



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

**SOSTENIBILITÀ ENERGETICA ED AMBIENTALE
DELLE FASI DI COLTIVAZIONE E LOGISTICA
NELLA PRODUZIONE DI ORTAGGI DESTINATI
ALLA SURGELAZIONE**

Energy and environmental sustainability of the cultivation and
logistics phases in the production of vegetables for freezing

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
ELENA VALENTINI

Relatore:
PROF. ESTER FOPPA PEDRETTI

Correlatore:
DOTT. DANIELE DUCA
DOTT. ALESSIO ILARI

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE	3
ELENCO DELLE FIGURE	4
ELENCO DEI GRAFICI	5
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	6
CAPITOLO 1 AGROINDUSTRIA DEGLI ORTAGGI SURGELATI.....	7
1.1 L'orticoltura italiana.....	7
1.2 Il settore dei surgelati	12
1.3 Gli ortaggi surgelati.....	15
CAPITOLO 2 LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)	18
2.1 Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione	21
2.2 Analisi di inventario (<i>Life Cycle Inventory-LCI</i>)	22
2.3 Valutazione dell'impatto del ciclo vita (<i>Life Cycle Impact Assessment-LCIA</i>)	23
2.4 Interpretazione dei risultati (<i>Life Cycle Interpretation</i>).....	24
2.5 Reporting	25
2.6 Limiti di uno studio LCA	25
CAPITOLO 3 CASO STUDIO	26
3.1 Consorzio Ortofrutticolo Valli delle Marche (C.O.VAL.M)	26
3.2 Società Orto Verde	27
3.2.1 La produzione di spinacio surgelato	28
3.2.2 Appezzamenti e produttori.....	30
3.2.3 La coltivazione integrata.....	33
3.2.4 La coltivazione biologica	35
3.2.5 Il trasporto allo stabilimento	36
3.2.6 La lavorazione.....	36
CAPITOLO 4 LIFE CYCLE ASSESSMENT DELLA COLTIVAZIONE E DELLA LOGISTICA DI SPINACIO DESTINATO ALLA SURGELAZIONE	40
4.1 Obiettivo	40

4.2 Scopo	40
4.3 Analisi di inventario (LCI)	43
4.4 Risultati	50
4.5 Discussione.....	59
CONCLUSIONI.....	63
BIBLIOGRAFIA	65
SITOGRAFIA	66

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1-1: Superfici e produzioni dei settori agricoli italiani (fonte: ISTAT 2019)	8
Tabella 1-2: Superfici destinate alla coltivazione delle ortive (fonte ISTAT 2019)	9
Tabella 1-3: Ortive coltivate in piena aria nelle Marche (fonte ISTAT 2019)	11
Tabella 1-4: Ortive coltivate in serra nelle Marche (fonte ISTAT 2019).....	11
Tabella 3-1:Produzioni medie annue di O.R.T.O Verde	29
Tabella 3-2: Ripartizione dei produttori e delle superficie tra le regioni italiane	31
Tabella 3-3: Principi attivi utilizzati e avversità contrastate.....	35
Tabella 4-1: Dati di inventario della fase di coltivazione integrata	44
Tabella 4-2: Dati di inventario della fase di coltivazione biologica.....	44
Tabella 4-3: Dati di inventario della concimazione per lo spinacio seminato nel 2018....	45
Tabella 4-4: Dati di inventario della concimazione per lo spinacio seminato nel 2019	45
Tabella 4-5: Dati di inventario relativi ai trattamenti fitosanitari del sistema integrato....	46
Tabella 4-6: Dati di inventario relativi ai trattamenti fitosanitari del sistema biologico ...	47
Tabella 4-7: Emissioni dovute alle concimazioni del sistema integrato	48
Tabella 4-8: Emissioni dovute ai trattamenti fitosanitari del sistema integrato.....	48
Tabella 4-9: Emissioni dovute ai trattamenti fitosanitari del sistema biologico	49
Tabella 4-10: Dati di inventario relativi alla fase di trasporto (Integrato e biologico).....	50
Tabella 4-11: Impatto ambientale di 1kg di spinacio coltivato e trasportato allo stabilimento	50
Tabella 4-12: Impatto ambientale del sistema di coltivazione integrato (2018 e 2019)....	52
Tabella 4-13: Impatto ambientale del sistema di coltivazione biologico (2018 e 2019)...	52
Tabella 4-14: Impatto ambientale della distribuzione del digestato valutato da Bartocci et al. [5].....	54
Tabella 4-15: Impatto ambientale della fase di trasporto (integrato e biologico)	54

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1: Consumi di prodotti surgelati dal 1984 al 2019 (fonte Rapporto annuale IIAS)	14
Figura 1-2: Consumi di prodotti surgelati – Retail. Totale vendite in Italia per segmento merceologico 2019 vs 2018 (fonte Rapporto annuale IIAS)	14
Figura 2-1: Fasi del Life Cycle Assessment	20
Figura 3-1: Produzioni medie annuali di C.O.VAL.M.....	26
Figura 3-2: Lavorazione delle diverse specie di ortaggi durante l'anno	28
Figura 3-3: Diagramma di flusso della lavorazione dello spinacio.....	38

ELENCO DEI GRAFICI

Grafico 1-1: Ripartizione delle produzioni (fonte: ISTAT 2019).....	8
Grafico 1-2: Ripartizione delle superfici (fonte: ISTAT 2019).....	9
Grafico 3-1: Ripartizione percentuale delle produzioni medie annue.....	29
Grafico 3-2: Ripartizione percentuale delle superfici tra le regioni.....	32
Grafico 3-3: Estensioni degli appezzamenti.....	32
Grafico 4-1: Contribuzione dei quattro sistemi di coltivazione.....	55
Grafico 4-2: Confronto tra le fasi di coltivazione e di trasporto per entrambi i sistemi di coltivazione.....	55
Grafico 4-3: Contribuzioni dei diversi input nel sistema integrato (semina 2018).....	56
Grafico 4-4: Contribuzioni dei diversi input nel sistema integrato (semina 2019).....	57
Grafico 4-5: Contribuzioni dei diversi input nel sistema biologico (semina 2018).....	58
Grafico 4-6: Contribuzioni dei diversi input nel sistema biologico (semina 2019).....	58

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory.
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
FU	Functional Unit
ADP	Abiotic Depletion Potential
ADP _f	Abiotic Depletion Potential (Fossil fuels)
GWP	Global Warming Potential
ODP	Ozone layer Depletion Potential
HTP	Human Toxicity Potential
FEP	Fresh water aquatic Ecotoxicity Potential
MEP	Marine aquatic Ecotoxicity Potential
TEP	Terrestrial Ecotoxicity Potential
PCOP	Photochemical Oxidation Potential
AP	Acidification Potential
EP	Eutrophication Potential

Capitolo 1

AGROINDUSTRIA DEGLI ORTAGGI SURGELATI

1.1 L'orticoltura italiana

L'Italia presenta numerose aree vocate alla coltivazione di ortaggi, ciò grazie alle condizioni pedoclimatiche variegata, ma favorevoli a tali colture. Questo ha fatto sì che, nel nostro Paese, sia presente una lunga tradizione orticola e che le aziende produttrici di ortaggi siano numerose. Queste comprendono piccoli e medi produttori che usualmente servono il territorio circostante e che frequentemente si associano in cooperative allo scopo di contenere i costi ed offrire un servizio migliore al cliente finale. A questi si aggiungono le aziende agricole molte grandi, i cui prodotti vengono distribuiti su tutto il territorio italiano e in alcuni casi anche all'estero. Negli ultimi anni, vista la grande richiesta del mercato, molte aziende hanno inoltre convertito il loro indirizzo produttivo verso la produzione biologica.

Lo studio dei dati ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) relativi alle produzioni dei diversi settori agricoli italiani registrate nel 2019, permette di evidenziare l'importanza e la diffusione dell'orticoltura in Italia. Infatti, con una produzione pari a 11 milioni di tonnellate, le ortive sono seconde solo ai cereali (Tabella 1-1 e Grafico 1-1).

Dall'elaborazione dei dati forniti dall'ISTAT riguardanti le superfici, si evince che, nel nostro Paese, nel 2019, la superficie destinata alla coltivazione di ortive è pari a 351.018 ettari, di questi 313.441 ettari riguardano la coltivazione in piena aria e si distribuiscono soprattutto tra le regioni Puglia, Sicilia, Emilia Romagna e Campania, mentre i restanti 37.577 ettari sono occupati dalle coltivazioni protette in serra e si trovano, in gran parte, in Campania, Lazio, Sicilia e Veneto. Dal confronto di questi dati con quelli relativi alle superfici interessate dalle altre coltivazioni agricole, le ortive risultano occupare il 6% degli ettari totali, rispetto al 42% dei cereali da granella, al 19% dell'olivo, al 12% della vite e al 7% delle piante da semi oleosi (Tabella 1-1 e Grafico 1-2). Questi, insieme ai dati relativi alle produzioni, dimostrano l'intensità della coltivazione delle ortive rispetto ad altre colture agricole.

Tabella 1-1: Superfici e produzioni dei settori agricoli italiani (fonte: ISTAT 2019)

Coltivazione	Superficie (ha)	Produzione (t)
Cereali per la produzione di granella	2.521.659	16.072.104
Ortive	351.018	11.585.762
Vite da vino, mosto e tavola	717.243	7.862.858
Frutta fresca di origine temperata	220.040	4.567.716
Olivo da olio e da tavola	1.164.568	4.388.210
Radici, bulbi e tuberi	110.857	4.224.382
Agrumi	144.743	2.895.934
Piante da semi oleosi	406.018	1.331.572
Frutta fresca di origine sub-tropicale	39.919	742.210
Legumi	156.687	507.423
Piante tessili, industriali, funghi in piena aria, frutta in guscio	162.746	340.548

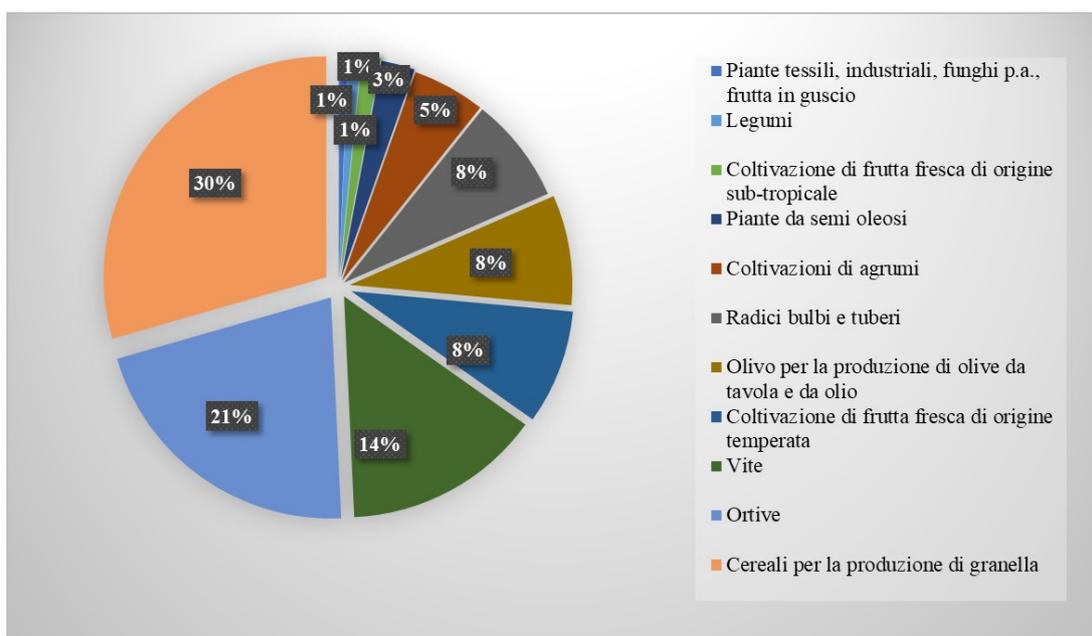


Grafico 1-1: Ripartizione delle produzioni (fonte: ISTAT 2019)

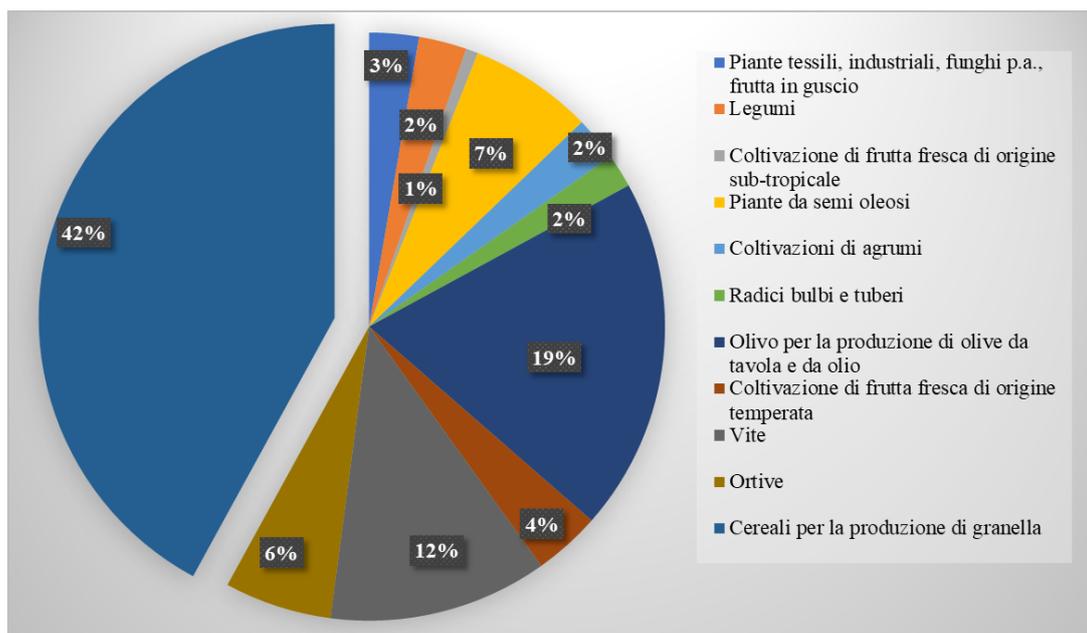


Grafico 1-2: Ripartizione delle superfici (fonte: ISTAT 2019)

Le ortive più coltivate in Italia sono pomodoro sia in piena aria (p.a.) che in serra, carciofo, melone, finocchio, cavolfiore e broccolo, lattuga e zucchina in piena aria. Sono invece meno diffuse le coltivazioni in serra di bieta da orto, prezzemolo e finocchio (Tabella 1-2).

Le produzioni di ortaggi biologici, secondo i dati SINAB (Sistema d'Informazione Nazionale sull'Agricoltura Biologica) relativi al territorio italiano e all'anno 2019, interessano 64.762 ettari, ovvero il 18,5% della superficie nazionale totale destinata alla coltivazione delle ortive.

Tabella 1-2: Superfici destinate alla coltivazione delle ortive (fonte ISTAT 2019)

Coltivazione	Superficie (ha)	Coltivazione	Superficie (ha)
Pomodoro da industria in p.a.	74.082	Sedano in p.a.	2.733
Carciofo in p.a.	39.419	Cocomero in serra	2.586
Melone in p.a.	21.201	Bietola costa in p.a.	2.448
Finocchio in p.a.	19.795	Peperone in serra	1.918
Pomodoro in p.a.	17.324	Fragola in p.a.	1.859
Cavolfiore e broccolo in p.a.	15.670	Prezzemolo in p.a.	1.317
Lattuga in p.a.	15.533	Cetriolo mensa in p.a.	1.275
Zucchina in p.a.	14.970	Asparago in serra	1.208
Radicchio o cicoria in p.a.	13.190	Fagiolino in serra	721
Cocomero in p.a.	11.141	Ravanello in p.a.	651

Broccoletto di rapa in p.a.	10.004	Valeriana in serra	633
Indivia in p.a.	8.527	Cetriolo mensa in serra	579
Peperone in p.a.	8.366	Spinacio in serra	486
Melanzana in p.a.	8.007	Ravanello in serra	441
Pomodoro in serra	7.614	Cavolo Bruxelles in p.a.	367
Asparago in p.a.	5.950	Radicchio in serra	258
Spinacio in p.a.	5.801	Indivia in serra	227
Altri ortaggi in serra	5.680	Basilico in serra	221
Altri cavoli in p.a.	5.607	Cetriolo sottaceti in p.a.	201
Lattuga in serra	4.707	Sedano in serra	198
Zucchini in serra	4.114	Finocchio in serra	99
Cavolo verza in p.a.	4.107	Prezzemolo in serra	83
Cavolo cappuccio in p.a.	3.896	Bietola in serra	79
Fragola in serra	2.879	Bieta da orto in serra	31
Melone in serra	2.815	TOTALE	351.018

Per quanto concerne la regione Marche i dati Istat relativi all'anno 2019, riportano che la superficie totale interessata dalla coltivazione delle ortive è pari a 3.613 ettari. Questi rappresentano l'1% della superficie nazionale e sono in gran parte coltivati in piena aria, infatti poco meno di 37 ettari sono destinati alle colture protette. Per quanto riguarda le produzioni, l'Istat riporta un valore di 95.985 tonnellate, pari all'0,8% del totale nazionale. Inoltre le ortive più diffuse per la coltivazione in pieno campo sono il radicchio, lo spinacio, l'indivia, il cavolfiore e il broccolo, il cavolo verza e la lattuga (Tabella 1-3). In serra si coltivano soprattutto lattuga, pomodoro e peperone (Tabella 1-4). Infine l'orticoltura biologica interessa 2.884 ettari.

Tabella 1-3: Ortive coltivate in piena aria nelle Marche (fonte ISTAT 2019)

Specie	Superficie (ha)	Specie	Superficie (ha)	Specie	Superficie (ha)
PIENA ARIA					
Radicchio o cicoria	576	Bietola da costa	87	Fragola	34
Spinacio	531	Broccoletto di rapa	79	Altri cavoli	32
Indivia	495	Zucchini	77	Pomodoro da industria	25
Cavolfiore e cavolo broccolo	348	Carciofo	74	Cetriolo da mensa	15
Cavolo verza	292	Cavolo cappuccio	66	Sedano	13
Lattuga	268	Peperone	40	Prezzemolo	13
Pomodoro	160	Melanzana	40	Cavolo di Bruxelles	2
Finocchio	129	Cocomero	35		
Melone	111	Asparago	34	TOTALE	3.576

Tabella 1-4: Ortive coltivate in serra nelle Marche (fonte ISTAT 2019)

Specie	Superficie (ha)	Specie	Superficie (ha)	Specie	Superficie (ha)
SERRA					
Lattuga	12,66	Spinacio	0,49	Cocomero	0,18
Pomodoro	11,52	Fagiolino	0,46	Radicchio	0,13
Peperone	4,72	Bietola	0,46	Basilico	0,10
Fragola	1,77	Cetriolo	0,32	Sedano	0,10
Zucchini	1,34	Indivia	0,32	Finocchio	0,09
Altri ortaggi	0,88	Prezzemolo	0,32	Asparago	0,07
Melone	0,64	Bieta da orto	0,31	Ravanello	0,01
TOTALE	36,89				

Secondo quanto riportato nel report redatto dall'ISTAT relativo all'andamento dell'economia agricola, nell'anno 2019 il comparto degli ortaggi ha evidenziato una crescita moderata con un aumento del volume della produzione dello 0,4%, con andamenti diversificati

a seconda delle aree e dei prodotti: i risultati maggiormente positivi si sono riscontrati per cetrioli (+14,7%), cocomeri (+11,7%), carote (+8,4%), fragole (+7,2%), cipolle (+5,8%) e cavoli (+5,1%), mentre le perdite maggiori hanno interessato barbabietola da orto (-20,9%), indivia (-10%), radicchio (-8,3%), spinaci (-8,2%) e piselli freschi (-7,9%).

