



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

QUANTIFICAZIONE DEI RESIDUI DELL'INDUSTRIA DEL POMODORO E LORO VALORIZZAZIONE

TIPO TESI: compilativa

Studente:
BEATRICE BERNARDI

Relatore:
PROF. DANIELE DUCA

Correlatore:
DOTT. ALESSIO ILARI

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

A tutte le persone che ho incontrato finora,
che mi hanno reso ciò che sono oggi.
Nel bene e nel male
grazie ad ogni uno di voi.

A mamma e papà,
che la luce possa sempre splendere
nei vostri occhi,
la leggerezza
nei vostri cuori.

SOMMARIO

SOMMARIO	1
ELENCO DELLE TABELLE.....	3
ELENCO DELLE FIGURE	4
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	5
CAPITOLO 1 IL POMODORO: TRASFORMAZIONE E COMMERCIO	7
1.1 Il pomodoro.....	7
1.2 Industria del pomodoro	8
1.2.1 Le fasi comuni	8
1.2.2 La linea del succo	10
1.2.3 La linea dei pezzi e interi.....	11
1.3 Produzione di pomodoro in Italia.....	11
1.4 Commercio in Italia	13
1.4.1 Vendita al dettaglio	13
1.4.2 Esportazioni dall'Italia.....	14
CAPITOLO 2 SPRECO ALIMENTARE E SOTTOPRODOTTI DEL POMODORO	15
2.1 Lo spreco alimentare l'Obiettivo Sostenibile (SDG)	15
2.1.1 Economia circolare	16
2.1.2 Cos'è un sottoprodotto? La normativa UE	16
2.1.3 Lo spreco nel reparto ortofrutticolo	17
2.2 I sottoprodotti del pomodoro.....	19
CAPITOLO 3 VALORIZZAZIONE DEI RESIDUI DEL POMODORO	22
3.1 Estrazione di molecole bioattive	22
3.1.1 Estrazione del licopene	22
3.2 Olio di semi di pomodoro	25
3.2.1 Applicazione dell'olio di semi di pomodoro	27
3.3 Valorizzazione energetica	27
3.4 Biomateriali e biopolimeri	29

3.5 Produzione di mangimi	31
3.5.1 Nutrizione con sottoprodotti del pomodoro in ruminanti in lattazione.....	31
CAPITOLO 4 CICLO DI VITA E SOSTENIBILITÀ	34
4.1 Le fasi di uno studio LCA.....	35
4.2 Casi studio sul ciclo di vita del pomodoro e dei suoi sottoprodotti	36
4.2.1 Analisi dell’impatto ambientale per la valorizzazione del residuo del pomodoro in California, un caso studio.	37
4.2.2 Utilizzo del residuo del pomodoro per imballaggi alimentari in metallo sostenibili.....	39
CONSIDERAZIONI	42
CONCLUSIONI	46
BIBLIOGRAFIA	48
RINGRAZIAMENTI	52

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Proprietà fisiche e chimiche dei residui di pomodori (Journal of Environmental Management, 2021) ¹⁷	20
Tabella 2: Licopene analizzato in epicarpo, semi e polpa di pomodoro (Food Bioscience, 2022) ¹⁰	22
Tabella 3: Composizione approssimativa dei semi di pomodoro ²⁰ (Journal of Agriculture and Food Research).....	25
Tabella 4: Composizione di acidi grassi nel TSO ²⁰ (Journal of Agriculture and Food Research).....	26
Tabella 5: Risultati variazione tra i due scenari ²⁶ (Science of The Total Environment)..	29
Tabella 6: Produzione di latte al giorno in base al livello di inclusione del residuo del pomodoro (Alternative feeds and feeding systems in small ruminant production and health).....	32
Tabella 7: Composizione chimica del latte in base al livello di inclusione del residuo del pomodoro (Alternative feeds and feeding systems in small ruminant production and health).....	32
Tabella 8: Costi della dieta in base al livello di inclusione del residuo del pomodoro (Alternative feeds and feeding systems in small ruminant production and health)	33
Tabella 9: Impatto GWP per gli opzioni scenari 1, 2, 3 (Journal of Cleaner Production).38	
Tabella 10: PED per gli scenari 1, 2, 3 (Journal of Cleaner Production).....	39
Tabella 11: Comparazione scenario innovativo e scenario comparabile prendendo in considerazione alcune categorie di impatto (Journal of Cleaner Production) ²⁹	40
Tabella 12: Comparazione scenario innovativo e scenario comparabile prendendo in considerazione alcune categorie per la salute umana (Journal of Cleaner Production) ²⁹	40
Tabella 13; Composizione del residuo del pomodoro, bucce e semi (Tomato Processing by-Products) ⁴¹	42
Tabella 14: Valorizzazione e quantificazione in base al tipo di prodotto del pomodoro..	44

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1: Pomodori in varie fasi di maturazione (Wikipedia)	8
Figura 2: Ricevimento e Cernita (fbr-elpo.it)	9
Figura 3: Schema sintetico derivati del pomodoro (“Il pomodoro”, Coltura e Coltura)...	10
Figura 4: Produzione mondiale di pomodoro da industria – in 1.000 tonnellate (elaborazione ISMEA su dati WPTC).....	12
Figura 5: Resa areica di produzione in Italia in 100kg/ettaro (elaborazione ISMEA su dati WPTC)	13
Figura 6: Diagramma sulla ripartizione dei prodotti del pomodoro maggiormente venduti	14
Figura 7: Percentuali di rifiuti durante le diverse fasi e nei diversi continenti ³ (Bioresource Technology Reports vol. 18, 2022).....	18
Figura 8: Sottoprodotti del pomodoro.....	19
Figura 9: Stato supercritico (Wikipedia).....	24
Figura 10: Rappresentazione produzione ed utilizzo biogas (Fonte: Biomassapp)	28
Figura 11: Spreco alimentare lungo tutta la filiera agricola.....	34
Figura 12: Schema di analisi del ciclo di vita secondo la normativa ISO (Fonte: Apulianws)	36

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Spinta dalla crescita della domanda mondiale di prodotti alimentari primari, la produzione agricola, è stata portata a ritmi molto elevati così come il consumo di prodotti trasformati aumenta ogni anno. I residui provenienti da queste attività raggiungono circa un terzo della produzione mondiale di cibo e nella maggioranza dei casi finiscono in discariche e corpi idrici, causando problemi ambientali e sanitari. Oltre ciò bisogna fare luce anche sull'utilizzo di acqua, suolo, energia e nonché le emissioni di gas serra prodotte.

Il pomodoro è la seconda coltura orticola più prodotta al mondo e causa milioni di tonnellate di sottoprodotti. Questo frutto presenta numerose proprietà benefiche sia per la salute dell'uomo che per il suo metabolismo.

Un vegetale notevolmente coltivato in quanto può esser consumato in diverse forme: fresco intero o tagliato a pezzetti, passata, fiocchi di pomodoro, sottoforma di pelati, dai concentrati fino ai triplo-concentrati, arrivando sino alla famosa salsa ketchup.

Sono presenti nell'industria del pomodoro tantissimi tipi di prodotti che sono ricavabili da questa materia prima. Tuttavia, come sono abbondanti le possibilità di trasformazione, sono altresì elevate le quantità di rifiuti che queste industrie generano.

I sottoprodotti del pomodoro, in inglese by-products, sono definiti con il termine "cascami". Al giorno d'oggi questi apparenti rifiuti vengono riutilizzati e vedono applicazioni in diversi campi.

A partire dall'industria della cosmetica, mangimistica per zootecnia ed applicazione alimentare fino ad arrivare al recupero di composti bioattivi antiossidanti e biopolimeri e alla produzione di energia termica o elettrica. Possono altresì essere utilizzati come rivestimento del packaging metallico, come integratori alimentari e compost.

Sono numerose le ricerche disponibili per approfondire quanto più possibile la conoscenza della valorizzazione dei "rifiuti" dato il maggior interesse verso l'applicazione dell'economia circolare.

Lo scopo di questa tesi è di porre, inizialmente, un'idea generale su quel che è il pomodoro da industria dato che è proprio da lì che si ricava la maggior parte del sottoprodotto in

questione. Successivamente verrà descritta la produzione del pomodoro in Italia, con accenno alla produzione mondiale.

È stato valutato importante determinare, all'interno di questo elaborato, cosa si intendono con spreco alimentare ed economia circolare, in modo tale da sensibilizzare l'argomento e sottolineare l'importanza di ridurre al minimo il quantitativo di cibo perso.

Si passerà poi ad elencare vari metodi di valorizzazione del residuo del pomodoro concludendo con studi che valutano la sostenibilità di questi processi attraverso il metodo del ciclo di vita (LCA).

Capitolo 1

IL POMODORO: TRASFORMAZIONE E COMMERCIO

1.1 Il pomodoro

Il pomodoro, appartenente alla famiglia delle Solanacea, è una pianta perenne, anche se la maggior parte dei produttori la coltiva come annuale.

Le varietà di pomodori da produzione e lavorazione include 300 varietà di specie in Italia, mentre nel mondo sono più di 1700: solo 60 di queste ultime sono però le tipologie utilizzate per il commercio ortofrutticolo. Il pomodoro rientra nella categoria di frutto botanico in quanto al suo interno contiene semi e perché cresce dal fiore della propria pianta. È la seconda coltura orticola più importante dopo la patata al mondo, difatti, la produzione attuale è di circa 37,3 milioni di tonnellate di frutta fresca (ISMEA, 2022) da più milioni di ettari.

Questo vegetale fu introdotto in Europa da Cristoforo Colombo con la scoperta del nuovo mondo ma solo con il tempo venne apprezzato per il suo sapore e le numerose applicazioni.

I frutti, che sono nominati anche come bacche, sono tipicamente rossi, di forma sferoidale e vengono utilizzati largamente in moltissimi paesi. Rappresenta la coltura orticola fra le più importanti per uso industriale. Ed è proprio dall'impiego del pomodoro nell'industria che è nato il settore conserviero, aprendo un panorama di estrema importanza per il manifatturiero italiano.

Esso è oramai disponibile tutto l'anno vista la facilità nella trasformazione e conservazione. Possiamo definirlo come primo ortaggio ad essere destagionalizzato vista l'elevata richiesta da parte dei consumatori anche nei mesi freddi. Se, invece, non c'è la possibilità di consumarlo fresco, è sufficiente utilizzare i pomodori in scatola pelati, le conserve, la passata e tanto altro.



Figura 1: Pomodori in varie fasi di maturazione (Wikipedia)

1.2 Industria del pomodoro

La produzione del pomodoro è un argomento molto ampio in quanto è una delle colture più importanti e diffuse a livello mondiale. Le informazioni generali sul pomodoro comprendono:

- origini e diffusione;
- varietà;
- coltivazione;
- ciclo di crescita;
- raccolta e la lavorazione;
- importanza economica e nutrizionale;
- sostenibilità.

In questo capitolo andremo a trattare nello specifico la lavorazione di questo ortaggio, ovvero le fasi di trasformazione industriale, tra le quali ne troviamo alcune in comune e altre specifiche legate al prodotto da realizzare (concentrato, passata, pelato, succo da bere, polpe, ecc.).

1.2.1 Le fasi comuni

La lavorazione del pomodoro avviene appena dopo la raccolta. Le bacche vengono prese dalla pianta quando sono mature, in modo manuale o meccanico, a seconda della scala di produzione. Vengono quindi destinate a diverse trasformazioni.

La produzione è un processo complesso che coinvolge diverse fasi dalle quali si possono ottenere vari prodotti finali, spesso molto diversi fra loro. Le molteplici trasformazioni comprendono operazioni preliminari comuni appena dopo la raccolta.

1) Conferimento

Il conferimento, ovvero il ricevimento della materia prima, può avvenire in cassette di legno, bins o alla rinfusa.

2) Valutazione del frutto e pesatura

In questa fase vengono effettuate diverse analisi. Viene valutato l'ammontare di prodotti estranei (frutti verdi, terra e sassi) e pomodori con leggeri difetti per stabilire se le percentuali rientrano nei limiti massimi consentiti. Si esamina il residuo zuccherino e infine la partita viene pesata.

3) Scarico

I bins vengono scaricati con carrelli elevatori e stoccati temporaneamente nei piazzali. Il frutto può essere conferito alla rinfusa e in tal caso vengono attraversati da forti getti d'acqua i quali li fanno cadere in appositi canali pieni d'acqua. Questo permette di eliminare parte del materiale inessenziale (sassi, sabbia o fango).

