

ANALISI DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DI FILIERE AGROALIMENTARI: UN CONFRONTO LCA TRA MODALITÀ ALTERNATIVE DI PRODUZIONE E DISTRIBUZIONE DI INSALATA

Andrea L. Tasca¹, Simone Nessi^{1*}, Lucia Rigamonti¹

¹ Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Milano.

Sommario – Il presente articolo riassume uno studio di analisi del ciclo di vita (LCA) di due filiere alternative di produzione e distribuzione agricola, finalizzato principalmente a verificare i potenziali benefici ambientali delle pratiche di coltivazione biologica e di modalità distributive volte alla riduzione degli imballaggi e all'accorciamento della filiera tra produttore e consumatore. Si confrontano innanzitutto la produzione biologica di indivia e quella condotta secondo i disciplinari dell'agricoltura integrata, in un'ottica dalla culla al cancello. Il confronto è poi esteso all'intera filiera, considerando la distribuzione diretta del prodotto biologico tal quale ad una rete locale di gruppi di acquisto solidale (GAS) mediante cassette a rendere, e il conferimento del prodotto da agricoltura integrata, lavato e confezionato, alla grande distribuzione (insalata di quarta gamma). La modellizzazione delle filiere è avvenuta esaminando le pratiche colturali e distributive di due aziende agricole attualmente operanti in Lombardia, verificando, ove possibile, i dati primari raccolti con i valori disponibili nella letteratura tecnica di settore. Nella valutazione dell'impatto sono state considerate molteplici categorie d'impatto sull'ambiente e sulla salute umana e il fabbisogno complessivo di risorse energetiche. L'analisi della fase di produzione agricola ha evidenziato l'assenza di una tecnica di coltivazione dal miglior profilo ambientale complessivo, sia per unità di superficie coltivata che per unità di massa di prodotto raccolto. Infatti, per ettaro di superficie coltivata l'agricoltura biologica risulta preferibile per circa la metà delle categorie di impatto (7 su 15), sfavorita per tre e confrontabile con la produzione integrata per le restanti. Per kg di prodotto raccolto, le categorie favorevoli all'agricoltura biologica si riducono a cinque, mentre sei sono quelle a favore della produzione integrata. Considerando l'intera filiera di approvvigionamento, la distribuzione diretta del prodotto biologico tal quale a reti locali di GAS risulta preferibile per tutte le categorie di impatto meno una, dove l'impatto della fase di produzione agricola è preponderante e a sfavore dell'agricoltura biologica. Quest'ultima eccezione scompare limitando il confronto alle sole fasi del ciclo di vita che vanno dalla distribuzione al consumo del prodotto (ossia ipotizzando che il prodotto distribuito sia identico).

Parole chiave: analisi del ciclo di vita (LCA), agricoltura biologica, produzione integrata, filiera corta, riduzione imballaggi, insalata.

* Per contatti: Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano. Tel. 02.23996415, Fax 02.23996499, simone.nessi@polimi.it.

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF AGRI-FOOD SUPPLY CHAINS: AN LCA COMPARISON BETWEEN ALTERNATIVE FORMS OF PRODUCTION AND DISTRIBUTION OF SALAD

Abstract – This paper summarises a life cycle assessment of two agricultural supply chains, mainly carried out to test the potential environmental benefits of organic farming and of alternative distribution practices promoting packaging reduction and a shortened supply chain. Organic and integrated production of endive were firstly compared, according to a cradle-to-gate approach. The comparison was then extended to the whole supply chain, considering the direct distribution of the raw organic product to local networks of ethical purchasing groups (EPGs) by means of returnable crates, and the large-scale retailing of the conventional product after its industrial washing and packing (ready-to-use product). The two systems were modelled mainly based on the practices adopted by two real farms, while checking the acquired primary data with the values available in the relevant technical literature. The impact assessment focused on fourteen environmental and human health impact categories, and on the cumulative energy demand. The analysis of the agricultural production phase revealed that none of the examined farming techniques has a better overall environmental profile. In fact, per hectare of tilled surface, nearly half impact categories (7/15) are favourable to organic farming, three are against, while for the others both farming techniques are comparable. Per kg of harvested product, organic farming is preferable for five impact categories, while integrated production for six of them. Considering the whole supply chain, the direct distribution of the raw organic product to local networks of EPGs is preferable for all impact categories except one, where the impact of the farming phase is dominant and against organic production. This exception disappears if farming is excluded from the comparison (i.e. only distribution and consumption are considered).

Keywords: life cycle assessment (LCA), organic farming, integrated production, short supply chain, packaging reduction, salad.

Ricevuto il 30-7-2015. Correzioni richieste il 22-1-2016. Accettazione il 26-2-2016.

1. INTRODUZIONE

La produzione agricola è cresciuta vertiginosamente nel ventesimo secolo (FAO, 1999). Gli aumenti

della produttività, ottenuti grazie alla meccanizzazione e all'uso intensivo di fertilizzanti e antiparassitari, hanno tuttavia determinato un incremento parallelo delle pressioni sull'ambiente e degli impatti che da esse derivano (si vedano ad es. Hester e Harrison, 2012 e Walls, 2006). Le principali sono le emissioni atmosferiche di anidride carbonica e ossidi di azoto da macchinari agricoli, quelle di ammoniaca e protossido di azoto dovute al massiccio uso di fertilizzanti, il rilascio in falda di nitrati (apporto di fertilizzanti e accresciuta mineralizzazione della sostanza organica del suolo dovuta all'intensiva lavorazione), nonché l'immissione di sostanze tossiche nel suolo ed eventuali altri comparti con l'apporto di fitofarmaci. A ciò si accompagna un consumo spesso inefficiente o insostenibile di risorse naturali quali acqua, minerali e combustibili fossili, cui sovente si aggiungono l'erosione e l'impoverimento del suolo causati dall'intensivo sfruttamento. Infine, frequentemente si assiste ad una riduzione della biodiversità, dovuta alla trasformazione d'uso del suolo e alla sostituzione della vegetazione originale con monoculture specializzate. Al fine di limitare i potenziali impatti sull'ambiente e sulla salute umana dei sistemi di produzione agricola, sono state sviluppate delle pratiche di coltivazione alternative, quali l'agricoltura integrata e quella biologica, che operano secondo principi e disciplinari propri. L'agricoltura integrata si propone di ridurre al minimo l'impiego dei mezzi tecnici adottati nell'agricoltura convenzionale, ricorrendovi solo quando ritenuti necessari all'ottimizzazione del compromesso fra le esigenze ambientali ed economiche (Legge n. 4, 2011). L'eventuale fertilizzazione chimica è quindi effettuata in dosi, epoche e con tecniche di distribuzione che tengono conto dell'effettivo fabbisogno delle colture, e tali da ridurre al minimo i fenomeni di dilavamento e conseguente inquinamento dei corpi idrici. Similmente, il controllo delle infestanti avviene preferibilmente con tecniche che limitano il ricorso al diserbo chimico, eventualmente effettuato adottando principi attivi poco persistenti o con un'azione residuale limitata. Infine, le strategie di difesa dai parassiti si basano sulla cosiddetta lotta integrata, ossia sull'impiego razionale di mezzi biologici, chimici, biotecnici e agronomici, prediligendo nei limiti del possibile i primi e ricorrendo a principi attivi a ridotto spettro d'azione o alta selettività, bassa persistenza e basso rischio di indurre fenomeni di resistenza (MIPAAF, 2014a,b). L'agricoltura biologica adotta tecniche di lavorazione del terreno e pratiche colturali volte a sfrut-

tare, salvaguardare e possibilmente incrementare la naturale fertilità (contenuto di sostanza organica) del terreno, prevenirne la compattazione e l'erosione, accrescerne se possibile la stabilità, promuovere la biodiversità dell'ambiente in cui opera ed evitare o comunque limitare al minimo ogni forma di inquinamento (Consiglio dell'Unione Europea, 2007). La fertilità e l'attività biologica del suolo sono mantenute mediante la rotazione pluriennale delle colture e la fertilizzazione a base di concimi naturali organici di origine animale o vegetale. Eventuali concimi minerali devono essere a bassa solubilità e non contenere composti azotati. La prevenzione dei danni provocati da parassiti, malattie e infestanti è effettuata principalmente attraverso la protezione dei nemici naturali, la scelta delle specie e delle varietà resistenti, la rotazione delle colture e l'impiego di tecniche colturali adeguate. L'applicazione di determinati prodotti fitosanitari è ammessa solo in caso di grave rischio per la coltura e in assenza di altre alternative biologiche, fisiche o pratiche agronomiche efficaci (Consiglio dell'Unione Europea, 2007).

Nell'ottica di ridurre non solo gli impatti della fase di produzione agricola, ma anche della successiva porzione di filiera, negli ultimi anni sono nate numerose esperienze di distribuzione attraverso modalità alternative ai canali della grande distribuzione organizzata (GDO) e della rivendita al dettaglio, che si propongono di accorciare la filiera tra produttore e consumatore, ridurre le distanze di trasporto del prodotto e minimizzare l'impiego di imballaggi a perdere. Si tratta principalmente di esperienze di commercializzazione diretta da parte degli stessi coltivatori, che provvedono alla distribuzione dei propri prodotti su scala locale o provinciale, in autonomia o mediante la costituzione di consorzi appositi. Nel caso specifico dei prodotti ortofrutticoli, tali pratiche si pongono in particolare contrasto con la distribuzione su larga scala di prodotti pronti al consumo (i cosiddetti prodotti di quarta gamma), che a tale scopo sono sottoposti a processi industriali di pulizia, lavaggio e confezionamento in imballaggi prevalentemente monouso. In letteratura si trovano svariati studi di analisi del ciclo di vita (LCA) di colture cerealicole quali mais, frumento, orzo, riso e foraggio (si veda ad es. Renzulli et al., 2015 per un'estesa rassegna), mentre meno comuni sono le analisi relative a colture ortive. Fra queste, gli studi esistenti riguardano prevalentemente rape, fagioli, fave, pomodori e patate, mentre pochi considerano l'insalata (ad es. Milà i Canals et al., 2008). La maggior parte degli

studi, inoltre, si focalizza sulle singole tecniche di coltivazione (agricoltura convenzionale, integrata o biologica), mentre più rari sono quelli che le pongono a confronto (ad es. Hokazono e Hayashi, 2012). In particolare, per le insalate non è al momento disponibile alcuna analisi comparativa fra le diverse tecniche di coltivazione applicabili se si esclude lo studio riportato in Venkat (2012), che tuttavia confronta le sole emissioni di gas serra della coltivazione convenzionale e biologica di 12 prodotti agricoli, fra cui la lattuga. Scarsa è anche la presenza di analisi del ciclo di vita di prodotti agricoli che coprano l'intera filiera dal produttore al consumatore, considerando molteplici categorie di impatto. Fa in parte eccezione lo studio di Meisterling et al. (2009), che non solo riporta un confronto tra la produzione biologica e convenzionale del frumento, ma considera anche il trasporto del prodotto lungo differenti tratte. Tale studio si limita però alla stima dei diversi contributi al riscaldamento globale e all'esaurimento di risorse fossili. La presente analisi del ciclo di vita confronta innanzitutto la produzione biologica e integrata di indivia (*Cichorium endivia*) in Lombardia, in un'ottica "dalla culla al cancello". Si compara inoltre l'intero ciclo di vita del prodotto, considerando diverse modalità di distribuzione al consumatore finale: il conferimento diretto del prodotto biologico tal quale a reti provinciali di gruppi di acquisto solidale (GAS) mediante cassette a rendere e la commercializzazione del prodotto da agricoltura integrata, lavato e confezionato, attraverso il canale della grande distribuzione organizzata (insalata

di quarta gamma, ovvero pronta al consumo). Oltre a fornire una stima quantitativa dei potenziali impatti sull'ambiente e sulla salute umana delle due filiere esaminate, lo studio si propone di verificare i benefici ambientali comunemente attribuiti alle pratiche di agricoltura biologica ed alle modalità di distribuzione di prodotti agricoli fondate sui principi della filiera corta, del "chilometro zero" e della riduzione degli imballaggi, specialmente quelli monouso.