L'Italia, con 7,2 miliardi di euro di valore della produzione degli ortaggi, ha superato la Spagna collocandosi al primo posto tra i paesi europei.

1.2 Il settore dei surgelati

Per alimenti surgelati si intendono prodotti sottoposti ad un processo definito surgelazione. Si tratta di una tecnica che consente di conservare le derrate alimentari per lunghi periodi sottoponendole a temperature inferiori o uguali a -18°C . Una volta raggiunta questa temperatura, i prodotti sono sottoposti alla cosiddetta "catena del freddo". Si tratta di una serie di procedure, regole e tecniche, rigorosamente normate, che consentono di conservare al meglio gli alimenti, garantendone l'integrità e il rispetto di elevati standard di sicurezza.

L'organizzazione della filiera produttiva che si conclude con la surgelazione, fa sì che il consumatore abbia a disposizione prodotti che per molti aspetti sono paragonabili a quelli freschi per due motivi fondamentali:

- Elevato livello qualitativo della materia prima, grazie ad accordi tra produttori e aziende del settore surgelati
- Il brevissimo tempo che intercorre tra la raccolta e la surgelazione.

La maggior parte dell'offerta di alimenti surgelati appartiene a cinque tipologie di prodotti, quali vegetali, patate, prodotti ittici, pizze e snack, piatti ricettati e raggiunge il consumatore tramite tre canali principali:

- Retail, ovvero la vendita diretta al consumatore finale
- Catering, ovvero il rifornimento di prodotti alimentari a comunità, compagnie aeree, treni, mense, privati ecc.
- Door to Door, ovvero l'offerta di prodotti al domicilio dei potenziali acquirenti.

Il freddo è stato utilizzato per secoli nella conservazione del cibo, ma la storia della moderna industria dei surgelati ha origine nel 1928 negli Stati Uniti d'America grazie al biologo Clarence Birdseye. Egli, osservando le pratiche di pesca e di conservazione del cibo diffuse tra gli eschimesi Inuit del Canada settentrionale, intuì che congelare il pesce appena pescato e portarlo nel più breve tempo possibile alla temperatura di surgelazione, consentiva di mantenere intatte le qualità organolettiche e nutrizionali del prodotto fresco. Fu così che presentò il primo sistema industriale di congelamento a contatto, che consentì di ridurre in

maniera drastica i tempi necessari di raffreddamento dei prodotti. Pochi anni dopo vennero introdotti i primi scaffali refrigerati nei negozi di alimenti e in seguito si giunse all'utilizzo di mezzi di trasporto refrigerati. Oggi si è arrivati alla tecnica IQF (Individually Quick Frozen) che consiste nel raffreddamento rapido dei singoli ingredienti di un prodotto grazie a flussi di aria a -40°C. Il risultato di questo procedimento è osservabile, ad esempio, aprendo una confezione di piselli IQF: questa non presenta un unico blocco surgelato di prodotti, ma piselli sciolti all'interno della confezione. In Europa, l'industria degli alimenti surgelati ha avuto un sostanziale sviluppo dopo la Seconda Guerra Mondiale, mentre in Italia sono arrivati negli anni Sessanta e si sono poi diffusi successivamente: nel 1960 i consumi ammontavano a poche tonnellate, nel 2019 oltre 25 milioni di famiglie (95,5%) hanno consumato prodotti surgelati.

Un ruolo rilevante all'interno del settore dei surgelati è svolto dall'Istituto Italiano Alimenti Surgelati (IIAS), costituito nel 1963 e che si occupa della tutela e della valorizzazione dell'immagine dei prodotti surgelati, della promozione delle tecniche di surgelazione, conservazione e distribuzione, allo scopo di favorire il consumo di alimenti surgelati in Italia. Tra le sue attività rientra l'elaborazione annuale del "Rapporto sui consumi di alimenti surgelati in Italia".

Dall'analisi del Rapporto relativo all'anno 2018 emergono consumi pressoché stabili, pari a 838.580 tonnellate, -0,3% rispetto alle 841.500 tonnellate del 2017. Osservando i diversi canali, si evidenzia che nel Retail i consumi sono stati pari a 523.580 tonnellate (-1,5% rispetto al 2017), mentre nel Catering hanno sfiorato le 315.000 tonnellate, con un aumento del 1,6%. Il consumo pro-capite risulta pressoché invariato: nel 2017 erano 13,9 chili all'anno, nel 2018 13,8. Infine il valore di mercato complessivo stimato è di 4,3/4,6 miliardi di euro.

Nel 2019 si sono registrati consumi in crescita, pari a 849.900 tonnellate (+1,3% rispetto al 2018) (Figura 1-1). L'aumento si è verificato nel canale Retail (+1,5%) con percentuali diverse a seconda dei prodotti, così come mostrato in Figura 1-2, ma anche nel Catering (+1,1%). Tutto ciò ha fatto sì che, per la prima volta in Italia, il consumo pro-capite di surgelati abbia superato la soglia di 14 chili annui. Anche il valore di mercato del settore ha subito un incremento raggiungendo i 4,4/4,7 miliardi di euro.

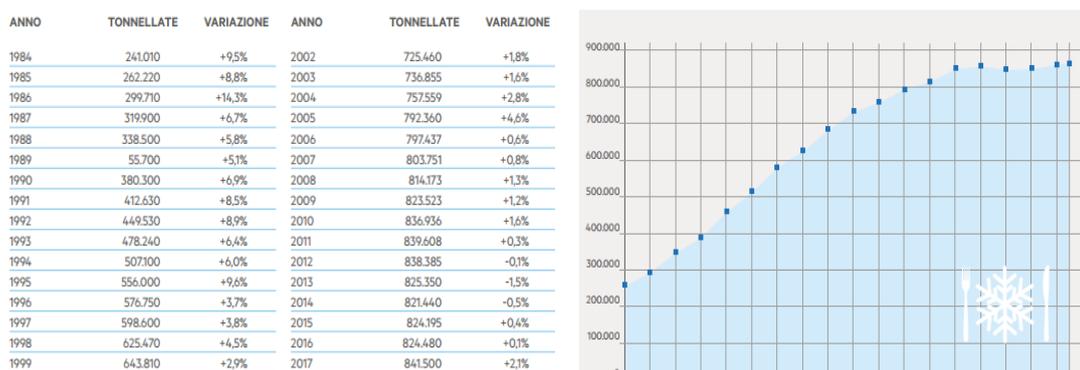


Figura 1-1: Consumi di prodotti surgelati dal 1984 al 2019 (fonte Rapporto annuale IIAS)

	TONNELLATE 2019	TONNELLATE 2018	VARIAZIONE % '19/'18
VEGETALI	228.000	226.810	+0,5
VEGETALI SEMPLICI	136.000	133.950	+1,5
ZUPPE E MINISTRONI	67.400	67.260	+0,2
- di cui ricettati	16.300	15.875	+2,7
VEGETALI PREPARATI	9.100	8.850	+2,8
ALTRI VEGETALI (ERBE AROMATICHE)	15.500	16.750	-7,5
PATATE	72.300	71.760	+0,7
PATATE FRITTE	66.600	66.700	+0,7
PATATE ELABORATE	5.700	5.660	+0,7
PRODOTTI ITTICI	94.150	93.000	+1,2
PESCE INTERO NATURALE	29.500	30.050	-1,8
MOLLAME NATURALE E CROSTACEI	32.050	29.950	+7,0
PESCE PANATO O PASTELLATO	32.600	33.000	-1,2
CARNE ROSSA	4.500	4.395	+2,4
CARNE BIANCA	8.850	8.570	+3,3
PASTE SEMILAVORATE	800	910	-12,1
PIZZE E SNACK	78.500	76.650	+2,4
PIZZE GRANDI	48.000	47.800	+0,4
PIZZETTE	2.780	2.750	+1,1
SNACK SALATI	27.700	26.500	+4,5
PIATTI RICETTATI	32.900	31.980	+2,9
PRIMI PIATTI	18.400	17.970	+2,4
SECONDI PIATTI	6.800	6.400	+6,2
CONTORNI	7.700	7.610	-1,2
DESSERTS	4.500	4.450	+1,1
FRUTTA	820	800	+2,5
ALTRO	6.080	4.250	+42,1
TOTALE GENERALE	531.400	523.580	+1,5%

Figura 1-2: Consumi di prodotti surgelati – Retail. Totale vendite in Italia per segmento merceologico 2019 vs 2018 (fonte Rapporto annuale IIAS)

Il 2020 è iniziato in linea con la seconda parte del 2019: i surgelati, in particolare, hanno confermato il trend positivo. A fine febbraio si sono manifestati i primi segnali dell'epidemia causata dalla diffusione, in tutto il mondo, del Coronavirus. Le ripercussioni sui mercati nazionali ed internazionale sono state immediate: nel nostro Paese si sono verificate impennate nella GDO (+8%), prima al Nord poi nel resto d'Italia.

A marzo l'istituzione del lockdown ha determinato una corsa agli acquisti che ha modificato la composizione della spesa alimentare a favore di prodotti conservabili come riso, pasta, conserve di pomodoro ecc. In questo contesto si è verificato un forte aumento della domanda di surgelati. A conferma di ciò, i dati Ismea (Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare) indicano, per il primo trimestre del 2020, un incremento del 7% su base annua della spesa complessiva delle famiglie italiane per i prodotti alimentari e un aumento del 20% delle vendite di prodotti confezionati. Per quanto riguarda i surgelati, nel primo quadrimestre 2020, le vendite Retail hanno registrato una crescita del 13,5%, con performance diverse a seconda dei prodotti:

- Ittico: +16,5%
- Snack salati: +21,5%
- Patate: +12%
- Pizze: +12,5%
- Ricettati: +5,5%

A questi numeri positivi si affiancano però i dati fortemente negativi del Catering: nel primo trimestre il Cash&Carry e l'intero settore della ristorazione commerciale, a seguito della chiusura di esercizi pubblici, bar, ristoranti, mense, si è quasi dimezzato.

Possiamo quindi concludere che i prodotti surgelati hanno acquisito nel tempo sempre maggior peso all'interno dei consumi delle famiglie e sono diventati parte integrante delle nostre abitudini alimentari.

1.3 Gli ortaggi surgelati

I vegetali surgelati, presenti sul mercato sia come ortaggi semplici, zuppe, minestrone o piatti cucinati, rappresentano il segmento principale dell'intero comparto (47,5%). Il loro successo è dovuto all'elevata qualità della materia prima, che viene raccolta nel momento migliore e trattata con metodologie igienicamente sicure e che consentono di mantenere inalterate le caratteristiche organolettiche e nutrizionali (vitamine, proteine, carboidrati ecc..) degli ortaggi. Inoltre, non è necessario aggiungere alcun conservante, oltre il freddo, per la loro conservazione.

Il raggiungimento di standard qualitativi elevati è reso possibile dall'insieme dei seguenti fattori:

- Il controllo delle materie prime utilizzate, che devono essere sane e in buono stato di conservazione, prive di residui o contaminanti che abbiano un impatto negativo sulla sicurezza sanitaria del prodotto. Nel settore dei vegetali, l'industria dei prodotti surgelati seleziona coltivazioni particolarmente adatte ai trattamenti di surgelazione. In questo campo la ricerca è molto attiva e, sia il valore nutrizionale che le caratteristiche di resistenza alla congelazione degli ortaggi, attualmente già di livello elevato, sono destinate a migliorare ulteriormente. Quindi il processo produttivo dei vegetali surgelati inizia dall'azienda agricola che sceglie i terreni di coltura più idonei, seleziona le sementi allo scopo di assicurare un elevato livello qualitativo della materia prima e applica le tecniche colturali adeguate.
- La collaborazione tra azienda di trasformazione ed azienda agricola permette un'attenta programmazione della raccolta degli ortaggi allo stadio di maturazione ottimale e consente di ridurre al minimo il tempo che intercorre tra la raccolta e la surgelazione e assicurare così il massimo risultato in termini di sapore, tenerezza e caratteristiche nutrizionali. Ad esempio, i piselli vengono surgelati entro due ore dalla raccolta, gli spinaci tra le due e le otto ore. Quindi nel tempo massimo di qualche ora, le verdure vengono raccolte, selezionate, pulite, lavate, nuovamente selezionate, scottate in acqua bollente o a vapore (questo passaggio migliora la conservabilità, inattiva gli enzimi e fissa il colore che, quindi, risulterà più brillante) e infine surgelate, ovvero portate in brevissimo tempo ad una temperatura inferiore ai -18°C . La rapidità di raffreddamento comporta la formazione di cristalli talmente piccoli da non danneggiare la struttura biologica dell'alimento. Da questo momento in poi la catena del freddo va rispettata scrupolosamente: tutti gli anelli della catena (depositi frigoriferi, trasporti, banchi frigoriferi nei punti di vendita) sono fondamentali, infatti, se il protocollo venisse compromesso anche in un solo passaggio, la qualità dei prodotti potrebbe risultare irrimediabilmente alterata.

Dallo studio dei dati Istat relativi alla produzione di ortaggi surgelati emerge un importante aumento sia della produzione realizzata, che della produzione venduta nell'anno 2019 rispetto all'anno precedente. Nel 2018 erano 343.593 le tonnellate prodotte, a fronte delle 585.583 tonnellate del 2019. Lo stesso importante incremento si è riscontrato nella massa di ortaggi surgelati venduta che, da 300.729 tonnellate è aumentata fino a 543.869 tonnellate.

Dallo studio dei rapporti annuali IIAS relativi agli anni 2018 e 2019, sono stati ricavati i dati relativi ai consumi di vegetali surgelati: nel 2018 i consumi ammontavano a 398.310 tonnellate. Di queste, 226.810 tonnellate riguardano il canale Retail (Figura 1-2), le restanti 171.500 tonnellate interessano il Catering.

Nel 2019, secondo quanto riportato dal Rapporto annuale IASS, si è riscontrato un leggero aumento nei consumi del Retail che sono risultati pari a 228.000 tonnellate. Sono cresciuti sia i vegetali semplici come piselli, spinaci, fagiolini, sia le zuppe o minestrone e i piatti già cucinati.

Infine gli ultimi dati Ismea relativi al 2020 riportano un incremento, tra febbraio e marzo, di acquisti di ortaggi surgelati del 45% in più rispetto allo stesso periodo del 2019.

Capitolo 2

LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

Negli ultimi anni la crescente attenzione nei confronti dell'ambiente e della sua protezione, ha portato ad analizzare i possibili impatti ambientali dovuti ai processi produttivi attraverso metodi di valutazione che si sono diffusi e perfezionati nel tempo. Una delle metodologie maggiormente applicate è il Life Cycle Assessment, indicato con l'acronimo LCA e tradotto in italiano con l'espressione "valutazione del ciclo di vita".

Si tratta di un metodo che ha lo scopo di quantificare l'impatto ambientale associato alle diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto, di un servizio o di un processo e può essere applicato a diversi settori come quello automobilistico, elettromeccanico, elettronico, chimico, della carta, dei materiali di costruzione e infine in ambito agricolo. In questo caso consente la valutazione dell'impatto in termini energetici e di emissioni delle diverse tecniche applicate durante la coltivazione, l'allevamento e la trasformazione.

I primi studi relativi al ciclo di vita di prodotti e materiali risalgono tra fine degli anni Sessanta e l'inizio degli anni Settanta e trattano argomenti come l'efficienza energetica, il consumo delle materie prime e lo smaltimento dei rifiuti. Nel 1969, ad esempio, fu commissionato dalla "Coca-Cola Company" uno studio riguardante il confronto tra i diversi tipi di contenitori per bevande al fine di determinare quale fosse più eco-compatibile. Per la prima volta la metodologia venne applicata ad uno studio di prodotto e non più ai singoli processi industriali. Nonostante negli anni successivi gli studi diventarono sempre più precisi, alla fine degli anni Ottanta persisteva una situazione di enorme confusione dovuta alla poca omogeneità delle valutazioni, all'utilizzo di diversi dati, terminologie e metodi che portavo le valutazioni LCA condotte sugli stessi prodotti, ad avere risultati contrastati.

Nel 1993 durante il congresso di Vermont in Canada, la "Society of Environmental Toxicology and Chemistry" [1] conì il termine LCA e ne diede la definizione:

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

Negli anni seguenti la stessa società elaborò le linee guida da seguire per redigere un Life Cycle Assessment. Queste indicazioni sono state recepite dall'Organizzazione internazionale per la standardizzazione (International Organization for Standardization) e costituiscono le basi delle norme che regolano attualmente un LCA:

- ISO 14040:2006 Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and framework (Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento) [2].
- ISO 14044:2006 Environmental management - Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines (Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida) [3], in cui vengono spiegati nel dettaglio i requisiti necessari per condurre l'analisi.

Una valutazione LCA prevede la quantificazione e la valutazione degli impatti ambientali associati ai flussi di materiali ed energia impiegati durante il ciclo di vita di un prodotto, processo o servizio. Vengono quindi presi in considerazione gli stadi consecutivi e tra loro collegati del sistema produttivo, a partire dall'estrazione e dalla lavorazione delle materie prime, il processo produttivo, il trasporto, la distribuzione, l'utilizzo, la raccolta, lo stoccaggio, il riciclaggio e lo smaltimento dei rifiuti derivanti dall'uso del prodotto.

Il Life Cycle Assessment ha come finalità il "Focus ambientale", perciò valuta gli aspetti e gli impatti ambientali del sistema prodotto, senza considerare i risvolti economici e sociali. Tuttavia lo studio LCA può ben adattarsi ad un'analisi di tipo economico (in questo caso il metodo viene definito Life Cycle Costing) attraverso l'imputazione di voci di costo ai diversi stadi, al fine di determinare benefici o perdite e quindi valutare eventuali modifiche da applicare alle fasi in cui si verificano sprechi di risorse.

Una valutazione LCA viene definita come uno studio iterativo: i risultati associati alle singole fasi dell'analisi vengono riutilizzati durante il processo e vanno quindi ad influenzare le fasi precedenti e/o successive. Tutto questo garantisce completezza e coerenza, che insieme alla trasparenza, costituiscono i principi su cui si basa tale metodologia e che la rendono applicabile sia in ambito produttivo che come supporto alle decisioni della pubblica amministrazione. LCA può infatti contribuire a:

- Identificare le opportunità di miglioramento delle performance ambientali dei prodotti nelle diverse fasi del loro ciclo di vita
- Supportare le decisioni dell'industria, delle organizzazioni governative e non (pianificazione strategica, definizione di priorità, progettazione o riprogettazione di prodotti e processi)

- Selezionare indicatori rilevanti di prestazione ambientale
- Commercializzazione dei prodotti (le informazioni ambientali possono essere usate per pubblicizzare prodotti od ottenere l'etichettatura ecologica ECOLABEL)

Durante lo studio LCA il ciclo di vita del prodotto viene modellato come sistema di prodotto. Quest'ultimo viene suddiviso in processi unitari, ognuno dei quali è collegato ad altri processi tramite flussi di prodotti intermedi, prodotti di rifiuto o altri sistemi di prodotto, al fine di identificare al meglio il flusso di input (utilizzo di risorse) e output (emissioni in suolo, acqua e aria).