4) Stoccaggio temporaneo del pomodoro

5) Invio alle linee del pomodoro

6) Lavaggio

Successivamente al prelavaggio in vasche piene d'acqua viene effettuata questa fase che è indispensabile per eliminare le sostanze estranee (parti vegetali verdi e frutti non idonei). Il frutto attraversa due vasche; la prima grazie ad aria sotto pressione agita il pomodoro e permette una pulizia accurata e in seguito cade in una vasca piena d'acqua pulita.

7) Cernita

Le bacche alterate, non già precedentemente eliminate, vengono rimosse nella fase di cernita, specialmente i pezzi ammuffiti o con marciume.



Figura 2: Ricevimento e Cernita (fbr-elpo.it)

Questi pezzi sono asportati manualmente dal personale (figura 2) e vengono allontanati tramite nastri meccanici, oppure si può ricorrere all'utilizzo di selezionatrici ottiche.

In seguito, alle fasi preliminari comuni, si susseguono delle fasi specifiche per ogni produzione (figura 3).

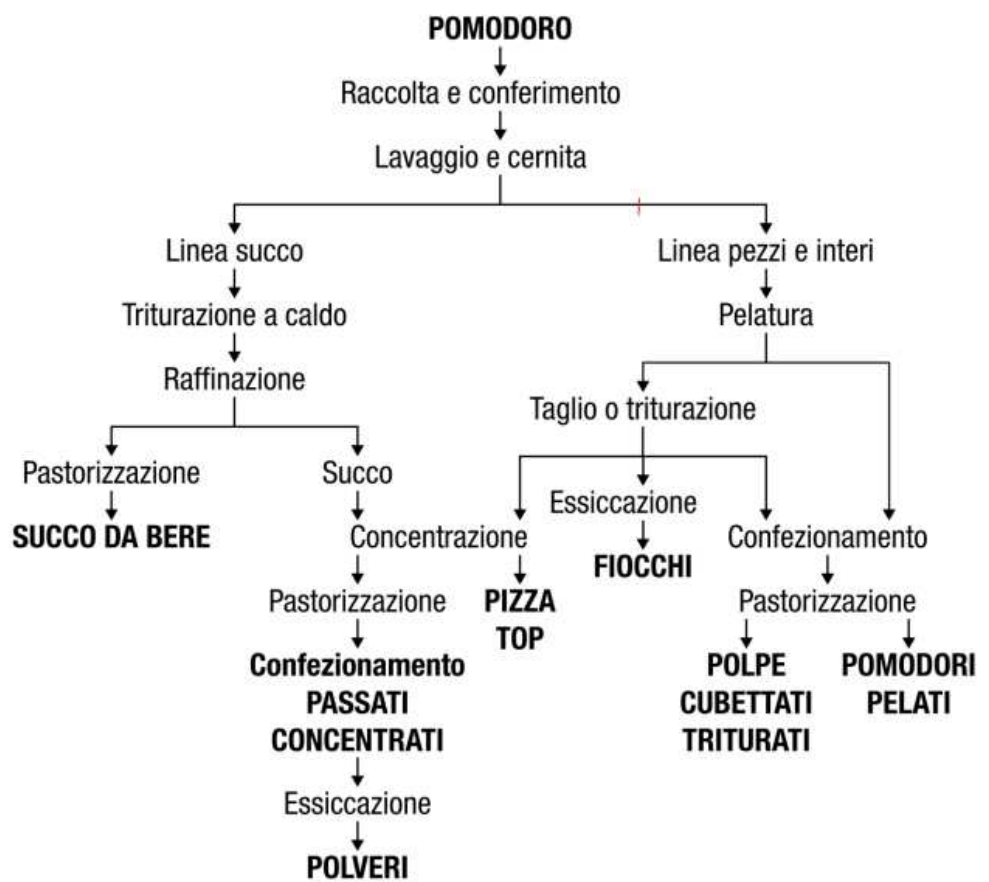


Figura 3: Schema sintetico derivati del pomodoro (“Il pomodoro”, Coltura e Coltura)

1.2.2 La linea del succo

I concentrati e le passate di pomodoro, così come il succo da bere e le polveri, vengono prodotti attraverso la linea del succo. Inizialmente il prodotto subisce una triturazione, poi si effettua

la scottatura in una brovatrice nella quale la temperatura oscilla tra i 60-75°C nel metodo cold-break fino ad arrivare anche ai 100°C nel metodo hot-break.

L'obiettivo della scottatura è facilitare il distacco della buccia nella successiva fase estrattiva. A seconda della temperatura, e quindi dell'obiettivo da perseguire otterremo un prodotto con caratteristiche diverse. La massa tritata viene forzata a passare, attraverso l'azione centrifuga provocata da un sistema rotante di sbarre metalliche, attraverso lamiere forate cilindriche o tronco coniche, con setacci dai fori progressivamente sempre più piccoli (da 1,2 a 0,5 mm). I setacci sono fondamentali al fine di separare le bucce e i semi dal succo, i quali vengono raccolti e venduti come mangime animale o per uso energetico.

Il succo ottenuto può essere pastorizzato per essere pronto come succo da bere oppure concentrato e pastorizzato per ottenere le passate.

1.2.3 La linea dei pezzi e interi

Nella linea di polpe e pomodori pelati per quanto riguarda la produzione di pelati vengono utilizzati bacche dalla forma allungata (tipo San Marzano) mentre per la produzione della polpa non è obbligatorio partire da questo tipo di pomodoro. È necessario effettuare la pelatura in entrambe i casi. I frutti prima sottoposti a scottatura a 130-140°C in una camera pressurizzata con vapore acqueo, vengono poi spostati in un altro ambiente sottovuoto dove subiscono una evaporazione flash. In tal modo la buccia si distaccherà facilmente e potrà quindi essere asportata.

Ai pomodori pelati che vengono inscatolati viene aggiunto succo o semiconcentrato. I barattoli vengono riscaldati a una temperatura superiore ai 50°C in modo tale da eliminare l'aria inglobata tra i frutti, prevenendo i possibili danni da parte dell'ossigeno, successivamente avviene la pastorizzazione e il raffreddamento.

La polpa è un prodotto che si pone in alternativa ai pelati. La fase che li differenziano consiste solo nella triturazione del pomodoro.

1.3 Produzione di pomodoro in Italia

Secondo il rapporto ISMEA (Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare) pubblicato a dicembre 2022, il WPTC (World Processed Tomato Council) stima per il 2022 una produzione mondiale di circa 37,3 milioni di tonnellate di pomodoro destinato alla

trasformazione. L'Italia è il primo produttore nell'area del Mediterraneo e il terzo produttore di pomodoro da industria nel mondo.

Come possiamo notare dalla figura 4 la California è la principale area produttiva, con 9,5 milioni di tonnellate e vanta un quarto della produzione mondiale; a seguire si posiziona la Cina con il 17% e al terzo posto si colloca l'Italia con il 15%.

In Italia la superficie investita a pomodoro da industria è diminuita dell'8,4% dal 2021 al 2022 ma nonostante la rilevante diminuzione non è particolarmente preoccupante essendo ancora nella media degli investimenti dell'ultimo decennio. I principali motivi sono la scarsa disponibilità di acqua, i rincari energetici e concimi e l'aumento dei costi di coltivazione.

	2019	2020	2021	2022	QUOTA 2022
MONDO	37.206	38.402	39.184	37.257	100%
California	10.144	10.258	9.761	9.525	26%
Cina	4.600	5.800	4.800	6.200	17%
Italia	4.802	5.166	6.059	5.476	15%
Turchia	2.200	2.500	2.200	2.350	6%
Spagna	3.200	2.650	3.185	2.100	6%
Brasile	1.200	1.421	1.525	1.500	4%
Portogallo	1.410	1.262	1.596	1.330	4%
Iran	1.650	1.300	1.300	1.196	3%
Cile	1.100	907	1.174	971	3%
Tunisia	815	961	940	610	2%
Altri	6.085	6.177	6.644	5.995	16%
MONDO	37.206	38.402	39.184	37.257	100%

Figura 4: Produzione mondiale di pomodoro da industria – in 1.000 tonnellate (elaborazione ISMEA su dati WPTC)

I pomodori sono uno degli ortaggi più consumati nella regione mediterranea e molte varietà vengono coltivate sia per il consumo fresco che per la lavorazione industriale.

Al 2022, la resa media nazionale si è attestata a 84,0 tonnellate per ettaro coltivato; nel bacino Sud è stata notata un lieve aumento della percentuale su base annua (1%) mentre nel bacino Nord la resa media è calata del 2,8% rispetto al 2021 ma comunque in positivo nell'ultimo triennio (figura 5). In Italia, dal punto di vista geografico, è la Sicilia a guidare le produzioni con oltre il 34% del totale italiano. Segue il Lazio con il 14% del totale, di cui il 77% è rappresentato da produzioni in serra. Al terzo e quarto posto ci sono la Campania (12%) e la Puglia (11%).

	2019	2020	2021	2022	Var. % 2022 vs 2021	Var. % 2022 vs media 2019-21
ITALIA	743	788	852	840	-1,4%	5,8%
Bacino Nord	648	742	801	779	-2,8%	6,7%
Bacino Centro-Sud	868	849	912	920	1,0%	5,1%

Figura 5: Resa areica di produzione in Italia in 100kg/ettaro (elaborazione ISMEA su dati WPTC)

Puglia (36%) ed Emilia-Romagna (30%) sono i leader indiscussi nella produzione di pomodoro da industria.

1.4 Commercio in Italia

Secondo dati ISMEA del 2021, il fatturato industriale di questa filiera ammonta a circa 3,7 miliardi di euro, di cui 1,9 provengono dalle esportazioni. L'Italia si conferma difatti il primo paese produttore di conserve di pomodoro destinate direttamente al consumatore finale e il 60% di quanto lavorato in Italia viene esportato.

Il settore del pomodoro trasformato rappresenta un settore strategico sia per quantità prodotte (secondo produttore di pomodoro al mondo dopo gli Usa e rappresenta il 13,6% della produzione mondiale e il 49% di quella europea) che per volumi di fatturato, pari a 3,15 miliardi di euro¹.

1.4.1 Vendita al dettaglio

Nel 2021/2022 è stata segnata una riduzione degli acquisti del 4,1% rispetto al 2020/2021, che fu caratterizzata da una stagione commerciale condizionata dalle restrizioni causate dall'emergenza Covid-19.

Le tipologie di conserve di pomodoro più acquistate in Italia sono le passate e le polpe che concentrano circa i tre quarti dei quantitativi e il 54% della spesa complessiva. A seguire, tra i prodotti più venduti si piazzano i sughi pronti e i pomodori pelati. Infine, le conserve di pomodorini, il concentrato di pomodoro e i sughi freschi (figura 6).

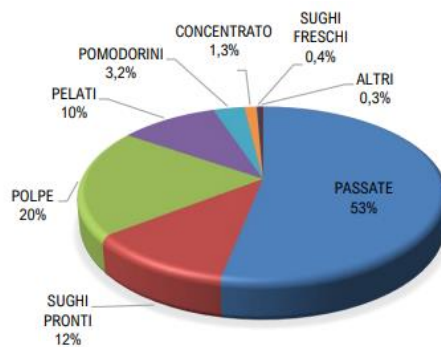


Figura 6: Diagramma sulla ripartizione dei prodotti del pomodoro maggiormente venduti

1.4.2 Esportazioni dall'Italia

I prodotti ortofrutticoli italiani che vantano i risultati migliori sono le conserve di pomodoro. Infatti, nell'ultimo anno 2021/2022, il guadagno dell'Italia ha superato la cifra record di 2,2 miliardi di euro grazie alle esportazioni per oltre 4,3 milioni di tonnellate, espresso in peso equivalente di pomodoro fresco.

Verso l'Unione Europea è destinato il 50% delle esportazioni italiane di conserve di pomodoro anche se sono circa 180 i paesi che acquistano i prodotti dall'Italia. La Germania (29,1%) è il primo cliente e vale da sola circa un quinto degli incassi generati dalle esportazioni. In seconda posizione l'Austria (17,6%), terza posizione il Regno Unito (8,4%) con un incremento sia in termini quantitativi sia di valore monetario. Francia e USA seguono, ed infine i Paesi Bassi con un aumento del 34%, rispetto l'anno precedente.