2. MATERIALI E METODI

La metodologia dell'analisi del ciclo di vita è stata applicata seguendo la classica struttura a quattro fasi riconosciuta ormai da tempo a livello internazionale e incorporata nelle norme tecniche emanate dall'ISO (ISO 2006 a,b). Tali fasi, sintetizzate nei paragrafi che seguono, comprendono la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, l'analisi di inventario, la valutazione degli impatti e l'interpretazione. L'analisi è stata svolta con il supporto del software SimaPro 8.0.4, che ha agevolato la modellizzazione dei flussi di materia ed energia delle due filiere esaminate ed il calcolo dei rispettivi impatti potenziali sull'ambiente e sulla salute umana.

2.1. Le realtà analizzate

Le due filiere analizzate sono state ricostruite esaminando due aziende agricole attualmente operanti in Lombardia (Figura 1). La prima azienda col-



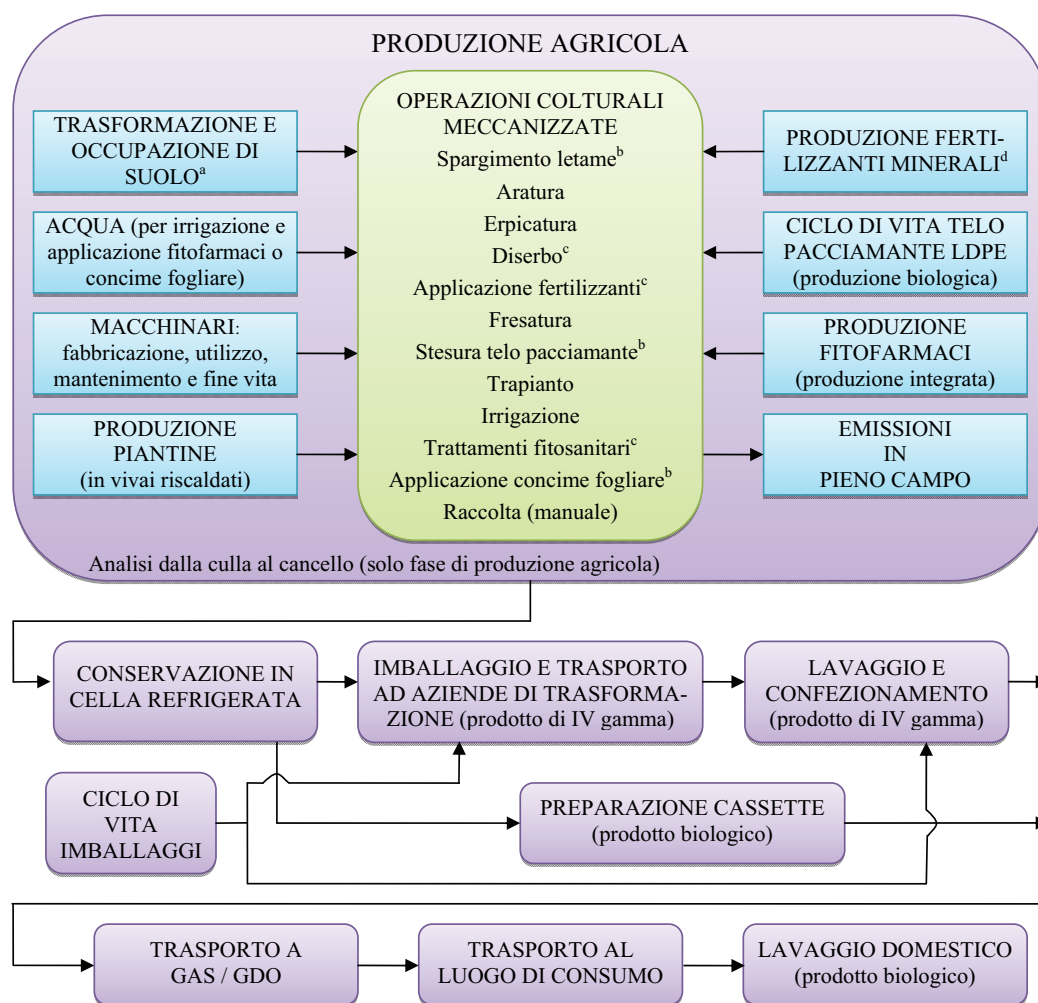
Figura 1 – Principali fasi della filiera di produzione, distribuzione e consumo dell'indivia da agricoltura biologica (a) e integrata (b)

tiva ortaggi biologici a pieno campo e li consegna tal quali a reti di GAS attivi nella provincia di appartenenza e in alcune province limitrofe. La consegna avviene con frequenza settimanale mediante cassette a rendere in plastica o legno, trasportate a destinazione con un furgone di piccola taglia. La seconda azienda agricola esaminata produce prevalentemente insalata in serre non riscaldate e a pieno campo, attenendosi ai disciplinari regionali di produzione integrata (Regione Lombardia, 2014). In questo caso il prodotto è conferito, mediante imballaggi a rendere dedicati (casce in plastica allestite su pallet in legno), ad aziende trasformatrici che ne effettuano la pulizia, il lavaggio

ed il successivo confezionamento per la commercializzazione attraverso la GDO (insalata di quarta gamma). Il confezionamento avviene in buste di plastica a perdere, che per il trasporto alla GDO sono ulteriormente imballate in scatole di cartone ondulato monouso ed infine allestite su pallet riutilizzabili in legno.

2.2. Confini del sistema e unità funzionale

I principali processi considerati nell'analisi delle due filiere esaminate sono rappresentati in Figura 2, che per la fase di produzione agricola (la più articolata fra quelle considerate) specifica anche i prin-



(a) Gli impatti sulla qualità del suolo dovuti al suo utilizzo a scopi agricoli o forestali sono normalmente correlati all'eventuale trasformazione della sua destinazione d'uso ed alla durata di tale utilizzo. Pertanto, nell'LCA il consumo della risorsa suolo è generalmente quantificato in termini di superficie sottoposta ad una possibile variazione della destinazione d'uso per la produzione della coltura in esame (trasformazione di suolo) e di durata per cui tale superficie mantiene la destinazione d'uso assegnata (occupazione di suolo, espressa in m^2 ·anno).

(b) Solo produzione biologica.

(c) Solo produzione integrata.

(d) La produzione e lo stoccaggio del letame non sono stati inclusi nel sistema, in quanto allocati integralmente ai sistemi di allevamento che lo generano come sottoprodotto. Similmente, è esclusa anche la produzione degli altri fertilizzanti organici utilizzati, essendo questi ottenuti da scarti di macellazione (epitelio animale idrolizzato, farina di piume, penne, corna e unghie) e residui vegetali (pannelli di semi oleosi).

Figura 2 – Principali processi inclusi nei confini dei sistemi di produzione e distribuzione analizzati

cipali sotto-processi e flussi elementari in ingresso e in uscita (risorse prelevate dall'ambiente ed emissioni nei suoi diversi comparti). Sia per l'analisi della sola fase di produzione agricola che dell'intera filiera, il sistema comprende quindi: il ciclo di vita dei macchinari utilizzati per le diverse operazioni del ciclo colturale (lavorazioni meccaniche del terreno, apporto di fertilizzanti e fitofarmaci, trapianato ecc.); la produzione delle piantine; la produzione dei fertilizzanti minerali, dei fitofarmaci e dei teli di pacciamatura eventualmente utilizzati; i consumi idrici e di suolo (trasformazione d'uso e occupazione); nonché le emissioni nell'ambiente derivanti dall'apporto di fertilizzanti e fitofarmaci e dalla lavorazione del terreno (fatte salve quelle per cui non è stato possibile procedere ad una stima affidabile, come meglio discusso al paragrafo 2.4.1). Nell'analisi dell'intera filiera, sono inoltre considerati i processi di conservazione in cella refrigerata del prodotto raccolto, il suo eventuale trasporto alle aziende trasformatrici con i rispettivi imballaggi, l'eventuale lavaggio industriale e il confezionamento (manuale o meccanizzato). Infine, il sistema comprende il trasporto del prodotto confezionato ai responsabili delle reti GAS o ai punti vendita della GDO e il successivo ritiro/acquisto da parte del consumatore (che si ipotizza utilizzi un'auto privata per raggiungere il magazzino del GAS o gli esercizi commerciali). Si specifica che, per ciascun imballaggio utilizzato nella filiera, è stato considerato l'intero ciclo di vita, dalla produzione delle materie prime alla loro conversione nel prodotto finito e al fine vita (sia esso il riciclo, la termovalorizzazione o lo smaltimento). È invece escluso il ciclo di vita delle possibili perdite di prodotto nelle diverse fasi della filiera, non essendo disponibile, né facilmente determinabile, una stima dell'entità di tale fenomeno per le due specifiche filiere esaminate. L'eventuale inclusione dovrebbe essere condotta unicamente sulla base di ipotesi, che tuttavia comprometterebbe significativamente la rappresentatività dello studio.

Per una miglior comprensione dei risultati, l'analisi della fase di produzione agricola è stata condotta considerando come unità funzionale sia "la coltivazione di 1 ha di terreno per ciclo colturale a indivia", che "la produzione di 1 kg di indivia". Nell'analisi dell'intera filiera, l'unità funzionale è invece rappresentata dal "consumo di 1 kg di indivia". In riferimento a tali unità sono stati compilati gli inventari delle due filiere esaminate e successivamente calcolati i rispettivi impatti potenziali.

2.3. *Categorie di impatto e modelli di caratterizzazione*

Nella fase di valutazione degli impatti sono state considerate le seguenti categorie d'impatto potenziale sull'ambiente e sulla salute umana:

- cambiamento climatico;
- assottigliamento dello strato di ozono;
- tossicità umana: effetti cancerogeni;
- tossicità umana: effetti non cancerogeni;
- materiale particolato;
- formazione di ozono fotochimico;
- acidificazione;
- eutrofizzazione terrestre;
- eutrofizzazione delle acque dolci;
- eutrofizzazione marina;
- ecotossicità per le acque dolci;
- uso del suolo (deterioramento della qualità del suolo);
- impoverimento delle risorse idriche;
- impoverimento delle risorse minerali e fossili.

