.19	

¹ analysis referred to chamber's environmental parameters. ² analysis referred to substrates before and after bio-treatment. ³ based on initial larvae estimation

Comments:

Confirming what was claimed by (Rehman et al., 2017) the C/N ratio of substrates is crucial for BSF efficiency in waste bioconversion. The climate chamber has shown that it can maintain environmental parameters at optimal levels for insect development. The best substrate was Hf003 with high mass reduction and high bioconversion rate. On the other side Hf002 showed the higher mass reduction with a low bioconversion rate. The capacity of digestate to support the complete development of BSF was not sufficient. In fact, the total survival rate was about 37% according to (Gobbi, Martinez-Sanchez, & Rojo, 2013) but the average insect mass was only 22 mg (about 9 times lower than the average values in literature) (Kim et al., 2010; Salomone et al., 2017).

10. Allegato 5 (Codice di programmazione)

Codice di programmazione della scheda Arduini UNO:

```
#include <DHT.h> //Include la libreria del sensore nel codice

#define DHTPIN 2 // Definisce il pin digitale di output dell'informazione dal sensore

#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302) definisce la tipologia del sensore in questo caso si tratta del
secondo modello in termini di sensibilità di misura della serie DHT

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Inizializza il sensore per la misura

int chk; // Imposta una variabile intera in cui vengono memorizzati i valori che vengono inviati dalla sonda
dopo la sua inizializzazione e lettura

float hum; //Immagazzina il valore di umidità nella memoria e lo visualizza sul monitor seriale come un
floating point number ovvero come un numero decimale

float temp; // Immagazzina il valore di temperatura nella memoria e lo visualizza sul monitor seriale come
un floating point number ovvero come un numero decimale

void setup()

{Serial.begin(9600); //Imposta il baud delle informazioni, ovvero imposta il canale di comunicazione con il
monitor seriale di arduino e il numero di simboli ed informazioni che vengono trasmesse nell'unità di
tempo (1 secondo)

  Serial.println("LABEL, t, hum, temp"); //Comando di scrittura dei campi in oggetto in formato ASCII
leggibile da esseri umani in questo caso il comando riguarda la scrittura come etichette dei testi tempo,
umidità e temperatura (il codice è inserito nel void setup perché deve essere scritto soltanto una volta.

  dht.begin(); //Comando di avvio di lettura dal sensore, inserito alla fine del codice del void setup perché
da questo punto in poi saranno i codici in loop a funzionare}

void loop()

{if (isnan(h) || isnan(t)) {

  Serial.println("nan");

  return;} //if pone una condizione che viene espressa all'interno del campo tra parentesi tonde e scrive,
attraverso il comando println il codice tra virgolette se si verifica la condizione. In questo caso l'if registra la
mancata misura dal sensore e scrive nan nel campo valori di umidità e temperatura

  hum = dht.readHumidity(); //lettura in loop del valore di umidità

  temp= dht.readTemperature(); //Lettura in loop del valore di temperatura

  Serial.print("Humidity: "); //Scrive il campo di umidità nel monitor seriale

  Serial.print(hum); //Scrive il valore di umidità registrato

  Serial.print(" %, Temp: "); //Il valore di umidità in percentuale e poi separandolo con una virgola scrive il
campo di temperatura nel monitor seriale
```

`Serial.print(temp); //Scrive il valore di temperatura registrato`

`Serial.println(" Celsius");` Il valore di temperatura è espresso in gradi Celsius

`Serial.print("DATA,TIME"); Serial.print(hum); Serial.print(","); Serial.println(temp);` L'ordine di scrittura dei vari campi diventa quindi infine Tempo espresso in ore minuti e secondi, il valore percentuale di umidità, separatore di campo e il valore di gradi Celsius

`delay(42000);` //Esprime il ritardo nella misura successiva e corrisponde al valore di millisecondi tra la fine della scrittura di tutti i campi e l'avvio di una nuova lettura}