Capitolo 2

SPRECO ALIMENTARE E SOTTOPRODOTTI DEL POMODORO

2.1 Lo spreco alimentare l'Obiettivo Sostenibile (SDG)

Con il termine “spreco alimentare”, secondo la FAO (Food and Agriculture Organization), si intende la diminuzione della quantità o qualità di alimenti dovuta a decisioni e azioni dei venditori al dettaglio, dei fornitori di servizi di ristorazione e dei consumatori. Mentre con il termine “perdite alimentari” si indicano quei rifiuti ottenuti durante le fasi di produzione agricola, post-raccolta e trasformazione degli alimenti.

In tutto il mondo, circa il 14% del cibo mondiale, per un valore di 400 miliardi di dollari, viene perso tra il raccolto e il mercato al dettaglio (FAO 2019), corrispondente nell'UE a circa 87,6 milioni di tonnellate di alimenti l'anno che si traduce in 173kg a persona ogni anno. È importante limitare gli sprechi alimentari in modo tale da contribuire a combattere la fame nel mondo e i problemi causati dai cambiamenti climatici.

La quantificazione dei livelli di spreco alimentare in Europa (ultima stima di Eurostat, 2022) rivela che il 69% degli sprechi alimentari dell'UE si verifica nei settori a livello domestico, dei servizi di ristorazione e della vendita al dettaglio, mentre i settori di produzione e trasformazione contribuiscono per il restante 31%.

Per dimezzare lo spreco alimentare globale pro capite e ridurre le perdite alimentari lungo la produzione alimentare entro il 2030, l'Unione Europea, si impegna a raggiungere l'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile (SDG), adottato nel settembre del 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU. È un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità che ingloba 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile – Sustainable Development Goals, SDGs – in un grande programma d'azione per un totale di 169 ‘target’ o traguardi. La lotta alla povertà, l'eliminazione della fame e il contrasto al cambiamento climatico, per citarne solo alcuni.

2.1.1 Economia circolare

Proprio per quanto descritto fino ad ora, è importante adottare un tipo di economia circolare, ovvero un modello di produzione e consumo che implica condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e riciclo dei materiali e prodotti esistenti il più a lungo possibile (<https://www.europarl.europa.eu>). Nel corso degli ultimi due secoli, la progressiva industrializzazione del settore agroalimentare ha generato un sistema improntato su un modello lineare di produzione e consumo caratterizzato da un uso intensivo delle risorse, ma sempre meno sostenibile. Recentemente il settore alimentare è stato criticato per il suo impatto negativo sull'ambiente, sostenendo che l'allevamento e il settore agricolo più in generale rappresentano una delle principali cause del cambiamento climatico, della perdita di biodiversità e dell'inquinamento in tutto il mondo.²

In tale contesto, l'economia circolare appare capace di ridurre le criticità del sistema agroalimentare e si pone l'obiettivo di una sostenibilità a medio e lungo termine. In risposta a queste problematiche, i principi dell'economia circolare potrebbero incoraggiare il passaggio a un sistema alimentare più sostenibile attraverso lo sviluppo di pratiche volte a ridurre la quantità di sprechi alimentari generati, valorizzare le perdite alimentari e, più in generale, rigenerare i sistemi naturali utilizzando sottoprodotti, riciclaggio e upcycling.³

2.1.2 Cos'è un sottoprodotto? La normativa UE

La direttiva 2008/98/CE del parlamento Europeo e del consiglio del 19 novembre del 2008, "relativa ai rifiuti", stabilisce misure volte a proteggere l'ambiente e la salute umana prevenendo o riducendo gli impatti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti, riducendo gli impatti complessivi dell'uso delle risorse e migliorandone l'efficacia (<https://eur-lex.europa.eu/>).

La normativa presenta diversi punti chiave, come;

- prevenzione;
- preparazione per il riutilizzo;
- riciclaggio;
- smaltimento;
- altro recupero (per esempio energia);
- gerarchia dei rifiuti;
- piano di gestione dei rifiuti;
- condizioni che si applicano ai rifiuti pericolosi, oli usati, rifiuti organici;
- obiettivi di riciclaggio e recupero;

- distingue i rifiuti dai sottoprodotti.

All'interno della direttiva viene descritta la differenza tra un sottoprodotto e un rifiuto. La normativa chiarisce: “quando sostanze od oggetti derivanti da un processo di produzione che non ha come obiettivo primario la loro produzione sono sottoprodotti e non rifiuti. La decisione che una sostanza non è un rifiuto può essere presa solo sulla base di un approccio coordinato, da aggiornare regolarmente, e dove ciò sia coerente con la protezione dell'ambiente e della salute umana”.

Mentre un rifiuto è qualsiasi sostanza o oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi, il sottoprodotto è definito come una sostanza o un oggetto che risulta da un processo di produzione il cui scopo primario non era la produzione di tale sostanza o oggetto. Bensì viene classificato tale solo se soddisfa le seguenti condizioni:

1. è certo che la sostanza o l'oggetto sarà ulteriormente utilizzata/o;
2. la sostanza o l'oggetto può essere utilizzata/o direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
3. la sostanza o l'oggetto è prodotta/o come parte integrante di un processo di produzione e
4. l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

2.1.3 *Lo spreco nel reparto ortofrutticolo*

Spinta dalla domanda mondiale di prodotti alimentari primari, la produzione agricola è portata a ritmi molto elevati, mentre il consumo di prodotti alimentari trasformati aumenta ogni anno.

La frutta e verdura sono le colture maggiormente utilizzate al mondo in termine di volume ed ogni anno vengono raccolti circa 765 milioni di tonnellate di frutta. La produzione globale di frutta è più che raddoppiata, passando da 400 milioni di tonnellate nel 1990 a 865 milioni di tonnellate nel 2017. Nel corso di questi anni è cresciuta la produzione agricola che ha comportato enormi sprechi e perdite raggiungendo circa 1/3 del cibo prodotto a livello mondiale per un totale di 1,3 miliardi di tonnellate di cui circa 88 milioni in Europa⁴.

Tutto ciò avviene mentre il consumo di prodotti alimentari trasformati aumenta ogni anno.

Secondo uno studio condotto dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura del 2019 (FAO, 2019), le perdite post-raccolta globali di frutta e verdura hanno raggiunto il 20%, seconde solo a quelle di radici, tuberi e colture oleose (25%) ⁵.

Le cause più comuni della produzione dei rifiuti sono la manipolazione inadeguata o il deterioramento fisiologico.

Le perdite di frutta e verdura nei paesi a reddito medio-alto si verificano principalmente nelle fasi a monte della catena di approvvigionamento alimentare, ovvero nelle fasi post-raccolta e di lavorazione ed oltre il 40% delle perdite di frutta e verdura si verifica a livello di vendita al dettaglio e da parte del consumatore. Mentre nei paesi in via di sviluppo, le perdite di frutta e verdura si verificano principalmente nelle fasi a monte, nelle fasi post-raccolta e di lavorazione (figura 7). ³

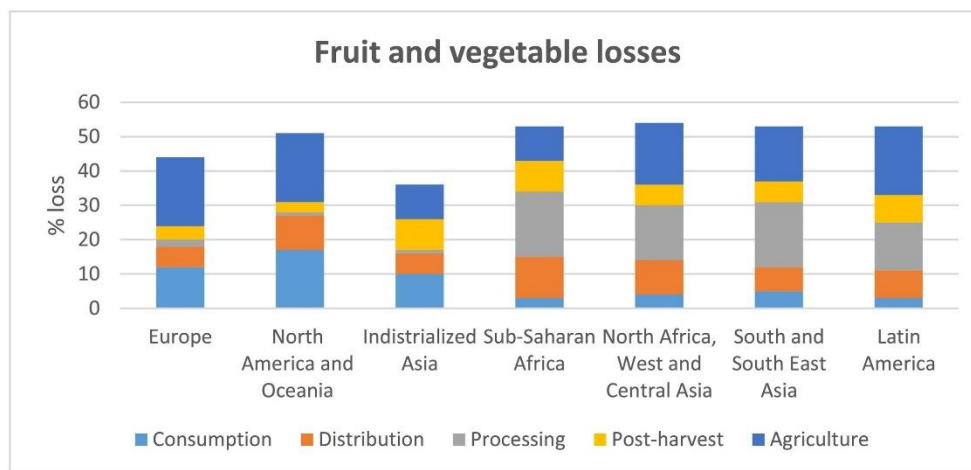


Figura 7: Percentuali di rifiuti durante le diverse fasi e nei diversi continenti ³
(Bioresource Technology Reports vol. 18, 2022)

Secondo alcuni studi nazionali, promossi dall'UE, verdura e frutta fresca contribuiscono al 50% dello spreco alimentare generato dalle famiglie. ⁶

Le cause della generazione dei rifiuti evitabili sono basate sulle scelte comportamentali dei consumatori (ad esempio conservazione dei prodotti per tempi prolungati o scarsa pianificazione). A sua volta, il comportamento dei consumatori è influenzato da fattori personali (ad esempio dimensioni del nucleo familiare o abilità culinarie), dalle caratteristiche del prodotto (come le proprietà della confezione) o dal contesto sociale più ampio (ad esempio stili di vita frenetici o l'elevata disponibilità di cibo).

2.2 I sottoprodotti del pomodoro

La produzione di cibo e, in generale, di prodotti agroalimentari è responsabile di un impatto sull'ambiente che non può essere trascurato. È importante considerare che i rifiuti della catena di approvvigionamento alimentare rappresentano una risorsa abbondante con un potenziale significativo per essere utilizzata come materia prima per la produzione di carburante e altri composti e sostanze industrialmente validi ⁷.

La lavorazione del pomodoro produce una quantità elevata di rifiuti (5-30% del prodotto principale⁸) in diverse fasi (figura 8).



Figura 8: Sottoprodotti del pomodoro

La grande maggioranza degli scarti vengono recuperati in quanto presentano un'elevata qualità.

I rifiuti sono costituiti maggiormente dai “cascami” che vanno a costituire il 3-5% della composizione media del frutto intero⁹. Gli scarti contengono importanti molecole bioattive, di interesse per l'industria alimentare, farmacologica, biotecnologica e cosmetica¹⁰.

I sottoprodotti ottenuti dalla lavorazione di questi frutti sono: bucce, semi e polpa che costituisce la parte principale della massa residua che esce dallo spappolatore ma anche eventuali frutti danneggiati, marci o poco maturi e i rami delle piante.

Il residuo del pomodoro di pomodoro è considerato semplicemente un prodotto di scarto, spesso sottoutilizzato e quindi viene perso il suo potenziale valore¹¹.

Questa contiene circa il 30% di semi, il 30% di buccia e circa il 40% di polpa mentre il residuo presentano delle caratteristiche importanti; i semi hanno una buona quantità di proteine e lipidi mentre la buccia viene utilizzata per estrarre un pigmento rosso, il licopene¹³, che fa parte della famiglia dei carotenoidi insieme al β -carotene.

Le proteine presenti all'interno dei semi sono ricche di lisina, circa 80-100 g/kg, aiutando l'integrazione di prodotti carenti di questo amminoacido, come i cereali. Inoltre, nessun fattore antinutrizionale o dannoso è riportato nei semi¹⁴.

Il licopene è un eccellente colorante alimentare naturale e funge anche da micronutriente con importanti benefici per la salute; secondo alcuni studi è l'unico carotenoide associato alla riduzione del rischio per i tumori della prostata, pancreas e in certa misura dello stomaco anche se il suo ruolo deve essere ancora chiarito¹⁵.

Oltre ai carotenoidi, il residuo del pomodoro è anche una ricca fonte di altri composti bioattivi, come tocoferoli, polifenoli, terpeni e steroli⁸.

I nuovi prodotti derivati dagli scarti dell'industria di pomodoro sarebbero proficui per l'economia in termini di aumento di valore aggiunto e di riduzione dei costi di smaltimento dei rifiuti¹¹. Come la maggior parte dei residui solidi vegetali organici, i residui del pomodoro, vengono usati anche per la produzione di mangimi per ovini e bovini⁹.

È inoltre noto che il residuo del pomodoro presenta un'elevata percentuale di umidità, il quale lo rende difficile da stoccare, difatti andrebbe consumato velocemente per evitare processi fermentativi.