Le categorie elencate sono state selezionate con l'intento di prendere in considerazione il più ampio spettro di problematiche ambientali potenzialmente rilevanti per i sistemi produttivi esaminati, limitando tuttavia la selezione a quelle categorie per cui è disponibile un modello di caratterizzazione raccomandato dall'International Reference Life Cycle Data System (ILCD), per la valutazione d'impatto in un contesto europeo (EC-JRC, 2011). In particolare, gli impatti potenziali sono stati valutati ad un livello intermedio (midpoint) della catena di cause ed effetti che lega i flussi di inventario al danno ultimo sull'ambiente o sulla salute umana, utilizzando la versione 1.05 della metodologia ILCD. Nello specifico, l'indicatore di cambiamento climatico è stato calcolato considerando i potenziali di riscaldamento globale su un orizzonte temporale di 100 anni riportati nel Quarto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (IPCC, 2007).

È stato infine calcolato il consumo complessivo di risorse energetiche delle due filiere esaminate, tramite l'indicatore Cumulative Energy Demand (CED; Hischer et al., 2010). Rimane invece esclusa la stima degli impatti relativi alla perdita di biodiversità e al deterioramento fisico del suolo (erosione, compattazione ecc.), derivanti rispettivamente dalla tendenza alla specializzazione colturale e dall'intensivo sfruttamento. Non sono infatti ancora disponibili delle metodologie consolidate per la valutazione di tale tipologia di impatti, la cui mancata quantificazione rappresenta una delle la-

cune più urgenti da colmare. A questo proposito si precisa che l'impatto sulla qualità del suolo è qui valutato in termini di variazione del rispettivo contenuto di sostanza organica, che in generale ben si correla alla qualità complessiva del suolo, anche se chiaramente non rappresenta tutti i possibili fenomeni di scadimento qualitativo che esso può subire. Sono infatti escluse l'acidificazione, la salinizzazione e la perdita di biodiversità, mentre l'erosione e la compattazione sono solo parzialmente rappresentate, dipendendo esse anche da altri fattori (Milà i Canals et al., 2007).

2.4. Modellizzazione del sistema

Per entrambi i sistemi esaminati, è stato ricostruito un modello virtuale delle unità di processo incluse all'interno dei rispettivi confini e dei flussi di materia ed energia di tali processi (paragrafo 2.2). Si descrivono brevemente nel seguito l'approccio utilizzato nella modellizzazione delle diverse fasi del ciclo di vita del prodotto e le principali ipotesi formulate a tale scopo.

2.4.1. Produzione agricola

La fase di produzione agricola è stata modellizzata analizzando le pratiche colturali adottate da due aziende agricole lombarde che operano, rispettivamente, secondo i principi dell'agricoltura biologica e i disciplinari della produzione integrata (paragrafo 2.1). Le due aziende si trovano in una zona pianeggiante della stessa provincia (Bergamo) e distano l'una dall'altra approssimativamente 10 km; si assume pertanto che esse operino a parità di caratteristiche pedoclimatiche. Per le caratteristiche di interesse ai fini dell'analisi (contenuto di argilla e di carbonio organico nel suolo e precipitazioni annue), è stato tuttavia considerato un valore rappresentativo delle condizioni medie dell'intera pianura lombarda (contesto di riferimento dello studio) e non della sola parte di territorio regionale in cui operano le due realtà esaminate. Tale valore è stato determinato come media ponderata delle caratteristiche pedoclimatiche medie delle cinque macro-aree omogenee di suolo agricolo in cui risulta suddivisa la pianura lombarda nell'ambito del progetto AgriCO₂coltura, in seguito all'applicazione di tecniche di analisi multivariata alle principali variabili pedoclimatiche (Regione Lombardia, 2013). Considerando come fattore di pesatura la SAU (superficie agricola utilizzata) di ciascuna macroarea, sono stati quindi calcolati una precipitazione annua media pari a 847 mm, un contenuto

medio di argilla del 17% e un contenuto medio di carbonio organico dell'1,4%.

Tramite colloqui diretti con i responsabili delle due suddette realtà agricole sono state acquisite informazioni relative a: (a) sequenza delle operazioni colturali effettuate (già riportate in Figura 2), (b) rese di produzione e corrispondenti superfici specifiche (superficie necessaria a produrre una massa unitaria di prodotto o, più in generale, a soddisfare l'unità funzionale), (c) caratteristiche del ciclo colturale, (d) apporti idrici, (e) densità colturale (n. di trapianti per unità di superficie), (f) dosi ed epoche di applicazione di fertilizzanti e fitofarmaci, e (g) altri parametri caratteristici richiesti in fase di modellizzazione (Tabella 1). A partire da questi parametri (che, ove possibile, sono stati verificati in base a quanto riportato nella letteratura tecnica, nei disciplinari di produzione integrata regionali e nelle schede tecniche di prodotto) è stato poi sviluppato un inventario della fase di produzione agricola, che può essere considerato rappresentativo del contesto padano. Sono stati quindi quantificati gli elementi in ingresso a tale fase in termini di risorse naturali, prodotti e processi ausiliari (Tabella 1). Inoltre, sono state stimate le emissioni dirette in pieno campo per cui fosse possibile ottenere un valore affidabile per il contesto e/o la coltura in esame, escludendo quelle per cui invece tali presupposti venissero a mancare (Tabelle 2 e 3). La stima è stata effettuata mediante i fattori e i modelli di emissione utilizzati per la compilazione degli inventari di produzioni agricole disponibili nella banca dati *ecoinvent* (Nemecek e Kägi, 2007; Nemecek e Schnetzer, 2011; Nemecek et al., 2014). Gran parte di questi modelli adotta dei parametri estremamente sito-specifici, quali la quantità media di suolo eroso annualmente, la quota parte di esso che raggiunge i corpi idrici, il contenuto complessivo della sostanza di interesse nel suolo e il rispettivo tasso medio di percolazione in falda. Si è proceduto, ove possibile, ad adeguare tali modelli alla realtà pedoclimatica lombarda (Tabella 2), mentre ne si è escluso l'utilizzo qualora ciò risultasse impraticabile. In alcuni casi, anche la mancata conoscenza del contenuto di talune sostanze nei fitofarmaci, nelle piantine e nella coltura stessa ha contribuito a precludere l'applicazione del modello (in toto o in parte). Si ritiene che la mancata quantificazione di alcune emissioni (Tabella 2) sia necessaria a non compromettere la rappresentatività della presente analisi, pur senza impedire

Tabella 1 – Principali parametri caratteristici dei due sistemi di produzione agricola esaminati e rispettivi elementi in ingresso

| Parametro / Elemento in ingresso | Agricoltura biologica | | Agricoltura integrata | |
|--|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| | per ha di superficie coltivata | per kg di prodotto | per ha di superficie coltivata | per kg di prodotto |
| Resa media per ciclo colturale [t] | 32 | - | 37,5 | - |
| Superficie specifica [m ²] | 10.000 | 0,313 | 10.000 | 0,267 |
| Acqua [m ³] | | | | |
| <i>irrigazione</i> | 270 | 8,44 x 10 ⁻³ | 270 | 7,20 x 10 ⁻³ |
| <i>applicazione fertilizzanti o fitofarmaci</i> | 1 | 3,13 x 10 ⁻⁵ | 2,78 | 7,40 x 10 ⁻⁵ |
| Piantine ^a [n°] | 50.000 | 1,56 | 50.000 | 1,33 |
| Fertilizzanti organici | | | | |
| Residui colturali (frumento duro) ^b [t] | - | - | 0,668 ^c | 1,78 x 10 ⁻⁵ |
| Letame ^d [t] | 11,7 ^e | 3,65 x 10 ⁻⁴ | - | - |
| Fertilizzante azotato in polvere a base di epitelio animale idrolizzato ^f [kg] | 1,10 | 3,44 x 10 ⁻⁵ | - | - |
| Fertilizzante azotato a cessione differenziata e prolungata (a base di pannelli vegetali, pennone e cornunghia) [kg] | - | - | 500 | 1,33 x 10 ⁻² |
| Fertilizzanti minerali | | | | |
| Fertilizzante NPK a cessione controllata (14-7-14) [kg] | - | - | 400 | 1,07 x 10 ⁻² |
| Fertilizzante complesso NPK (12-8-16) [kg] | - | - | 150 | 4,00 x 10 ⁻³ |
| Fitofarmaci (come principi attivi) [kg] | | | | |
| Benfluralin (erbicida) | - | - | 1,44 | 3,84 x 10 ⁻⁵ |
| Propizamide (erbicida) | - | - | 1,60 | 4,27 x 10 ⁻⁵ |
| Boscalid (fungicida) | - | - | 2,00 x 10 ^{-1 g} | 5,34 x 10 ⁻⁶ |
| Piraclostrobin (fungicida) | - | - | 5,03 x 10 ^{-2 g} | 1,34 x 10 ⁻⁶ |
| Ciprodinil (fungicida) | - | - | 1,13 x 10 ^{-1 g} | 3,00 x 10 ⁻⁶ |
| Fludioxonil (fungicida) | - | - | 7,50 x 10 ^{-2 g} | 2,00 x 10 ⁻⁶ |
| Deltametrina (insetticida) | - | - | 1,00 x 10 ⁻² | 2,67 x 10 ⁻⁷ |
| Spinosad (insetticida) | - | - | 6,00 x 10 ⁻² | 1,60 x 10 ⁻⁶ |
| Telo di pacciamatura in LDPE ^h nero (35 µm; 28 g/m ²) [kg] | 111 ⁱ | 3,46 x 10 ⁻³ | - | - |

(a) I valori per ettaro rappresentano la densità colturale (n. di trapianti per unità di superficie).

(b) Il cui contenuto NPK è assunto pari a 11 kg N/t, 2 kg P₂O₅/t e 23 kg K₂O/t (Masoni e Pampana, 2004).

(c) L'apporto effettivo è pari a 2 t/ha, a valle del quale si compiono due cicli colturali a indivia e uno a frumento duro. L'allocazione ai singoli cicli colturali è stata effettuata sulla base della quantità di azoto complessivamente asportata dalla coltura per unità di superficie coltivata, attribuendo quindi il 33,4% dell'apporto complessivo ai 2 cicli a indivia e il 33,2% al ciclo a frumento duro (similmente a quanto si otterrebbe ripartendo equamente l'apporto tra i tre cicli).

(d) Per ipotesi letame bovino solido con un contenuto NPK pari a 4,9 kg N/t, 3,2 kg P₂O₅/t e 6,6 kg K₂O/t, un tenore di sostanza organica pari a 150 kg/t e un contenuto di azoto solubile pari a 0,8 kg N/t (Flisch et al., 2009).

(e) L'apporto effettivo è pari a 35 t/ha, a valle del quale si compiono due cicli colturali a indivia e uno a frumento duro. L'allocazione ai singoli cicli colturali è stata effettuata con lo stesso approccio adottato per i residui colturali interrati nel caso della produzione integrata (nota c).

(f) Applicato per via fogliare in fase vegetativa.

(g) L'apporto effettivo è pari al doppio della quantità indicata, che è calcolata considerando che il prodotto è applicato solo in uno dei due cicli colturali compiuti nel corso dell'anno (quello primaverile o quello autunnale).

(h) LDPE: Low-Density Polyethylene (polietilene lineare a bassa densità).

(i) Calcolato nell'ipotesi che la superficie coperta sia l'80% di quella complessivamente coltivata e che il telo venga utilizzato per due cicli colturali, al termine dei quali viene rimosso ed avviato a riciclo (produzione di barre profilate di poliolefine miste che si ipotizza sostituiscano assi in legno in rapporto 1:1, in accordo con le indicazioni riportate in Rigamonti e Grosso, 2009).