11. Bibliografia

1. Commission, E., *Crop production in EU standard humidity, [apro_cpsh1]*. 2016, EUROSTAT: EUROSTAT website.
2. Ilari, A. and D. Duca, *Energy and environmental sustainability of nursery step finalized to "fresh cut" salad production by means of LCA*. International Journal of Life Cycle Assessment, 2018. **23**(4): p. 800-810.
3. Beccaro, G.L., et al., *Assessing environmental impacts of nursery production: Methodological issues and results from a case study in Italy*. Journal of Cleaner Production, 2014. **80**: p. 159-169.
4. Cambria, D. and D. Pierangeli, *A life cycle assessment case study for walnut tree (*Juglans regia* L.) seedlings production*. International Journal of Life Cycle Assessment, 2011. **16**(9): p. 859-868.
5. Russo, G. and B. De Lucia Zeller, *Environmental evaluation by means of LCA regarding the ornamental nursery production in rose and sowbread greenhouse cultivation*, in *Acta Horticulturae*. 2008. p. 1597-1604.
6. Lazzerini, G., S. Lucchetti, and F.P. Nicese, *Green House Gases(GHG) emissions from the ornamental plant nursery industry: a Life Cycle Assessment(LCA) approach in a nursery district in central Italy*. Journal of Cleaner Production, 2016. **112, Part 5**: p. 4022-4030.
7. Lazzerini, G., S. Lucchetti, and F.P. Nicese, *Analysis of greenhouse gas emissions from ornamental plant production: A nursery level approach*. Urban Forestry and Urban Greening, 2014. **13**(3): p. 517-525.
8. Kendall, A. and E. Gregory McPherson, *A life cycle greenhouse gas inventory of a tree production system*. International Journal of Life Cycle Assessment, 2012. **17**(4): p. 444-452.
9. Aldentun, Y., *Life cycle inventory of forest seedling production - From seed to regeneration site*. Journal of Cleaner Production, 2002. **10**(1): p. 47-55.
10. Ingram, D.L., *Life cycle assessment to study the carbon footprint of system components for colorado blue spruce field production and use*. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2013. **138**(1): p. 3-11.
11. Ingram, D., *Life cycle assessment of a field-grown red maple tree to estimate its carbon footprint components*. Vol. 17. 2012.
12. Hospido, A., et al., *The role of seasonality in lettuce consumption: A case study of environmental and social aspects*. International Journal of Life Cycle Assessment, 2009. **14**(5): p. 381-391.
13. Tasca, A.L., S. Nessi, and L. Rigamonti, *Environmental sustainability of agri-food supply chains: An LCA comparison between two alternative forms of production and distribution of endive in northern Italy*. Journal of Cleaner Production, 2017. **140**: p. 725-741.
14. Fusi, A., et al., *The environmental impact of the production of fresh cut salad: a case study in Italy*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2016. **21**(2): p. 162-175.
15. Foteinis, S. and E. Chatzisyneon, *Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece*. Journal of Cleaner Production, 2016. **112**: p. 2462-2471.
16. Bartzas, G., D. Zaharaki, and K. Komnitsas, *Life cycle assessment of open field and greenhouse cultivation of lettuce and barley*. Information Processing in Agriculture, 2015. **2**(3-4): p. 191-207.
17. Romero-Gamez, M., E. Audsley, and E.M. Suarez-Rey, *Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain*. Journal of Cleaner Production, 2014. **73**: p. 193-203.
18. Hall, G., et al., *Potential environmental and population health impacts of local urban food systems under climate change: a life cycle analysis case study of lettuce and chicken*. Agriculture & Food Security, 2014. **3**(1): p. 1-13.
19. Gunady, M.G.A., et al., *Evaluating the global warming potential of the fresh produce supply chain for strawberries, romaine/cos lettuces (*Lactuca sativa*), and button mushrooms (*Agaricus bisporus*) in Western Australia using life cycle assessment (LCA)*. Journal of Cleaner Production, 2012. **28**: p. 81-87.
20. EUROSTAT, *Crop production in EU standard humidity, [apro_cpsh1], fresch beans. v3.4.3-20180921-ca611-PROD_EUROBASE*

DATA-EXPLORER_PRODmanaged24. 2014.