Per superare questo disagio è possibile effettuare un processo di essiccazione termica sui sottoprodotti del pomodoro in modo che possano poi essere usati come combustibile, per estrarre il licopene o per il bestiame⁹.

Composizione dei pomodori	GT	RT	TB
<i>pH</i>	4.00 ± 0.04	4.75 ± 0.04	6.82 ± 0.02
<i>Umidità %</i>	92.24 ± 0.07	94.00 ± 0.50	28.65 ± 1.14
<i>Lignina totale (%TS)</i>	4.11 ± 0.85	7.87 ± 0.29	20.27 ± 0.44
<i>Cellulosa (%TS)</i>	23.15 ± 0.74	15.45 ± 0.06	23.99 ± 0.19
<i>Lipidi totali (%TS)</i>	2.75 ± 0.09	3.11 ± 0.40	2.49 ± 0.20
<i>Proteine (%TS)</i>	17.35 ± 0.37	19.62 ± 0.29	21.05 ± 0.62
<i>Licopene (mg/Kg)</i>	3,085	3,085	3,08
<i>β-carotene (mg/Kg)</i>	37.28	37,28	37,23

Tabella 1: Proprietà fisiche e chimiche dei residui di pomodori (Journal of Environmental Management, 2021)¹⁷.

La caratterizzazione dei residui di pomodoro nella Tabella 1 va a prendere in considerazione le proprietà fisiche e chimiche dei pomodori verdi (GT), pomodori marci (RT) e dei rami di

pomodoro (TB) per fare il punto sul concetto che anche questi vantano buone proprietà e ottime possibilità nell'impiego della valorizzazione¹⁶.

I campi di applicazione dei residui del pomodoro sono molteplici e molto vari tra loro. In questo elaborato nel prossimo capitolo si andrà ad analizzare la loro valorizzazione in diversi settori:

- estrazione di molecole bioattive;
- olio di semi di pomodoro;
- valorizzazione energetica;
- biomateriali;
- mangime per animali da fattoria.

Capitolo 3

VALORIZZAZIONE DEI RESIDUI DEL POMODORO

3.1 Estrazione di molecole bioattive

I pomodori sono materiali ricchi di componenti bioattivi, come licopene, carotenoidi, carboidrati, esaltatori di sapidità, composti fenolici e altri che possono proteggere dal cancro e da altre malattie croniche, generalmente associate alle loro proprietà antiossidanti.

I composti polifenolici possono avere un effetto positivo sulle malattie infiammatorie (ad esempio: obesità, diabete di tipo II, invecchiamento, malattie cardiovascolari e altre)¹⁶.

3.1.1 Estrazione del licopene

Il licopene fa parte della famiglia dei carotenoidi, pigmenti vegetali di natura lipidica molto abbondanti in natura. I carotenoidi sono sintetizzati dagli organismi fotosintetici dove funzionano da raccoglitori di luce e pigmenti oltre che potenti antiossidanti⁸.

Studi clinici hanno dimostrato l'importanza nell'assunzione di questa sostanza, abbondante nel pomodoro, di 1,85 mg/die – 9,81 mg/die. Gli scarti del pomodoro vengono lavorati per ricavare questi pigmenti e incorporarli nei prodotti alimentari e nei mangimi.

Nei pomodori rossi maturi, il licopene rappresenta il 70-80% dei carotenoidi totali. Inoltre, la buccia del pomodoro contiene quasi cinque volte più licopene della polpa¹⁷.

Nella tabella 2 sono definiti i quantitativi di licopene nell'epicarpo, semi e polpa su peso secco¹⁰.

Quantitativo di licopene nel pomodoro	Epicarpo	Semi	Polpa
Licopene (mg/kg)	164.43	1.6-16.70	31.49

Tabella 2: Licopene analizzato in epicarpo, semi e polpa di pomodoro (Food Bioscience, 2022)¹⁰.

L'estrazione del licopene può avvenire secondo diverse metodologie dove la quantità e la qualità del pigmento estratto dipendono da quale si sceglie di applicare.

Prima di estrarre la molecola, è necessario sottoporre la matrice a una serie di pretrattamenti quali essiccazione ad aria oppure la liofilizzazione. Successivamente il prodotto può subire una macinazione, omogeneizzazione o rettifica in base al tipo di estrazione a cui è destinato.

Di seguito verranno descritti i metodi estrattivi esistenti.

- Estrazione con solvente

Questa metodologia è la più convenzionale e la maggiormente utilizzata per la sua semplicità e bassi costi. Il licopene, ma anche β -carotene, estratti tramite solventi non polari non possono essere utilizzati nell'industria alimentare, in quanto, alcuni solventi non polari sono considerati tossici e quindi va scelto il giusto solvente. Si possono usare oli vegetali, come l'olio di cocco, che può persino aumentare la resa dell'estratto ottenuto.

- Estrazione assistita da microonde (MAE)

Il MAE è una tipologia di estrazione ottimale, utilizzato con efficacia perché è a basso costo, riduce la contaminazione ambientale, utilizza meno solventi, riduce i tempi oltre ad essere semplice da utilizzare.

Le onde trasmesse causano il movimento delle molecole, il quale genera riscaldamento, provocando il trasporto di componenti bioattivi all'estrazione con solvente, migliorandola.

- Estrazione assistita da ultrasuoni (UAE)

Questo tipo di tecnologia è piuttosto vantaggiosa in quanto non richiede strumenti complessi e nemmeno costi troppo elevati; per tale motivo può trovare utilizzo sia su piccola che su grande scala¹⁸ e può esser considerata una delle migliori tecniche per ricavare i composti di interesse dai rifiuti alimentari.¹⁰

Utilizza il fenomeno della cavitazione acustica causata dall'interazione tra il liquido, il gas disciolto e le onde ultrasoniche che induce l'implosione di bolle che provocano la disgregazione delle particelle e ne aumenta la biodisponibilità nell'estrazione.

- Estrazione assistita da enzimi

Emerge come alternativa convenzionale e si basa sull'utilizzo di cellulasi, emicellulose pectinasi. Gli enzimi, estratti dai batteri e funghi, sono in grado di alimentare l'attività pectinolitica e cellulolitica e vengono utilizzati per rompere la parete cellulare delle bucce di pomodoro. Degradando la parete favoriscono il rilascio del contenuto intracellulare, metodo molto riportato nell'estrazione di vari tipi di sostanze¹⁹.

L'utilizzo degli enzimi ha un elevato costo di utilizzo ma si rivela rispettosa dell'ambiente.

- Campo elettrico pulsato (PEF)

Il PEF è stato utilizzato come aiuto nell'estrazione dalle cellule vegetali, il meccanismo si basa sull'impulso ad alta intensità di campo elettrico con l'obiettivo di andare ad aumentare la porosità delle membrane cellulari facilitando l'ingresso del solvente.

Il riscaldamento applicato provoca cambiamenti lievi o nulli nella concentrazione di licopene.

- Fluidi supercritici (SFE)

La tecnica mediante fluido supercritico (figura 9) utilizza temperature e pressioni al di sopra del punto critico del solvente; viene condotta in assenza di luce e aria, riducendo significativamente i fenomeni di ossidazione rispetto ad altri metodi. La CO₂ viene ampiamente impiegata in ambito alimentare e farmaceutico, in quanto, il punto supercritico viene raggiunto a 31,1°C circa e a una pressione di 73,8 bar; determinati parametri sono importanti per la conservazione di sostanze termolabili.

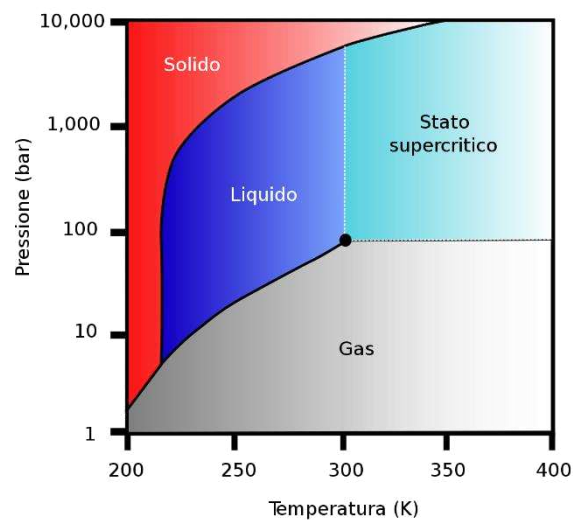


Figura 9: Stato supercritico (Wikipedia).

Al termine dell'estrazione è necessario purificare i composti recuperati in quanto potrebbero esserci sostanze che interferiscono con la loro azione biologica. Una tecnica applicabile è la cromatografia che permette di separare una miscela di sostanze, che però risulta nei processi più costosi, o un altro metodo molto frequentemente utilizzato è la filtrazione su membrana.

3.2 Olio di semi di pomodoro

L'olio di pomodoro (TSO: Tomaso Seed Oil) è un sottoprodotto interessante per le sue proprietà benefiche per la salute umana e viene ricavato dai semi, scarti dell'industria di lavorazione del pomodoro²⁰. Il 60% circa dei rifiuti totali sono semi che vengono usati tipicamente nei mangimi per il bestiame o versati nelle discariche andando ad aumentare quella che è l'emergenza ambientale. L'applicazione di percorsi alternativi per questi sottoprodotti è molto importante per risolvere il problema.

La composizione dei semi di pomodoro è rappresentata nella tabella qui di seguito²⁰.

Umidità	5,29%
Proteine	27,23%
Lipidi	17,83%
Ceneri	3,36%
Fibre alimentari totali	34-40%

Tabella 3: Composizione approssimativa dei semi di pomodoro²⁰ (Journal of Agriculture and Food Research)

Inoltre, i semi sono dei serbatoi di macromolecole importanti come carotenoidi (licopene), sostanze fitochimiche (flavonoidi), proteine (peptidi bioattivi), polisaccaridi (pectina) e vitamine (alfa-tocoferolo)²¹. Contengono il 20-36% di olio ad alto contenuto di acidi grassi insaturi e proprietà antiossidanti.

L'olio ricavato da questi residui contiene acidi grassi insaturi assieme all'acido linoleico (ω -6) e acido oleico (ω -9), considerati acidi grassi essenziali ovvero un gruppo di grassi che l'essere umano e gli animali devono assumere tramite la dieta. Il TSO si presenta liquido, rosso-giallastro e dall'odore caratteristico del frutto da cui è ricavato²⁰.

Il pomodoro, come già descritto precedentemente, subisce varie fasi di lavorazione per produrre prodotti di valore ma nella stessa linea i semi vengono separati come principali materiali di scarto. Questi ultimi vengono puliti, scolati e polverizzati prima dell'estrazione.

La qualità dell'olio è influenzata dalla scelta del metodo di estrazione e del solvente utilizzato²². I metodi sono:

- pressatura a freddo;
- mediante solvente;
- assistita da ultrasuoni;

- assistita dal riscaldamento ohmico;
- assistito da enzimi;
- con fluido supercritico;

Il trattamento termico che viene applicato durante l'industrializzazione può avere un'influenza significativa sui vari composti bioattivi presenti nel frutto. Pertanto, il metodo di estrazione a freddo è preferibile in quanto salvaguarda i composti bioattivi.²³

Per quanto concerne la composizione, più precisamente il profilo degli acidi grassi, è stato mostrato che l'acido linoleico è il più abbondante (56,12%) e che gli acidi grassi saturi e insaturi sono rispettivamente del 18,28% e del 81,72%¹¹.

Nella tabella sono elencati gli acidi grassi maggiormente presenti nel TSO, la cui proporzione varia in base al tipo di studio preso in considerazione e che è influenzata dalle condizioni ambientali e dal processo di coltivazione. Possiamo comunque notare che il TSO contiene molti EFA (acidi grassi essenziali) come gli acidi linoleici ω -6 e l'acido oleico ω -9. Oltre a quelli descritti, contribuiscono a varie proprietà benefiche dell'olio anche l'acido arachidico (0,2-3%), acido beenico (0-2%), acido eptadecanoico (0,1-0,3%), acido lignocerico (0-1%), acido miristico (0,1-2,3%) e l'acido 11-eicosenoico (0-2%)²⁰

C16:0	Acido palmitico	7-24%
C18:0	Acido stearico	4-13%
C18:2	Acido linoleico	37-47%
C18:3	Acido linoleico	1-6%
C18:1	Acido oleico	18-30%
C16:1	Acido palmitoleico	0,3-7%

Tabella 4: Composizione di acidi grassi nel TSO²⁰ (Journal of Agriculture and Food Research)

Degli studi hanno segnalato che l'olio di semi di pomodoro possiede un'attività antiossidante più elevata rispetto ad altri oli commestibili commerciali come quello di soia e di oliva²², agendo per il trattamento di disturbi neurologici e cardiovascolari.²¹

3.2.1 *Applicazione dell'olio di semi di pomodoro*

L'elevata stabilità antiossidante del TSO deriva dalla presenza dei tocoferoli e da altri composti bioattivi che promuovono la salute.