Tabella 2 – Emissioni dirette della fase di produzione agricola considerate ed escluse dall'analisi, modelli di stima applicati e fattori di emissione utilizzati

| Comparto | Sostanza | Origine | Modello/Fattore di emissione |
|---|--|---|--|
| Emissioni considerate | | | |
| Atmosfera | Ammoniaca (NH ₃) | Apporto di fertilizzanti azotati e interrimento residui colturali ^a | Letame: modello Agrammon ^b Fertilizzanti minerali: fattori di emissione da Asman (1992) |
| | Protossido di azoto (N ₂ O) | | Metodo IPCC – livello 1 (IPCC, 2006) ^b |
| | Ossidi di azoto (NO _x) | | Emissione assunta pari al 21% delle emissioni di N ₂ O (Nemecek e Schnetzer, 2011) |
| Acque sotterranee | Nitrati (NO ₃ ⁻) | Apporto di fertilizzanti azotati e mineralizzazione della sostanza organica del suolo | Modello SQCB-NO ₃ (Faist Emmenegger et al., 2009) ^c |
| Acque superficiali | Fosfati (PO ₄ ³⁻) | Apporto di fertilizzanti a base di fosforo | SALCA-P (Prasuhn, 2006) ^b |
| Suolo | Metalli pesanti (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) | Apporto di fertilizzanti ^d | SALCA-heavy metal (Freiermuth, 2006) ^{b,d} |
| Suolo | Fitofarmaci (principi attivi) | Applicazione di fitofarmaci (erbicidi, fungicidi e insetticidi) | Emissione assunta pari alla quantità di principio attivo apportata al suolo o alla coltura (Nemecek e Schnetzer, 2011) |
| Emissioni non considerate^e | | | |
| Acque sotterranee | Fosfati (PO ₄ ³⁻) | Apporto di liquami o fanghi di depurazione liquidi | SALCA-P (Prasuhn, 2006) ^f |
| Acque superficiali | Fosforo (P) | Erosione del suolo | SALCA-P (Prasuhn, 2006) ^f |
| Acque sotterranee e superficiali | Metalli pesanti (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) | Percolazione in falda; erosione del suolo e successivo ruscellamento | SALCA-heavy metal (Freiermuth, 2006) ^f |
| <p>(a) È escluso il possibile contributo del concime azotato ad assorbimento fogliare utilizzato in regime di agricoltura biologica, non essendo disponibile in letteratura alcun fattore di emissione utile alla stima dei rilasci di ammoniaca causati dall'applicazione di tale tipologia di fertilizzante, dai quali in parte dipendono anche le emissioni degli altri due composti azotati (N₂O e NO_x). L'omissione è comunque ritenuta non significativa, considerate le dosi minime di prodotto impiegate (Tabella 1).</p> <p>(b) Il modello è stato applicato come descritto in Nemecek e Schnetzer (2011).</p> <p>(c) Il modello è stato applicato come descritto in Nemecek e Schnetzer (2011), effettuando gli opportuni adattamenti alla realtà pedoclimatica lombarda per i valori di precipitazione annuale, contenuto di argilla nel suolo e contenuto di carbonio organico nello stesso.</p> <p>(d) Nella presente analisi il modello SALCA-heavy metal è stato utilizzato per la sola stima dell'apporto di metalli al suolo con la sola fertilizzazione. Non è infatti stato possibile applicare il modello né per la stima dell'apporto al suolo con i fitofarmaci, le piantine e la deposizione atmosferica (dei quali non è noto il contenuto di metalli pesanti o l'entità per il contesto in esame), né per la stima del trasferimento di tali sostanze nella falda, nelle acque superficiali e nella coltura (assenza di parametri rappresentativi del contesto o della coltura in esame).</p> <p>(e) A causa dell'assenza di parametri adatti all'applicazione dei modelli di stima disponibili al contesto e/o alla coltura in esame.</p> <p>(f) Modello di emissione proposto in Nemecek e Schnetzer (2011).</p> | | | |

il raggiungimento degli obiettivi. Infatti, sebbene ciò comporti una potenziale sottostima degli impatti complessivi dei due sistemi produttivi esaminati (in termini di eutrofizzazione nel caso dei fosfati e del fosforo e di tossicità per l'uomo e per gli ecosistemi nel caso dei metalli pesanti), non si ha alcuna ripercussione sull'affidabilità del loro confronto. Questo perché l'esclusione riguarda principalmente emissioni per cui, secondo i modelli di stima suggeriti, la dipendenza dalle pratiche colturali è legata esclusivamente o prevalentemente a fattori che non variano con il me-

todo di produzione considerato. È questo il caso, ad esempio, del rilascio di fosfati in falda, dove l'unico fattore relativo alle pratiche colturali che influenza la lisciviazione è l'eventuale apporto di liquami e fanghi di depurazione (Nemecek e Schnetzer, 2011), non utilizzati in nessuno dei due sistemi esaminati. Similmente, nel caso delle emissioni di fosforo nelle acque superficiali con le particelle di suolo eroso, l'influenza delle pratiche colturali è principalmente legata alle tecniche di preparazione del terreno (identiche in entrambi i sistemi esaminati) e in particolare al-

Tabella 3 – Emissioni dirette in pieno campo stimate per i due sistemi di produzione agricola esaminati

| Emissione | Agricoltura biologica | | Agricoltura integrata | |
|--|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| | per ha di superficie coltivata | per kg di prodotto | per ha di superficie coltivata | per kg di prodotto |
| Emissioni in aria [kg] | | | | |
| NH ₃ | 8,63 | 2,70 x 10 ⁻⁴ | 4,08 | 1,09 x 10 ⁻⁴ |
| N ₂ O | 1,92 | 6,00 x 10 ⁻⁵ | 3,81 | 1,01 x 10 ⁻⁴ |
| NO _x | 4,03 x 10 ⁻¹ | 1,26 x 10 ⁻⁵ | 7,99 x 10 ⁻¹ | 2,13 x 10 ⁻⁵ |
| Emissioni in acqua [kg] | | | | |
| NO ₃ ⁻ (falda) | 341 | 1,07 x 10 ⁻² | 643 | 1,72 x 10 ⁻² |
| PO ₄ ³⁻ (acque superficiali) | 1,31 x 10 ⁻¹ | 4,09 x 10 ⁻⁶ | 1,25 x 10 ⁻¹ | 3,33 x 10 ⁻⁶ |
| Emissioni al suolo [kg] | | | | |
| Cd | 3,82 x 10 ⁻⁴ | 1,19 x 10 ⁻⁸ | 2,12 x 10 ⁻³ | 5,67 x 10 ⁻⁸ |
| Cr | 8,67 x 10 ⁻³ | 2,71 x 10 ⁻⁷ | 4,34 x 10 ⁻² | 1,16 x 10 ⁻⁶ |
| Cu | 5,31 x 10 ⁻² | 1,66 x 10 ⁻⁶ | 1,46 x 10 ⁻² | 3,91 x 10 ⁻⁷ |
| Ni | 9,56 x 10 ⁻³ | 2,99 x 10 ⁻⁷ | 1,77 x 10 ⁻² | 4,73 x 10 ⁻⁷ |
| Pb | 8,38 x 10 ⁻³ | 2,62 x 10 ⁻⁷ | 4,84 x 10 ⁻³ | 1,29 x 10 ⁻⁷ |
| Zn | 2,62 x 10 ⁻¹ | 8,17 x 10 ⁻⁶ | 9,04 x 10 ⁻² | 2,41 x 10 ⁻⁶ |
| Benfluralin | - | - | 1,44 | 3,84 x 10 ⁻⁵ |
| Propizamide | - | - | 1,60 | 4,27 x 10 ⁻⁵ |
| Boscalid | - | - | 2,00 x 10 ⁻¹ | 5,34 x 10 ⁻⁶ |
| Piraclostrobin | - | - | 5,03 x 10 ⁻² | 1,34 x 10 ⁻⁶ |
| Ciprodinil | - | - | 1,13 x 10 ⁻¹ | 3,00 x 10 ⁻⁶ |
| Fludioxonil | - | - | 7,50 x 10 ⁻² | 2,00 x 10 ⁻⁶ |
| Deltametrina | - | - | 1,00 x 10 ⁻² | 2,67 x 10 ⁻⁷ |
| Spinosad | - | - | 6,00 x 10 ⁻² | 1,60 x 10 ⁻⁶ |

l'eventuale impiego di tecniche di "minima lavorazione" – quali il *mulch*, il *ridge* e lo *strip tillage* – (Nemecek e Schnetzer, 2011; Faist Emmenegger et al., 2009), alle quali non si fa tuttavia ricorso nei sistemi in esame. Per quanto riguarda invece i metalli pesanti, la mancata stima del loro possibile trasferimento dal suolo alle acque sotterranee e superficiali coinvolge entrambi i sistemi produttivi, che sono quindi caratterizzati dallo stesso grado di completezza nella modellizzazione del destino finale di tali sostanze. Pertanto, l'esito del confronto fra le due modalità di produzione non è influenzato da questa scelta. L'impossibilità di quantificare il potenziale apporto di metalli al suolo con i fitofarmaci (le cui schede di sicurezza comunque non ne evidenziano la presenza) potrebbe invece parzialmente favorire la produzione integrata nelle categorie di impatto relative alla tossicità per l'uomo e gli ecosistemi. Tuttavia, tale apporto potenziale è ritenuto trascurabile se rapportato a quello dovuto ai fertilizzanti (considerate le dosi molto più elevate con cui quest'ultimi sono applicati), e per-

tanto incapace di incidere in modo apprezzabile sul confronto tra le due modalità di produzione. Per la compilazione dell'inventario dei carichi ambientali relativi alle operazioni colturali meccanizzate (lavorazione del terreno, apporto di fertilizzanti e fitofarmaci, trapianto ecc.) sono stati utilizzati moduli preesistenti disponibili nella banca dati *ecoinvent*, che contabilizzano non solo i consumi di carburante del macchinario e le emissioni causate dalla sua combustione, ma anche la produzione, la manutenzione ed il fine vita di tale macchinario. Dalla stessa banca dati derivano anche gli inventari relativi alla produzione dei fertilizzanti minerali e dei principi attivi contenuti nei fitofarmaci.

2.4.2. Conservazione in cella

Una volta raccolto, sia il prodotto biologico che quello da agricoltura integrata, vengono temporaneamente conservati in cella frigorifera in attesa del confezionamento e della successiva consegna ai GAS (prodotto biologico) o del trasporto alle aziende trasformatrici (prodotto di quarta gamma). La modellizzazione di questa fase è avvenuta in riferimento

alle pratiche di conservazione adottate dalle due realtà produttive esaminate e ha compreso la stima dei consumi di energia elettrica ad essa associati.