21. ISTAT, *I.Stat export database, agricultural production and surface dataset for Marche and Abruzzo region*
- 2004-2011.
22. ISTAT, *I.Stat export database, agricultural production and surface dataset for Marche region*. 2011.
 23. Abeliotis, K., V. Detsis, and C. Pappia, *Life cycle assessment of bean production in the Prespa National Park, Greece*. *Journal of Cleaner Production*, 2013. **41**: p. 89-96.
 24. H.F. Carmo, B.E.d.M., A.E. Wander, F.R.B. Moreira, A.C. Gonzaga, P.M. de O Silveira, A.G. da Silva, J.G. Silva, P.L.O. de A. da Machado, *Balanço energético e pegada de carbono nos sistemas de produção integrada e convencional de feijão-comum irrigado*. *Pesqui. Agropecuária Bras.*, 2016. **51 (2016)**: p. 1069-1077.
 25. Romero-Gámez, M., et al., *Environmental impact of screenhouse and open-field cultivation using a life cycle analysis: the case study of green bean production*. *Journal of Cleaner Production*, 2012. **28**(Supplement C): p. 63-69.
 26. L. Milà i Canals, I.M., A. Hospido, K. Plassmann, S. McLaren, G. Edwards-Jones, B. Hounsome, *Life cycle assessment (LCA) of domestic vs. imported vegetables. Case Stud. Broccoli, Salad Crop. Green Beans, Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, Guildford, UK (2008)*. 2008.
 27. Bedoussac, L. and E. Justes, *The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth*. *Plant and Soil*, 2010. **330**(1): p. 19-35.
 28. Crews, T.E. and M.B. Peoples, *Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004. **102**(3): p. 279-297.
 29. Hauggaard-Nielsen, H., et al., *Productivity and carbon footprint of perennial grass-forage legume intercropping strategies with high or low nitrogen fertilizer input*. *Science of the Total Environment*, 2016. **541**: p. 1339-1347.
 30. Jensen, E.S., et al., *Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review*. *Agronomy for Sustainable Development*, 2012. **32**(2): p. 329-364.
 31. Basosi, R., et al., *Mineral nitrogen fertilizers: Environmental impact of production and use*, in *Fertilizers: Components, Uses in Agriculture and Environmental Impacts*. 2014. p. 3-43.
 32. Multari, S., D. Stewart, and W.R. Russell, *Potential of Fava Bean as Future Protein Supply to Partially Replace Meat Intake in the Human Diet*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2015. **14**(5): p. 511-522.
 33. FAO, *Pulses nutritious seeds for a sustainable future*. 2016.
 34. Pelzer, E., et al., *Crop management affects the performance of a winter pea-wheat intercrop*. *Agronomy Journal*, 2016. **108**(3): p. 1089-1100.
 35. EUROSTAT, *Crop production in EU standard humidity, [apro_cpsh1], STRUCPRO, Harvested production in EU standard humidity (1000 t)*. 2014.
 36. ISTAT, *Superficie e produzione Spinacio in piena aria e in serra 2005-2010*. 2018.
 37. T. Shiina, D.H., P. Roy, N. Nakamura, M. Thammawong, T. Orikasa, *Life Cycle Inventory Analysis of Leafy Vegetables Grown in Two Types of Plant Factories*. *Acta horticulturae*, 2011. **919**: p. 115-122.
 38. Sybille Büsser., R.S., Niels Jungbluth, *LCA of Packed Food Products: the function of flexible packaging*. 2008.
 39. Clune, S., E. Crossin, and K. Verghese, *Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories*. *Journal of Cleaner Production*, 2017. **140**: p. 766-783.
 40. Eric Audsley, M.B., Julia Chatterton, Donal Murphy-Bokern, Catriona Webster, Adrian Williams,, *How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope reduction by 2050*. WWF-UK, 2009.
 41. A., C.C., *La risorsa rinnovabile per la sostenibilità ambientale ed energetica della filiera dei sistemi serra in Italia*. 2013, University of Palermo.
 42. Doug Bailey, T.B., Dick Bir, *Water considerations for container production of plants*. *Horticulture Information Leaflet*, 1999. **557**.