L'olio di semi di pomodoro è utilizzabile in vari prodotti per aumentare la biodisponibilità del licopene e promuovere la salute, come descritto nello studio di Reyhaneh Ghasemi Baghabrishi²⁴. Questo studio dimostra come l'aggiunta dell'olio di semi di pomodoro al succo vada ad arricchire la bevanda in termini di bioaccessibilità del licopene ed incrementando la velocità di digestione dell'olio.

È applicabile in vari prodotti per lo sviluppo di alimenti funzionali o per diabetici. Può esser utilizzato nella preparazione dei prodotti in scatola, come la carne in scatola, sostituendo il 9% dei grassi andando a ridurre quel che è il contenuto di colesterolo.

Agisce inoltre come agente conservante, riducendo al minimo la carica microbica, utile per migliorare la durata dei prodotti e proteggerli dal deterioramento microbico.

Può essere utilizzato come una fonte di energia rinnovabile, potenziale candidato come materia prima per il biodiesel.

3.3 **Valorizzazione energetica**

La valorizzazione di questi sottoprodotti risulta complessa, in quanto la loro disponibilità è stagionale, la loro movimentazione è impegnativa e la loro conservabilità è limitata.

Un altro metodo di valorizzazione di questi residui è rappresentato dalla loro conversione in energia (termica o elettrica), che apporta numerosi benefici ambientali evidenziati da molti autori, vedendo quindi gli scarti come materia prima per la digestione anaerobica. Con il termine “digestione anaerobica” si intende la degradazione di sostanze organiche, animali o vegetali, in condizioni di anaerobiosi da parte di microrganismi (figura 10).

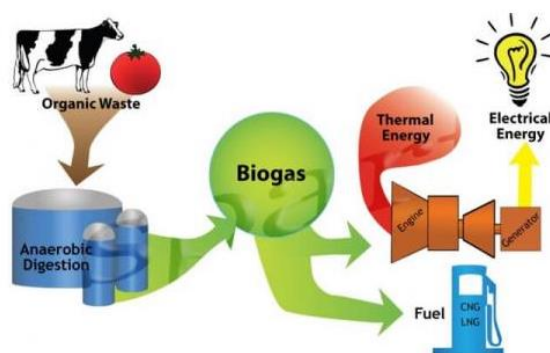


Figura 10: Rappresentazione produzione ed utilizzo biogas
(Fonte: Biomassapp)

Il risultato è il biogas, materiale organico composto principalmente da anidride carbonica (CO_2) e metano (CH_4), e in quantità minore di azoto (N_2), idrogeno solforato (H_2S) e vapore acqueo²⁵; possiede un alto potere calorifico e possiamo convertirlo in calore e elettricità. Mentre il residuo della fermentazione chiamato digestato, ricco di nutrienti (P, K e N), verrà utilizzato come fertilizzante naturale.

La digestione anaerobica è una strategia efficace per ridurre il quantitativo dei residui sull'ambiente in quanto riduce fino al 13% il carico ambientale²⁶.

Nel dettaglio, lo studio effettuato da Bacenetti nel 2015 vede l'utilizzo di semi, bucce e pomodori scartati come una fonte valida per produrre energia utilizzabile, all'interno dell'azienda stessa, tramite un impianto di digestione anaerobica localizzato nelle vicinanze.

Lo studio prende in considerazione due scenari; uno dove sono valutati i costi ambientali nella produzione della passata di pomodoro (scenario base) e l'altro invece valuta i benefici derivati dalla produzione di biogas utilizzando i sottoprodotti derivati dalla lavorazione (scenario alternativo).

Prendendo in considerazione la produzione di 1kg di passata di pomodoro, il caso studio in questione, ha riportato parametri importanti di variazione espresse rispetto allo scenario base nell'utilizzo della digestione anaerobica dei sottoprodotti sottolineando un beneficio ambientale per tutte le categorie di impatto valutate. Nella tabella (tabella 5) seguente sono riportati i risultati, solo delle categorie d'impatto dove la riduzione è abbastanza variabile.

Categoria di impatto	Scenario base	Scenario alternativo
Cambiamento climatico – emissioni gas serra (kgCO ₂ eq)	0,241	-6,37%
Riduzione dell'ozono (kgCFC- 11eq.)	$1,21 \cdot 10^{-8}$	13,39%
Particolato (kg PM _{2.5} eq)	$6.26 \cdot 10^{-5}$	- 5.28%
Formazione di ozono fotochimico (COVNM eq)	0,875 g	- 3,45%

Tabella 5: Risultati variazione tra i due scenari²⁶ (*Science of The Total Environment*)

L'utilizzo della digestione anaerobica consente di ridurre il carico ambientale della passata di pomodoro. Anche se in misura inferiore, in alcune categorie valutate, la riduzione dell'impatto ambientale generale non può mai esser sottovalutato.

I risultati di questo studio potrebbero essere applicati a grandi industrie agroalimentari che trasformano vegetali e producono grandi quantità di sottoprodotto che può essere impiegata per la produzione di biogas ottimizzando il settore e limitando i danni ambientali, oltre che trarre beneficio dal punto di vista commerciale.

Sono presenti, inoltre, diversi studi che indicano un'altra fonte di energia rinnovabile, l'olio di semi di pomodoro, visto come un promettente sostituto del carburante utilizzabile nei motori diesel per diminuire l'impiego dei prodotti petroliferi¹¹. Per usare questa fonte come materia prima vanno considerati i suoi parametri come il suo basso contenuto di ceneri, zolfo e alto valore di iodio, elevata viscosità rispetto al carburante diesel e le scarse proprietà di scorrimento a freddo.

La possibile applicazione di rifiuti alimentari in campo non strettamente alimentare aumenta il valore dell'economia agricola riducendo al contempo la dipendenza europea dal petrolio.

3.4 Biomateriali e biopolimeri

I rifiuti alimentari sono stati recentemente considerati una potenziale risorsa biologica per la produzione di una varietà di potenziali biomateriali. I biomateriali sviluppati dai rifiuti alimentari presentano proprietà interessanti come biodegradabilità, biocompatibilità, risultano ecologici e spesso economici; quindi, possono rappresentare una valida e possibile strategia a lungo termine per la gestione dei rifiuti^{27,28}.

Un recente studio di J. Benítez et al 2023 ²⁹, pubblicato in Journal of Cleaner Production, descrive come il residuo del pomodoro possa essere utilizzato per fabbricare lacche per imballaggi metallici, valido esempio di bioeconomia circolare basata sui rifiuti.

È ben risaputo che gli imballaggi in metallo hanno un ruolo importante nel proteggere il cibo in scatola per lunghi periodi dal deterioramento chimico, fisico e microbiologico. Tuttavia, questi metalli devono essere rivestiti da una protezione interna per evitare la corrosione e il rilascio di sostanze tossiche, come un sottile rivestimento polimerico interno o una lacca. Le resine utilizzate finora, come la resina epossidica, mostrano ottime caratteristiche per il mantenimento dell'alimento ma sono stati riscontrati problemi di sostenibilità e salute. La resina epossidica è un tipo di plastica derivata dal petrolio che contiene bisfenolo A (Bpa). Il Bpa protegge l'alimento dalla contaminazione del metallo, ma rilascia particelle che possono danneggiare la salute alterando la funzionalità del sistema endocrino ed associato a cancro e diabete.

Per questa motivazione si ricercano alternative sostenibili, innocue e ovviamente economicamente valide. Il residuo del pomodoro, che negli ultimi anni ha trovato applicazione in numerosi campi diversi, può essere anche utilizzato come rivestimento biologico sottoforma di lacca per la parte interna delle lattine.

Il rivestimento derivante dal residuo del pomodoro, utilizzato come materia prima rinnovabile, ha dato risultati incoraggianti. Ha mostrato idrofobicità e quindi è una sostanza idrorepellente, resistente ai graffi, presenta resistenza alla corrosione dal sale e altri liquidi acidi, fornisce un'adeguata protezione e i composti non migrano verso il cibo. Sono però necessari ulteriori studi per affermare l'innocuità in quanto i ricercatori hanno condotto la sperimentazione con dei simulatori alimentari.

La ricerca in questione ha anche effettuato uno studio mediante metodo LCA, per valutarne la sostenibilità, che verrà citato più avanti in questo elaborato.

Dagli scarti di lavorazione del pomodoro possiamo recuperare biomolecole d'interesse: i polisaccaridi. Pectina, cellulosa ed emicellulosa, xiloglucani sono i componenti biopolimerici più abbondanti negli scarti di pomodoro¹.

Le pectine mostrano proprietà strutturali che le rendono adatte allo sviluppo di inibitori di corrosione che potrebbero essere impiegate al posto dei normali inibitori chimici e tossici nell'industria alimentare³⁰.

3.5 Produzione di mangimi

Nel settore zootecnico, la marcata volatilità dei prezzi delle materie prime per i mangimi, unita alla necessità di migliorare la sostenibilità delle produzioni animali, richiede l'individuazione di mangimi alternativi, come quelli derivati dal settore agroindustriale ³¹.

Il “by-product feedstuff” è un prodotto che ha valore come mangime e viene ottenuto durante la raccolta o la lavorazione di alimenti destinati all'uomo. L'utilizzo di sottoprodotti agroindustriali, di origine animale o vegetale, per l'alimentazione degli animali è una pratica comune³², rispecchiando a pieno i principi dell'economia circolare.

La Direttiva 2008/98/CE dichiara la possibilità di utilizzare i residui per la produzione di mangimi riportando inoltre un elenco delle materie prime utilizzabili: tra questi polpa, buccia e semi di pomodoro e la buccia o polpa di patate vista l'elevata quantità di fibra grezza.

Utilizzare i sottoprodotti nel settore mangimistico riduce sicuramente i costi di razione per gli animali, essendo questi più economici. Sono inoltre maggiormente ricchi di composti bioattivi svolgendo quindi un ruolo di integratori, portando benefici alla salute e al metabolismo fornendo sostanze antiossidanti, antitumorali, inibitori dei parassiti del sistema digerente, ecc.

Ovviamente il riutilizzo di sottoprodotti riduce l'impatto ambientale, consente di ridurre le emissioni di gas serra e diminuisce il bisogno di risorse naturali dedicate (superfici coltivabili, fertilizzanti, energia necessaria, trasporti, ecc.).

3.5.1 *Nutrizione con sottoprodotti del pomodoro in ruminanti in lattazione*

La lavorazione industriale per la produzione di pomodoro produce una quantità enorme di residui con impatti potenzialmente rilevanti per l'ambiente. Esso, come già definito, è ricca di sostanze nutritive e se adeguatamente riutilizzata è possibile valorizzarla.

Inoltre, può essere impiegata per migliorare l'assunzione di mangime dagli animali e le prestazioni di crescita, aumentare il contenuto di acidi grassi polinsaturi (PUFA) nella carne, migliorare il colore della carne, il valore nutrizionale e la succosità, migliorare l'immunizzazione e la capacità antiossidante degli animali e migliorare la qualità dello sperma ³³.

Grazie alla sua composizione chimica e alla buona accettabilità da parte degli animali, può essere utilizzata nella dieta di piccoli ruminanti. Sottoforma di insilato però i residui del pomodoro, secondo i ricercatori, non interferiscono nelle prestazioni degli animali, sulla produzione e qualità del latte. Mentre gli studi che valutano l'effetto delle diete dove si utilizza

solo il residuo del pomodoro sono pochi, probabilmente a causa dell'estrema deperibilità e visto l'elevato livello di umidità dopo la lavorazione industriale³¹.

Mizael et. al ³⁴ presenta uno studio che analizza l'effetto dell'uso della polpa di pomodoro in capre in lattazione definendo come questo abbia migliorato la qualità del latte e il contenuto in grassi, analizzando sia gli aspetti economici che produttivi.