Come riportato nelle norme ISO 14040 e 14044, durante uno studio di LCA un prodotto viene esaminato in tutti i suoi stadi attraverso un'articolazione in quattro fasi principali (Figura 2-1):

1. Obiettivo e campo di applicazione (*Goal and Scope*)
2. Analisi di inventario (*Life Cycle Inventory - LCI*)
3. Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (*Life Cycle Impact Assessment - LCIA*)
4. Interpretazione dei risultati (*Life Cycle Interpretation*)

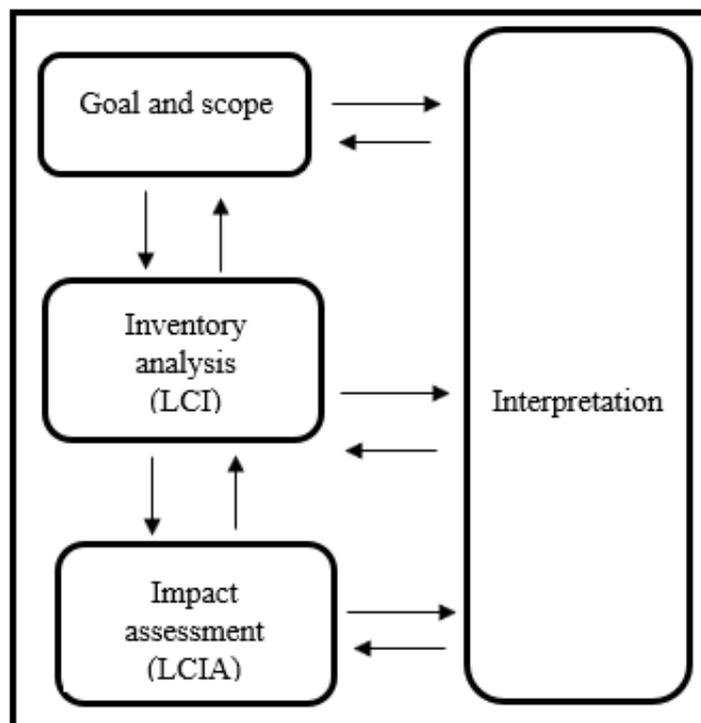


Figura 2-1: Fasi del Life Cycle Assessment

2.1 Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

La prima fase prevede la definizione degli obiettivi e del campo di applicazione dello studio. Si tratta di uno stadio preliminare fondamentale, in quanto determina la successiva impostazione dello studio.

Gli obiettivi dell'analisi LCA devono precisare:

- l'applicazione prevista
- le ragioni per le quali viene realizzato lo studio
- il tipo di pubblico a cui esso è rivolto
- se i risultati verranno utilizzati in un'analisi comparativa

L'individuazione del campo di applicazione prevede la definizione del sistema produttivo oggetto dello studio, delle sue funzioni, dell'unità funzionale, dei limiti del sistema, vanno inoltre descritte le procedure di allocazione, le categorie di impatto e la metodologia LCIA, i dati richiesti, ma anche le ipotesi, le eventuali limitazioni e la qualità dei dati richiesta.

La definizione dell'unità funzionale è fondamentale per realizzare un corretto studio LCA e per garantirne la comparabilità. Rappresenta, infatti, l'unità di misura di riferimento a cui saranno normalizzati i dati di input e output dello studio. Si tratta quindi di un riferimento univoco a cui legare i flussi in entrata (es. materie prime) e in uscita (es. emissioni). Per questo, come si evince dalla ISO 14044 (2006), deve essere facilmente quantificabile e chiaramente definita. La scelta dell'unità funzionale è libera e dipende dall'obiettivo dello studio, quindi può essere definita in vari modi come ad esempio chilogrammi di prodotto, chilowattora di energia erogata oppure quintali di rifiuti trattati.

Per quanto riguarda i confini del sistema, questi definiscono le unità di processo che devono essere incluse nello studio LCA e devono essere stabiliti in accordo con quelli che sono gli obiettivi dello studio.

Per stabilire i confini del sistema si prendono in considerazione per esempio, i flussi in ingresso ed in uscita, l'acquisizione materie prime, il processo di fabbricazione, la distribuzione e il trasporto, la produzione e l'utilizzazione di combustibili, elettricità e calore, l'uso e manutenzione del prodotto, il riciclo e la gestione dei rifiuti.

Alcune fasi del processo possono non essere considerate purché le conclusioni dello studio non subiscano cambiamenti significativi.

Per stabilire i confini del sistema si possono considerare tre scelte differenti:

- Dalla culla alla tomba (from cradle to grave): questo è l'approccio più completo in quanto si vanno ad analizzare tutti i sotto processi a partire dalla

coltivazione/estrazione delle materie prime fino all'utilizzo e relativo fine vita/smaltimento.

- Dalla culla al cancello (from cradle to gate): in questo approccio si vanno ad escludere tutti i processi a valle della produzione del bene, vale a dire il suo utilizzo e fine vita.
- Dal cancello al cancello (from gate to gate): in questo caso si vanno ad indagare solo i processi che avvengono all'interno di una industria (fase produttiva), escludendone le fasi precedenti (estrazione/coltivazione) e le fasi successive.

A queste si aggiunge una quarta possibilità definita come “Zero burden”, che trova applicazione nell'ambito della gestione dei rifiuti, con lo scopo di confrontare i diversi sistemi di smaltimento. Per questo si considera il rifiuto dal momento che diventa tale fino a quando, attraverso processi e trattamenti, cessa di esserlo, ma non si considerano gli stadi che hanno generato il rifiuto.

Dobbiamo infine considerare i requisiti di qualità dei dati. I dati selezionati per l'LCA dipendono dall'obiettivo e dal campo di applicazione dello studio. La descrizione della qualità dei dati è importante per comprendere l'affidabilità dello studio ed interpretarne correttamente i risultati. Questi requisiti quindi riguardano fattori relativi alla rappresentatività temporale, geografica e tecnologica, alla precisione, alla completezza, alla rappresentatività, alla consistenza, alla riproducibilità, alla fonte e infine all'incertezza dell'informazione (nel caso di ipotesi o analisi di modelli).

2.2 Analisi di inventario (*Life Cycle Inventory-LCI*)

L'analisi d'inventario comprende la raccolta dei dati e le procedure di calcolo necessarie per quantificare i flussi in entrata e in uscita dal sistema di prodotto. Anche questo processo è interattivo e può essere suddiviso in tre sotto-fasi:

- Raccolta dei dati (*Data collection*). Prevede la raccolta dei dati necessari per lo svolgimento dell'analisi in modo da quantificare input e output del processo. I dati sono suddivisi in categorie: input di energia, materie prime, materiali ausiliari, prodotti, coprodotti, rifiuti, emissioni in aria, nel suolo e in acqua e altri aspetti ambientali. Inoltre i dati impiegati in questa sotto-fase possono essere classificati in primari, se vengono direttamente misurati in campo, secondari, se contenuti nei vari database commerciali di LCA, nei manuali o nelle pubblicazioni scientifiche, oppure terziari se sono stati estrapolati da processi simili a quello oggetto dello studio.

- Elaborazione dei dati (*Data calculation*). Comprende le procedure di calcolo successive alla raccolta dei dati. Si ha la validazione dei dati raccolti, la correlazione ai processi unitari e ai flussi di riferimento. Verificare la validità dei dati significa controllare che questi rispettino i requisiti di qualità al fine di raggiungere lo scopo dello studio.
- Allocazione (*Allocation*). Consiste nella ripartizione degli input e degli output in base ai diversi prodotti.

Al termine della fase di inventario si ottiene un insieme di dati relativi alle unità di processo normalizzati sull'unità funzionale scelta.

2.3 Valutazione dell'impatto del ciclo vita (*Life Cycle Impact Assessment-LCIA*)

La terza fase è dedicata alla valutazione, secondo precisi parametri ambientali, dell'incidenza dei potenziali impatti o del danno ambientale durante il ciclo di vita del prodotto.

Secondo lo standard ISO 14044, esistono alcuni elementi obbligatori, quali:

- La selezione delle categorie d'impatto, degli indicatori di categoria (definiti come la rappresentazione quantitativa di una categoria d'impatto) e dei modelli di caratterizzazione che devono essere coerenti con l'obiettivo e il campo di applicazione dell'LCA e devono essere approvati e riconosciuti a livello internazionale.
- La classificazione;
- La caratterizzazione

A questi si aggiungono elementi opzionali:

- Normalizzazione (Normalization)
- Raggruppamento (Grouping)
- Ponderazione (Weighting)
- Analisi di qualità (Sensitivity Analysis)

La classificazione è una fase qualitativa in cui i dati raccolti nell'inventario vengono assegnati ad una o più categorie d'impatto precedentemente selezionate in base allo scopo, ai confini e alle problematiche ambientali connesse al prodotto studiato.

La caratterizzazione è la fase della *LCIA* in cui si quantifica l'impatto attraverso dei fattori di caratterizzazione. Questi rappresentano il contributo di una sostanza ad una determinata tematica ambientale e permettono di convertire i risultati in unità comuni per ciascuna

categoria di impatto. Ad esempio 1 kg di CH₄ produce circa lo stesso impatto nel riscaldamento globale di 21 kg di CO₂. Il risultato della caratterizzazione è il “Profilo Ambientale” del sistema che è costituito da una serie di valori numerici d'impatto per ogni categoria, generalmente rappresentato con un istogramma a barre. Tali numeri, tuttavia, quantificano il contributo del sistema a tali effetti, ma non indicano quale contributo sia più rilevante rispetto agli altri. Per far ciò è necessario procedere con la normalizzazione. Questa fase permette di stabilire il contributo di ciascun effetto ambientale rispetto ad un valore di riferimento, definito fattore di normalizzazione e rappresentato generalmente da dati medi su scala mondiale, regionale o europea e riferiti ad un determinato intervallo di tempo. Attraverso la normalizzazione si può stabilire quindi l'entità relativa di ciascun problema ambientale.

Il raggruppamento è uno degli elementi opzionali e consiste nell'assegnazione delle categorie d'impatto in una o più serie così come predefinito nella fase di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione.

Per quanto riguarda la ponderazione, questa consiste nel ponderare i risultati ottenuti per le diverse categorie di impatto con l'obiettivo di effettuare un confronto più diretto o addirittura aggregarli in un unico indicatore globale. In questa fase, i risultati degli indicatori normalizzati delle diverse categorie di impatto vengono convertiti in unità comuni attraverso la moltiplicazione con quelli che vengono definiti “fattori di peso” e che esprimono l'importanza in termini di criticità di ciascun problema ambientale.

Inoltre possono essere necessarie tecniche e informazioni aggiuntive per meglio comprendere la significatività, l'incertezza e la sensibilità dei risultati dell'LCIA. Tra queste rientrano:

- L'analisi di gravità (per esempio analisi di Pareto) è una procedura statistica che identifica i dati aventi il maggiore contributo per il risultato dell'indicatore.
- L'analisi dell'incertezza è una procedura per determinare in che modo le incertezze nei dati e nelle ipotesi progrediscono nei calcoli e come incidono sull'affidabilità dei risultati dell'LCIA.
- L'analisi della sensibilità è una procedura per determinare in che modo le modifiche delle scelte metodologiche e dei dati incidono sui risultati dell'LCIA.

2.4 Interpretazione dei risultati (*Life Cycle Interpretation*)

In quest'ultima fase vengono analizzati e interpretati i risultati ottenuti nelle fasi precedenti. L'interpretazione dei risultati che deve essere coerente con l'obiettivo e l'ambito definiti nella prima fase dello studio, segue tre principi:

- l'identificazione delle variabili significative ovvero quei i fattori che in maggior modo impattano nell'analisi dell'LCA (energia, rifiuti, uso delle risorse)
- la valutazione della qualità dello studio per verificare e migliorare l'affidabilità dei risultati
- conclusioni, limitazioni e raccomandazioni.

2.5 Reporting

Lo scopo dello studio prevede anche la definizione della tipologia e del formato con cui si decide di presentare il lavoro. È fondamentale, per facilitare la comprensione dello studio, che l'esposizione sia chiara, trasparente e completa e deve riportare tutti gli elementi essenziali dell'analisi, quali risultati dati, metodi, supposizioni, limitazioni, le categorie d'impatto scelte ecc.

2.6 Limiti di uno studio LCA

Nonostante le sue numerose applicazioni la metodologia LCA presenta dei limiti che riguardano soprattutto la disponibilità di dati completi e precisi (la qualità dei dati può limitare l'affidabilità dei risultati), la complessità dello studio e le considerevoli risorse necessarie in termini di costo e tempo. Un ulteriore aspetto che va sottolineato è quello relativo alla natura delle scelte e delle assunzioni, come ad esempio la decisione dei confini di un sistema o la selezione delle categorie di impatto, che in gran parte dei casi può essere soggettiva.

Inoltre, a differenza di altre procedure come la VIA (Valutazione impatto ambientale), che ha un approccio locale, il Life Cycle Assessment si adatta maggiormente a valutazioni su scala globale (ad esempio i cambiamenti climatici) e meno agli impatti locali dove i fattori temporali e spaziali delle emissioni hanno più rilevanza.

Infine, come già spiegato in precedenza, la metodologia LCA non comprende gli impatti economici e sociali di un sistema di prodotti.

Capitolo 3

CASO STUDIO

3.1 Consorzio Ortofrutticolo Valli delle Marche (C.O.VAL.M)

Il consorzio Ortofrutticolo Valli delle Marche (C.O.VAL.M) è una Società Cooperativa Agricola che si occupa della produzione e della trasformazione di verdure destinate sia al mercato del fresco che, soprattutto, al surgelato.

La Società, che ha sede ad Osimo (AN), nasce nel 2004 come Organizzazione di Produttori costituita da 130 soci con l'obiettivo di concentrare la produzione orticola marchigiana e permettere alle aziende agricole di continuare la loro attività dopo la riforma europea dell'OCM zucchero e la conseguente crisi dovuta alla dismissione della coltivazione della barbabietola da zucchero.

Oggi il Consorzio conta oltre 500 soci distribuiti tra diverse regioni italiane, quali Marche, Umbria, Abruzzo, Lazio, Emilia Romagna e Puglia e rappresenta, in Italia, una realtà affermata per la produzione di verdure surgelate. Questo viene confermato dai dati relativi alle produzioni medie annue di C.O.VAL.M che riportano un totale di 62.500 tonnellate di ortaggi surgelati prodotti (Figura 3-1). Tale quantità rappresenta circa il 15% della media delle produzioni nazionali riportate da ISTAT verificatesi tra il 2011 e il 2019 e pari a 428.659 tonnellate. Numeri importanti sono quelli riguardanti il pisello: i 180.000 quintali prodotti mediamente in un anno fanno di C.O.VAL.M la prima realtà italiana per coltivazione, trasformazione e commercializzazione di piselli.



Figura 3-1: Produzioni medie annuali di C.O.VAL.M

C.O.VAL.M si occupa infatti della coltivazione, della raccolta, della produzione, della trasformazione e della commercializzazione di diversi ortaggi tra cui pisello, fagiolo, fagiolino, pomodoro, prodotti in foglia (bietolina, spinacio, cicoria), porri, verze, aglio, broccoli, carote, cavolfiori, cime di rapa, cipolla, patate, sedano, zucche, zucchine, aromi (prezzemolo, basilico).

L'intera filiera produttiva viene gestita dalla Società che può contare su due stabilimenti dislocati sul territorio marchigiano: uno è situato a Cesano di Senigallia (AN) e l'altro a Rotella (AP). Qui si trova anche il laboratorio di prova accreditato, in cui si effettuano analisi chimiche e microbiologiche sulle acque e sulle matrici alimentari.

Durante la coltivazione gli agricoltori sono affiancati da tecnici qualificati che seguono le diverse fasi del ciclo colturale a partire dalla semina fino alla raccolta, che avviene con macchine specializzate messe a disposizione dall'azienda stessa. Quest'ultima si occupa anche della gestione dei trasporti dei prodotti dal campo agli stabilimenti dove gli ortaggi vengono lavorati. Parte degli scarti ottenuti dalla lavorazione vengono destinati all'impianto a biogas di proprietà di C.O.VAL.M situato ad Osimo che, tramite la fermentazione anaerobica, permette la produzione di metano ed energia elettrica (mediante un cogeneratore).

Infine la tracciabilità dei prodotti surgelati è garantita da sistemi informatici che assicurano trasparenza e sicurezza dal campo al banco frigo.

3.2 Società Orto Verde

O.R.T.O Verde è una società consortile agricola nata nel 2007 per volontà di due soci, tra cui C.O.VAL.M, che si occupa della produzione e della commercializzazione di verdure surgelate, sia nel mercato nazionale che internazionale. L'azienda produce, sia per conto terzi, che con una linea a marchio proprio, surgelati destinati all'industria, al retail e alla ristorazione.

O.R.T.O Verde coinvolge 500 soci che coltivano, ogni anno, diverse specie di ortaggi su una superficie di circa 6.000 ettari distribuiti tra Marche, Umbria, Abruzzo, Lazio, Emilia Romagna e Puglia.

O.R.T.O Verde segue, attraverso tecnici qualificati, tutto l'iter produttivo a partire dalla scelta del terreno, passando per la semina, la raccolta, la lavorazione, il confezionamento e la distribuzione. Inoltre ha deciso di adottare metodologie di coltivazione a produzione integrata, che si affiancano alla coltivazione di verdure biologiche. I soci sono quindi tenuti ad obbedire alle procedure di coltivazione approvate dall'azienda.

Come descritto in precedenza per C.O.VAL.M, le tipologie di ortaggi surgelati prodotte sono molteplici e comprendono piselli, fagioli borlotti, fagiolini, pomodori, prodotti in foglia,

ingredienti per minestrone e aromi, per una produzione potenziale annua di verdure surgelate pari a 50.000 tonnellate.

Durante l'anno, nell'impianto situato a Cesano di Senigallia e acquistato da C.O.VAL.M nel 2007, si lavorano, a seconda della stagione, ortaggi diversi: a partire dall'ultima decade di gennaio fino alla prima decade di aprile avviene la lavorazione dello spinacio, che riprende poi a fine ottobre, a febbraio viene lavorata la bietola, a marzo la verza, da fine aprile a metà giugno si tratta il pisello, a fine giugno inizia la lavorazione di cicoria, fagiolino e zucchine che si protrae fino luglio. Nel periodo che va da agosto ad ottobre si lavorano carote e patate, nel mese di settembre le cime di rapa e tra settembre ed ottobre entrano in impianto bietola, fagiolo borlotto e fagiolino. Durante tutto l'anno vengono invece trattati pomodoro e pomodorino: tra luglio e agosto il fresco, negli altri mesi il surgelato (Figura 3-2).

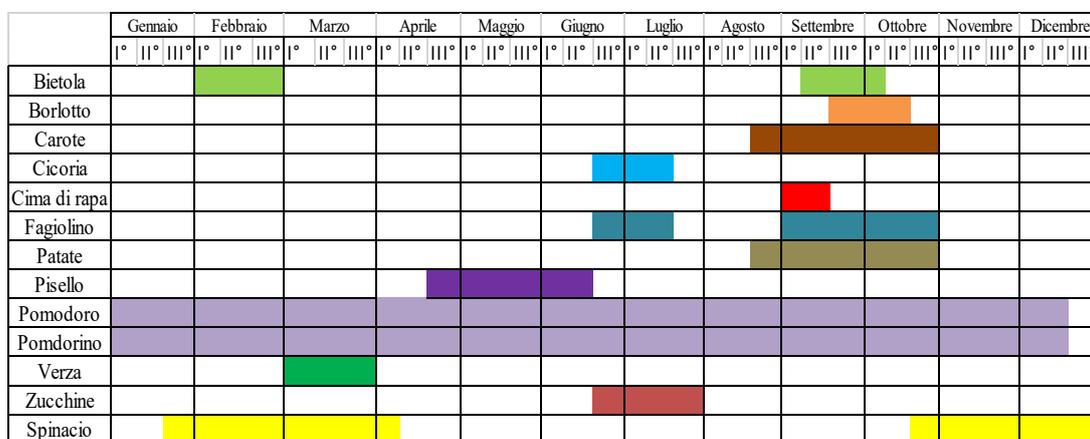


Figura 3-2: Lavorazione delle diverse specie di ortaggi durante l'anno

3.2.1 La produzione di spinacio surgelato

Questa tesi si focalizza su una delle colture ortive lavorate da O.R.T.O. Verde: lo spinacio (*Spinacia oleracea*). Si tratta di una coltura da foglia appartenente alla famiglia delle Chenopodiacee.