2.4.3. *Trasporto alle aziende di trasformazione*

Il trasporto del prodotto da agricoltura integrata alle aziende trasformatrici avviene mediante casse riutilizzabili in HDPE (polietilene ad alta densità) da 5 kg, allestite su pallet in legno da 50 casse ciascuno. Le casse pesano 1,5 kg e hanno una vita utile media di 10 anni circa, al termine della quale si ipotizza vengano riciclate (rigranulazione e utilizzo in sostituzione di granuli di polimero vergine in rapporto 1:0,81, considerando le indicazioni riportate in Rigamonti e Grosso, 2009). La vita utile dei pallet, che hanno una massa media di 12 kg, è stata invece posta pari a 3 anni, dopo i quali sono anch'essi riciclati (produzione di pannelli truciolari che sostituiscono pannelli di compensato in rapporto 1:0,6, sempre in accordo con quanto riportato da Rigamonti e Grosso, 2009). Si è infine considerato che il trasporto con autocarro ai centri di lavaggio e confezionamento avvenga lungo una distanza complessiva di 110,5 km, calcolata come media aritmetica delle distanze che separano l'azienda agricola esaminata dalle aziende trasformatrici alle quali è conferito il prodotto (tutte ubicate nella stessa provincia o in province limitrofe).

2.4.4. *Lavaggio e confezionamento*

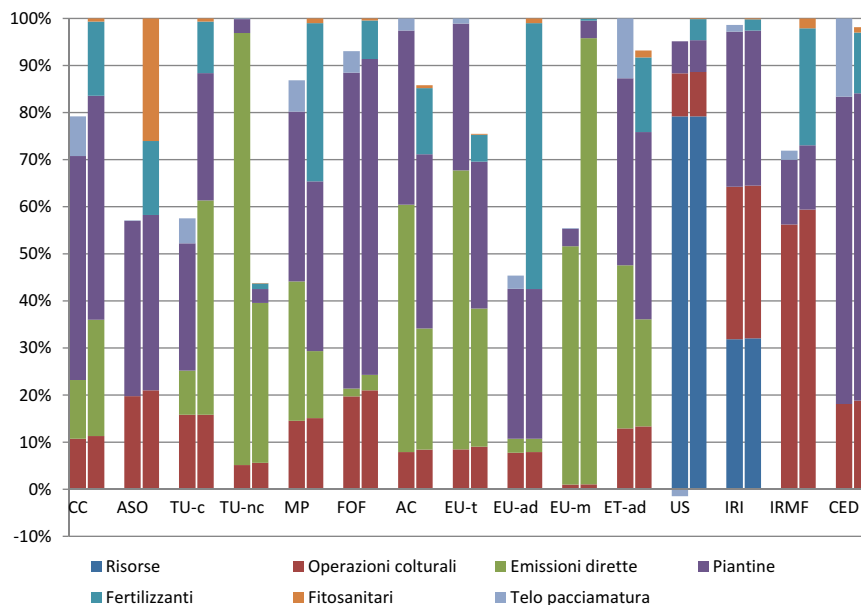
Il lavaggio e il successivo confezionamento dell'insalata da agricoltura integrata avvengono su linee automatizzate, delle quali sono stati stimati i consumi idrici ed energetici sulla base dei dati a consumo messi a disposizione da una delle aziende trasformatrici che ricevono il prodotto dell'azienda agricola esaminata. Il lavaggio avviene con sola acqua a temperatura ambiente, mentre il confezionamento prevede l'impiego di buste in polipropilene (PP) di capienza variabile da 70 g a 1 kg. A loro volta, le buste sono riposte in scatole in cartone ondulato a perdere, di massa pari a circa 0,2 kg e contenenti mediamente 1 kg di prodotto, suddiviso in un numero variabile di buste, in base al formato di quest'ultime. Le scatole sono infine allestite su pallet in legno da 50 colli ciascuno e massa media di 12 kg. La vita utile dei pallet è stata assunta pari a 20 cicli di trasporto, al termine dei quali vengono riciclati (secondo le modalità riportate al paragrafo 2.4.3). Anche per le scatole in cartone e per le buste post consumo si è considerato il riciclo come fine vita. In particolare, le scatole sono utilizzate nella produzione di carte per cartone ondulato (carta da coper-

tina e per ondulazione), che sono interamente impiegate nel sistema in esame per la produzione delle scatole stesse (riciclo a circuito chiuso). Le buste sono invece utilizzate nella produzione di barre profilate di poliolefine miste che sostituiscono assi in legno in rapporto 1:1 (Rigamonti e Grosso, 2009).

Per il trasporto ai GAS, l'insalata biologica è disposta manualmente in cassette multiprodotto, senza subire alcun lavaggio. Le cassette contengono 5 kg di prodotti, dei quali circa 0,5 kg di insalata nel periodo dell'anno in cui è disponibile, e sono per il 50% in plastica (HDPE) e per il 50% in legno. Le cassette in plastica hanno una massa pari a 1,5 kg e vengono utilizzate in media per 30 consegne, mentre quelle in legno hanno una massa pari a 1,15 kg e sono utilizzate mediamente per 20 consegne. Poiché l'insalata occupa all'incirca $\frac{1}{4}$ del volume complessivo della cassetta, a tale prodotto è stata allocata solo una quota corrispondente di imballaggio. È infatti il volume dei diversi prodotti contenuti a determinarne la quantità conferita con una cassetta e non la massa. Come fine vita, si è ipotizzato che entrambe le tipologie di cassetta vengano riciclate (rigranulazione delle cassette in HDPE con sostituzione di granuli di polimero vergine in rapporto 1:0,81 e utilizzo delle cassette in legno nella produzione di pannelli truciolari, che sostituiscono pannelli di compensato in rapporto 1:0,6).

2.4.5. *Trasporto ai luoghi di distribuzione e consumo*

Per quanto riguarda il prodotto di quarta gamma, si è considerato che il trasporto dalle aziende trasformatrici ai punti vendita della GDO avvenga lungo una distanza complessiva di circa 126 km, stimata in base alla dislocazione sul territorio lombardo delle piattaforme di distribuzione e dei punti vendita di una delle principali catene della GDO a livello nazionale. Considerando la presenza media di punti vendita in un contesto provinciale, si è inoltre assunto che il consumatore compia un tragitto di 6 km, tra andata e ritorno, per raggiungere il luogo di acquisto con un'auto privata. Poiché il formato più utilizzato per le buste di indivia di quarta gamma è quello da 200 g (che normalmente contiene un misto di 3-4 diverse varietà di insalata), si è infine ipotizzato che durante ogni viaggio al punto vendita il consumatore acquisti una confezione da 0,2 kg di insalata, come parte di un spesa complessiva di 40 articoli. All'insalata sono stati quindi allocati solo 1/40 dei carichi ambientali complessivi del tragitto con auto, assimilando allo stesso tempo l'intero contenuto della confezione a una sola varietà di insalata.



CC: cambiamento climatico; ASO: assottigliamento strato di ozono; TU-c: tossicità umana (effetti cancerogeni); TU-nc: tossicità umana (effetti non cancerogeni); MP: materiale particolato; FOF: formazione ozono fotochimico; AC: acidificazione; EU-t: eutrofizzazione terrestre; EU-ad: eutrofizzazione acque dolci; EU-m: eutrofizzazione marina; ET-ad: ecotossicità acque dolci; US: uso del suolo; IRI: impoverimento risorse idriche; IRMF: impoverimento risorse minerali e fossili; CED: cumulative energy demand.

Figura 3 – Impatti potenziali della produzione biologica (barre a sinistra) e integrata (barre a destra) di indivia, calcolati in riferimento ad 1 ettaro di superficie coltivata per ciclo colturale ed espressi in percentuale rispetto alla forma di coltivazione con impatto più elevato nella specifica categoria considerata

Nel caso dell'insalata biologica, si è stimato che il giro di consegna ai responsabili dei GAS con furgone di piccola taglia avvenga lungo una distanza media complessiva di 137,5 km, di cui la metà si considera venga percorsa con le cassette piene e la restante metà con quelle vuote ritirate durante la consegna. La cassetta consegnata ai GAS è infine ritirata dai singoli consumatori, che allo scopo si stima percorrano complessivamente 3 km utilizzando un'auto privata. Essendo le cassette multiprodotto, al trasporto dell'insalata è stata allocata solo una quota parte dei carichi ambientali complessivi del tragitto, sulla base del rapporto fra la massa di insalata presente in una cassetta e quella complessiva dei prodotti in essa contenuti (pari, rispettivamente, a 0,49 kg e 5 kg).

2.4.6. Consumo

Essendo già lavata prima della distribuzione, l'insalata da agricoltura integrata è stata considerata pronta al consumo e, di conseguenza, non è stato attribuito alcun carico ambientale a questa fase. Infatti, sebbene sia spesso suggerito un risciacquo del prodotto prima del consumo, si ritiene che tale pratica sia di fatto poco comune, come anche confermato dalle interviste effettuate ad alcuni consumatori abituali. Si è invece considerato che l'insalata

biologica venga lavata manualmente con acqua a temperatura ambiente prima della consumazione, imputando a tale operazione un consumo idrico pari a 20 litri per kg di insalata (equivalente al consumo specifico stimato per il lavaggio industriale dell'insalata di quarta gamma).

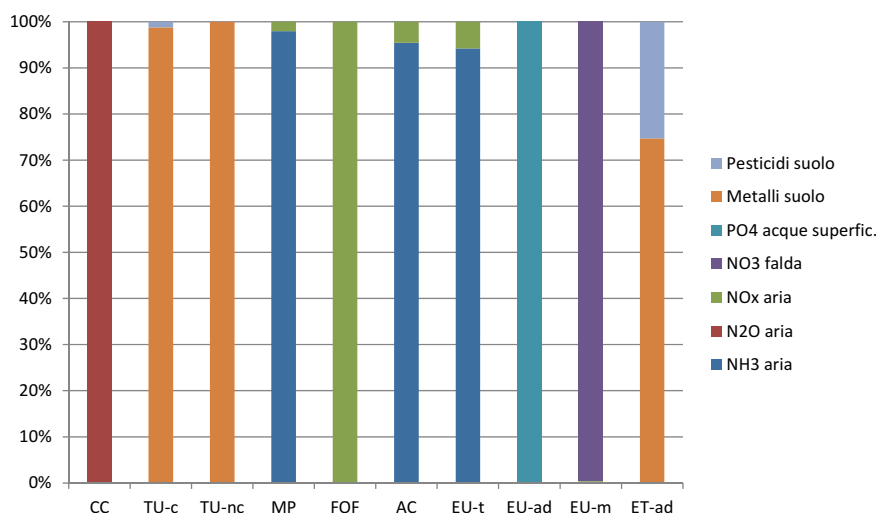
3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. Fase di produzione agricola (analisi dalla culla al cancello)

3.1.1. Impatti riferiti ad 1 ha di superficie coltivata

Gli impatti potenziali dei due sistemi di produzione agricola esaminati, calcolati in riferimento ad 1 ettaro di superficie coltivata per ciclo colturale, sono confrontati in Figura 3. Considerando significative le sole differenze di impatto superiori al 10%¹, l'agricoltura biologica risulta preferibile a quella condotta secondo i disciplinari di produzione integrata per la metà circa delle categorie di impatto considerate (7 su 15): cambiamento cli-

¹ Alla luce delle incertezze che inevitabilmente caratterizzano la modellizzazione del sistema e la quantificazione degli impatti in ogni studio di analisi del ciclo di vita.



CC: cambiamento climatico; TU-c: tossicità umana (effetti cancerogeni); TU-nc: tossicità umana (effetti non cancerogeni); MP: materiale particolato; FOF: formazione ozono fotochimico; AC: acidificazione; EU-t: eutrofizzazione terrestre; EU-ad: eutrofizzazione acque dolci; EU-m: eutrofizzazione marina; ET-ad: ecotossicità acque dolci.