Secondo tale ricerca, l'inclusione del residuo del pomodoro di pomodoro ha avuto un effetto significativo sulla produzione del latte. Nella tabella 6 sono riportati i kg di latte prodotti al giorno dai piccoli ruminanti che seguivano una dieta con percentuali di residuo di pomodoro variabile. Fino al 40% di inclusione la produzione aumenta, diminuendo notevolmente al 60%.

	Livelli di inclusione del residuo di pomodoro (%)			
	0,00	20	40	60
Produzione di latte (kg/die)	1,20	1,47	1,54	1,04

Tabella 6: Produzione di latte al giorno in base al livello di inclusione del residuo del pomodoro (Alternative feeds and feeding systems in small ruminant production and health)

Per quanto concerne la composizione chimica del latte, nella tabella 7 possiamo notare che l'inclusione del residuo del pomodoro non ha avuto effetti significativi, ad eccezione del lattosio e del grasso.

	Livelli di inclusione del residuo del pomodoro (%)			
	0,00	20	40	60
Grasso (%)	3,70	4,37	4,63	4,02
Proteine (%)	2,93	3,03	3,20	3,00
Lattosio (%)	4,17	4,09	3,97	4,21
Caseina (g100⁻¹)	2,31	2,46	2,62	2,41

Tabella 7: Composizione chimica del latte in base al livello di inclusione del residuo del pomodoro (Alternative feeds and feeding systems in small ruminant production and health)

Il costo della dieta dell'animale diminuisce aumentando la percentuale di residuo del pomodoro incluso, dimostrando la riduzione dei costi quando si incorporavano residui di pomodoro nell'alimentazione delle capre (tabella 8).

	Livelli di inclusione del residuo del pomodoro (%)			
	0,00	20	40	60
Costo della dieta (USD / kg)	0,355	0,296	0,236	0,176

***Tabella 8: Costi della dieta in base al livello di inclusione del residuo del pomodoro
(Alternative feeds and feeding systems in small ruminant production and health)***

In conclusione, si può affermare che il 40% di residuo del pomodoro ha presentato i migliori risultati, quindi lo studio dimostra che la formulazione di tale dieta sarebbe una buona strategia per aumentare i benefici in termini di produzione e qualità del latte, senza influenzare lo stato fisiologico.

Il miglioramento generale della qualità nutrizionale dei grassi del latte rappresenta un vantaggio importante per la promozione commerciale dei prodotti lattiero-caseari derivanti dall'utilizzo dei sottoprodotti vegetali ³¹.

Capitolo 4

CICLO DI VITA E SOSTENIBILITÀ

Come anticipato nei paragrafi precedenti, lo spreco alimentare si verifica in tutte le fasi della filiera agroalimentare: in ognuna di queste i soggetti implicati e le cause sono differenti; di conseguenza, diverse dovranno essere le strategie e le attività correttive da implementare ed attuare per ridurre al minimo gli sprechi alimentari e quindi l'impatto ambientale.

Le prime fasi della filiera (produzione e raccolto, trasformazione agricola ed industriale) generano le perdite alimentari, mentre le ultime fasi (distribuzione, consumo privato, ristorazione e catering) producono gli sprechi (figura 11).



Figura 11: Spreco alimentare lungo tutta la filiera agricola

Il ciclo di vita (LCA) studia e quantifica i potenziali impatti ambientali durante tutto il ciclo di vita dei prodotti e servizi. Secondo la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), gli obiettivi principali della realizzazione di un LCA sono:

- fornire un'idea il più completa possibile delle possibili interazioni di un'attività o processo con l'ambiente;
- contribuire alla comprensione delle conseguenze ambientali delle attività umane;
- aiutare durante i processi decisionali con informazioni che definiscono gli effetti ambientali di ciascuna delle opzioni e identificano le opportunità di miglioramento ambientale.

L'analisi LCA è uno strumento di valutazione della sostenibilità piuttosto potente, in quanto può esaminare il sistema come un'unità completa (dalla culla alla tomba), può analizzare simultaneamente più aspetti (acqua, aria, residui ecc.), aiuta a confrontare e identificare i vantaggi e i punti deboli tra le diverse alternative e tanto altro.

Questo metodo è altamente raccomandato per esprimere i valori della sostenibilità dei prodotti e contribuire ai processi decisionali. Una motivazione della diffusione di queste analisi è l'aumentato interesse per le problematiche ambientali, soprattutto negli ultimi anni.

4.1 Le fasi di uno studio LCA

L'articolazione tradizionale sancita dalla norma ISO 14040:2021 prevede quattro passaggi fondamentali (figura 12):

- definizione degli obiettivi e del campo di applicazione - E' necessario definire l'applicazione e le ragioni alla base dello studio, così come il suo obiettivo e se i risultati ottenuti dall'analisi verranno utilizzati per un confronto o meno.
- Life Cycle Inventory - Include l'ottenimento di dati e le procedure di calcolo in modo da quantificare input e output del sistema durante ciascuno dei processi unitari inclusi nel sistema analizzato, riferendoli all'unità di riferimento dello studio.
- Life Cycle Impact Assessment - Consiste nel convertire i risultati dell'inventario realizzato nella fase precedente in impatti. In base alle categorie di impatto selezionate vengono prodotti i relativi indicatori numerici.
- Interpretazione dei risultati - Tutti i risultati ottenuti nelle fasi precedenti vengono analizzati e valutati al fine di verificare la congruenza dell'analisi e definire le conclusioni e le raccomandazioni finali.

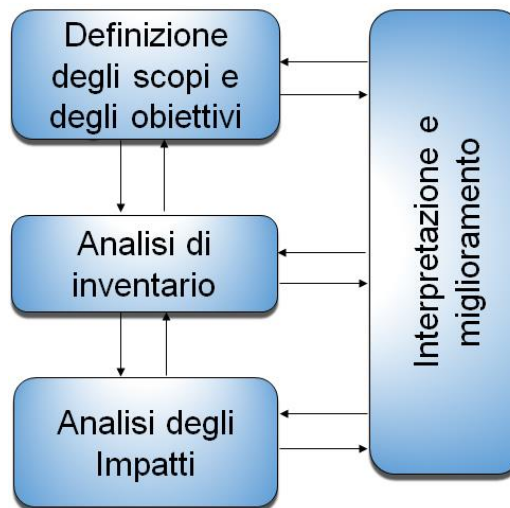


Figura 12: Schema di analisi del ciclo di vita secondo la normativa ISO
(Fonte: Apulianws)

La quattro fasi in cui si articola lo studio, seppur apparentemente separate, appaiono correlate da un continuo processo di feedback finalizzato alla rimodulazione del modello sulla base degli obiettivi di ottimizzazione delle prestazioni ambientali.

4.2 Casi studio sul ciclo di vita del pomodoro e dei suoi sottoprodotti

Le certificazioni di sostenibilità stanno guadagnando popolarità nel settore agroalimentare visto il crescente interesse di rivenditori e consumatori per le prestazioni ambientali dei prodotti³⁵. Le certificazioni riportano diciture come: ridotte emissioni di CO₂, imballaggi riciclabili e prodotti biologici e privi di pesticidi che enfatizzano come la produzione alimentare sia operata secondo strategie e metodi sostenibili³⁶.

Le valutazioni di impatto ambientale nel settore ortofrutticolo riguardano principalmente i prodotti freschi, enfatizzando la fase di coltivazione.

È quindi chiaro che il metodo LCA permette di contabilizzare l'impronta ambientale in modo notevolmente semplice; tuttavia, permangono alcune lacune negli studi scientifici. In particolare, nelle categorie di alimenti trasformati, vengono utilizzati diverse metodologie, differenze spaziali e agroclimatiche, caratteristiche delle colture, l'uso di prodotti agrochimici, diverso tipo di azienda o un numero limitato di colture ortofrutticole.

Gli studi riguardanti LCA sono principalmente correlati ai pomodori freschi, valutando diverse pratiche agricole come la produzione in serra o in pieno campo. Ricerche sulla valutazione della filiera completa sono però molto limitate.

Le categorie di impatto maggiormente considerate sono le emissioni di gas serra (GHG), il consumo energetico, il potenziale di eutrofizzazione e il potenziale di acidificazione³⁷.

I gas serra sono quei gas presenti nell'atmosfera che riescono a trattenere la componente dell'infrarosso della radiazione solare che colpisce la terra ed è emessa dalla superficie terrestre, causando il fenomeno noto come "effetto serra". In particolare, i gas ritenuti più dannosi sono CO₂, N₂O, CH₄, esafluoruro di zolfo (SF₆), idrofluorocarburi (HFCs) e perfluorocarburi (fonte: Wikipedia).

Il potenziale di eutrofizzazione è un termine utilizzato per indicare l'accrescimento anomalo di alcuni organismi che si ha per effetto della presenza nell'ecosistema acquatico di dosi troppo elevate di sostanze nutritive come azoto, fosforo o zolfo, provenienti da fonti naturali o antropiche (come i fertilizzanti, alcuni tipi di detersivi, le acque reflue di origine domestica o industriale) e il conseguente degrado dell'ambiente³⁸. Questo fenomeno è stato riconosciuto come un problema di inquinamento in Europa e in America del Nord verso la metà del XX secolo e da allora si è andato sviluppando.

4.2.1 Analisi dell'impatto ambientale per la valorizzazione del residuo del pomodoro in California, un caso studio.

La California risulta essere uno dei principali produttori di pomodori, posizionandosi al primo posto nella classifica mondiale. Ogni anno, quindi, produce quantità di residui elevate che devono essere di conseguenza smaltite.

Secondo lo studio di T. Oldfield et al. del 2017³⁹ l'industria californiana, sebbene utilizzi questi scarti principalmente per l'alimentazione animale, li impiega anche nella biosolarizzazione.

Tecnica relativamente nuova, rappresenta un metodo biologico combinato alla solarizzazione, che impiega ammendanti del suolo, riscaldamento solare e anaerobiosi per alterare l'ecologia del suolo e gestire gli agenti patogeni⁴⁰; è efficace nel rimuovere dal suolo i residui di pesticidi e sostanze artificiali che sono stati precedentemente applicati. La biosolarizzazione produce un importante miglioramento delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del suolo dimostrandosi un metodo efficace contro l'impoverimento del terreno dopo molti anni di produzione. Nella tecnica descritta si ricorre all'utilizzo di letame, o altri resti organici, che in decomposizione emettono gas tossici per insetti e microrganismi. Associato alle alte temperature che si raggiungono, rendono la disinfezione del terreno più efficace.

Nonostante questa tecnica si dimostri efficace in vari studi, la sua reale efficacia varia a seconda delle regioni in cui è applicata.

Secondo Oldfield³⁹ la California presenta il clima ideale per l'adozione della biosolarizzazione; inoltre produce grandi quantità di residui e richiede la gestione dei parassiti del suolo. Lo studio mette a confronto i cicli di vita, in termini di impatto sul riscaldamento globale e richiesta di energia, della valorizzazione del residuo di pomodoro tramite la biosolarizzazione o l'applicazione della medesima materia prima in mangimi per il bestiame.

Gli scenari presi in considerazione sono tre:

- residuo del pomodoro utilizzato per l'alimentazione del bestiame a confronto con il controllo dei parassiti del suolo utilizzando fumigante e glifosate;
- residuo del pomodoro utilizzato per l'alimentazione del bestiame a confronto con il controllo dei parassiti del suolo mediante biosolarizzazione utilizzando la residuo del pomodoro;
- mangime alternativo per il bestiame a confronto con il controllo dei parassiti del suolo mediante biosolarizzazione utilizzando il residuo del pomodoro.

Il mangime alternativo per il bestiame consisteva in semi di cotone, pellet di colza e paglia di grano, fornendo così un sostituto nutrizionalmente valido e simile al residuo del pomodoro.

La metodologia è stata applicata su coltivazioni di melanzane. Quest'ortaggio viene raccolto in estate, lasciando i campi a riposo nei mesi più caldi. Ciò coincide con la stagione di lavorazione del pomodoro, che permette una cospicua produzione di residuo del pomodoro, ideale per la biosolarizzazione.