Insieme alle altre ortive da foglia, come la bietola e la cicoria, lo spinacio rappresenta una porzione consistente delle produzioni di O.R.T.O. Verde: con una media annua di 6.500 tonnellate, pari a circa il 20% delle produzioni totali (Grafico 3-1), le colture da foglia sono seconde solo ai piselli (Tabella 3-1).

Tabella 3-1:Produzioni medie annue di O.R.T.O Verde

Prodotto	Produzioni (t)
Piselli	13.000
Fagioli borlotti	2.100
Fagiolini	2.500
Pomodori e pomodorini	3.000
Prodotti in foglia	6.500
Prodotti per minestroni	4.500
Aromi	200
Totale	31.800

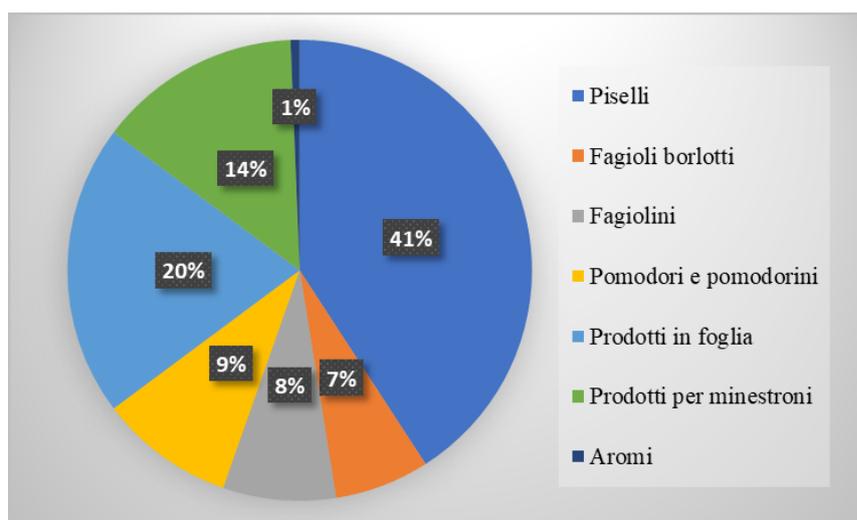


Grafico 3-1: Ripartizione percentuale delle produzioni medie annue

Come già spiegato in precedenza, la Società segue l'intera filiera produttiva, che può essere suddivisa in quattro fasi:

- Coltivazione
- Trasporto della materia fresca dal campo allo stabilimento
- Lavorazione
- Confezionamento e distribuzione del prodotto surgelato

Spinacia oleracea è una specie erbacea a ciclo biologico annuale che in Italia viene coltivata sia in pieno campo che in serra. Nel Registro Nazionale delle Varietà Ortive Italiano troviamo 16 accessioni, di queste molti sono ibridi. Le diverse cultivar possono essere classificate in vario modo considerando, ad esempio, la destinazione del prodotto (consumo fresco o industria), il periodo di coltivazione (cultivar autunno-vernine o primaverili-estive) oppure il tipo di foglia (liscia o bollosa). Generalmente le cultivar da industria sono caratterizzate da foglia liscia, portamento assurgente che agevola la raccolta meccanica e bassi livelli di acido ossalico e nitrati. Data la breve durata del suo ciclo, lo spinacio è coltivato come intercalare, di solito segue un cereale, come ad esempio il frumento, e precede una coltura da rinnovo, ad esempio il mais. Dopo un'ideale preparazione del terreno che deve essere ben affinato, la tecnica colturale prevede la semina diretta (solo raramente si esegue il trapianto) a profondità di 1-3 cm, con densità diverse a seconda della destinazione del prodotto (35-50 piante/m² per il consumo fresco e 200-250 piante/m² per lo spinacio destinato all'industria) e in epoche che variano a seconda della cultivar: quelle autunno-invernali vengono seminate a fine estate-inizio autunno (agosto-settembre), mentre quelle primaverili-estive si seminano in primavera (marzo-aprile). Durante il ciclo colturale si rendono necessarie alcune operazioni, come l'eliminazione delle infestanti tramite la sarchiatura o il diserbo, la concimazione, l'irrigazione e i trattamenti antiparassitari. La raccolta è meccanizzata attraverso l'impiego di raccogliatrici trainate o semoventi dotate di una barra falciante, di un convogliatore elevatore che grazie a dei pettini elastici spinge il prodotto verso la parte superiore della macchina e nastri trasportatori che convogliano il prodotto verso il cassone di un camion. Alcune raccogliatrici possono essere dotate di un cassone elevabile e ribaltabile che riversa direttamente lo spinacio raccolto all'interno del camion. Le operazioni di raccolta iniziano 45-60 giorni dalla semina nel caso delle cultivar primaverili-estive; mentre nel periodo autunno-invernale devono trascorrere almeno 80 giorni. Date le capacità di ricaccio della specie si possono effettuare più tagli.

3.2.2 *Appezamenti e produttori*

Nel caso della Società O.R.T.O. Verde la coltivazione dello spinacio, durante la campagna 2018/2019, ha interessato un totale di 66 produttori dislocati in otto regioni italiane, quali Marche, Puglia, Umbria, Lazio, Emilia Romagna, Abruzzo, Molise e Basilicata. Di questi poco più della metà sono distribuiti tra le province marchigiane di Macerata, Fermo, Ancona ed Ascoli Piceno. In Puglia, precisamente nella provincia di Foggia, troviamo 24 produttori di spinaci. I restanti sette agricoltori, provengono dalle altre regioni, in particolare dalle province di Perugia, Latina, Ravenna, Teramo, Campobasso e Potenza (Tabella 3-2).

Tabella 3-2: Ripartizione dei produttori e delle superfici tra le regioni italiane

Regione	Provincia	Produttori (n)	Superfici (ha)
Marche	Macerata	20	195,8
	Fermo	9	47,7
	Ancona	5	29,3
	Ascoli Piceno	1	6,5
Totale Marche		35	279,3
Emilia Romagna	Ravenna	1	2
Umbria	Perugia	2	50,50
Abruzzo	Teramo	1	2
Lazio	Latina	1	6
Molise	Campobasso	1	8
Puglia	Foggia	24	228,6
Basilicata	Potenza	1	5
Totale		66	581,4

Le superfici interessate dalla coltivazione dello spinacio nella campagna 2018/2019 sono risultate pari a circa 580 ettari suddivisi in 98 appezzamenti. Di questi, poco meno di 34 ettari sono destinati alla produzione biologica, appartengono ad un solo socio e si trovano nella provincia di Foggia.

Gli appezzamenti si distribuiscono su un territorio molto vasto ed eterogeneo che si estende da Nord a Sud Italia e che è caratterizzato da condizioni pedo-climatiche diverse. Nella nostra regione lo spinacio occupa circa 279 ettari, pari al 48% del totale, distribuiti tra le quattro province: circa 196 ettari si trovano nel Maceratese, 48 ettari circa sono nel territorio Fermano, poco più di 29 ettari nell'Anconetano e 6,5 ettari in provincia di Ascoli Piceno. Nella regione Puglia sono distribuiti, tra i territori della provincia di Foggia, circa 229 ettari, pari al 39% del totale. In Umbria, tra Spoleto e Foligno, si coltivano poco più di 50 ettari, pari al 9% della superficie totale. Infine nelle altre cinque regioni troviamo i restanti 23 ettari, di questi 8 ettari si trovano in Molise, 6 ettari nel Lazio, 5 ettari in Basilicata, 2 ettari in Emilia Romagna e altri 2 ettari in Abruzzo (Grafico 3-2).

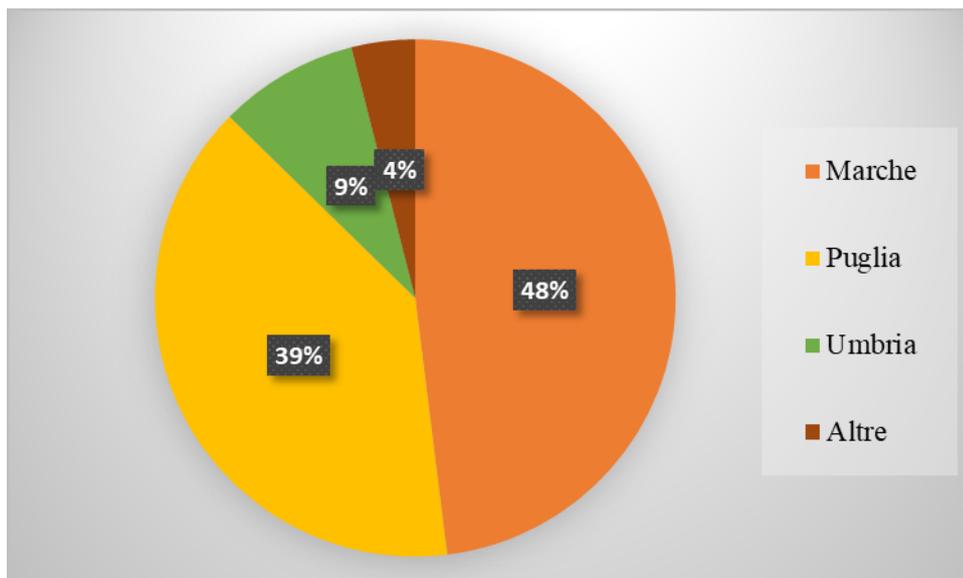


Grafico 3-2: Ripartizione percentuale delle superfici tra le regioni

Se si analizzano nel dettaglio le superfici degli appezzamenti è possibile evidenziare una notevole variabilità, infatti il più piccolo di essi ha una superficie di un ettaro, mentre il più grande si estende su 25,5 ettari. La maggior parte dei terreni ha un'estensione compresa tra 1 e 5 ettari, solo due superano i 16 ettari (Grafico 3-3). La superficie media risulta essere di circa 6 ettari.

Questi dati relativi a produttori ed appezzamenti evidenziano la complessità e l'eterogeneità della realtà su cui opera O.R.T.O Verde.

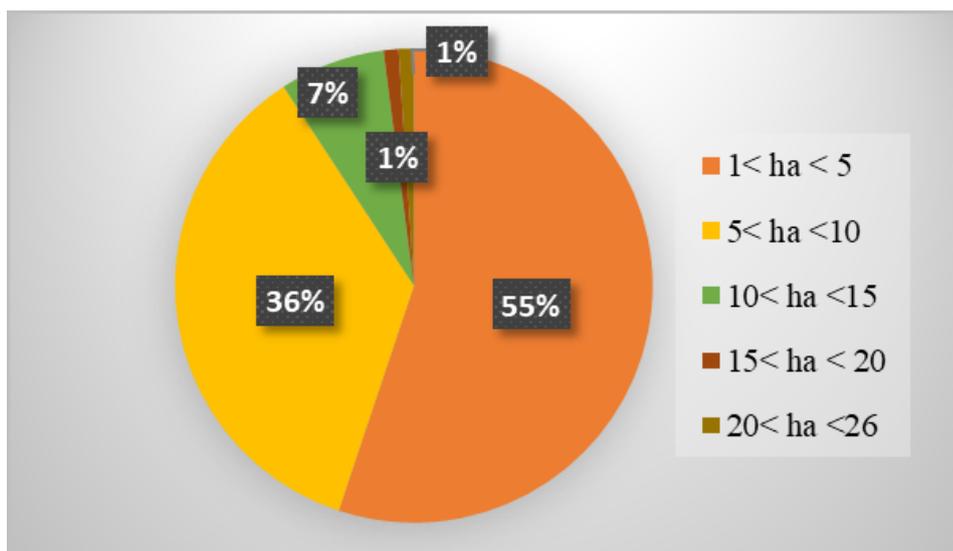


Grafico 3-3: Estensioni degli appezzamenti

3.2.3 *La coltivazione integrata*

Gli agricoltori seguono procedure di coltivazione approvate dall'azienda che verranno spiegate nel dettaglio a partire dalle metodologie di coltivazione a produzione integrata.

Lo spinacio è una coltura intercalare che ha un tempo di ritorno sul fondo di 4 anni. Dall'analisi delle rotazioni colturali adottate, nella campagna 2018/2019, è possibile individuare che le specie impiegate come precessione sono state frumento, piselli, patate, mais e cicoria.

La tecnica colturale prevede innanzitutto la scelta della cultivar. Quelle utilizzate dai soci sono: Bufflehead, Zanzibar, Thaiti, Kangaroo, Crow, Savrun, Falcon, Eland, Sparrow, Meerkat, Nighthwk, RS 1549, RS 3549 e RS3749.

Per quanto concerne le operazioni di preparazione del letto di semina, è possibile affermare che tutti gli agricoltori hanno eseguito un intervento di aratura a profondità di 30 cm oppure 20 cm. A questa hanno fatto seguito interventi di estirpatura a profondità di 20 cm o 15 cm e/o di erpicatura a 15 cm o 10 cm. Alle stesse profondità si è intervenuti con un erpice rotante e/o con una fresatrice. Infine alcuni soci hanno ricorso all'utilizzo di una verticalfresa che lavora a 10 cm di profondità.

Prima di procedere con la semina, alcuni agricoltori hanno eseguito uno o due interventi di concimazione di fondo con diverse tipologie di concimi:

- Urea (titolo 46)
- Fosfato Biammonico (titolo 18:46)
- Perfosfato semplice (titolo 19 di P₂O₅)
- Nitrophoska[®] e YaraMila BLUSTAR[®] (titolo 12:12:17)
- Digestato
- Golden Fertil Premium[®] (titolo 10:10:15)
- Gran NPK[®] (titolo 11:22:16)
- Entec[®] (titolo 25:15)
- Fosfato Monoammonico (titolo 12:52)

La semina è iniziata negli ultimi mesi dell'anno 2018 (settembre-dicembre) fino ai primi mesi del 2019 (gennaio-febbraio) ed è stata poi ripresa in agosto fino a dicembre. Tutti i soci, dopo la deposizione del seme, hanno eseguito un intervento di rullatura per favorirne il contatto con il terreno.

Durante la crescita della coltura si sono resi necessari sia interventi irrigui, che sono stati eseguiti ricorrendo all'utilizzo di rotoloni oppure di ali piovane, sia concimazioni di copertura.

In questo caso gli agricoltori hanno effettuato un numero di interventi che varia da uno a cinque, utilizzando diversi prodotti:

- Urea ed Entec[®] (titolo 46)
- Fosfato biammonico (titolo 18:46)
- Nitrato di calcio (titolo 15, in alcuni casi si ha la presenza di rame)
- Nitrato ammonico (titolo 27 oppure 34)
- Solfato ammonico (titolo 27)
- Entec[®] (titolo 26)
- Biostimolanti di diverso tipo (Kendal TE[®], Booster[®], Megafol[®], Block 5, Yaravita Stopit[®])

A questi interventi si aggiungono i trattamenti fitosanitari finalizzati a contrastare le avversità. Le operazioni di diserbo sono state eseguite attraverso la distribuzione di prodotti contenenti i seguenti principi attivi, in un numero di interventi variabile tra uno e quattro:

- S-metolachlor
- Metamitron
- Lenacil
- Fenmedifam
- Quizalofop-P-etile
- Propaquizafop
- Cycloxydim

Oltre agli erbicidi, gli agricoltori hanno utilizzato altri agrofarmaci per contrastare insetti, funghi e lumache. I principi attivi che sono stati applicati sono riportati in Tabella 3-3. Il numero di trattamenti può arrivare fino a 6.

Tabella 3-3: Principi attivi utilizzati e avversità contrastate

Principio attivo	Avversità	Principio attivo	Avversità
Etofenprox	Afidi e cimici	Cimoxanil (puro o con aggiunta di rame)	Peronospora
Indoxacarb	Nottue	Pyraclostrobin+Dimetomorf	Peronospora
Lambda-cialotrina	Nottue, afidi, elateridi e lepidotteri	Pyraclostrobin+Boscalid	Peronospora e Botrite
Clorantraniliprole	Lepidotteri	Propamocarb	Peronospora
Bacillus Thuringensis	Nottue	Boscalid	Oidio

Per quanto riguarda il trattamento anti-lumaca, questo è stato eseguito da gran parte degli agricoltori e consiste nell'utilizzo, in un'unica distribuzione, di prodotti a base di fosfato ferrico.

Il ciclo colturale termina con la raccolta che viene eseguita con macchine specializzate e in diversi periodi dell'anno a seconda dell'epoca di semina: lo spinacio seminato negli ultimi mesi del 2018 e nei primi del 2019 è stato raccolto tra gennaio e aprile 2019, mentre quello seminato da agosto a ottobre è stato raccolto negli ultimi giorni dell'anno. Le produzioni derivanti da semine avvenute tra novembre e dicembre sono state raccolte nel 2020 e quindi non sono state considerate.

3.2.4 La coltivazione biologica

Per quanto riguarda la produzione di spinacio biologico, questa, come spiegato in precedenza, interessa un solo produttore. La coltura che precede lo spinacio è il frumento e le cultivar utilizzate sono Bufflehead e RS3749. Le operazioni di preparazione del letto di semina hanno previsto l'aratura a 20 cm, seguita da erpicatura a 15 cm, fresatura a 10 cm e da un intervento eseguito con erpice rotante (10 cm di profondità). In questo caso non sono previste concimazioni di fondo.

La semina, seguita da rullatura, è stata eseguita nell'ottobre del 2018 e un anno dopo, tra settembre e novembre 2019.

Durante il ciclo colturale gli interventi irrigui, che hanno interessato solo lo spinacio seminato nel 2019, sono avvenuti per aspersione e non sono stati distribuiti concimi. Sono stati invece eseguiti trattamenti fitosanitari con tre principi attivi diversi:

- Spinosad contro le nottue
- Ossicloruro di rame contro peronospora
- Zolfo contro oidio

Sono stati due gli interventi su spinacio seminato nel 2018, mentre sulle coltivazioni dell'anno successivo sono stati operati sei trattamenti. Su nessuna delle due produzioni è stato distribuito l'anti-lumaca.

Anche in questo caso la raccolta è stata eseguita con macchine specializzate ed è avvenuta tra febbraio e aprile 2019 e poi è stata ripresa negli ultimi mesi dell'anno.

3.2.5 *Il trasporto allo stabilimento*

Il prodotto raccolto viene caricato e trasportato allo stabilimento tramite mezzi di proprietà di ditte terze. Questi comprendono motrici dal carico utile pari a 110 quintali, che vengono impiegate per il trasporto dello spinacio coltivato nelle Marche; il prodotto proveniente da altri territori raggiunge invece lo stabilimento per mezzo di autotreni dal carico utile di 230 quintali. Poiché si tratta di un prodotto fresco che può andare incontro a fermentazione, i mezzi di trasporto generalmente non sono telonati e sono dotati di grate per evitare il surriscaldamento del carico.

3.2.6 *La lavorazione*

Una volta raggiunto lo stabilimento il camion viene identificato e pesato e il prodotto viene riversato nel piazzale dedicato e da qui, tramite un ragno elettrico, viene caricato all'interno di un bunker. Da questo momento in poi si susseguono una serie di macchinari deputati a svolgere diverse operazioni nella lavorazione dello spinacio. I primi passaggi prevedono la spietatura e la selezione del prodotto tramite tre diverse macchine. La prima è un de-sabbiatore che opera una separazione fisica tramite due tamburi fenestrati, dal quale si ottiene uno scarto costituito da foglie, materiali inerti oppure insetti nel caso si siano verificate delle infestazioni in campo. A questo segue un'altra separazione fisica operata da un elio-separatore e basata su un flusso d'aria che, investendo il prodotto, lo trasporta lungo la linea e determina la precipitazione dei materiali più pesanti che vengono eliminati. La terza selezione è realizzata da una cernitrice ottica dotata di sensori e di un laser che, scansionando il prodotto, ne rileva sia la composizione che il colore e li compara con i modelli ideali memorizzati in un software. Tutto ciò che non rispetta i requisiti, come ad esempio foglie secche, rovinare o insetti, viene escluso. Gli scarti che si ottengono dai tre separatori vengono tutti inviati all'impianto a biogas di proprietà di C.O.VAL.M, ad eccezione di quello ottenuto dall'elio-separatore che viene riversato in un terreno posto in prossimità dello stabilimento. La lavorazione dello spinacio prosegue con due

fasi di lavaggio: la prima avviene per fluttuazione e prevede la presenza di coclee che con il loro movimento permettono il lavaggio, la seconda per decantazione. In questo caso non viene esercitato un movimento meccanico, ma è presente una vasca contenente acqua potabile, in cui le foglie, che sono leggere, galleggiano, mentre le parti estranee vengono trascinate sul fondo. I fanghi di depurazione derivanti da queste operazioni vengono smaltiti nel terreno. Lo spinacio libero da parti estranee e lavato, entra in un cuocitore multifase. Si tratta di un macchinario all'interno del quale il prodotto subisce quattro fasi a diverse temperature:

- Pre-riscaldamento a 75°C
- Riscaldamento a 90°C
- Pre-raffreddamento a 80°C
- Raffreddamento a 23°C attraverso l'immersione in acqua fredda

All'uscita dalla vasca il flusso di spinacio si divide in due nastri trasportatori che lentamente lo conducono verso postazioni in cui due operatori effettuano una selezione manuale eliminando sia foglie che non rispettano i requisiti necessari per proseguire verso la surgelazione e che vengono destinate all'impianto a biogas, sia elementi anomali che vengono annotati nell'apposita documentazione relativa al controllo del processo. Da qui il prodotto raggiunge una cubettatrice dove l'azione di una pressa gli conferisce la forma desiderata: un cubetto dal peso di 30 o 50 grammi. Il passaggio successivo prevede l'ingresso dei cubetti all'interno di un giro freezer costituito da una spirale interna mantenuta ad una temperatura di -35°C, che ne assicura la surgelazione. Il refrigerante utilizzato dal macchinario è l'ammoniaca. Al termine di questa fase il prodotto viene controllato mediante un metal detector che rileva l'eventuale presenza di metalli e viene poi sottoposto a glassatura, ovvero all'aggiunta di un velo di acqua per rendere liscia la superficie dei cubetti. Questi vengono poi fatti cadere per gravità all'interno di bins rivestiti con sacchi di plastica, che vengono pesati, chiusi, etichettati con il codice del lotto e le relative informazioni e portati in cella. Arrivati a questa fase della lavorazione, alcuni clienti di O.R.T.O Verde ritirano il prodotto senza che questo subisca le successive fasi che portano al confezionamento e che prevedono:

- una cernita visita da parte di operatori;
- il packaging primario effettuato tramite un macchinario dotato di bilancia, che consente di inserire la corretta quantità di cubetti all'interno di buste di plastica;
- l'ispezione delle buste tramite metal detector e raggi X. Questi ultimi permettono di individuare la presenza di difetti fisici o di contaminanti senza danneggiare il prodotto;
- il packaging secondario e terziario: un operatore posiziona le buste all'interno di scatole, le quali vengono a loro volta poste sui pallet (Figura 3-3).

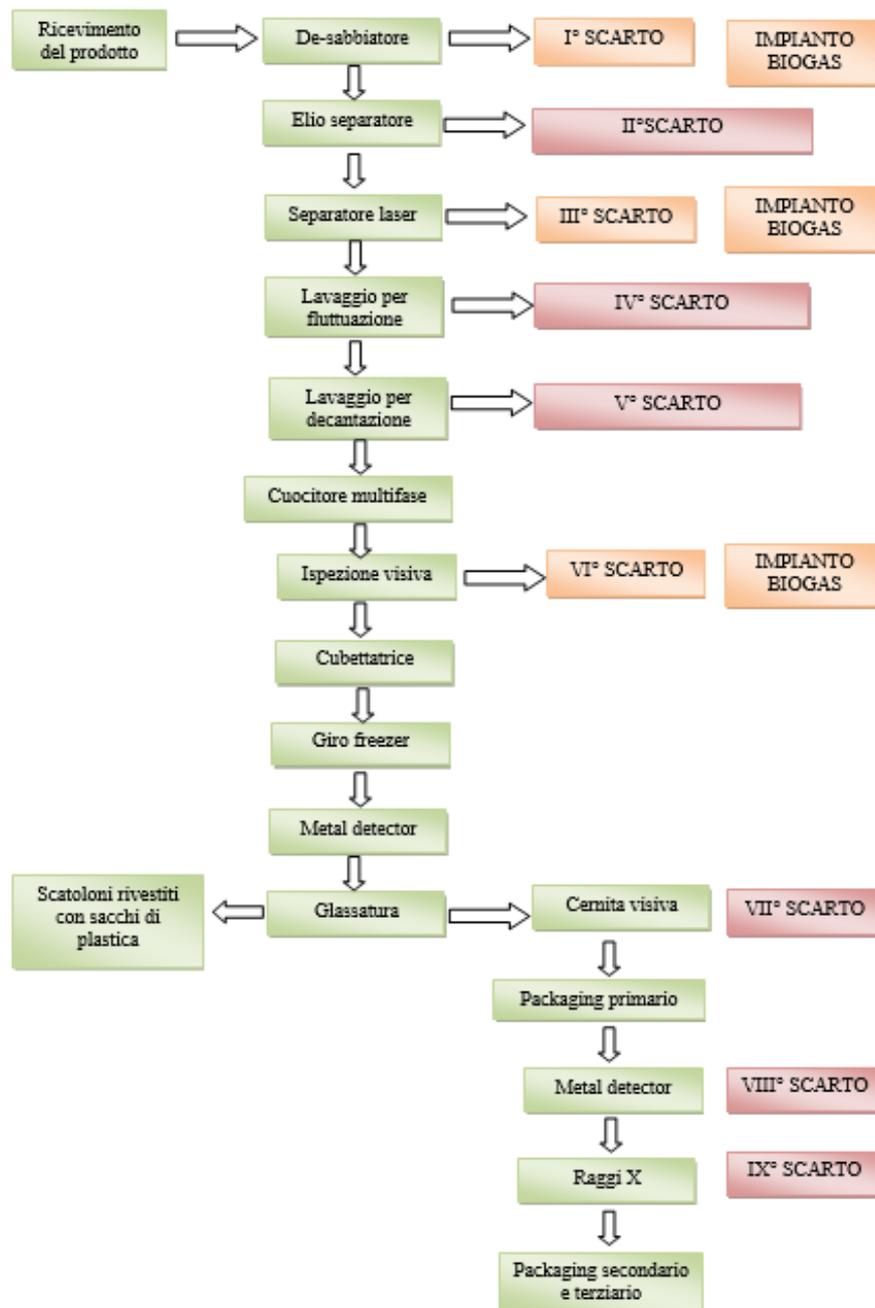


Figura 3-3: Diagramma di flusso della lavorazione dello spinacio

Numerosi sono i controlli che si effettuano durante l'intero processo. Dalla materia fresca in arrivo dal campo vengono prelevati e analizzati campioni di 1 kg al fine di valutare diversi parametri, quali la percentuale di foglie brune, gialle o danneggiate, la quantità di radici, la presenza di erbe filiformi (cm/kg) e/o estranee e infine la lunghezza e il diametro dei gambi

eccedenti (in percentuale). L'esito di queste valutazioni va a determinare la percentuale di scarto e quindi, ad influenzare la stima del netto a pagamento.

Lungo il processo di surgelazione vengono effettuati controlli sia sulla qualità del prodotto, che deve rispettare determinati requisiti (in alcuni casi sono imposti dal cliente), sia sul corretto funzionamento della linea di lavorazione. In questo caso si verificano i tempi di scottatura, le temperature del cuocitore (ogni ora), della surgelazione, del prodotto, ma anche il corretto funzionamento del metal detector (ogni due ore).

Quanto emerge da queste verifiche, necessarie per garantire un processo conforme e un prodotto di qualità, viene riportato in apposite schede.

La linea ha una capacità operativa di 20 quintali di spinaci surgelati prodotti ogni ora e l'energia elettrica necessaria per il suo funzionamento, è fornita da pannelli fotovoltaici, da un cogeneratore e in parte acquistata dalla rete.

Infine l'acqua utilizzata lungo la linea viene prelevata da pozzi situati in appezzamenti agricoli intorno all'azienda e potabilizzata in impianto.

Capitolo 4

LIFE CYCLE ASSESSMENT DELLA COLTIVAZIONE E DELLA LOGISTICA DI SPINACIO DESTINATO ALLA SURGELAZIONE

4.1 Obiettivo

Il presente studio LCA riguarda la produzione di spinacio destinato alla surgelazione, in particolare analizza le fasi di coltivazione e di trasporto del prodotto dal campo allo stabilimento, in modo da valutarne l'impatto ambientale. La valutazione è stata effettuata utilizzando la versione 8.3 del software Simapro.

Per quanto concerne la fase di campo, si esaminano entrambi i sistemi di coltivazione adottati da O.R.T.O Verde: quello integrato e quello biologico. I risultati ottenuti dai due diversi sistemi di coltivazione verranno confrontati e valutati per comprenderne le differenze in termini di impatto ambientale. Inoltre i dati ottenuti verranno raffrontati con quelli presenti in letteratura, anche se è stata riscontrata una scarsa applicazione del metodo LCA per lo spinacio.

Lo studio sarà indirizzato ad un pubblico non esperto di Life Cycle Assessment, ma conoscitore dei processi oggetto della valutazione.

4.2 Scopo

In questa fase si definiscono e si descrivono gli elementi su cui si basa l'analisi LCA.

La coltivazione

L'oggetto dello studio sono i due differenti sistemi di coltivazione dello spinacio adottati dai numerosi agricoltori soci di O.R.T.O Verde. I dati esaminati riguardano le quantità di spinacio conferite allo stabilimento nell'anno 2019. Di conseguenza si considerano le produzioni derivanti da semine avvenute negli ultimi mesi del 2018 e quelle avvenute nel 2019. Non rientrano nella valutazione le quantità di spinaci seminate nel 2019 e conferite allo stabilimento nel 2020.

Nel caso in questione non si ha la produzione di coprodotti e sottoprodotti, perciò non sono state applicate procedure di allocazione.

Gli appezzamenti su cui è avvenuta la coltivazione sono stati suddivisi in quattro raggruppamenti. Prima sono state individuate le due macro-categorie corrispondenti ai due sistemi di coltivazione, poi, i due gruppi di terreni sono stati divisi in base all'anno di semina.

Il primo raggruppamento comprende 22 appezzamenti, pari a quasi 134 ettari, coltivati secondo il sistema di produzione integrata e seminati nel 2018. I produttori coinvolti sono 17 e gli spinaci raccolti sono risultati pari a circa 1.062 tonnellate, con una media di quasi 8 t/ha.

Nel secondo gruppo rientrano 49 produttori con i loro 73 appezzamenti, per una superficie totale pari a circa 414 ettari. Le quantità di spinaci prodotte sono di circa 3.097 tonnellate, con una media di 7,5 tonnellate ad ettaro. Si deve sottolineare che di diciannove appezzamenti i dati forniti riguardano gli input, ma non le produzioni ottenute. Come spiegato dettagliatamente nel capitolo precedente, la tecnica colturale impiegata dai produttori dei due raggruppamenti, ha previsto operazioni di preparazione del terreno, la semina, la rullatura, concimazioni di fondo e di copertura, interventi irrigui, trattamenti fitosanitari e la raccolta.

La produzione di spinacio biologico ha interessato un singolo produttore e 3 appezzamenti. Nel 2018 è stato seminato un solo appezzamento di circa 7 ettari di superficie, che ha portato alla produzione di 164 tonnellate di spinacio. Nel 2019 la coltivazione biologica ha interessato 27 ettari. I dati forniti non prevedevano le produzioni di uno dei due appezzamenti, del quale sono invece disponibili gli input forniti. In questo caso la mancanza del dato influenzerà l'esito della valutazione e sarà tenuto in considerazione per la fase di discussione dei risultati. La coltivazione biologica dello spinacio è stata spiegata dettagliatamente nel capitolo precedente e può essere riassunta nelle seguenti fasi di preparazione del terreno, semina, rullatura, irrigazione (solo per la semina 2019), trattamenti fitosanitari e raccolta.

Il trasporto

Come già spiegato in precedenza, lo spinacio raccolto in campo viene trasportato allo stabilimento di Senigallia tramite mezzi di ditte terze che comprendono sia motrici che autotreni.

I processi di trasporto sono stati divisi in due gruppi, uno relativo alla produzione integrata e uno a quella biologica. Data la distribuzione degli appezzamenti su un vasto territorio, le distanze percorse sono molto variabili: vanno da un minimo di 51 km, nel caso di produzioni provenienti da Osimo (AN), fino ad un massimo di 411 km, per lo spinacio prodotto a Cerignola (FG). La distanza media risulta essere di 231 km.

Unità funzionale

L'unità funzionale rappresenta il riferimento a cui saranno normalizzati input e output dello studio e ne permette la comparabilità. Nello studio in questione l'unità funzionale (FU) scelta è il chilogrammo di spinacio raccolto e poi trasportato.

Confini del sistema

I confini del sistema definiscono le unità di processo incluse nello studio. Gli input comprendono suolo, semi di spinacio, concimi, agrofarmaci e acqua. I processi considerati riguardano le operazioni colturali e le operazioni di trasporto. Non vengono considerati i processi a valle dell'operazione di trasporto.

Qualità dei dati

I dati si possono distinguere in:

- “Foreground data”, ovvero i dati in primo piano, si tratta di dati specifici, in questo caso riferiti ai processi di coltivazione e di trasporto (ad esempio le quantità dei singoli prodotti)
- “Background data”, ovvero dati relativi ai processi di produzione degli input. Questi possono essere estrapolati dal database del Simapro oppure dalla letteratura.

Gran parte dei dati utilizzati per la valutazione dell'impatto ambientale sono dati primari che sono stati ottenuti da colloqui con i responsabili delle aziende coinvolte, attraverso la consultazione dei quaderni di campagna, dei documenti compilati al momento dell'arrivo del prodotto fresco allo stabilimento e delle documentazioni riguardanti concimi e prodotti fitosanitari (schede tecniche ed etichette). I dati secondari, estrapolati da pubblicazioni scientifiche, riguardano l'impatto ambientale derivante dalla distribuzione del digestato, del quale non si avevano informazioni precise. Per le operazioni colturali e per il trasporto, dei quali non erano disponibili né le caratteristiche dei mezzi utilizzati, né i consumi, sono stati impiegati dati secondari presenti all'interno del database del software Simapro.

Metodo di analisi

Il metodo utilizzato per l'analisi dell'impatto ambientale è il CML-IA baseline. Questo si basa su un approccio *midpoint*, cioè valuta il potenziale impatto ambientale e comprende undici categorie di impatto: Abiotic Depletion Potential (ADP), Abiotic Depletion Potential fossil fuels (ADP_f), Global Warming Potential (GWP), Ozone Layer Depletion Potential (ODP), Human Toxicity Potential (HTP), Fresh water aquatic Eco-toxicity Potential (FEP),

Marine aquatic Eco-toxicity Potential (MEP), Terrestrial Ecotoxicity Potential (TEP), Photochemical Oxidation Potential (PCOP), Acidification Potential (AP), Eutrophication Potential (EP).

4.3 Analisi di inventario (LCI)

Questa fase prevede la raccolta dei dati e le procedure di calcolo attuate per quantificare i flussi in entrata e in uscita inclusi nei limiti del sistema.

Come spiegato nel paragrafo precedente, i dati relativi alla fase di coltivazione sono stati ottenuti da colloqui con il personale delle aziende, dai quaderni di campagna, dalla documentazione compilata al momento della ricezione del prodotto all'impianto e dai documenti tecnici dei prodotti usati.

Di seguito si riportano i dati d'inventario della fase di coltivazione e di trasporto, suddivisi nei relativi raggruppamenti e riguardanti l'annata agraria 2018/2019.

La coltivazione

Per la fase di coltivazione le informazioni raccolte riguardano:

- superfici di coltivazione
- operazioni colturali svolte (tipologia e numero di interventi)
- volumi di irrigazione
- concimi (tipologia, titolo, quantità distribuita e numero di interventi)
- trattamenti fitosanitari (principio attivo, quantità distribuita e numero di interventi)
- quantità di spinacio prodotte

La quantità totale di seme distribuita è stata calcolata considerando un valore medio di 15 kg/ha. Per le operazioni colturali sono stati considerati processi analoghi a quelli in questione presenti nel database del Simapro e sono stati calcolati gli ettari interessati dalle relative operazioni.

I dati sono stati riferiti all'unità funzionale di 1kg di spinacio (Tabella 4-1 e Tabella 4-2).

Tabella 4-1: Dati di inventario della fase di coltivazione integrata

Coltivazione integrata			
Voce di inventario	Unità di misura	Valori riferiti all'unità funzionale (FU)	
		Semina 2018	Semina 2019
Superficie	ha	1,26E ⁻⁰⁴	1,34E ⁻⁰⁴
Quantità di seme	kg	1,89E ⁻⁰³	2,00E ⁻⁰³
Operazioni colturali	ha	7,56E ⁻⁰⁴	4,07E ⁻⁰⁴
Acqua per irrigazione	m ³	7,67E ⁻⁰⁴	1,47E ⁻⁰³

Tabella 4-2: Dati di inventario della fase di coltivazione biologica

Coltivazione biologica			
Voce di inventario	Unità di misura	Valori riferiti all'unità funzionale (FU)	
		Semina 2018	Semina 2019
Superficie	ha	4,02E-05	2,14E-04
Quantità di seme	kg	6,04E-04	3,21E-03
Operazioni colturali	ha	2,41E-04	1,28E-03
Acqua per irrigazione	m ³		1,19E-04

Per quanto concerne la concimazione, sia di fondo che di copertura, sono state calcolate le quantità, espresse in kg o l, di prodotto utilizzate e, a partire dalle informazioni riportate in etichetta, sono stati ricavati i litri di acqua utilizzati per la distribuzione dei concimi a formulazione liquida (biostimolanti). Per le operazioni di distribuzione sono state sommate le superfici su cui queste sono state svolte. Infine i dati sono stati riferiti all'unità funzionale (Tabella 4-3 a Tabella 4-4).

La coltivazione biologica non ha previsto distribuzione di concimi.