43. Antón Vallejo, M.A., *Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo*, in *Departament de Projectes d'Enginyeria*. 2004, Universitat Politècnica de Catalunya.
44. Margni, M., et al., *Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems*. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2002. **93**(1-3): p. 379-392.
45. system, T.I.E., *PCR 2013:05 Arable crops (Version 2.0)*. 2013.
46. Agency, E.E., *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook*. 2013.
47. Bouwman, A., L.J.M. Boumans, and N. Batjes, *Modeling global annual N₂O and NO emissions from fertilized fields*. Vol. 16. 2002. 1080, doi:10.1029/2001GB00812.
48. (IPCC), I.P.o.C.C., *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. 2006.
49. V., P., *Erfassung der PO₄-Austrage für die Okobilanzierung SALCA Phosphor*. Agroscope Reckenholz –Tanikon ART 2006. **20p**.
50. Salomone, R., et al., *Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens**. *Journal of Cleaner Production*, 2017. **140**: p. 890-905.
51. Institute, T.A.S.M., *Cradle-to-Gate Life Cycle Inventory: Canadian and US Steel Production by Mill Type*. 2002.
52. Díaz Pérez, M. and F. Camacho-Ferre, *Effect of Composts in Substrates on the Growth of Tomato Transplants*. Vol. 42. 2010. 361-367.
53. Nations, U., *International Year of Pulses, 2016*. 2014.
54. Kulak, M., et al., *Life cycle assessment of bread from several alternative food networks in Europe*. *Journal of Cleaner Production*, 2015. **90**: p. 104-113.
55. Schmidt Rivera, X.C., et al., *The influence of fertiliser and pesticide emissions model on life cycle assessment of agricultural products: The case of Danish and Italian barley*. *Science of the Total Environment*, 2017. **592**: p. 745-757.
56. Roy, P., et al., *A review of life cycle assessment (LCA) on some food products*. *Journal of Food Engineering*, 2009. **90**(1): p. 1-10.
57. Meier, M.S., et al., *Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – Are the differences captured by life cycle assessment?* *Journal of Environmental Management*, 2015. **149**: p. 193-208.
58. Parajuli, R., G. Thoma, and M.D. Matlock, *Environmental sustainability of fruit and vegetable production supply chains in the face of climate change: A review*. *Science of The Total Environment*, 2019. **650**: p. 2863-2879.
59. Mourad, A.L., et al., *A simple methodology for elaborating the life cycle inventory of agricultural products*. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2007. **12**(6): p. 408-413.
60. Wainwright, H., C. Jordan, and H. Day, *Environmental impact of production horticulture*, in *Horticulture: Plants for People and Places*. 2014, Springer Netherlands. p. 503-522.
61. Shiina, T., et al., *Life cycle inventory analysis of leafy vegetables grown in two types of plant factories*, in *Acta Horticulturae*. 2011. p. 115-122.
62. Del Borghi, A., et al., *An evaluation of environmental sustainability in the food industry through Life Cycle Assessment: The case study of tomato products supply chain*. *Journal of Cleaner Production*, 2014. **78**: p. 121-130.
63. Romero-Gámez, M., et al., *Environmental impact of greenbean cultivation: Comparison of screen greenhouses vs. open field*. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 2009. **7**(3-4): p. 754-760.
64. Leong, S.Y., et al., *Feasibility study of biodiesel production using lipids of *Hermetia illucens* larva fed with organic waste*. *Waste Management*, 2016. **47**: p. 84-90.
65. Li, W., et al., *Potential biodiesel and biogas production from corncob by anaerobic fermentation and black soldier fly*. *Bioresource Technology*, 2015. **194**: p. 276-282.
66. Surendra, K.C., et al., *Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming*. *Renewable Energy*, 2016. **98**: p. 197-202.
67. Čičková, H., et al., *The use of fly larvae for organic waste treatment*. *Waste Management*, 2015. **35**: p. 68-80.

68. Diener, S., C. Zurbrügg, and K. Tockner, *Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates*. Waste Management and Research, 2009. **27**(6): p. 603-610.
69. Oonincx, D.G.A.B., et al., *Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products*. PLOS ONE, 2015. **10**(12): p. e0144601.
70. Parra Paz, A.S., N.S. Carrejo, and C.H. Gómez Rodríguez, *Effects of Larval Density and Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.)*, (*Diptera: Stratiomyidae*). Waste and Biomass Valorization, 2015. **6**(6): p. 1059-1065.
71. Rehman, K.u., et al., *Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.)*. Journal of Cleaner Production, 2017. **154**: p. 366-373.
72. Gobbi, P., A. Martinez-Sanchez, and S. Rojo, *The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)*. EJE, 2013. **110**(3): p. 461-468.
73. Kim, W.T., et al., *The Larval Age and Mouth Morphology of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)*. International Journal of Industrial Entomology, 2010. **21**(2): p. 185-187.