I risultati proposti dallo studio in questione sono riassunti nella tabella di seguito. L'impatto per il potenziale di riscaldamento globale (GWP) vede al vertice il primo scenario con un GWP di 98 kg CO₂ eq, con ben il 53% in più rispetto allo scenario due (64 kg CO₂ eq) e il 26% in più confrontato col terzo scenario.

Scenario	GWP (kgCO ₂ eq)
Scenario 1	98 kg
Scenario 2	64 kg
Scenario 3	78 kg

Tabella 9: Impatto GWP per gli opzioni scenari 1, 2, 3 (Journal of Cleaner Production).

Per quanto riguarda la domanda di energia primaria (PED) anche in questo caso è confermata la precedente classifica (tabella 10), dove l'opzione due ha prodotto l'impatto più basso con 1502 MJ rispetto alla prima opzione dove l'impatto è considerevolmente più elevato (2250 MJ).

Scenario	PED (MJ)
Scenario 1	1502 MJ
Scenario 2	1727 MJ
Scenario 3	2250 MJ

Tabella 10: PED per gli scenari 1, 2, 3 (Journal of Cleaner Production).

Prendendo in considerazione il terzo scenario, ovvero deviando l'utilizzo del residuo del pomodoro nella dieta del bestiame ed applicandolo invece per la biosolarizzazione, avremo una riduzione del riscaldamento globale pari al 20% ed una diminuzione della domanda di energia del 23%.

Tuttavia, è stato osservato che il secondo scenario risulta quello più favorevole sia per il PED che per il GWP in quanto non avremo l'utilizzo di ulteriori materiali, come insetticidi, erbicidi e trasporto dei residui. Quest'ultimi sono responsabili di gran parte dell'impatto stimato; fino a 37,1 CO₂ per gli erbicidi e pesticidi e al 18,18 CO₂ per il trasporto dei residui che verranno poi applicati nella biosolarizzazione.

In conclusione, nel contesto della fumigazione, l'utilizzo dei sottoprodotti del pomodoro, piuttosto che nelle diete animali, è stato considerato vantaggioso sia in prospettiva al risparmio energetico che per l'ambiente a causa del riscaldamento globale. In ottica di risparmio annuale è possibile stimare fino a 7,7 milioni di kg di CO₂ eq e di 203.000 GJ.

4.2.2 Utilizzo del residuo del pomodoro per imballaggi alimentari in metallo sostenibili.

Nel terzo capitolo, paragrafo 3.4, è stata descritta la possibilità di utilizzare il residuo del pomodoro come lacca di rivestimento dei packaging di metallo. L'obiettivo finale della ricerca era di utilizzare il prodotto di scarto come materia prima ecologica e sostenibile, fornendo un rivestimento per i packaging in metallo con un basso impatto ambientale.

Il residuo del pomodoro tal quale utilizzata in questo studio era di 4kg, ma successivamente è stata essiccata ed ha raggiunto il peso di 1kg.

I risultati riportati dall'analisi del ciclo di vita in questa ricerca sono fondamentali per considerare i miglioramenti dell'uso del residuo del pomodoro, in termini di sostenibilità, rispetto alla fabbricazione di bioplastiche mediante la tecnologia attuale (scenario comparabile).

La riduzione dei solventi applicati ha incrementato notevolmente la sostenibilità del processo, riducendo il carico ambientale nella maggior parte delle categorie di impatto con una media del 60% (tabella 11).

	Scenario innovativo	Scenario comparabile
Cambiamento climatico (kg CO₂ eq)	< 3.5 kg CO ₂ eq	>5.5 kg CO ₂ eq
Riduzione dell'ozono (kg CFC-11 eq)	>7.0 kg CFC-11 eq	<2.0 kg CFC-11 eq
Potenziale acidificazione (mole H⁺ eq)	6.0 mole H ⁺ eq	>9.0mole H ⁺ eq
Potenziale eutrofizzazione (mole N eq)	2.0 mole N eq.	3.0 mole N eq
Consumo energetico (MJ)	< 5.0 MJ	> 8.0 MJ

Tabella 11: Comparazione scenario innovativo e scenario comparabile prendendo in considerazione alcune categorie di impatto (Journal of Cleaner Production)²⁹.

Oltre ad avere un vantaggio dal punto di vista ambientale è bene sottolineare il vantaggio per la salute umana, per quanto riguarda i due parametri: effetti s (CTUh) e radiazioni ionizzanti (tabella 12).

	Scenario innovativo	Scenario comparabile
CTUh	<1.0 e -09	>1.2 e -09
Radiazioni ionizzanti (kBq U235 eq)	<4.0 kBq U235 eq	6.0 kBq U235 eq

Tabella 12: Comparazione scenario innovativo e scenario comparabile prendendo in considerazione alcune categorie per la salute umana (Journal of Cleaner Production)²⁹.

Lo studio del ciclo di vita ha specificato il guadagno in termini di sostenibilità, differenziando la produzione di questi due rivestimenti; lo scenario innovativo a base biologica e lo scenario comparabile di lacche a base di Bpa (bisfenolo A).

CONSIDERAZIONI

Il pomodoro da industria è di fondamentale importanza per l'economia italiana ma, allo stesso tempo, genera ogni anno un quantitativo elevato di scarti aumentando il carico ambientale, la perdita di biomassa e sostanze nutritive. I sottoprodotti, rappresentati soprattutto da buccette e semi, vengono impiegati in diversi settori, al fine di promuovere l'economia circolare. Le industrie che richiedono questi "rifiuti" sono stimolate dalla composizione, molto interessante, e ciò evita di farli finire nelle discariche. Nella tabella 13 viene presentata la composizione del residuo del pomodoro di pomodoro, bucce e semi separatamente⁴¹.

Componente (%)	Residuo del pomodoro	Bucce	Semi
Umidità	6.6-8.5	7.0-10.1	3.1-11.7
Proteine	15.1-22.7	5.7-20.0	16.6-39.3
Olio	8.4-16.2	1.7-3.8	6.4-36.9
Fibre	11.3-64.7	29.9-65.5	14.8-53.8
Carboidrati	2.9-5.1	1.1-8.2	2.3-26.0
Licopene(mg/kg)	413.7	734.0	130.0
β-Carotene(mg/kg)	149.8	29.3	14.4

*Tabella 13; Composizione del residuo del pomodoro, bucce e semi (Tomato Processing by-Products)*⁴¹.

La componente bioattiva di questi sottoprodotti risulta di qualità elevata, per questo sono presenti numerosi studi che cercano di estrarre questi componenti bioattivi in modo ottimale cercando di massimizzare la resa. Il licopene è al centro di questi studi, dove i problemi nell'estrazione di questa sostanza sono dovuti prettamente a un fattore economico e ambientale. Possiamo notare dalla tabella 13 che il licopene è molto presente nelle bucce.

I potenziali benefici tratti dal licopene e dal β-carotene sono ampiamente apprezzati, favorendone così l'impiego nell'industria alimentare.

È inoltre possibile estrarre l'olio di semi del pomodoro (TSO), attraverso diverse tecniche di estrazione possibilmente ecologiche e rispettose dell'ambiente come quella assistita da ultrasuoni. La richiesta del TSO è aumentata grazie a progressi soprattutto dell'industria cosmetica ma anche in quella alimentare e farmaceutica si vedono buone applicazioni.

Le ricerche e gli studi si focalizzano su metodi di estrazione che riducono il fabbisogno di solvente e migliorano la resa e la qualità dell'olio, portando così valori economici e ambientali migliori.

Per quanto riguarda la valorizzazione energetica a partire da materiali di scarto è possibile affermare che è già una realtà e che piano piano si sta sempre più consolidando. Il biogas viene prodotto a partire dal 65% da scarti agricoli. I gas rinnovabili, al 2020, hanno coperto meno del 5% dei consumi europei, con ottime prospettive date dalla transizione ecologica. Tra il 2009 e il 2019 il numero di impianti in Europa è passato da 6.300 fino a 19.000 e questi hanno fornito il 57% del biogas utilizzato per la produzione di elettricità, calore e trasporti. In Italia si possono contare circa 2.000 impianti. Rimangono comunque i problemi associati all'utilizzo di questi sottoprodotti, legati quasi esclusivamente alla stagionalità, all'elevata percentuale di umidità e ovviamente all'elevata quantità che viene richiesta da sempre più impianti per effettuare la digestione anaerobica.

Le buccette del pomodoro sono ottime per la produzione di biomateriali, rilevandosi buone fonti di biopolimeri. L'applicazione dei residui sottoforma di lacca per rivestire i metalli viene presentata in numerosi studi, soprattutto per valutarne il reale effetto atossico nei confronti della salute umana e per valutarne la sostenibilità nei confronti nell'ambiente.

In linea generale, la potenzialità di utilizzare gli scarti agro-alimentari è valida in quanto sono considerati una potenziale risorsa in continua progressione ed evoluzione. Ciò, però, richiede metodi efficienti per l'estrazione e inoltre durante la realizzazione devono essere presi in considerazione diversi vincoli come la resa, il bilancio energetico, i requisiti di costo, ecc.

Infine, l'utilizzo degli scarti agricoli nella mangimistica del bestiame è utilizzato fin dall'antichità. Quello di cui si occupano gli studi al giorno d'oggi è di incrementare la resa da parte dell'animale in termini di qualità e quantità, ad esempio, del latte attraverso l'utilizzo di buccette o semi di pomodoro utilizzati nella loro dieta. Questo porta a una riduzione dei costi per la razione dell'animale, riducendo l'impatto ambientale, l'emissione di gas serra e il bisogno di risorse naturali per la coltivazione e produzione di mangime classico.

La valorizzazione dei sottoprodotti viene effettuata allo scopo di ridurre il carico ambientale; per questo vengono calcolate, tramite il metodo del ciclo di vita, varie categorie di impatto per valutare la reale efficienza del processo e del prodotto.

Purtroppo, non sono disponibili molte ricerche di LCA sulla valorizzazione dei sottoprodotti del pomodoro ma principalmente si focalizzano sulla produzione in campo agricolo o sulla fase di lavorazione industriale.

In conclusione, nella tabella 14 vengono definiti quali prodotti del pomodoro sono utilizzati nelle diverse valorizzazioni, delineati dalla spunta, considerando gli studi e le ricerche effettuate per l'elaborazione di questa tesi. Con la "X" si intende che non sono disponibili studi e/o applicazioni di quel prodotto in quella valorizzazione, mentre "✓" dimostra che sono disponibili numerosi studi e/o applicazioni in quel tipo di valorizzazione.

Per aumentare la sensibilizzazione nei confronti della grandezza dell'argomento, è stata aggiunta a fianco una colonna che racchiude il quantitativo in tonnellate del pomodoro scartato, buccette e semi solo considerando l'Italia. Questo è stato possibile prendendo in considerazione i dati ISMEA di dicembre 2022, ovvero gli ultimi disponibili. Riportano che precisamente 5.476.000 tonnellate di pomodoro da industria è stato raccolto in Italia e quindi destinato all'industria conserviera.

Per quanto riguarda il quantitativo di pomodoro scartato in Italia esso può variare notevolmente da anno ad anno e dipende da una serie di fattori, tra cui le condizioni meteorologiche, le pratiche agricole, la domanda di mercato e la capacità di conservazione.

Prodotto o sottoprodotto	Valorizzazione					Quantificazione (Italia)
	Composti bioattivi	Olio di semi	Energia	Biomateriali	Mangimi	Tonnellate
Pomodoro scartato	✓	X	✓	✓	✓	1.500.000
Buccette	✓	X	✓	✓	✓	300.000
Semi	✓	✓	✓	X	✓	

Tabella 14: Valorizzazione e quantificazione in base al tipo di prodotto del pomodoro.

Secondo i dati del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, in Italia vengono scartati ogni anno circa 1,5 milioni di tonnellate di pomodoro, pari al 15% della

produzione nazionale. Questo dato è in linea con quello registrato a livello europeo, dove ogni anno vengono scartati circa dieci milioni di tonnellate di pomodoro.

Il residuo di pomodoro in Italia è ogni anno di circa 300.000 tonnellate di residuo di pomodoro.

(Fonte: Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, "Rapporto sullo stato di salute del settore ortofrutticolo italiano", 2023).

CONCLUSIONI

Ogni anno nel mondo vengono prodotte milioni di tonnellate di rifiuti alimentari, il cui smaltimento rappresenta una questione critica su scala globale.