Tabella 4-3: Dati di inventario della concimazione per lo spinacio seminato nel 2018

Coltivazione integrata (semina 2018)			
Concime	Titolo	Unità di misura	Valori riferiti all'unità funzionale (FU)
Fosfato biammonico	18:46	kg	2,08E ⁻⁰²
Urea	46	kg	1,86E ⁻⁰²
Nitrato di calcio	15	kg	1,51E ⁻⁰³
Solfato ammonico	27	kg	7,06E ⁻⁰⁴
Nitrato di calcio + rame	26,5 Cu	kg	1,32E ⁻⁰⁵
Biostimolanti		l	3,07E ⁻⁰⁴
Operazioni di distribuzione			
Concimi solidi		ha	2,53E ⁻⁰⁴
Concimi liquidi		ha	1,10E ⁻⁰⁴
Acqua		l	1,23E ⁻⁰¹

Tabella 4-4: Dati di inventario della concimazione per lo spinacio seminato nel 2019

Coltivazione integrata (semina 2019)			
Concime	Titolo	Unità di misura	Valori riferiti all'unità funzionale (FU)
Fosfato biammonico	18:46	kg	1,49E ⁻⁰²
Urea/Entec®	46	kg	1,75E ⁻⁰²
Nitrato di calcio	15	kg	1,75E ⁻⁰²
Nitrato ammonico	34	kg	2,58E ⁻⁰⁴
Nitrato ammonico	27	kg	2,42E ⁻⁰⁴
Entec®	26	kg	4,84E ⁻⁰⁴
Perfosfato semplice	19 P ₂ O ₅	kg	6,78E ⁻⁰⁴
Nitrophoska® e YaraMila	12:12:17	kg	3,47E ⁻⁰³
BLUSTAR®			
Digestato	Organico	kg	5,17E ⁻⁰¹
Golden Fertil Premium®	10:10:15	kg	1,36E ⁻⁰³
Gran NPK®	11:22:16	kg	3,23E ⁻⁰⁴
Entec®	25:15	kg	9,69E ⁻⁰⁴
Fosfato Monoammonico	12:52	kg	3,23E ⁻⁰⁴
Biostimolanti		l	4,81E ⁻⁰⁴
Operazioni di distribuzione			
Concimi solidi		ha	2,49E ⁻⁰⁴
Concimi liquidi		ha	1,53E ⁻⁰⁴
Acqua		l	2,05E ⁻⁰¹

Di seguito si riportano i dati d'inventario relativi ai trattamenti fitosanitari. Sulla base delle informazioni ricavate dai quaderni di campagna sono state calcolate le quantità totali di principi attivi utilizzati. In seguito sono stati determinati, a partire dalle etichette i litri di acqua impiegati per la distribuzione, ed infine gli ettari interessati. Tutti i valori sono stati riferiti all'unità funzionale (Tabella 4-5 e Tabella 4-6).

Tabella 4-5: Dati di inventario relativi ai trattamenti fitosanitari del sistema integrato

Coltivazione integrata			
Principio attivo	Unità di misura	Valori riferiti all'unità funzionale (FU)	
		Semina 2018	Semina 2019
Diserbanti			
S-metolachlor	l	1,58E ⁻⁰⁵	2,87E ⁻⁰⁵
Metamitron	kg	1,90E ⁻⁰⁴	2,16E ⁻⁰⁴
Lenacil	kg	8,81E ⁻⁰⁵	2,04E ⁻⁰⁵
Fenmedifam	l	9,41E ⁻⁰⁶	2,50E ⁻⁰⁵
Quizalofop-P-etile	l	2,12E ⁻⁰⁵	1,13E ⁻⁰⁶
Propaquizafop	l	1,99E ⁻⁰⁵	4,45E ⁻⁰⁵
Cycloxydim	kg		1,29E ⁻⁰⁵
Insetticidi/fungicidi			
Etofenprox	l	2,21E ⁻⁰⁵	2,87E ⁻⁰⁵
Cimoxanil	kg	3,77E ⁻⁰⁵	1,33E ⁻⁰⁵
Indoxacarb	kg	2,35E ⁻⁰⁶	
Cimoxanil + rame	kg	4,33E ⁻⁰⁵	8,88E ⁻⁰⁶
Pyraclostrobin+Dimetomorf	l	3,76E ⁻⁰⁵	1,42E ⁻⁰⁵
Lambda-cialotrina	l	3,30E ⁻⁰⁶	4,17E ⁻⁰⁵
Clorantraniliprole	kg	4,08E ⁻⁰⁶	1,40E ⁻⁰⁵
Propamocarb	l	7,53E ⁻⁰⁶	7,75E ⁻⁰⁶
Boscalid	kg	7,06E ⁻⁰⁷	2,23E ⁻⁰⁵
Bacillus Thuringensis	kg	4,52E ⁻⁰⁶	
Antilumaca			
Fosfato ferrico	kg	2,37E ⁻⁰⁴	4,24E ⁻⁰⁴
Operazioni di distribuzione			
Prodotti liquidi	ha	5,41E ⁻⁰⁴	3,30E ⁻⁰⁴
Prodotti solidi	ha	3,94E ⁻⁰⁵	7,05E ⁻⁰⁵
Acqua	l	3,77E ⁻⁰¹	6,76E ⁻⁰¹

Tabella 4-6: Dati di inventario relativi ai trattamenti fitosanitari del sistema biologico

Coltivazione biologica			
	Unità di misura	Valori riferiti all'unità funzionale	
Principio attivo		Semina 2018	Semina 2019
Spinosad	l	3,22E ⁻⁰⁵	3,43E ⁻⁰⁴
Rame ossicloruro	kg	4,02E ⁻⁰⁵	3,43E ⁻⁰⁴
Zolfo	kg		1,28E ⁻⁰³
Operazioni di distribuzione	ha	8,05E ⁻⁰⁵	1,28E ⁻⁰³
Acqua	l	3,17E ⁻⁰²	7,51E ⁻⁰¹

Si procede con la descrizione delle emissioni dovute alle concimazioni e ai trattamenti fitosanitari. Le emissioni derivanti dalle concimazioni riguardano solo il sistema integrato e sono state calcolate considerando il titolo, le quantità distribuite e i fattori di emissione estrapolati dalla PCR- Arable and vegetable crops [4].

Si sottolinea che le emissioni legate alle operazioni di distribuzione dei prodotti sono incluse nei relativi processi inseriti come input.

Per quanto concerne il digestato, di cui si conosce solo la quantità distribuita, si considera l'impatto ambientale valutato da Bartocci *et al.* [5] in uno studio che verrà trattato in seguito.

Infine è presa in considerazione la quantità di plastica derivante dall'impiego di concimi confezionati in sacchi da 25 kg. Secondo quanto riportato da *PlasticsEurope* nel 2016 in Europa, il 31,1% della plastica prodotta è stata riciclata, il 27,3% è stata smaltita in discarica e il 41,6% destinata al recupero energetico [6]. Sulla base di questi dati sono state calcolate le quantità, espresse in kg, di plastica derivante dai sacchi di concime, che è stata riciclata, portata in discarica o indirizzata al recupero energetico.

La tabella 4-7 riporta i valori, riferiti all'unità funzionale, delle emissioni dovute alla distribuzione dei concimi nel sistema integrato.

Tabella 4-7: Emissioni dovute alle concimazioni del sistema integrato

Coltivazione integrata				
Emissione	u.m	Compartimento	Valori riferiti alla FU	
			Semina 2018	Semina 2019
Emissioni dirette di NH ₃		Aria	3,92E ⁻⁰³	3,50E ⁻⁰³
Emissioni dirette di N ₂ O	kg	Aria	4,14E ⁻⁰⁴	3,90E ⁻⁰⁴
Emissioni dirette di NO	kg	Aria	1,91E ⁻⁰⁴	1,78E ⁻⁰⁴
Emissioni dirette di NO ₃	kg	Acqua	1,69E ⁻⁰²	1,59E ⁻⁰²
Emissioni indirette di N ₂ O da NH ₃	kg	aria	1,01E ⁻⁰⁴	9,04E ⁻⁰⁵
Emissioni indirette di N ₂ O da NO ₃	kg	Aria	8,98E ⁻⁰⁵	8,47E ⁻⁰⁵
Emissioni di P	kg	Acqua	9,46E ⁻⁰⁴	1,13E ⁻⁰³
Plastica				
Riciclata	kg		2,13E ⁻⁰⁵	2,27E ⁻⁰⁵
Discarica	kg		1,87E ⁻⁰⁵	1,99E ⁻⁰⁵
Recupero energetico	kg		2,85E ⁻⁰⁵	3,03E ⁻⁰⁵

Le emissioni derivanti dalla distribuzione degli agrofarmaci sono state calcolate a partire dalle quantità di principio attivo distribuite e applicando il modello di emissione elaborato da Margni, M., et al., che prevede una percentuale di emissione nel suolo del 85%, in aria del 10% e in acqua del 5% [7]. Le emissioni dovute alle operazioni di distribuzione sono incluse nei processi inseriti come input. Le tabelle 4-8 e 4-9 riportano i valori delle emissioni riferiti all'unità funzionale.

Tabella 4-8: Emissioni dovute ai trattamenti fitosanitari del sistema integrato

Coltivazione integrata				
Prodotto	u.m.	Compartimento	Valori riferiti alla FU	
			Semina 2018	Semina 2019
Diserbanti	kg	Suolo	2,93E ⁻⁰⁴	2,96E ⁻⁰⁴
	kg	Acqua	1,72E ⁻⁰⁵	1,74E ⁻⁰⁵
	kg	Aria	3,45E ⁻⁰⁵	3,49E ⁻⁰⁵
Insetticidi/fungicidi	kg	Suolo	8,57E ⁻⁰⁵	1,13E ⁻⁰⁴
	kg	Acqua	5,04E ⁻⁰⁶	6,66E ⁻⁰⁶
	kg	Aria	1,01E ⁻⁰⁵	1,33E ⁻⁰⁵
Anti-lumaca	kg	Suolo	2,01E ⁻⁰⁴	3,61E ⁻⁰⁴

Tabella 4-9: Emissioni dovute ai trattamenti fitosanitari del sistema biologico

Coltivazione biologica				
Prodotto	u.m.	Compartimento	Valori riferiti alla FU	
			Semina 2018	Semina 2019
Insetticidi/fungicidi	kg	Suolo	6,16E ⁻⁰⁵	1,67E ⁻⁰³
	kg	Acqua	3,62E ⁻⁰⁶	9,85E ⁻⁰⁵
	kg	Aria	3,62E ⁻⁰⁶	1,97E ⁻⁰⁴

Trasporto

Per la fase di trasporto i dati raccolti riguardano:

- Località in cui si trovano gli appezzamenti
- Tipologie di mezzi e carico utile (motrici da 11 tonnellate e autotreni da 23 tonnellate)

Per prima cosa, tramite Google Maps, sono state calcolate le distanze tra i singoli appezzamenti e lo stabilimento di Cesano di Senigallia. Sono state individuate la distanza minima (51 km) e quella massima (411 km). Successivamente sono state esaminate le produzioni di spinacio dei diversi terreni per determinare la quantità minima (1,7 t) e massima (28,09 t). Queste informazioni sono state utilizzate per calcolare il valore minimo, massimo e medio delle tkm. Per lo spinacio biologico la distanza è una sola poiché gli appezzamenti sono tutti situati a Cerignola (411 km).

In questo caso sono stati considerati due raggruppamenti, quello integrato e quello biologico, senza tener conto dell'anno di semina. Inoltre si assume che non ci siano perdite durante il trasporto (100% di efficienza), che i mezzi utilizzati appartengano alla categoria EURO 3 e che siano alimentati a diesel. Poiché lo spinacio ha una massa volumica bassa e non può essere compresso, si considera un carico del 50%. Infine trattandosi di un trasporto dedicato ad un prodotto alimentare il ritorno è sempre a vuoto. Le emissioni della fase di trasporto sono incluse nei processi inseriti come input.

I dati di inventario della fase di trasporto sono riportati nella Tabella 4-10.

Tabella 4-10: Dati di inventario relativi alla fase di trasporto (Integrato e biologico)

Trasporto				
Integrato				
	u.m.	Minima	Massima	Media
Distanza	km	51	411	
Produzione	t	1,7	28,09	
tkm	tkm	86,7	11.544,9	5.815,8
Biologico				
Distanza	km		411	
Produzione	t		23	
tkm	tkm		9.453	

4.4 Risultati

L'inserimento dei dati di inventario nel Software Simapro permette di quantificare l'impatto ambientale: i fattori di caratterizzazione del metodo di analisi scelto, in questo caso CML-IA baseline, consentono di convertire i dati in categorie di impatto ambientale.

I risultati ottenuti, riferiti a 1kg di spinacio coltivato e conferito allo stabilimento, sono riportati nella Tabella 4-11, dove sono elencate le undici categorie di impatto previste dal metodo con le relative unità di misura.

Tabella 4-11: Impatto ambientale di 1kg di spinacio coltivato e trasportato allo stabilimento

Categoria di impatto	Unità di misura	Integrato	Biologico
Abiotic depletion	kg Sb eq	3,23E ⁻⁰⁶	1,89E ⁻⁰⁶
Abiotic depletion fossil fuels	MJ	2,37E ⁺⁰⁰	9,32E ⁻⁰¹
Global warming	kg CO ₂ eq	4,92E ⁻⁰¹	1,31E ⁻⁰¹
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2,04E ⁻⁰⁸	1,98E ⁻⁰⁸
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6,74E ⁻⁰²	3,69E ⁻⁰²
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3,52E ⁻⁰²	1,27E ⁻⁰²
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,07E ⁺⁰²	4,55E ⁺⁰¹
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,77E ⁻⁰³	3,07E ⁻⁰⁵
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	2,50E ⁻⁰⁵	4,43E ⁻⁰⁵
Acidification	kg SO ₂ eq	8,12E ⁻⁰³	1,01E ⁻⁰³
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	5,07E ⁻⁰³	2,67E ⁻⁰⁴

Le prime due categorie riguardano il depauperamento delle risorse abiotiche legato alla loro estrazione. La prima (ADP) si riferisce alle risorse materiali ed è espressa in kg di Antimonio equivalenti, la seconda (ADP fossil) interessa il consumo di combustibili fossili ed è espressa in Mega Joule.

Il Global Warming Potential (GWP 100) valuta il contributo di alcuni composti al riscaldamento globale nei cento anni successivi al loro rilascio e viene espresso in kg di anidride carbonica equivalenti. Dallo studio sono emersi valori di $4,92E^{-01}$ kg di CO₂ eq per il sistema integrato e $1,31E^{-01}$ kg di CO₂ eq nel caso della coltivazione biologica.

La quarta categoria (Ozone layer depletion) riguarda l'impatto derivante dall'emissione in aria di sostanze responsabili della distruzione dello strato di ozono e si esprime in kg di triclorfluorometano equivalenti. I valori ottenuti per i due sistemi di coltivazione sono di $2,04E^{-08}$ kg CFC-11 eq e di $1,98E^{-08}$ kg CFC-11 eq.

Gli effetti sulla salute umana dovuti alle emissioni di sostanze tossiche sono espressi, dalla categoria Human Toxicity, in kg di 1,4-dichlorobenzene equivalenti. Dall'analisi sono emersi valori di $6,74E^{-02}$ kg 1,4-DB eq per il sistema integrato e di $3,69E^{-02}$ kg 1,4-DB eq per quello biologico. A questa seguono tre categorie, espresse con la medesima unità di misura della categoria precedente, che si riferiscono ai sistemi acquatici e a quelli terrestri: eco-tossicità delle acque dolci (Fresh water aquatic ecotoxicity), eco-tossicità marina (Marine aquatic ecotoxicity) e terrestre (Terrestrial ecotoxicity). I valori ottenuti per il sistema integrato sono, rispettivamente: $3,52E^{-02}$ kg 1,4-DB eq, $1,07E^{-02}$ kg 1,4-DB eq e $1,77E^{-03}$ kg 1,4-DB eq. Per la coltivazione biologica i rispettivi risultati sono: $1,27E^{-02}$ kg 1,4-DB eq, $4,55E^{-01}$ kg 1,4-DB eq e $3,07E^{-05}$ kg 1,4-DB eq.

La Photochemical oxidation esprime il potenziale di produzione di ozono troposferico a seguito dell'emissione in atmosfera di composti organici volatili, come gli idrocarburi. L'unità di misura della categoria sono i chilogrammi di etene equivalenti e l'analisi dell'impatto ambientale ha determinato valori di $2,50E^{-05}$ kg C₂H₄ eq per la coltivazione integrata e di $4,43E^{-05}$ kg C₂H₄ eq per quella biologica.

L'acidificazione indica la presenza di sostanze acidificanti e si esprime in kg di biossido di zolfo. Nel sistema integrato è di $8,12E^{-03}$ kg di SO₂ eq, in quello biologico è di $1,01E^{-03}$ kg di SO₂ eq.

L'ultima categoria riguarda il potenziale di eutrofizzazione causato da sostanze a base di azoto e fosforo (come ad esempio i fertilizzanti) che aumentano il carico di nutrienti nell'ambiente. I valori ottenuti sono pari a $5,07E^{-03}$ kg PO₄³⁻ eq nell'integrato e $2,67E^{-04}$ kg PO₄³⁻ eq nel biologico. I dati sono espressi in kg di fosfato equivalenti.

Di seguito si riportano i risultati, riferiti all'unità funzionale, relativi ai quattro sistemi di coltivazione (Tabella 4-12 e Tabella 4-13).

Tabella 4-12: Impatto ambientale del sistema di coltivazione integrato (2018 e 2019)

Categoria di impatto	Unità di misura	Semina 2018	Semina 2019
Abiotic depletion	kg Sb eq	3,13E ⁻⁰⁶	3,25E ⁻⁰⁶
Abiotic depletion fossil fuels	MJ	2,31E ⁺⁰⁰	2,39E ⁺⁰⁰
Global warming	kg CO ₂ eq	3,62E ⁻⁰¹	3,57E ⁻⁰¹
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	1,96E ⁻⁰⁸	2,03E ⁻⁰⁸
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	5,38E ⁻⁰²	5,72E ⁻⁰²
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3,37E ⁻⁰²	3,52E ⁻⁰²
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,03E ⁺⁰²	1,06E ⁺⁰²
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,68E ⁻⁰³	1,79E ⁻⁰³
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	-2,64E ⁻⁰⁵	-1,95E ⁻⁰⁵
Acidification	kg SO ₂ eq	7,64E ⁻⁰³	7,00E ⁻⁰³
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	4,83E ⁻⁰³	4,84E ⁻⁰³

Tabella 4-13: Impatto ambientale del sistema di coltivazione biologico (2018 e 2019)

Categoria di impatto	Unità di misura	Semina 2018	Semina 2019
Abiotic depletion	kg Sb eq	2,32E ⁻⁰⁷	3,99E ⁻⁰⁶
Abiotic depletion fossil fuels	MJ	2,76E ⁻⁰¹	1,77E ⁺⁰⁰
Global warming	kg CO ₂ eq	2,08E ⁻⁰²	1,28E ⁻⁰¹
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2,44E ⁻⁰⁹	4,16E ⁻⁰⁸
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	7,10E ⁻⁰³	6,44E ⁻⁰²
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3,53E ⁻⁰³	2,39E ⁻⁰²
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,25E ⁺⁰¹	8,57E ⁺⁰¹
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6,88E ⁻⁰⁶	5,14E ⁻⁰⁵
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	6,91E ⁻⁰⁶	4,73E ⁻⁰⁵
Acidification	kg SO ₂ eq	1,72E ⁻⁰⁴	1,10E ⁻⁰³
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	4,96E ⁻⁰⁵	3,09E ⁻⁰⁴

Prima di analizzare i risultati ottenuti è necessario sottolineare due aspetti che riguardano i due sistemi biologici: la coltivazione seminata nel 2018 ha interessato un solo appezzamento e quindi risulta essere poco rappresentativa, mentre l'impatto di quella seminata nel 2019 si dimostra sovrastimato poiché dei due appezzamenti interessati, solo di uno si avevano a disposizione i dati relativi alle produzioni ottenute.

In riferimento alla categoria Global Warming Potential, le tabelle mostrano un risultato di 3,62E⁻⁰¹ kg CO₂ eq per lo spinacio coltivato con il sistema integrato e seminato nel 2018,

mentre si osserva un valore pari a $3,57E^{-01}$ kg CO₂ eq per il medesimo sistema, ma seminato nel 2019. Per lo spinacio biologico seminato nel 2018 sono emersi valori pari a $2,08E^{-02}$ kg CO₂ eq, per le produzioni seminate nel 2019 sono stati riscontrati $1,28E^{-01}$ kg CO₂ eq.

Per la Human toxicity sono emersi valori di $5,38 E^{-02}$ kg 1,4-DB eq e $5,72 E^{-02}$ kg 1,4-DB eq per il sistema integrato seminato nel 2018 e nel 2019. Per la coltivazione biologica i valori ottenuti sono di $7,10E^{-03}$ kg 1,4-DB eq e di $6,44E^{-02}$ kg 1,4-DB eq.

Per le tre categorie relative all'eco-tossicità delle acque dolci, marina e terrestre i risultati del sistema integrato seminato nel 2018 mostrano, rispettivamente, valori di $3,37E^{-02}$ kg 1,4-DB eq, $1,03E^{+02}$ kg 1,4-DB eq e $1,68E^{-03}$ kg 1,4-DB eq. Per il 2019 sono emersi $3,52E^{-02}$ kg 1,4-DB eq, $1,06E^{+02}$ kg 1,4-DB eq e $1,79E^{-03}$ kg 1,4-DB eq. Per la coltivazione biologica seminata nel 2018 sono stati ottenuti i seguenti valori: $3,53E^{-03}$ kg 1,4-DB eq, $1,25E^{+01}$ kg 1,4-DB eq e $6,88E^{-06}$ kg 1,4-DB eq. I risultati relativi alla semina 2019 sono, invece, di $2,39E^{-02}$ kg 1,4-DB eq, $8,57E^{+01}$ kg 1,4-DB eq e $5,14E^{-05}$ kg 1,4-DB eq.

Analizzando la categoria Photochemical oxidation si osservano valori di $-2,64E^{-05}$ kg C₂H₄ eq, per la produzione integrata seminata nel 2018 e di $-1,95E^{-05}$ kg C₂H₄ eq per quella seminata nel 2019. Per la coltivazione biologica i risultati ottenuti sono di $6,91E^{-06}$ kg C₂H₄ eq e di $4,73E^{-05}$ kg C₂H₄ eq.

Per quanto concerne la categoria Acidification, riferita al sistema integrato, sono emersi valori di $7,64E^{-03}$ kg SO₂ eq per il 2018 e di $7,00E^{-03}$ kg SO₂ eq per il 2019. Nel caso del biologico i valori acquisiti sono di $1,72E^{-04}$ kg SO₂ eq e di $1,10E^{-03}$ kg SO₂ eq.

Infine si esaminano i risultati relativi alla categoria Eutrophication. Il due risultati ottenuti per il sistema integrato sono $4,83E^{-03}$ kg PO₄³⁻ eq e $4,84E^{-03}$ kg PO₄³⁻ eq, mentre per quello biologico sono $4,96E^{-05}$ kg PO₄³⁻ eq e $3,09E^{-04}$ kg PO₄³⁻ eq.

Prima di analizzare i risultati della fase di trasporto è necessario precisare che, nella valutazione dell'impatto ambientale del sistema integrato con semina avvenuta nel 2019, non è stato considerato il digestato. Quest'ultimo, di cui non si conosce la composizione, è stato distribuito su 40 ettari. Per determinare l'impatto della distribuzione del digestato è stato considerato quanto valutato da Bartocci *et al.* [5] e riportato nella Tabella 4-14. Lo studio ha utilizzato il metodo di analisi CML-IA baseline e l'unità funzionale considerata è 1t di rifiuti alimentari.

Tabella 4-14: Impatto ambientale della distribuzione del digestato valutato da Bartocci et al. [5]

Categoria di impatto	Unità di misura	Digestato
Abiotic depletion	kg Sb eq	2,00E ⁻⁰⁴
Abiotic depletion fossil fuels	MJ	4,04E ⁺⁰²
Global warming	kg CO ₂ eq	7,22E ⁺⁰¹
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	4,31E ⁻⁰⁶
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	4,05E ⁺⁰²
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6,47E ⁺⁰¹
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	5,80E ⁺⁰⁴
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2,16E ⁺⁰²
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	4,44E ⁻⁰²
Acidification	kg SO ₂ eq	2,14E ⁺⁰⁰
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	8,83E ⁻⁰¹

La Tabella 4-15 riporta i risultati, riferiti all'unità funzionale, ottenuti a partire dai dati di inventario del trasporto.

Tabella 4-15: Impatto ambientale della fase di trasporto (integrato e biologico)

Categoria di impatto	Unità di misura	Integrato	Biologico
Abiotic depletion	kg Sb eq	5,36E ⁻⁰⁹	2,53E ⁻⁰⁹
Abiotic depletion fossil fuels	MJ	0,00E ⁺⁰⁰	0,00E ⁺⁰⁰
Global warming	kg CO ₂ eq	1,33E ⁻⁰¹	6,27E ⁻⁰²
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2,72E ⁻¹⁰	1,28E ⁻¹⁰
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1,11E ⁻⁰²	4,55E ⁻⁰³
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3,99E ⁻⁰⁴	1,55E ⁻⁰⁴
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,84E ⁺⁰⁰	8,57E ⁻⁰¹
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,04E ⁻⁰⁵	4,24E ⁻⁰⁶
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	4,62E ⁻⁰⁵	1,96E ⁻⁰⁵
Acidification	kg SO ₂ eq	9,54E ⁻⁰⁴	4,26E ⁻⁰⁴
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	2,31E ⁻⁰⁴	1,03E ⁻⁰⁴

Per la fase di trasporto, nella categoria Global Warming Potential, sono emersi valori di 1,33E⁻⁰¹ kg CO₂ eq per il sistema integrato e di 6,27E⁻⁰² kg CO₂ eq per lo spinacio biologico.

Analisi di contribuzione

L'analisi di contribuzione permette di evidenziare l'incidenza dei diversi processi nelle categorie di impatto ambientale.

Il grafico 4-1 riporta quello che è il contributo dei quattro sistemi di coltivazione all'interno delle undici categorie.

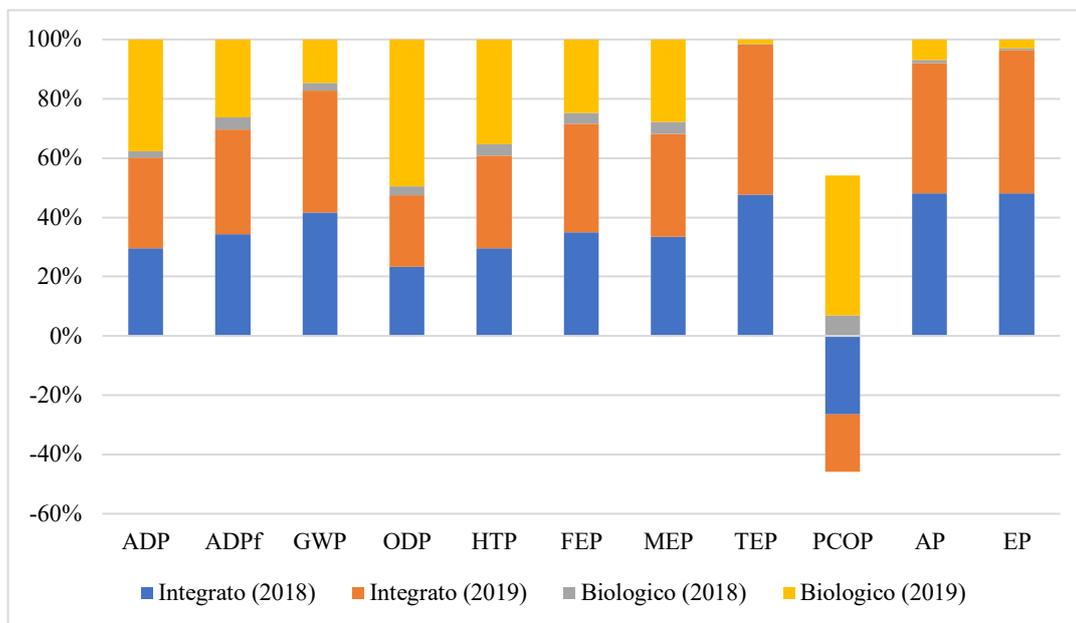


Grafico 4-1: Contribuzione dei quattro sistemi di coltivazione

Il grafico 4-2 mette a confronto le contribuzioni della fase di coltivazione e di quella di trasporto nei due sistemi di coltivazione: quello integrato è indicato dalla lettera "I", quello biologico dalla "B".

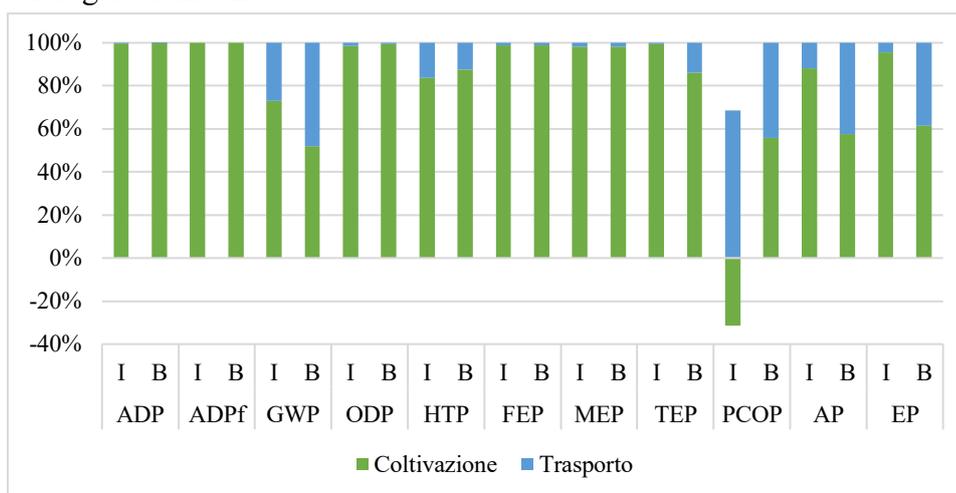


Grafico 4-2: Confronto tra le fasi di coltivazione e di trasporto per entrambi i sistemi di coltivazione

Si procede ad esaminare singolarmente i quattro sistemi, in particolare si evidenziano le contribuzioni dei diversi input impiegati per la coltivazione dello spinacio. Gli input sono stati raggruppati come segue: nella voce “preparazione del terreno” sono comprese le operazioni di preparazione del letto di semina e la rullatura, la “semina” include sia la stessa operazione che il seme distribuito, nelle categorie “fitofarmaci” e “concimi” rientrano i rispettivi prodotti impiegati durante la coltivazione, mentre le operazioni eseguite per distribuire tali prodotti sono considerate nelle omonime categorie. “Emissioni” sta ad indicare le emissioni dovute all’utilizzo di agrofarmaci e concimi che sono state inserite nel software. Infine con la voce “plastica” si raggruppano gli impatti dovuti allo smaltimento della plastica di cui sono fatti i sacchi dei concimi.

I Grafici 4-3 e 4-4 rappresentano le contribuzioni degli input nella coltivazione, con sistema integrato, dello spinacio seminato nel 2018 e nel 2019.

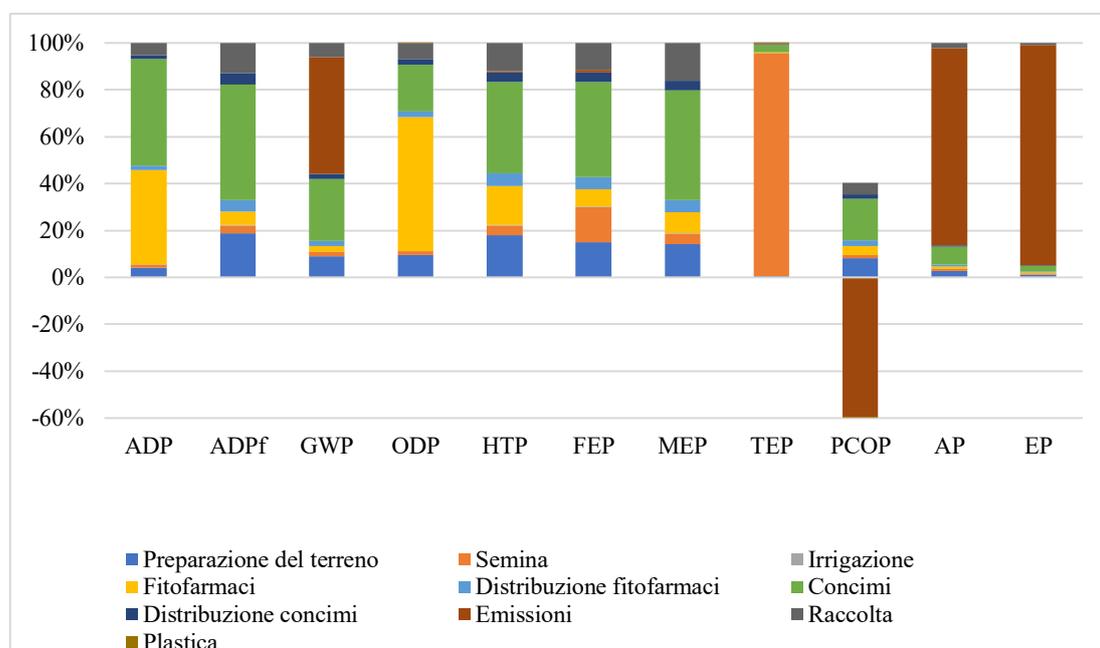


Grafico 4-3: Contribuzioni dei diversi input nel sistema integrato (semina 2018)

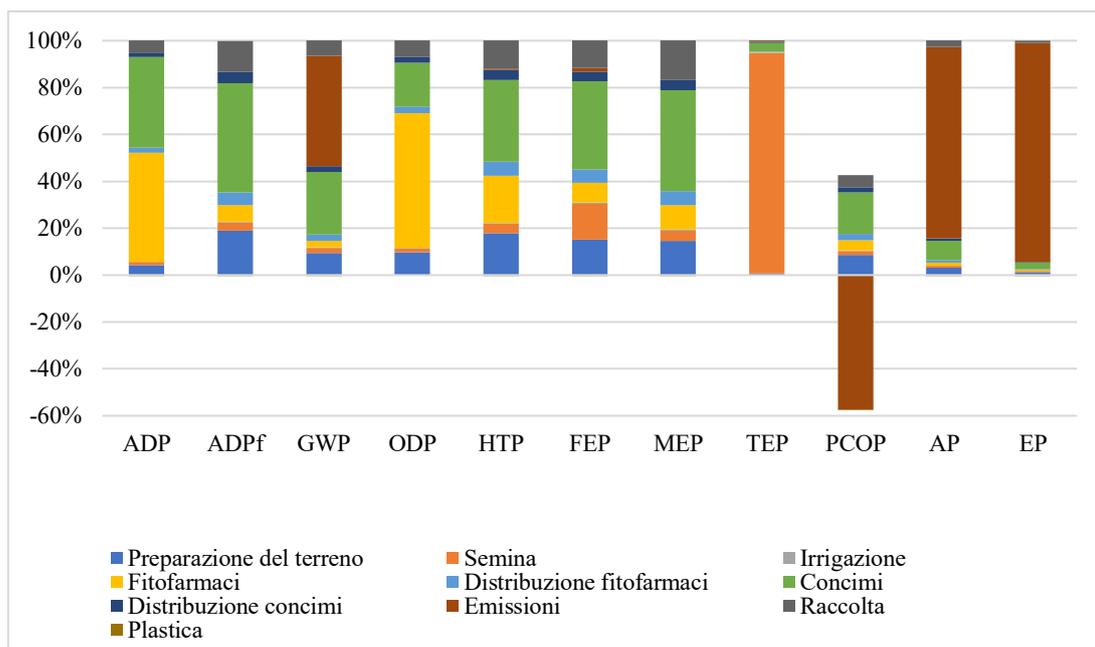


Grafico 4-4: Contribuzioni dei diversi input nel sistema integrato (semina 2019)

Dai due istogrammi emergono incidenze molto simili tra i due sistemi. La voce “preparazione del terreno” mostra contribuzioni sempre inferiori al 20%, con valori più alti nelle categorie ADPf e HTP. La “semina” ha incidenze molto basse in tutte le categorie, tranne in TEP, dove l’incidenza supera il 90%. Considerando la classe “fitofarmaci” si osserva un maggior contributo nelle categorie ODP, ADP e HTP, mentre dall’analisi della voce “concimi” si osserva un peso elevato in tutte le categorie eccetto TEP ed EP. Le distribuzioni degli agrofarmaci e dei concimi mostrano basse contribuzioni in tutte le categorie, così come l’irrigazione e la voce “plastica”. Per quanto concerne le “emissioni”, il contributo più alto si osserva in AP ed EP con valori superiori all’80%, nella categoria GWP l’incidenza è intorno al 50%, mentre nelle altre si dimostra essere molto bassa. Nella categoria PCOP si osserva un valore negativo (-60%) di tale voce dovuto all’ossido di azoto. Infine l’operazione di raccolta mostra incidenze inferiori al 20% con valori particolarmente bassi in AP ed EP.

Si procede con l’analisi dei Grafici 4-5 e 4-6 relativi alla contribuzione degli input utilizzati per la coltivazione di spinacio biologico.

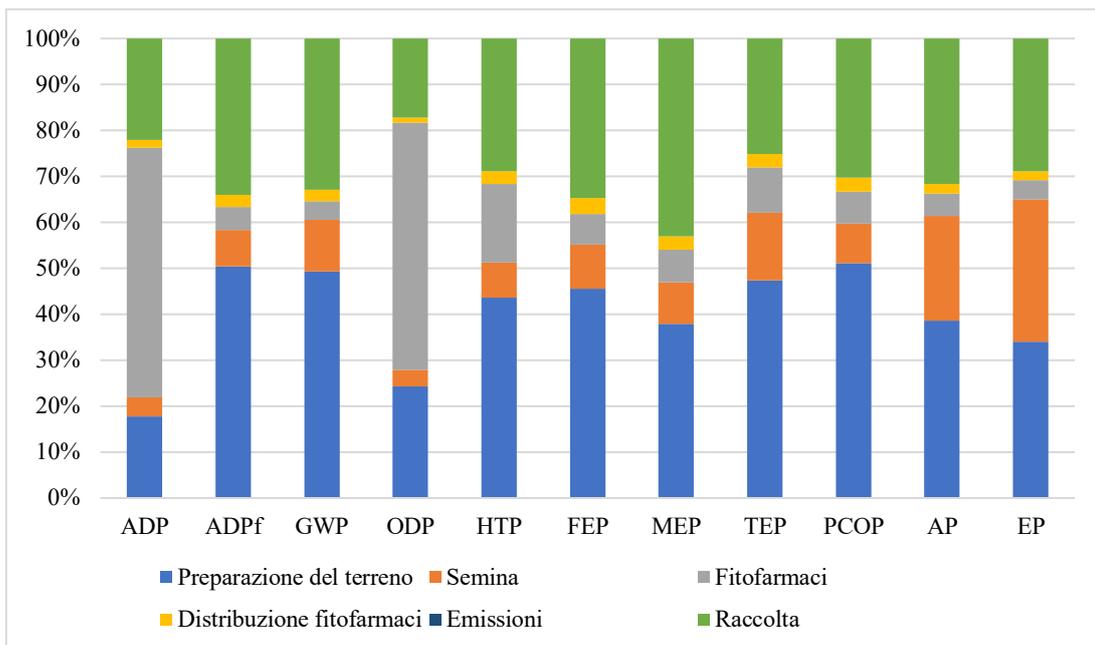


Grafico 4-5: Contribuzioni dei diversi input nel sistema biologico (semina 2018)

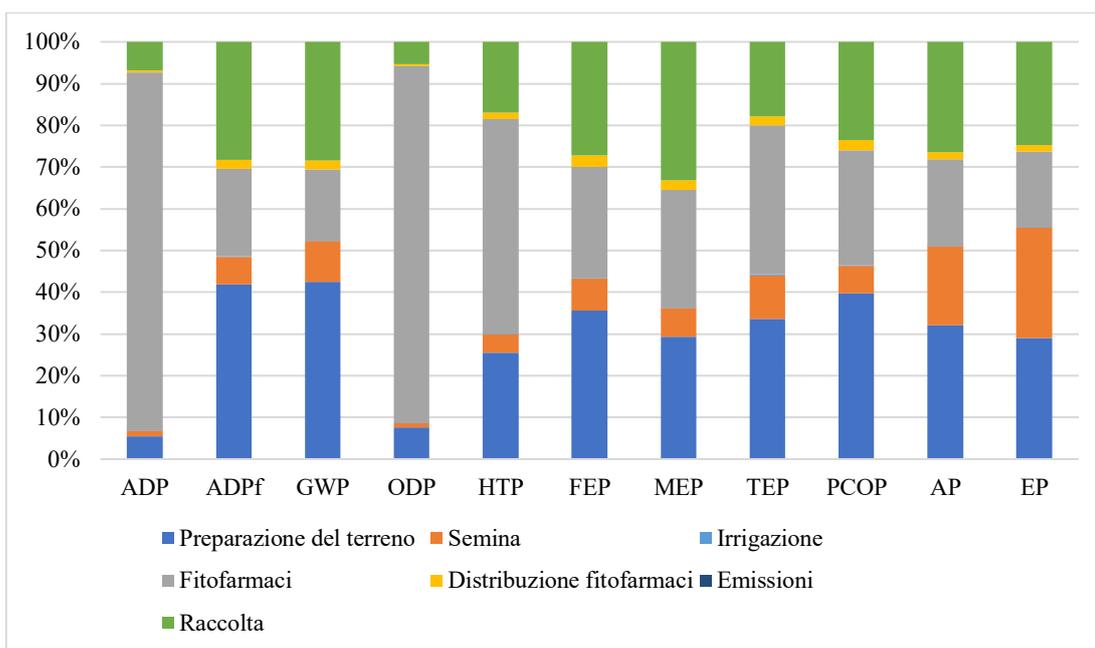


Grafico 4-6: Contribuzioni dei diversi input nel sistema biologico (semina 2019)

Diversamente da quanto verificatosi in precedenza, i due istogrammi mostrano incidenze diverse per i due sistemi seminati nelle due annate e per questo verranno analizzati separatamente.

Per la produzione biologica seminata nel 2018 (Grafico 4-5), l'analisi di contribuzione mostra che la voce "preparazione del terreno" ha un'incidenza pari a circa il 50% nelle categorie ADPf, GWP, HTP, FEP, TEP e PCOP, mentre risulta inferiore nelle altre. Nel caso della "semina" il contributo maggiore risulta essere in AP ed EP (circa il 20%). I "fitofarmaci" mostrano contribuzioni del 60% circa in ADP e ODP e percentuali molto più basse nelle restanti categorie. La distribuzione di tali prodotti ha un'incidenza molto bassa. La raccolta mostra la contribuzione maggiore in MEP (circa il 45%), mentre nelle altre categorie risulta essere intorno o superiore al 20%. Infine si osserva come l'incidenza delle emissioni sia zero.

Per quanto concerne l'impatto della coltivazione di spinacio biologico seminato nel 2019, dal Grafico 4-6 emerge che la voce "preparazione del terreno" ha incidenze più elevate, pari a circa il 40%, nelle categorie ADPf, GWP e PCOP. Nel caso della "semina" il contributo più elevato si ha in AP e EP e corrisponde al 20%. Per quanto concerne invece la classe "fitofarmaci", questa mostra contribuzioni pari a circa l'80% in ADP e ODP, pari al 50% in HTP e valori inferiori per le restanti categorie. La distribuzione dei fitofarmaci ha un'incidenza molto bassa, ancor più bassa è la contribuzione dell'irrigazione. La raccolta mostra il contributo maggiore nella categoria MEP (35%), valori di poco inferiori, intorno al 30%, riguardano le categorie ADPf, GWP, PCOP, AP ed EP. Anche in questo caso le emissioni hanno un'incidenza pari a zero.

4.5 Discussione

Diverse sono le considerazioni che si possono fare sulla base dei risultati ottenuti dallo studio. Un primo confronto può interessare l'impatto, in termini di kg di CO₂ equivalenti, associato a 1kg di spinacio coltivato e trasportato allo stabilimento. Come mostra la Tabella 4-11, lo spinacio coltivato con il sistema integrato e poi conferito all'impianto di lavorazione, ha un impatto maggiore, pari a 4,92E⁻⁰¹ kg CO₂ eq, rispetto allo spinacio biologico, per il quale il valore ottenuto è di 1,31E⁻⁰¹ kg CO₂ eq. I valori emersi per la categoria GWP nel sistema di coltivazione integrato sono in linea con i dati presenti in letteratura: Clune *et al.* hanno individuato, per 1kg di prodotto, un impatto pari a 5,4E⁻⁰¹ kg di CO₂ eq. Tale valore, che risulta maggiore rispetto a quello emerso dal presente studio, considera anche i processi a valle della fase di trasporto [8].

Anche per le altre categorie, oltre alla GWP, si osserva un impatto più alto per il sistema integrato. Un'eccezione è rappresentata dalla categoria PCOP che mostra un valore superiore, pari a 4,43E⁻⁰⁵ kg C₂H₄ eq, per lo spinacio biologico, rispetto ai 2,50E⁻⁰⁵ kg C₂H₄ eq del sistema integrato.

Altre considerazioni possono essere fatte analizzando separatamente le fasi di coltivazione e di trasporto. Innanzitutto è bene sottolineare, come testimoniato dal Grafico 4-2, che il contributo della fase di coltivazione è superiore a quello del trasporto in tutte le categorie, tranne che nella categoria PCOP riferita al sistema integrato, dove la coltivazione ha un'incidenza negativa e nella categoria GWP relativa al biologico, dove le due fasi mostrano contribuzioni pressoché equivalenti.

Concentrandosi sulla fase di coltivazione si può notare come il sistema integrato mostri valori superiori, rispetto alla produzione biologica, nelle categorie di maggior interesse dal punto di vista ambientale (Tabella 4-12 e Tabella 4-13).

Nella GWP del sistema integrato, così come nelle altre categorie, i risultati ottenuti sono quasi equivalenti e pari a $3,62E^{-01}$ kg di CO₂ eq ed a $3,57E^{-01}$ kg di CO₂ eq, mentre nel biologico, sono di $2,08E^{-02}$ kg di CO₂ eq e di $1,28E^{-01}$ kg di CO₂ eq. La differenza tra i due valori del sistema biologico è dovuta alla mancanza dei dati relativi alle produzioni ottenute dallo spinacio seminato nel 2019, che determinata una sovrastima dell'impatto. È necessario sottolineare che nell'impatto del sistema integrato seminato nel 2019, non prevede l'impatto dell'utilizzo di digestato (Tabella 4-14). Come già spiegato in precedenza, si considera quanto analizzato da Bartocci *et al.*, secondo i quali il valore associato alla categoria GWP è pari a $7,22E^{+01}$ kg CO₂ eq per tonnellata di rifiuti alimentari [5].

Anche dall'analisi di contribuzione (Grafico 4-1) si osserva la maggior incidenza del sistema integrato in tutte le categorie, ad eccezione della PCOP, dove l'incidenza risulta negativa.

I Grafici 4-3 e 4-4 mostrano i risultati emersi dall'analisi di contribuzione dei diversi input nel sistema integrato: le incidenze maggiori sono date dall'utilizzo di concimi e fitofarmaci, soprattutto nelle categorie ADP, ADPf, GWP, ODP, HTP, FEP, MEP. Le emissioni dirette e indirette dovute all'utilizzo di questi prodotti hanno un'incidenza molto elevata in AP ed EP. In PCOP la contribuzione delle emissioni risulta invece negativa. Questa, ma anche le considerazioni fatte in precedenza per la categoria PCOP, sono attribuibili alle emissioni di monossido di azoto che hanno un effetto positivo nel contrastare l'ossidazione fotochimica. Le altre voci mostrano incidenze minori: la "preparazione del terreno", così come la raccolta, mostra contributi mai superiori al 20%, la "semina" mostra incidenze ancor più basse, ad eccezione della categoria TEP dove raggiunge un picco del 90%. Infine l'irrigazione, le operazioni di distribuzione dei concimi e degli agrofarmaci e le emissioni dovute alla plastica mostrano contributi bassissimi. I dati relativi alle categorie GWP ed EP sono in linea con quanto riportato da Walter e Stutzel, secondo i quali la coltivazione dello spinacio contribuisce

al riscaldamento globale e all'eutrofizzazione. In particolare nella categoria GWP incidono, per circa il 75%, le emissioni dirette e indirette dovute alle concimazioni, per il restante 25% incidono sia l'esecuzione delle operazioni colturali che la produzione e la manutenzione delle macchine. Dal medesimo studio emerge che nella categoria EP, la contribuzione delle emissioni è pari a circa l'80% [9].

Diverse sono le considerazioni che si possono fare in riferimento ai risultati dell'analisi di contribuzione della coltivazione biologica. I fitofarmaci mostrano un'incidenza elevata nelle categorie ADP e ODP e più bassa nelle altre. La "preparazione del terreno" mostra contribuzioni tra il 20% e il 50%, superiori a quelle emerse per il sistema integrato. Anche la raccolta mostra incidenze superiori nel biologico rispetto all'integrato. Inoltre il contributo della voce "emissioni", che in questo caso interessa solo i fitofarmaci, è pari a zero. Infine la categoria PCOP non mostra incidenze negative: il sistema biologico non prevede la concimazione e quindi non si ha l'emissione di monossido di azoto.

Procedendo con l'analisi dei risultati relativi alla fase di trasporto, è possibile sottolineare che in tutte le categorie il sistema integrato mostra valori più elevati rispetto a quello biologico. Ad esempio nella categoria GWP, per la sola fase del trasporto dello spinacio, emergono valori di $1,33E^{-01}$ kg di CO₂ eq per il sistema integrato e di $6,27E^{-02}$ kg di CO₂ eq per quello biologico.

I risultati ottenuti da questa valutazione LCA e riguardanti lo spinacio possono essere confrontati con valori presenti in letteratura e relativi ad altri ortaggi da foglia, quali lattuga e cavolo verza. Dallo studio di Clune *et al.*, che considera come unità funzionale 1 kg di prodotto e che comprende anche le fasi a valle del processo di trasporto, sono emersi valori di $2,3E^{-01}$ kg CO₂ eq per il cavolo verza e di $3,7E^{-01}$ kg CO₂ eq per la lattuga. Lo stesso studio fornisce anche i valori, per la categoria GWP, relativi ad altri ortaggi: il pomodoro e il carciofo, che sono le ortive più coltivate in Italia, mostrano valori, rispettivamente, di $4,5E^{-01}$ kg CO₂ eq e $4,8E^{-01}$ kg CO₂ eq [8]. Dal confronto di questi dati con quelli relativi allo spinacio è possibile affermare che quest'ultimo ha un impatto ambientale superiore a quello degli altri ortaggi. Nello specifico si può sottolineare che si riscontra una differenza maggiore tra l'impatto dello spinacio e quello degli altri due ortaggi da foglia, mentre gli impatti di pomodoro e carciofo risultano di poco inferiori a quello dello spinacio.

Lo studio oggetto di questa tesi è basato su dati reali ottenuti direttamente dalla società interessata e riguardanti un numero elevato di superfici e di agricoltori dislocati su un ampio territorio. Questo ne garantisce una rappresentatività su scala aziendale, ma anche nazionale. Tale studio è anche avvalorato dalla scarsa presenza in letteratura di valutazioni d'impatto ambientale della coltivazione dello spinacio.

Inoltre questo studio presenta alcune limitazioni soprattutto per quanto concerne il sistema di coltivazione biologico. La produzione di spinacio biologico ha interessato, infatti, pochi ettari appartenenti ad un unico produttore e tutti situati a Cerignola, in provincia di Foggia. Questo rende l'analisi poco rappresentativa. Inoltre la mancanza dei dati relativi alle produzioni di un appezzamento (pari a 17 ettari di superficie), fa sì che l'impatto ambientale del sistema biologico seminato nel 2019, sia sovrastimato.

Infine l'analisi è stata svolta in un arco di tempo limitato rispetto alle tempistiche richieste da una valutazione LCA.

CONCLUSIONI

L'obiettivo del presente studio è quello di valutare, attraverso la metodologia del Life Cycle Assessment, l'impatto ambientale della coltivazione e del trasporto di spinacio destinato alla surgelazione.

La valutazione ha interessato un numero elevato di aziende distribuite su un ampio territorio, con un raggio di azione medio pari a circa 230 km. Questo ne garantisce una rappresentatività su scala nazionale e un importante valore statistico. Inoltre la scarsa presenza in letteratura di studi analoghi (solo due sono le valutazioni LCA relative allo spinacio), avvalorava ulteriormente tale studio.

I risultati sono stati riferiti all'unità funzionale di 1kg di spinacio coltivato e trasportato allo stabilimento.

Il valore ottenuto per la categoria GWP ed espresso in kg CO₂ eq, è pari a 4,92E⁻⁰¹. Questo risultato è in linea con quello presente in letteratura, pari a 5,4E⁻⁰¹ kg CO₂ eq e che considera anche i processi a valle della fase di trasporto.

Una prima considerazione riguarda il confronto tra la fase di coltivazione e quella di trasporto. Dall'analisi di contribuzione emerge la maggior incidenza della coltivazione. Il trasporto incide meno poiché le superfici interessate dalla produzione di spinacio sono elevate, mentre le distanze percorse dai mezzi per raggiungere lo stabilimento sono limitate. Lo spinacio fresco, infatti, essendo un prodotto deperibile, soggetto a fermentazione, non può essere trasportato su lunghe distanze.

L'impatto ambientale associato alla fase di coltivazione e relativo alla categoria GWP risulta pari a 3,6E⁻⁰¹ kg CO₂ eq. L'analisi di contribuzione relativa alla medesima fase conferma quanto riportato in letteratura secondo cui la coltivazione dello spinacio contribuisce al riscaldamento globale e all'eutrofizzazione. In particolare nella categoria GWP incidono in gran parte le emissioni dirette e indirette dovute alle concimazioni e ai fitofarmaci, mentre in percentuale minore contribuiscono le operazioni colturali. Nella categoria EP la contribuzione maggiore è data dalle emissioni.

Dalla stessa analisi emerge la contribuzione negativa della categoria PCOP dovuta all'effetto del monossido di azoto emesso a seguito della distribuzione dei concimi.

La presenza, tra le aziende considerate, di un produttore biologico ha permesso di confrontare i due sistemi di coltivazione. In generale è possibile affermare che l'impatto ambientale associato al sistema integrato è superiore rispetto a quello relativo al sistema biologico. Nella categoria GWP è emerso un valore di $1,31E^{-01}$ kg CO₂ eq per 1 kg di spinacio biologico coltivato e trasportato allo stabilimento. Data la scarsa rappresentatività dei dati disponibili, queste considerazioni necessitano di futuri approfondimenti.

Infine l'impatto ambientale dello spinacio è risultato superiore a quello riportato in letteratura e relativo sia ad altri ortaggi da foglia, come verza e lattuga, che alle ortive più coltivate in Italia, quali pomodoro e carciofo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] SETAC, «Society of Environmental Toxicology and Chemistry,» Vermont, 1993.
- [2] ISO 14040:2006, "*Environmental management-Life Cycle Assessment-Principles and framework*".
- [3] ISO 14044:2006, "*Environmental management-Life Cycle Assessment-Requirements and guidelines*".
- [4] The International EPD® System, "*PCR-Arable and vegetable crops*", 2016, pp. 12-14.
- [5] P. Bartocci, M. Zampilli, S. Massoli and F. Fantozzi, «Food waste anaerobic digestion in Umbria region (Italy): scenario analysis on the use of digestate through LCA,» 2020.
- [6] PlasticsEurope, «Plastics-the Facts 2018,» p. 33, 2016.
- [7] M. Margni, D. Rossier, P. Crettaz and O. Jolliet, «Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems,» *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 93, pp. 379-392, 2002.
- [8] S. Clune, E. Crossin, and K. Verghese, «Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories.,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 140, pp. 766-783, 2017.
- [9] C. Walter and H. Stutzel., «A new method for assessing the sustainability of land-use systems (II): Evaluating impact indicators,» *Ecological Economics*, vol. 68, pp. 1288-1300, 2009.

SITOGRAFIA

<https://www.istat.it/>

<http://www.sinab.it/content/bio-statistiche>

<https://www.istitutosurgelati.it/>

<http://www.ismea.it/istituto-di-servizi-per-il-mercato-agricolo-alimentare>

<https://www.covalm.it/>

<https://www.ortoverde.eu/>

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio C.OV.A.L.M, l'Ingegnere Luca Verdecchia e la Dottoressa Ilaria Pennacchioni per la disponibilità dimostrata nel fornire i dati necessari all'analisi oggetto di questa tesi.

Ringrazio la Professoressa Ester Foppa Pedretti, il Professore Daniele Duca e il Dottore Alessio Ilari per avermi dato la possibilità di approfondire una tematica sempre più attuale ed importante come quella dell'impatto ambientale dell'agricoltura, per avermi permesso di condurre una valutazione LCA e per avermi seguito passo a passo durante il mio lavoro di tesi.

Ringrazio inoltre Martina che mi ha accompagnato in questi ultimi mesi pieni di dati, numeri, calcoli e nomi impronunciabili che a volte ci hanno fatto impazzire ma che ci hanno anche fatto tanto divertire.

Si conclude qui un percorso iniziato un po' per caso che mi ha permesso di entrare nel mondo delle scienze agrarie e di comprendere la complessità del settore agricolo. Un settore fondamentale e non sempre valorizzato, che richiede competenze in diversi ambiti, dalla botanica alla genetica, dalla fisica alla chimica, dall'agronomia alla meccanica. Sono stati cinque anni di lezioni, studio, esami, laboratori, scambi di appunti, viaggi infiniti in treno, caffè al bar con gli amici, divertimento e risate. Al termine di questa esperienza posso dire che l'università non è solo un percorso di studio, ma molto di più.

Ringrazio i miei genitori che mi hanno dato la possibilità di continuare gli studi all'università e che mi hanno sempre sostenuto, così come mio fratello Enrico, Martina, il mio fidanzato Ivan e la sua famiglia.

Ringrazio i miei compagni di corso, in particolare Alessio, Francesco, Gaia e sua sorella Giulia, Giulia L., Manuel e Nicola con cui ho condiviso questi cinque anni passati a studiare, dare esami e organizzare pranzi, sperando di recuperare tutti quelli persi a causa del Covid.

Un ringraziamento va anche a Giulia A., Giulia C. e Virginia che hanno condiviso con me i primi anni di università e tanti viaggi in treno.

Infine, ma non per importanza, ringrazio tutte le mie amiche che mi hanno sempre supportato.