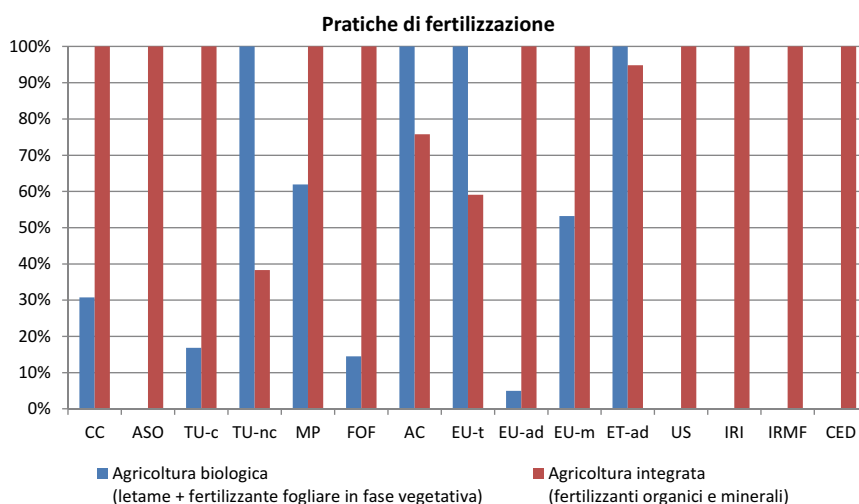
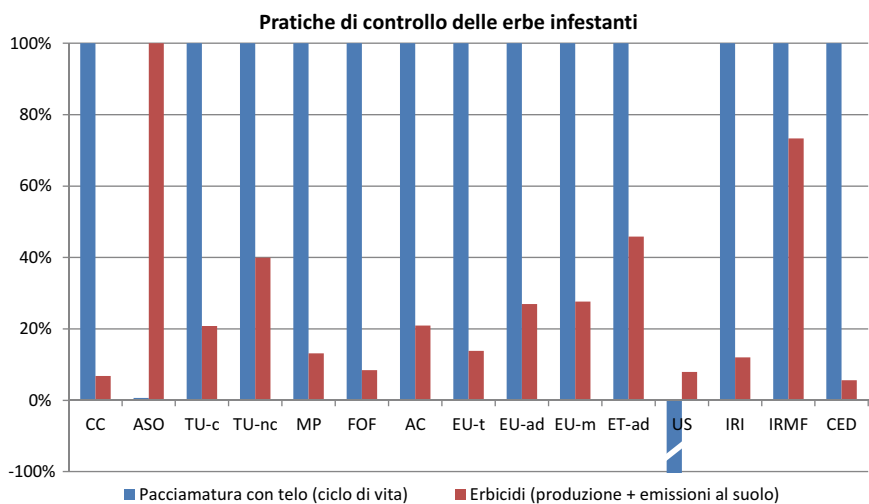
Figura 4 – Contributi per sostanza agli impatti potenziali delle emissioni dirette in pieno campo associate alla coltivazione di indivia secondo i disciplinari dell'agricoltura integrata (per le categorie di impatto non rappresentate il contributo delle emissioni è nullo)

matico (-21%), assottigliamento dello strato di ozono (-43%), tossicità umana -effetti cancerogeni- (-42,5%), materiale particolato (-13%), eutrofizzazione delle acque dolci (-55%), eutrofizzazione marina (-44,5%) e impoverimento delle risorse minerali e fossili (-28%). Per la formazione di ozono fotochimico, l'ecotossicità delle acque dolci, l'uso del suolo, l'impoverimento delle risorse idriche e la CED, i due sistemi presentano invece impatti confrontabili. Per le tre restanti categorie (tossicità umana -effetti non cancerogeni-, acidificazione ed eutrofizzazione terrestre) è la produzione integrata ad avere prestazioni migliori.

I contributi agli impatti complessivi (Figura 3) evidenziano come l'incidenza delle operazioni colturali sia pressoché equivalente nelle due pratiche di coltivazione, che effettuano la stessa tipologia di lavorazioni meccaniche e un numero simile di operazioni di apporto al terreno e alla coltura (sebbene di sostanze diverse). Identico è anche il contributo della produzione delle piantine e del consumo diretto di risorse (acqua e suolo), dal momento che nel caso in esame la densità colturale e gli apporti idrici per ettaro risultano indipendenti dalla tecnica di coltivazione impiegata. Il confronto fra le due forme di coltivazione esaminate dipende quindi essenzialmente dal differente impatto delle rispettive emissioni dirette in pieno campo e dei processi di produzione ed eventuale fine vita dei mezzi tecnici utilizzati per la fertilizzazione, il controllo delle infestanti e la difesa fitosanitaria (fertilizzanti, fi-

tofarmaci e teli di pacciamatura). Soffermandosi in particolare sulle tre categorie sfavorevoli all'agricoltura biologica, l'impatto più che doppio di quest'ultima in termini di tossicità umana -effetti non cancerogeni- risulta legato al maggior apporto al suolo di alcuni metalli, specialmente di zinco, con la fertilizzazione. Gli apporti di rame, piombo e zinco con il letame utilizzato in agricoltura biologica risultano infatti più elevati di quelli dovuti all'applicazione dei fertilizzanti organici e minerali utilizzati nella produzione integrata. Nel caso dell'acidificazione e dell'eutrofizzazione terrestre, sono invece le emissioni di ammoniaca derivanti dalla fertilizzazione, più elevate in regime di agricoltura biologica, la causa delle peggiori prestazioni di quest'ultima.

Focalizzandosi ora sulla produzione integrata, è interessante osservare come la produzione dei fitofarmaci contribuisca in modo rilevante al solo assottigliamento dello strato d'ozono, mentre per le altre categorie tale contributo è irrisorio (Figura 3). Trascurabile è anche il contributo delle emissioni al suolo di tali sostanze alle categorie di tossicità umana (Figura 4), che tuttavia non ne considerano la possibile assunzione diretta attraverso la dieta (la metodologia di analisi utilizzata non contabilizza questo tipo di impatto e, comunque, non sono disponibili al momento dati specifici relativi al potenziale assorbimento di tali sostanze da parte della coltura, che pertanto sono state interamente contabilizzate come emissioni al suolo). Più rile-



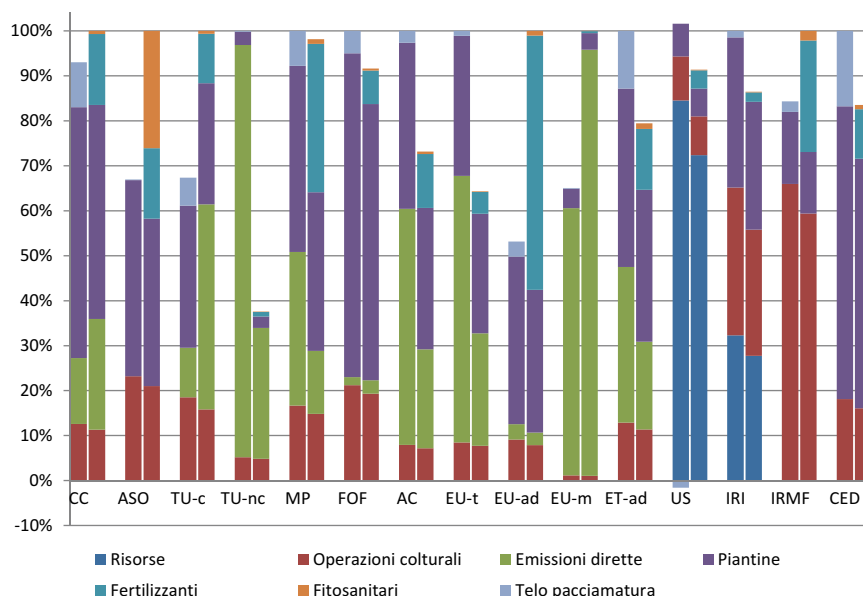
CC: cambiamento climatico; ASO: assottigliamento strato di ozono; TU-c: tossicità umana (effetti cancerogeni); TU-nc: tossicità umana (effetti non cancerogeni); MP: materiale particolato; FOF: formazione ozono fotochimico; AC: acidificazione; EU-t: eutrofizzazione terrestre; EU-ad: eutrofizzazione acque dolci; EU-m: eutrofizzazione marina; ET-ad: ecotossicità acque dolci; US: uso del suolo; IRI: impoverimento risorse idriche; IRMF: impoverimento risorse minerali e fossili; CED: cumulative energy demand.

Figura 5 – Confronto fra gli impatti potenziali complessivi delle pratiche di controllo delle erbe infestanti e di fertilizzazione adottate in regime di agricoltura biologica e integrata. Gli impatti sono calcolati in riferimento ad 1 ettaro di superficie coltivata ed espressi in percentuale rispetto alla pratica con impatto più elevato nella specifica categoria considerata (nota: l’impatto negativo della pacciamatura con telo per la categoria “uso del suolo” è un’inesattezza dovuta alla mancata quantificazione dell’occupazione e trasformazione fisica del suolo per alcuni dei processi coinvolti nel rispettivo ciclo di vita)

vante è invece il contributo all’ecotossicità per gli ecosistemi di acqua dolce (25% circa), sebbene rimanga preponderante il ruolo dei metalli apportati al suolo con la fertilizzazione (Figura 4).

Ritornando al confronto fra le due tecniche di coltivazione, ma concentrandosi in particolare sulle pratiche di controllo delle erbe infestanti, l’applicazione di erbicidi si rivela nel complesso meno impattante della pacciamatura con telo adottata in regime biologico (se si esclude l’assottigliamento dello strato di ozono; Figura 5). Questo risultato, per certi versi inatteso, è dovuto alle minime quantità di erbicidi applicate per

unità funzionale (circa 3 kg di principi attivi per ettaro), che sono decisamente inferiori alla quantità di telo impiegata (circa 111 kg per ettaro, considerando un utilizzo per 2 cicli colturali). Per quanto riguarda invece le pratiche di fertilizzazione, quella adottata in regime biologico (che prevede l’apporto di solo letame e di dosi minime di fertilizzante azotato applicato per via fogliare in fase vegetativa) si dimostra preferibile per la maggior parte delle categorie di impatto (Figura 5). Permangono tuttavia le criticità già emerse in precedenza, relativamente al maggiore impatto di tale pratica in termini di eutrofiz-



CC: cambiamento climatico; ASO: assottigliamento strato di ozono; TU-c: tossicità umana (effetti cancerogeni); TU-nc: tossicità umana (effetti non cancerogeni); MP: materiale particolato; FOF: formazione ozono fotochimico; AC: acidificazione; EU-t: eutrofizzazione terrestre; EU-ad: eutrofizzazione acque dolci; EU-m: eutrofizzazione marina; ET-ad: ecotossicità acque dolci; US: uso del suolo; IRI: impoverimento risorse idriche; IRMF: impoverimento risorse minerali e fossili; CED: cumulative energy demand.

Figura 6 – Impatti potenziali della produzione biologica (barre a sinistra) e integrata (barre a destra) di indivia, calcolati in riferimento a 1 kg di prodotto raccolto ed espressi in percentuale rispetto alla forma di coltivazione con impatto più elevato nella specifica categoria considerata

zazione terrestre, acidificazione e, soprattutto, di tossicità umana da sostanze cancerogene. Per l'ecotossicità delle acque dolci, le due pratiche risultano invece confrontabili.