L'impegno che dovrebbe prendere ogni nazione è quella di una crescita sostenibile che valorizzi i prodotti di scarto, spesso dotati di un buon potenziale, ottenendo nuove risorse o prodotti anche con elevato valore aggiunto.

Il recupero si presenta come una sfida importante, in quanto, l'approccio al mercato dei prodotti valorizzati è complesso ed inoltre sono presenti diversi parametri da considerare.

Sulla base di tutto l'elaborato, i sottoprodotti del pomodoro, mostrano un impiego e un potenziale rilevante per contribuire all'“economia circolare”.

I residui del pomodoro, ovvero buccette e semi, possono essere utilizzati per diversi scopi. Possiamo estrarre dalle buccette potenti antiossidanti, come il licopene, che ha proprietà benefiche per la salute. I semi di pomodoro sono una buona fonte di proteine e fibre, sono molto utili per estrarre l'olio di semi, applicabile in diversi campi.

Possiamo valorizzare i residui solidi del pomodoro attraverso un processo che consente di trasformarli in energia, principalmente sotto forma di biogas o biodiesel.

Sono presenti alcuni studi che analizzano i biomateriali a partire dai “rifiuti” dell'agricoltura, materiali naturali o sintetici che possono essere utilizzati per sostituire i materiali tradizionali, come il petrolio o il metallo.

Infine, le buccette e i semi possono essere utilizzati per la produzione di mangimi per animali, principalmente per bovini, suini e avicoli. Questo comporta diversi vantaggi, tra cui: riduzione dello spreco di cibo, costi ridotti e sostenibilità ambientale.

La ricerca in questo campo è in continua evoluzione e sono in fase di sviluppo nuovi impieghi a partire dai residui del pomodoro.

La prospettiva futura è interessante, tuttavia è necessario che si effettuino studi specifici su determinati residui per valutarne il possibile sfruttamento su scala industriale e la sostenibilità finale del prodotto.

Le valutazioni effettuate attraverso il ciclo di vita si sono rivelate importanti per comprendere meglio tali potenzialità; nella maggioranza delle categorie di impatto del residuo

del pomodoro si mostra più rispettosa verso l'ambiente rispetto allo scenario base attuale, utilizzando un minor quantitativo di materiali e di energia, permettendone dunque l'applicazione pratica.

Il recupero e la valorizzazione dei residui del pomodoro è un modo per ridurre lo spreco di cibo e per dare un valore aggiunto a questi sottoprodotti.

BIBLIOGRAFIA

1. Boccia, F., Di Donato, P., Covino, D. & Poli, A. Food waste and bio-economy: A scenario for the Italian tomato market. *J Clean Prod* **227**, 424–433 (2019).
2. De Bernardi, P., Bertello, A. & Forliano, C. Circularity of food systems: a review and research agenda. *British Food Journal* vol. 125 1094–1129 Preprint at <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2021-0576> (2023).
3. Jurgilevich, A. *et al.* Transition towards Circular Economy in the Food System. *Sustainability* **8**, 69 (2016).
4. Benítez, J. J. *et al.* Valorization of Tomato Processing by-Products: Fatty Acid Extraction and Production of Bio-Based Materials. *Materials* **11**, 2211 (2018).
5. Magama, P., Chiyanzu, I. & Mulopo, J. A systematic review of sustainable fruit and vegetable waste recycling alternatives and possibilities for anaerobic biorefinery. *Bioresour Technol Rep* **18**, 101031 (2022).
6. De Laurentiis, V., Corrado, S. & Sala, S. Quantifying household waste of fresh fruit and vegetables in the EU. *Waste Management* **77**, 238–251 (2018).
7. Ravindran, R. & Jaiswal, A. K. Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. *Trends Biotechnol* **34**, 58–69 (2016).
8. Saini, R. K., Moon, S. H. & Keum, Y. S. An updated review on use of tomato pomace and crustacean processing waste to recover commercially vital carotenoids. *Food Research International* **108**, 516–529 (2018).
9. Ruiz Celma, A., Cuadros, F. & López-Rodríguez, F. Characterization of pellets from industrial tomato residues. *Food and Bioproducts Processing* **90**, 700–706 (2012).
10. Méndez-Carmona, J. Y. *et al.* Tomato waste as a bioresource for lycopene extraction using emerging technologies. *Food Biosci* **49**, 101966 (2022).
11. Giannelos, P. N., Sxizas, S., Lois, E., Zannikos, F. & Anastopoulos, G. Physical, chemical and fuel related properties of tomato seed oil for evaluating its direct use in diesel engines. *Ind Crops Prod* **22**, 193–199 (2005).
12. Kaur, D., Sogi, D. S., Garg, S. K. & Bawa, A. S. Flotation-cum-sedimentation system for skin and seed separation from tomato pomace. *J Food Eng* **71**, 341–344 (2005).

13. Kaur, D., Sogi, D. S., Garg, S. K. & Bawa, A. S. Flotation-cum-sedimentation system for skin and seed separation from tomato pomace. *J Food Eng* **71**, 341–344 (2005).
14. Sogi, D. S., Arora, M. S., Garg, S. K. & Bawa, A. S. Fractionation and electrophoresis of tomato waste seed proteins. *Food Chem* **76**, 449–454 (2002).
15. Gerster, H. The potential role of lycopene for human health. *Journal of the American College of Nutrition* vol. 16 109–126 Preprint at <https://doi.org/10.1080/07315724.1997.10718661> (1997).
16. Almeida, P. V., Rodrigues, R. P., Gaspar, M. C., Braga, M. E. M. & Quina, M. J. Integrated management of residues from tomato production: Recovery of value-added compounds and biogas production in the biorefinery context. *J Environ Manage* **299**, 113505 (2021).
17. Saini, R. K., Zamany, A. J. & Keum, Y.-S. Ripening improves the content of carotenoid, α -tocopherol, and polyunsaturated fatty acids in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits. *3 Biotech* **7**, 43 (2017).
18. Dai, J. & Mumper, R. J. Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules* **15**, 7313–7352 (2010).
19. Choudhari, S. M. & Ananthanarayan, L. Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues. *Food Chem* **102**, 77–81 (2007).
20. Sangeetha, K., Ramyaa, R. B., Mousavi Khaneghah, A. & Radhakrishnan, M. Extraction, characterization, and application of tomato seed oil in the food industry: An updated review. *J Agric Food Res* **11**, 100529 (2023).
21. Kumar, M. *et al.* Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seed: A review on bioactives and biomedical activities. *Biomedicine & Pharmacotherapy* **142**, 112018 (2021).
22. Kumar, S. *et al.* Mass transfer kinetics and quality evaluation of tomato seed oil extracted using emerging technologies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **83**, 103203 (2023).
23. Szabo, K. *et al.* Evaluation of the Bioactive Compounds Found in Tomato Seed Oil and Tomato Peels Influenced by Industrial Heat Treatments. *Foods* **10**, 110 (2021).
24. Ghasemi Baghabrishi, R. & Goli, S. A. H. Tomato seed oil-enriched tomato juice: Effect of oil addition type and heat treatment on lycopene bioaccessibility and oxidative stability. *Food Chem* **402**, 134217 (2023).
25. Talan, A. *et al.* Food waste valorization: Energy production using novel integrated systems. *Bioresour Technol* **322**, (2021).

26. Bacenetti, J., Duca, D., Negri, M., Fusi, A. & Fiala, M. Mitigation strategies in the agro-food sector: The anaerobic digestion of tomato purée by-products. An Italian case study. *Science of The Total Environment* **526**, 88–97 (2015).
27. Jana, S. *et al.* Waste-derived biomaterials as building blocks in the biomedical field. *J Mater Chem B* **10**, 489–505 (2022).
28. Ghosh, S. & Pramanik, K. Unveiling the secrets of food waste derived biomaterials in remediation of environmental pollutants – A review. *Bioresour Technol Rep* **22**, 101469 (2023).
29. Benítez, J. J. *et al.* Bio-based lacquers from industrially processed tomato pomace for sustainable metal food packaging. *J Clean Prod* **386**, 135836 (2023).
30. Grassino, A. N. *et al.* Utilization of tomato peel waste from canning factory as a potential source for pectin production and application as tin corrosion inhibitor. *Food Hydrocoll* **52**, 265–274 (2016).
31. Correddu, F. *et al.* Grape, Pomegranate, Olive, and Tomato By-Products Fed to Dairy Ruminants Improve Milk Fatty Acid Profile without Depressing Milk Production. *Foods* **12**, 865 (2023).
32. Fadel, J. G. Quantitative analyses of selected plant by-product feedstuffs, a global perspective. *Anim Feed Sci Technol* **79**, 255–268 (1999).
33. Lu, S. *et al.* Sustainable Valorization of Tomato Pomace (*Lycopersicon esculentum*) in Animal Nutrition: A Review. *Animals* **12**, 3294 (2022).
34. Mizael, W. C. F. *et al.* Effect of the Use of Tomato Pomace on Feeding and Performance of Lactating Goats. *Animals* **10**, 1574 (2020).
35. Ge, L. & Brewster, C. A. Informational institutions in the agrifood sector: meta-information and meta-governance of environmental sustainability. *Curr Opin Environ Sustain* **18**, 73–81 (2016).
36. Pedretti, E. F., Duca, D., Ballarini, M., Boakye-Yiadom, K. A. & Ilari, A. Environmental impact assessment of producing frozen spinach in central Italy. *Resources, Environment and Sustainability* **12**, 100110 (2023).
37. Parajuli, R., Matlock, M. D. & Thoma, G. Cradle to grave environmental impact evaluation of the consumption of potato and tomato products. *Science of The Total Environment* **758**, 143662 (2021).
38. Smith, V. H. Eutrophication. *Encyclopedia of Inland Waters* 61–73 (2009) doi:10.1016/B978-012370626-3.00234-9.

39. Oldfield, T. L. *et al.* A life cycle assessment of biosolarization as a valorization pathway for tomato pomace utilization in California. *J Clean Prod* **141**, 146–156 (2017).
40. Shea, E. A. *et al.* Biosolarization restructures soil bacterial communities and decreases parasitic nematode populations. *Applied Soil Ecology* **172**, 104343 (2022).
41. Liadakis, G., Kekes, T., Frakolaki, G., Giannou, V. & Tzia, C. Ingredients for food products. *Tomato Processing by-Products: Sustainable Applications* 117–148 (2022) doi:10.1016/B978-0-12-822866-1.00007-7.

RINGRAZIAMENTI

Innanzitutto, desidero ringraziare il Professore Duca, relatore di questa tesi, che fin da subito si è mostrato disponibile e preciso nel consigliarmi il meglio oltre al sostegno ricevuto durante la stesura della tesi. Mi ha fornito gli spunti fondamentali per questo lavoro e mi ha aiutato nei momenti di indecisione.

Voglio dedicare a Daniele, il mio fidanzato, migliore amico, mentore, il mio più profondo grazie. Senza di te al mio fianco non sarei arrivata dove sono ora con tutta questa enfasi, tutta questa voglia di essere e di diventare qualcuno. Riesci sempre a tirare fuori il meglio di me. Parte di questo mio percorso te lo dedico, col cuore in mano.

Voglio riservare uno spazio dentro a questa tesi al basket, che riempie la mia vita da dieci anni a questa parte. Questo sport mi ha insegnato che non si molla mai un centimetro e che, se cadi, c'è sempre la mano della tua compagna per farti rialzare. Grazie di cuore alla mia squadra, le ragazze che ho conosciuto dentro a questo gruppo sono veramente speciali. In particolare, grazie a: Elena, Lisa, Franci, Meg, Marghe che da più tempo mi supportano.

Voglio ringraziare i miei compagni di corso, con cui ho condiviso tanto in questo percorso: Leo, Giuli, Sofi, Eli, Carlo, Ale, Ronni e Bruno. Daje! Che semo dei draghi!!

Voglio ringraziare la mia famiglia, ognuno di loro con una parola di incitamento mi ha aiutato ad essere qua oggi.

In particolare, i miei genitori, GRAZIE. Mi avete insegnato ad essere forte, indipendente ma allo stesso tempo gentile, altruista e con la testa sulle spalle. Proprio come voi. E come dite sempre “chi si ferma è perduto!!” e allora noi non ci fermeremo mai.

Grazie a tutte le persone che sono qui oggi e a quelle che non ci sono ma avrebbero voluto.

E non lo dico mai, ma ora ci vuole: brava Bea, arriverai dove vorrai: *trust the process*.