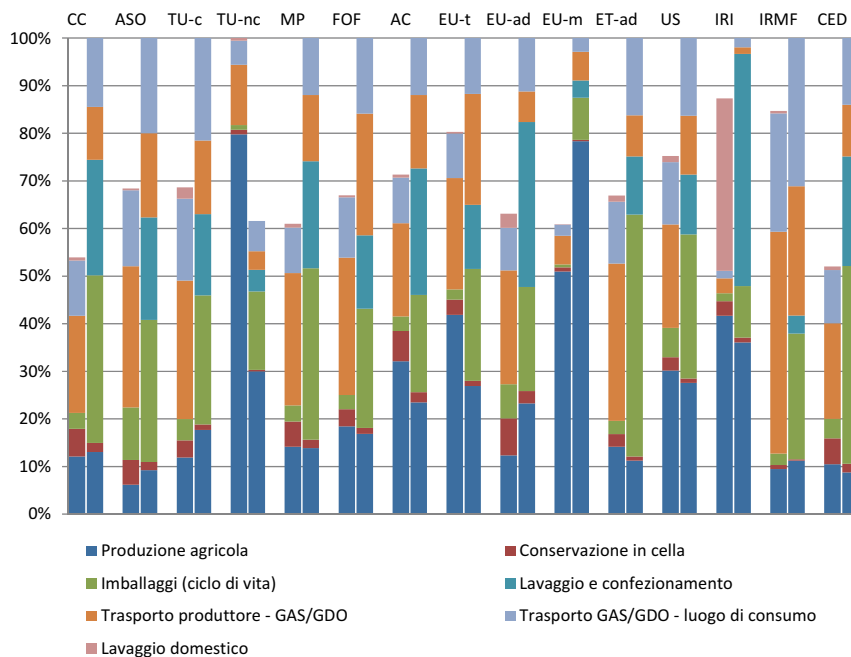
3.1.2. Impatti riferiti ad 1 kg di prodotto raccolto

Se gli impatti della fase di produzione agricola sono espressi in riferimento ad 1 kg di prodotto raccolto (Figura 6), le categorie favorevoli all'agricoltura biologica si riducono da sette a cinque (assottigliamento dello strato di ozono, tossicità umana -effetti cancerogeni-, eutrofizzazione delle acque dolci, eutrofizzazione marina e impoverimento delle risorse minerali e fossili), mentre sei sono le categorie ad essa sfavorevoli (tossicità umana -effetti non cancerogeni-, acidificazione, eutrofizzazione terrestre, ecotossicità per le acque dolci, impoverimento delle risorse idriche e CED). Per le restanti categorie (cambiamento climatico, materiale particolato, formazione di ozono fotochimico e uso del suolo), le due forme di coltivazione risultano confrontabili. Oltre ai fattori già discussi in precedenza, ciò che determina questo mutamento del profilo ambientale a sfavore dell'agricoltura biologica è la minore resa di produzione conseguibile con questa forma di coltivazione (32 t/ha; Tabella 1), rispetto alla produzione integrata (37,5 t/ha). I consumi e le emissioni della produzione

biologica vengono infatti smorzati in misura minore nel passaggio dall'unità di superficie coltivata ad una massa unitaria di prodotto.

3.2. Filiera complessiva (analisi dalla culla alla tomba)

Il confronto fra gli impatti complessivi delle due filiere esaminate (Figura 7), evidenzia un profilo ambientale quasi interamente a favore del conferimento diretto del prodotto biologico tal quale a reti provinciali di GAS. Gli impatti di tale filiera risultano infatti inferiori del 30-40% rispetto a quella del prodotto di quarta gamma, per circa la metà delle categorie di impatto considerate: assottigliamento dello strato di ozono, tossicità umana -effetti cancerogeni-, materiale particolato, formazione di ozono fotochimico, eutrofizzazione delle acque dolci, eutrofizzazione marina ed ecotossicità per le acque dolci. Per il cambiamento climatico e la CED il vantaggio della filiera biologico-GAS è ancor più elevato (46% e 48%), mentre per le categorie di acidificazione, eutrofizzazione terrestre e uso del suolo esso è compreso tra il 20 e il 30%. Analizzando i contributi agli impatti totali (Figura 7), si comprende come a tale vantaggio contribuiscano prevalentemente l'assenza della fase di lavaggio e confezionamento industriale del pro-



CC: cambiamento climatico; ASO: assottigliamento strato di ozono; TU-c: tossicità umana (effetti cancerogeni); TU-nc: tossicità umana (effetti non cancerogeni); MP: materiale particolato; FOF: formazione ozono fotochimico; AC: acidificazione; EU-t: eutrofizzazione terrestre; EU-ad: eutrofizzazione acque dolci; EU-m: eutrofizzazione marina; ET-ad: ecotossicità acque dolci; US: uso del suolo; IRI: impoverimento risorse idriche; IRMF: impoverimento risorse minerali e fossili; CED: cumulative energy demand.

Figura 7 – Impatti potenziali della due filiere agroalimentari esaminate, calcolati in riferimento a 1 kg di prodotto consumato ed espressi in percentuale rispetto alla filiera con impatto più elevato nella specifica categoria. Le barre a sinistra si riferiscono al conferimento diretto del prodotto biologico tal quale a reti provinciali di GAS, quelle a destra al conferimento alla GDO del prodotto da agricoltura integrata lavato e confezionato

dotto e quella di imballaggi a perdere all'interno della filiera. Al contrario, il trasporto dal luogo di raccolta a quello di distribuzione risulta generalmente più impattante nel caso di conferimento diretto a reti GAS, nonostante il prodotto non transiti per le aziende di trasformazione e la distanza complessivamente percorsa a tale scopo sia quindi inferiore rispetto al prodotto di quarta gamma. Il conferimento avviene infatti con veicoli di taglia più piccola, caratterizzati da un carico medio e da una percorrenza media complessiva ridotti rispetto agli autocarri utilizzati per il trasporto del prodotto di quarta gamma, che li rendono quindi maggiormente impattanti. Questo risultato risente tuttavia anche del fatto che le aziende di trasformazione del prodotto di quarta gamma sono situate in Lombardia, contesto di riferimento dello studio. Ciò limita la percorrenza complessiva rispetto ad altri possibili contesti nazionali e, con essa, i potenziali benefici normalmente attesi dal consumo di un prodotto agricolo di origine locale (che nel caso in esame risultano appunto assenti). Gli impatti del trasporto dal luogo di distribuzione a quello di consumo appaiono invece confrontabili in en-

trambe le filiere, sebbene nel caso del conferimento alla GDO essi risulterebbero notevolmente più elevati qualora il consumatore acquistasse una quantità limitata di prodotti (indicativamente, inferiore a dieci), rispetto ai 40 ipotizzati in questo studio. All'opposto, gli impatti risulterebbero più contenuti nel caso in cui il tragitto fosse effettuato anche per altri fini oltre all'acquisto. Quest'ultima eventualità produrrebbe comunque lo stesso effetto in entrambe le filiere. Infine, la fase di conservazione in cella risulta generalmente più impattante nel caso della filiera biologico-GAS (a causa della minor frequenza di conferimento del prodotto, che pertanto permane in cella per un periodo più lungo). L'impatto di tale fase appare comunque secondario in entrambe le filiere.

Per quanto riguarda l'impoverimento delle risorse minerali e fossili, la filiera biologico-GAS presenta sempre un impatto complessivo inferiore a quella del prodotto di quarta gamma, ma la differenza fra le due (-15%) è più contenuta rispetto alle altre categorie di impatto. Ciò è prevalentemente dovuto al maggiore impatto del trasporto al luogo di distribuzione (per le ragioni discusse in precedenza),

che in parte compensa il più ridotto impatto degli imballaggi e l'assenza del pur modesto contributo della fase di lavaggio e confezionamento industriale. Anche per l'impovertimento delle risorse idriche il vantaggio della filiera biologico-GAS è più contenuto rispetto alle altre categorie di impatto, sebbene sempre significativo (-13%). Anche il prodotto biologico viene infatti lavato, con un volume d'acqua assunto pari a quello utilizzato per l'insalata di quarta gamma. L'impatto della fase di lavaggio risulta quindi rilevante in entrambe le filiere, pur dimostrandosi più elevato nel caso del prodotto pronto al consumo (che comprende anche i consumi idrici indiretti delle operazioni di confezionamento svolte nello stesso impianto in cui avviene il lavaggio). È tuttavia evidente come l'impiego di eccessivi volumi d'acqua per il lavaggio domestico del prodotto biologico possa comportare un incremento dell'impatto della filiera fino ad ottenere una prestazione complessivamente peggiore rispetto al prodotto confezionato. In particolare, si è riscontrato che il punto di pareggio fra le due filiere corrisponde ad un consumo idrico per il lavaggio domestico pari a circa 21-22 litri per kg di insalata (quindi solo 1-2 litri in più rispetto all'ipotesi qui formulata).

Per la sola categoria di tossicità umana -effetti non cancerogeni-, la filiera biologico-GAS presenta un impatto decisamente più elevato rispetto al prodotto di quarta gamma (+62%), essenzialmente a causa delle peggiori prestazioni della fase di produzione agricola, il cui contributo è preponderante in questa categoria. Le motivazioni sono quelle già illustrate nel paragrafo 3.1.1, ossia, in sintesi, la maggiore quantità di metalli (rame, zinco e piombo) apportata al suolo con le pratiche di fertilizzazione adottate in regime biologico. Le emissioni di tali sostanze, e specialmente quelle di zinco, tendono infatti a dominare la categoria di impatto in esame.

Si noti infine come, volendo limitare il confronto alle sole modalità di distribuzione esaminate (escludendo quindi il contributo della fase di produzione agricola dagli impatti rappresentati in Figura 7), il conferimento diretto di un prodotto sfuso tal quale a reti locali di GAS risulta preferibile, per tutte le categorie di impatto considerate, al conferimento di un prodotto confezionato e pronto al consumo alla GDO. Le principali motivazioni sono analoghe a quelle già illustrate in precedenza per l'intera filiera (assenza di imballaggi monouso e della fase di lavaggio e confezionamento industriale del prodotto). Si evidenzia

tuttavia che in questo studio non sono stati considerati i possibili benefici che l'imballaggio potrebbe apportare in termini di salvaguardia del prodotto e, quindi, di contenimento delle potenziali perdite dello stesso nelle fasi che precedono il consumo finale. D'altra parte, è ragionevole ipotizzare che, visti i tempi ridotti che presumibilmente intercorrono tra la preparazione delle cassette consegnate ai GAS e il consumo finale, nel caso in esame non si verificano rilevanti perdite di prodotto sfuso rispetto a quello confezionato. Le cassette sono infatti preparate il giorno stesso della consegna, con un contenuto pensato per coprire il fabbisogno settimanale di una famiglia media. Nel caso in cui il prodotto non confezionato fosse invece conferito alla GDO, dove i tempi di permanenza possono essere più lunghi, la situazione potrebbe essere differente e richiedere un'analisi più approfondita sul ruolo dell'imballaggio.

4. CONCLUSIONI

Nello studio qui riassunto sono stati valutati e confrontati i potenziali impatti ambientali di due filiere alternative di produzione e distribuzione agricola, mediante la metodologia dell'analisi del ciclo di vita. È stata innanzitutto esaminata la sola fase di produzione agricola di indivia, condotta secondo le pratiche di coltivazione biologica in un caso, e nel rispetto dei disciplinari di produzione integrata nell'altro. L'analisi è stata poi estesa all'intera filiera, considerando il conferimento diretto del prodotto biologico tal quale a reti provinciali di gruppi di acquisto solidale e la commercializzazione del prodotto da agricoltura integrata pronto al consumo e confezionato (insalata di quarta gamma) attraverso il canale della grande distribuzione organizzata.

L'analisi della fase di produzione agricola, condotta sia in riferimento ad una superficie unitaria di terreno coltivato che ad una massa unitaria di prodotto raccolto, non ha consentito di individuare una tecnica di coltivazione in assoluto più sostenibile. Nel caso in cui gli impatti siano espressi per ettaro di superficie coltivata, l'agricoltura biologica risulta infatti preferibile per circa la metà delle categorie di impatto (7 su 15), ma presenta delle criticità, legate prevalentemente alle pratiche di fertilizzazione, che determinano impatti potenziali più elevati in termini di acidificazione, eutrofizzazione terrestre e, in particolare, di tossicità umana da sostanze non cancerogene. Per kg di

prodotto raccolto, le categorie di impatto che risultano favorevoli alla produzione biologica si riducono a cinque (a causa delle minori rese conseguibili con tale tecnica di coltivazione) mentre sei sono le categorie favorevoli alla produzione integrata. Emerge quindi la necessità di studiare e sviluppare ulteriormente le attuali pratiche di agricoltura biologica, al fine di rendere le filiere agro-alimentari effettivamente più sostenibili. Va tuttavia rilevato che la metodologia di analisi utilizzata non contabilizza i potenziali impatti sulla salute umana dovuti alla possibile assunzione diretta di eventuali residui di fitofarmaci e altre sostanze tossiche applicate o assorbite dalla coltura. In assenza di modelli adeguati, è stata altresì esclusa la valutazione degli impatti sulla biodiversità, mentre quelli dovuti alla degradazione fisica del suolo (erosione, compattazione ecc.) sono stati solo parzialmente rappresentati dalla categoria “uso del suolo”. Pertanto, il presente studio non quantifica parte dei potenziali benefici ambientali conseguibili adottando un metodo di coltivazione che evita l’impiego di fitofarmaci e che adotta tecniche di lavorazione del terreno e pratiche colturali volte a prevenire la compattazione e l’erosione del suolo, nonché a salvaguardare e promuovere la biodiversità dell’ambiente circostante. Si ricorda, infine, che gli impatti calcolati per entrambi i sistemi di produzione agricola risentono della mancata quantificazione di alcune emissioni dirette in pieno campo, risultando in parte sottostimati in termini di eutrofizzazione delle acque dolci e marine e di tossicità per l’uomo e per gli ecosistemi d’acqua dolce (paragrafo 2.4.1). Tuttavia, si ritiene che questa omissione non incida in modo significativo sul confronto fra i due metodi di coltivazione e sulle conclusioni da esso derivate.

L’analisi dell’intero ciclo di vita del prodotto ha evidenziato una differenza più marcata tra le due filiere, restituendo un profilo ambientale nettamente a favore del conferimento diretto del prodotto biologico sfuso tal quale a reti provinciali di GAS. Tale filiera risulta infatti ampiamente preferibile rispetto a tutte le categorie di impatto eccetto la tossicità umana da sostanze non cancerogene, dove prevalgono gli impatti della fase di produzione agricola, che per questa categoria risulta notevolmente più impattante nel caso di agricoltura biologica. Questo effetto tuttavia scompare se si limita il confronto alle sole fasi di distribuzione e consumo del prodotto (ossia, se il prodotto distribuito è lo stesso in entrambe le filiere). In tal caso, il conferimento diretto del pro-

dotto tal quale mediante imballaggi riutilizzabili (sia esso ottenuto da agricoltura biologica o integrata), risulta preferibile per tutte le categorie di impatto considerate. A questo vantaggio contribuiscono principalmente l’assenza della fase di lavaggio e confezionamento industriale del prodotto e, soprattutto, di imballaggi a perdere all’interno della filiera. Ciò indica come la riduzione del ricorso a tale tipologia di imballaggi costituisca, qualora effettivamente attuabile, uno dei principali strumenti disponibili per la riduzione degli impatti della filiera del prodotto di quarta gamma. Tale considerazione è tuttavia valida nell’ipotesi che l’imballaggio non contribuisca a limitare il deterioramento del prodotto e, quindi, a contenerne le potenziali perdite nelle fasi precedenti al consumo. In caso contrario, i benefici della riduzione dell’imballaggio potrebbero essere bilanciati da un incremento degli impatti di tali perdite. Si ritiene comunque che questo aspetto assuma maggior rilevanza nel caso in cui anche il prodotto sfuso venga conferito alla GDO, dove non è garantita la vendita prima del deperimento, mentre sia di secondaria importanza nel caso in esame, visti i tempi ridotti che verosimilmente intercorrono tra la preparazione delle cassette consegnate ai GAS e il consumo finale.

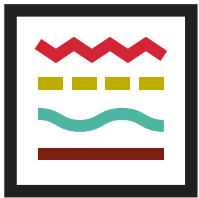
5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Asman W.A.H. (1992) Ammonia emission in Europe: updated emission and emission variations. National Institute for Public Health and Environmental Protection Report, Bilthoven.
- Consiglio dell’Unione Europea (2007) Regolamento (CE) n. 834/2007 del Consiglio del 28 giugno 2007 relativo alla produzione biologica e all’etichettatura dei prodotti biologici e che abroga il regolamento (CEE) n. 2092/91. Gazzetta Ufficiale dell’Unione Europea, L 189, 20 luglio 2007.
- EC-JRC (2011) Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context- based on existing environmental impact assessment models and factors. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. European Commission Joint Research Centre -Institute for Environment and Sustainability-, Ispra.
- Faist Emmenegger M., Reinhard J., Zah R. (2009) Sustainability Quick Check for Biofuels – intermediate background report. EMPA, Dübendorf.
- FAO (1999) Salient trends in world agricultural production, demand, trade and food security. FAO symposium on agriculture, trade and food security: issues and options in the forthcoming WTO negotiations from the perspective of developing countries. Ginevra, 23-24 settembre 1999.

- Flisch R., Sinaj S., Charles R., Richner W. (2009). GRUDAF 2009 – Grundlagen für die Düngung im Acker und Futterbau. *Agrarforschung* 16 (2): 1-97.
- Freiermuth R. (2006) Modell zur Berechnung der Schwermetallflüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz – SALCA-Schwermetall. *Agroscope, Reckenholz*.
- Hester R.E. e Harrison R.M. (2012) *Issues in Environmental Science and Technology: Environmental Impacts of Modern Agriculture*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Hischier R., Weidema B., Althaus H.J., Bauer C., Doka G., Dones R., Frischknecht R., Hellweg S., Humbert S., Jungbluth N., Köllner T., Loerincik Y., Margni M., Nemecek T. (2010) *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods*. ecoinvent report No. 3, v2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Hokazono S. e Hayashi K. (2012) Variability in environmental impacts during conversion from conventional to organic farming: a comparison among three rice production systems in Japan. *Journal of Cleaner Production* 28: 101-112.
- IPCC (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Report prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Program, Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K (eds). Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ISO (2006a) *ISO 14040: Environmental management -Life cycle assessment- Principles and framework*. International Organisation for Standardisation, Geneva.
- ISO (2006b) *ISO 14044: Environmental management -Life cycle assessment- Requirements and guidelines*. International Organisation for Standardisation, Geneva.
- Legge n. 4 (2011) *Legge 3 febbraio 2011, n. 4: Disposizioni in materia di etichettatura e di qualità dei prodotti alimentari*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Serie Generale – n. 41 del 19 febbraio 2011.
- Masoni A. e Pampana S. (2004) *Fertilizzazione azotata dei cereali autunno-vernini*. Tipolito Falossi Ed., Venturina.
- Meisterling K., Samaras C., Schweizer V. (2009) Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. *Journal of Cleaner Production* 17 (2): 222-230.
- Milà i Canals L., Romanyà J., Cowell S.J. (2007) Method for assessing impacts on life support functions (LSF) related to the use of 'fertile land' in Life Cycle Assessment (LCA). *Journal of Cleaner Production* 15: 1426-1440.
- Milà i Canals L., Muñoz I., Hospido A., Plassmann K., McLaren S. (2008) *Life Cycle Assessment (LCA) of domestic vs. imported vegetables: case studies on broccoli, salad crops and green beans*. Centre for Environmental Strategy of the University of Surrey, Working Paper 01/08, Guildford (Surrey).
- MIPAAF (2014a) *Linee guida nazionali per la produzione integrata delle colture: difesa fitosanitaria e controllo delle infestanti*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Gruppo difesa integrata (GDI).
- MIPAAF (2014b) *Principi e criteri generali per le pratiche agronomiche della produzione integrata (ex- linee guida per le pratiche agronomiche della produzione integrata – versione 1.15)*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Gruppo Tecniche Agronomiche (GTA).
- Nemecek T. e Kägi T. (2007) *Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems*. Final report ecoinvent V2.0 No. 15a. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich e Dübendorf.
- Nemecek T. e Schnetzer J. (2011) *Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems*. Data v3.0 (2012). Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Zurich.
- Nemecek T., Schnetzer J., Reinhard J. (2014) *Updated and harmonised greenhouse gas emissions for crop inventories*. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 00: 1-18.
- Prasuhn V. (2006) *Erfassung der PO4-Austräge für die Ökobilanzierung – SALCA-Phosphor*. Agroscope, Reckenholz.
- Regione Lombardia (2013) *Il ruolo dell'agricoltura conservativa nel bilancio del carbonio: AgriCO₂coltura*. Quaderni della ricerca n. 153 – giugno 2013.
- Regione Lombardia (2014) *Sistemi di produzione integrata nelle filiere agroalimentari – Norme tecniche agronomiche per i Regolamenti 1182/07/CE, 1234/07/CE, 543/11/UE, 1308/13/UE*.
- Renzulli P.A., Bacenetti J., Benedetto G., Fusi A., Ioppolo G., Niero M., Proto M., Salomone R., Sica D., Supino S. (2015) *Life Cycle Assessment in the Cereal and derived Products Sector*. In: Notarnicola B., Salomone R., Petti L., Renzulli P.A., Roma R., Cerutti A.K. (a cura di), *Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector: Case Studies, Methodological Issues and Best Practices*. Heidelberg: Springer, 185-249.
- Rigamonti L. e Grosso M. (2009). *Riciclo dei rifiuti: analisi del ciclo di vita dei materiali da imballaggio*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- Venkat K. (2012) *Comparison of twelve organic and conventional farming systems: a life cycle greenhouse gas emissions perspective*. *Journal of Sustainable Agriculture* 36 (6): 620-649.
- Walls M. (2006) *Agriculture and Environment*. SCAR Foresight Group of the European Commission.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i titolari delle aziende agricole e di trasformazione esaminate, che grazie alla loro disponibilità e cortesia hanno reso possibile il presente studio.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2016 è sostenuta da:

