



Finanziatore	Regione Lombardia
Bando	Bando 2018 per Progetti di ricerca in campo agricolo e forestale – d.d.s. n. 4403 del 28/03/2018 – Scorrimento della graduatoria, d.d.s. 2955/2020
Titolo	Economia circolare e sostenibilità della filiera della pera IGP del Mantovano
Acronimo	ESPERA
Numero identificativo	17

D1.2 MAPPATURA DELLE NUOVI SOLUZIONI TECNOLOGICHE E ORGANIZZATIVE ORIENTATE ALLA CIRCOLARITÀ E ALLA SOSTENIBILITÀ DELLA FILIERA DELLE PERE E DI FILIERE SIMILI

Work Package	WP1
Responsabile	POLIMI DIG
Partecipanti	Paola Garrone, Giulia Bartezzaghi, Annalaura Silvestro, Filippo Renga, Chiara Corbo
Classificazione	CO (Confidenziale)
Data	14/12/2021
Versione	2.0

Versioni

Versione	Data	Commenti	Autori
1.0	30/11		Giulia Bartezzaghi, Annalaura Silvestro, Paola Garrone, Alessia Cattani, Irene Legnani
2.0	14/12		Giulia Bartezzaghi, Annalaura Silvestro, Paola Garrone, Alessia Cattani, Irene Legnani

Dichiarazione di originalità:

Questo rapporto contiene materiale originale non pubblicato precedentemente, eccetto dove diversamente indicato mediante citazioni e riferimenti bibliografici.

Le attività che hanno condotto a questi risultati hanno ricevuto finanziamento da Regione Lombardia nell'ambito del bando Bando 2018 per Progetti di ricerca in campo agricolo e forestale – d.d.s. n. 4403 del 28/03/2018.

The information in this document is provided "as is", and no guarantee or warranty is given that the information is fit for any particular purpose. The above referenced consortium members shall have no liability for damages of any kind including without limitation direct, special, indirect, or consequential damages that may result from the use of these materials subject to any liability which is mandatory due to applicable law.

Indice

I. RIEPILOGO GENERALE	4
1. INTRODUZIONE.....	5
2. METODOLOGIA.....	6
3. ANALISI DEI RISULTATI	9
3.1 ANALISI DELLE CAUSE DI GENERAZIONE DI ECCEденENZE E SPRECHI NELLA FILIERA ORTOFRUTTICOLA E MODALITÀ DI VALORIZZAZIONE DELLE ECCEденENZE	9
3.2 PROPOSTA DI UNA NUOVA TASSONOMIA DELLE SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER LA PREVENZIONE E LA GESTIONE DELLE ECCEденENZE ALIMENTARI NELLA FILIERA ORTOFRUTTICOLA	17
3.2.1 Arricchimento e validazione della tassonomia Ciccullo et al. (2021)	19
3.2.2 Approfondimento dei casi aziendali	44
3.3. LA PROPOSTA DI UNA NUOVA TASSONOMIA DELLE TECNOLOGIE.....	55
3.4 INQUADRAMENTO DEL CASO ESPERA	58
4. CONCLUSIONE E SVILUPPI FUTURI	60
II. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	61

I. Riepilogo generale

Il presente Deliverable (D1.2) ha l'obiettivo di analizzare e sistematizzare le principali cause e i punti di origine delle eccedenze negli stadi della filiera ortofrutticola e più nello specifico con riferimento alla filiera della pera IGP del Mantovano. Inoltre, analizza le possibili destinazioni d'uso delle eccedenze generate in relazione ai vari livelli della *Food Waste Hierarchy* o Gerarchia di Utilizzo delle Eccedenze. Propone quindi una nuova tassonomia delle soluzioni tecnologiche innovative per la prevenzione e valorizzazione delle eccedenze generate lungo la filiera ortofrutticola. Infine, propone un inquadramento delle innovazioni tecnologiche sperimentate nel progetto ESPERA all'interno della nuova tassonomia delle tecnologie..

I risultati presentati in questo rapporto sono frutto di un'approfondita analisi della letteratura scientifica e di settore e della mappatura di casi di soluzioni tecnologiche adottate in ambito aziendale e disponibili sul mercato. Inoltre, per l'arricchimento e la validazione della classificazione delle cause di origine delle eccedenze nella filiera ortofrutticola sono state condotte interviste a operatori della filiera della pera. Infine, per l'arricchimento e il perfezionamento della tassonomia delle tecnologie di prevenzione e gestione delle eccedenze nella filiera ortofrutticola e l'inquadramento delle soluzioni sperimentate all'interno di ESPERA sono stati intervistati alcuni esperti membri del consorzio del progetto.

A fine progetto è prevista un'ulteriore integrazione dei risultati presentati in questo rapporto attraverso il confronto delle soluzioni Espera con i casi aziendali più assimilabili dal punto di vista delle dimensioni della tassonomia e l'analisi degli adattamenti nei processi operativi necessari per adottare e beneficiare di tali tecnologie.

1. Introduzione

Secondo dati FAO (2019), lo spreco generato nella filiera ortofrutticola ammonta al 21,6% dei flussi per le fasi successive alla raccolta (post-harvest) fino alla distribuzione. La rilevanza del fenomeno dello spreco alimentare è particolarmente sentita con riferimento ai prodotti ortofrutticoli, caratterizzati da un alto valore nutrizionale e riconosciuti come fondamentali per una dieta sana ed equilibrata. Con questa consapevolezza sono state rafforzate le azioni di sensibilizzazione sul tema rivolte agli operatori del settore e ai consumatori, istituendo il 2021 come Anno Internazionale della Frutta e della Verdura.

La complessità di gestione dei prodotti di questa filiera ne determina un tasso di spreco quasi fisiologico, dovuto all'alta deperibilità di diverse tipologie di frutta e verdura, alla grande eterogeneità tra di esse, alle difficoltà di programmazione della produzione e ai molteplici fattori esogeni che possono danneggiare i raccolti, come illustrato dall'analisi condotta nel 2020 dall'Osservatorio sulle Eccedenze, Recuperi e Sprechi Alimentari (OERSA), coordinato dal CREA - IT Milano.

In questo contesto, la filiera della pera in Italia si contraddistingue da un limitato spreco alimentare, come emerso dall'analisi condotta nel task 2.1 e descritta nel deliverable D2.1 del presente progetto.

In particolare, lo studio ha evidenziato che in tale comparto vengono adottate pratiche di valorizzazione del prodotto in base alla sua qualità, che ne determina diverse possibili destinazioni di mercato e di consumo. Ciononostante, come già sottolineato nel precedente rapporto, rimangono margini di ulteriore efficientamento attraverso una migliore valorizzazione dei prodotti in eccedenza in un'ottica di maggior circolarità e sostenibilità dell'intera filiera. In questa direzione, stanno emergendo sul mercato nuove soluzioni tecnologiche, che ampliano la gamma di possibili opzioni di valorizzazione delle eccedenze per le diverse destinazioni d'uso e che trovano ambito fertile di applicazione nella filiera ortofrutticola. Attraverso un'approfondita analisi della letteratura e interviste ad esperti e operatori del settore, il presente rapporto analizza le principali cause e punti di origine delle eccedenze nelle diverse fasi della filiera ortofrutticola. Su questa base, propone quindi una nuova classificazione delle soluzioni tecnologiche per la prevenzione e gestione delle eccedenze in tale filiera e con riferimento specifico alla filiera della pera IGP del Mantovano e al contesto di sperimentazione tecnologica di ESPERA.

Infine, il presente rapporto fornisce indicazioni utili alla fase corrente e intermedia del progetto e sarà ulteriormente arricchito e aggiornato nei prossimi mesi di sperimentazione e per la fase conclusiva del progetto.

2. Metodologia

Lo studio ha previsto due fasi di analisi, orientate al perseguimento di due obiettivi di ricerca specifici:

- una prima fase di studio è stata condotta al fine di comprendere le principali cause di generazione delle eccedenze e degli sprechi nei diversi stadi della filiera ortofrutticola e analizzare le possibili opzioni di valorizzazione della eccedenza generata per le diverse destinazioni d'uso nella medesima filiera e con un'applicazione specifica al caso della filiera della pera IGP del Mantovano (RQ1);
- una seconda fase di studio è stata dedicata alla mappatura e alla classificazione delle principali soluzioni tecnologiche per la prevenzione e la gestione delle eccedenze alimentari nella filiera ortofrutticola in generale e con un'applicazione specifica alle soluzioni sperimentate all'interno del progetto ESPERA (RQ2).

Per rispondere agli obiettivi di cui sopra è stata condotta un'analisi della letteratura scientifica e grigia rilevante e sono state svolte interviste semi-strutturate ad un campione di operatori del settore ed esperti al fine di arricchire le evidenze scientifiche e corroborare le tassonomie proposte nel presente rapporto. In particolare:

- per RQ1, l'analisi sulle cause di generazione di eccedenze all'interno della filiera ortofrutticola è stata svolta tramite la piattaforma Scopus, utilizzando le seguenti query di ricerca:
 - *(fruit OR vegetable) AND (waste OR loss) AND cause;*
 - *("fruit and vegetable supply chain" OR "F&V supply chain") AND (waste OR loss);*
 - *("primary production" OR agriculture OR horticulture OR "on farm" OR field) AND (fruit OR vegetable OR F&V) AND (waste OR loss OR surplus);*
 - *("post harvest" OR "post-harvest") AND (fruit OR vegetable OR F&V) AND (waste OR loss OR surplus);*
 - *("handling and storage" OR cooperative) AND (fruit OR vegetable OR F&V) AND (waste OR loss OR surplus);*
 - *(processing OR packaging) AND (fruit OR vegetable OR F&V) AND (waste OR loss OR surplus);*
 - *(retail OR distribution OR wholesaler) AND (fruit OR vegetable OR F&V) AND (waste OR loss OR surplus).*

Sono stati letti gli abstract di oltre 4000 paper, dai quali ne sono stati selezionati 41 per attinenza al tema di ricerca. Di questi 41 sono stati considerati 26 paper sulla base di un'ulteriore analisi dell'introduzione. In merito alle destinazioni e modalità di gestione delle eccedenze nella medesima filiera è stata svolta un'analisi della letteratura scientifica attraverso la piattaforma Scopus, utilizzando le seguenti query di ricerca:

- *(fruit OR vegetable OR F&V) AND (waste OR surplus OR loss) AND (management OR valorization OR utilization OR minimization)*

- (fruit OR vegetable OR F&V) AND ("waste management" OR "waste utilization" OR "waste valorization") AND (drivers OR barriers)
- (fruit OR vegetable OR F&V) AND (waste OR surplus OR loss) AND (donation OR redistribution)
- (fruit OR vegetable OR F&V) AND (waste OR surplus OR loss) AND reuse
- (fruit OR vegetable OR F&V) AND (waste OR surplus OR loss) AND (recycle OR recycling)
- (fruit OR vegetable OR F&V) AND (waste OR surplus OR loss) AND recovery
- (fruit OR vegetable OR F&V) AND (waste OR surplus OR loss) AND disposal.

Tale ricerca ha portato all'analisi di titoli e abstract di oltre 1000 paper, consentendone di selezionarne 62. Di questi, sulla base dell'introduzione, ne sono stati selezionati 18 per l'analisi della letteratura sulle destinazioni delle eccedenze. Il totale dei paper considerati per l'intera analisi della letteratura è stato quindi di 44 paper. Le riviste scientifiche selezionate sono state Resources, Conservation and Recycling, Journal of Cleaner Production, Journal of Food Engineering e Journal of Environmental Management, considerando dal 2011 al 2020 come anni di riferimento. L'analisi si è focalizzata su tutti gli stadi della filiera: produzione, post-raccolta (comprendente le fasi di movimentazione e stoccaggio, trasformazione e packaging, distribuzione) e retail. L'analisi della letteratura scientifica ha consentito di approfondire 27 cause di generazione di eccedenze nella filiera ortofrutticola. Per dare una priorità a tali cause, per ogni stadio della filiera è stato assegnato un punteggio a ogni causa sulla base del numero di citazioni e della rilevanza emersa in letteratura. Tramite la *classificazione ABC*, e in particolare utilizzando il *metodo di incremento marginale*, le cause sono state divise in tre classi di rilevanza: classe "A", classe "B" e classe "C". In questo modo è stato possibile definire un framework di prioritizzazione delle cause sulla base della letteratura scientifica. Inoltre, per l'approfondimento della filiera della Pera IGP sono state svolte interviste semi-strutturate a 9 attori chiave di 5 aziende facenti parte di tutti gli stadi considerati (dalla produzione al retail), con lo scopo di indagare le principali cause di generazione delle eccedenze all'interno di tale filiera, le modalità di valorizzazione attivate e i driver e le barriere riscontrate dagli attori coinvolti. I questionari utilizzati per guidare le interviste sono stati adattati per ogni specifico interlocutore, in base alle attività e processi portati avanti all'interno del loro stadio di riferimento. In generale, a tutti è stato chiesto di descrivere le attività e i processi di cui si occupano e in particolare in quali di questi si riscontra la generazione di eccedenze, le cause che si possono collegare al fenomeno e le modalità che possono adottare per valorizzarle. Le interviste sono state svolte dal Dipartimento di Ingegneria Gestionale del Politecnico di Milano tra novembre 2020 e febbraio 2021 tramite Microsoft Teams o telefono con il supporto di un questionario e sono durate circa un'ora. Tutte le interviste sono state registrate e trascritte su consenso degli intervistati per facilitarne il coding. Per l'analisi delle interviste sono stati utilizzati due coding. Il primo per le cause, in cui le cause riscontrate in letteratura sono state utilizzate come codici, e tra categorie sono state considerate per analizzare i dati raccolti (macro-categoria di causa, problema analizzato, stadio della filiera). Il secondo coding è stato focalizzato sulle

destinazioni delle eccedenze, utilizzando le destinazioni emerse dalla letteratura come codici, e tre categorie di analisi (livello della Food Waste Hierarchy, problema analizzato, cause di generazione di eccedenza e stadio della filiera).

- Per RQ2 sono stati analizzati 42 paper scientifici e altri report di letteratura “grigia” con il fine di classificare le tecnologie per la prevenzione e la gestione delle eccedenze nella filiera ortofrutticola. Gli articoli scientifici sono stati reperiti e selezionati usando come fonti le riviste Resources, Conservation and Recycling, Journal of Cleaner Production, Journal of Food Engineering, Journal of Environmental Management, Trends in Food Science and Technology, Food Science and Technology International, Innovative Food Science and Emerging Technologies. Il periodo di riferimento considerato per la selezione dei paper è compreso tra il 2011 e il 2021. L’analisi dei paper è stata svolta tramite la piattaforma Scopus, utilizzando la seguente query di ricerca: KEY ((fruit OR vegetable OR f&v) AND (waste OR surplus OR loss) AND (management OR valorization OR utilization OR prevention)) e focalizzando la ricerca nelle riviste sopra menzionate.

Inoltre, al fine di arricchire e validare la classificazione sono stati analizzati report aziendali e siti online di fiere di settore per mappare e approfondire soluzioni tecnologiche disponibili sul mercato, che abilitano la gestione dei prodotti ortofrutticoli per le diverse destinazioni d’uso e nelle diverse fasi della filiera, prevenendo la generazione di sprechi. Inoltre, per la mappatura dei casi tecnologici è stato utilizzato il database di startup agrifood orientate alla sostenibilità, sviluppato dall’Osservatorio Food Sustainability del Politecnico di Milano. Il database comprende 7.120 startup agrifood, attive e operative con data di fondazione compresa tra l’1/1/2016 e il 3/12/2020. Di queste 1.808 sono classificate come sostenibili in quanto perseguono almeno uno dei target di sostenibilità inclusi nell’Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. Ai fini di questo studio è stata svolta un’analisi di un sotto campione di 41 startup agrifood che propongono soluzioni tecnologiche al fine di ridurre le eccedenze e gli sprechi alimentari (target 12.3 dell’Agenda) nella filiera ortofrutticola e di cui c’è disponibilità di accesso ad un sito internet per la raccolta di dati secondari.

Inoltre, al fine di validare la proposta di classificazione delle tecnologie e inquadrare le innovazioni oggetto di sperimentazione del progetto ESPERA all’interno della tassonomia sono state condotte interviste semi-strutturate ai quattro partner di ricerca del progetto ESPERA (Dipartimento di Fisica di POLIMI, CREA.IT-MI, CNR.MI, UNIMI Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali). Le interviste sono state svolte tra ottobre e novembre 2021 tramite Microsoft Teams e sono durate circa un’ora. Le interviste sono state registrate e hanno coinvolto almeno due ricercatori del Dipartimento di Ingegneria Gestionale del Politecnico di Milano.

3. Analisi dei risultati

3.1 Analisi delle cause di generazione di eccedenze e sprechi nella filiera ortofrutticola e modalità di valorizzazione delle eccedenze

L'analisi delle principali cause che portano alla generazione di eccedenze all'interno della filiera delle pere IGP è stata svolta a partire da uno studio approfondito dei singoli stadi che compongono la filiera ortofrutticola, descritti nel dettaglio all'interno del Deliverable 1.1.: **produzione, movimentazione e stoccaggio, trasformazione e packaging, distribuzione e retail**. Anche se la generazione di eccedenza si manifesta in uno stadio specifico, le cause possono essere riconducibili a decisioni, pratiche o attività che sono state svolte o adottate in modo inadeguato in stadi precedenti o successivi rispetto allo stadio di origine del surplus (Raak et al., 2017). Per questo motivo è risultato fondamentale investigare a fondo i processi operativi esistenti, i fenomeni esogeni e naturali che possono avere un'influenza sulle attività e decisioni e gli standard qualitativi richiesti in ciascuna fase della filiera, e le relazioni esistenti tra queste e tra tutti gli attori che ne fanno parte. La rielaborazione dei risultati emersi dall'analisi della letteratura scientifica in merito alle cause di generazione di eccedenze nel settore ortofrutticolo, ha permesso di prioritizzare le cause per ciascuno stadio della filiera, andando poi a validare e arricchire i risultati attraverso lo studio di caso incentrato sulla filiera delle pere IGP.

Sono state innanzitutto identificate cinque macrocategorie di cause, proposte grazie alla rielaborazione della letteratura, in cui sono state raggruppate le diverse cause specifiche di generazione di eccedenze all'interno della filiera ortofrutticola (vedi Tabella 1).

Tabella 1: Macrocategorie delle cause di generazione di eccedenza all'interno della filiera ortofrutticola

Macrocategoria	Descrizione
Cause naturali	Problemi legati a eventi naturali, sui quali gli attori della filiera hanno limitato controllo, quali ad esempio episodi metereologici estremi o infestazioni delle produzioni
Processi operativi	Problemi nelle attività e nelle decisioni operative tipiche dello stadio
Supply chain	Problemi nelle relazioni e nello scambio di informazioni con attori degli altri stadi della filiera
Standard qualitativi	Cause legate agli standard qualitativi predefiniti
Comportamento dei consumatori	Problemi indotti nello stadio dal comportamento dei consumatori, in misura limitata dipendenti da pratiche di gestione

Fonte: elaborazione di Cattani (2021)

Le cause specifiche, appartenenti a queste macrocategorie, sono state innanzitutto indagate e approfondite in riferimento a tutti gli stadi della filiera attraverso un'estesa analisi della letteratura scientifica, che ha permesso successivamente di classificarle in base alla loro rilevanza per ciascuno stadio utilizzando il metodo della classificazione ABC (vedi paragrafo 2. Metodologia). In Tabella 2 sono riportate tutte le cause di generazione di eccedenze analizzate in letteratura con il relativo grado di rilevanza (rosso priorità "A", arancione priorità "B", bianco priorità "C"). Le cause di maggior rilevanza secondo la letteratura sono state validate e corroborate tramite lo studio di caso incentrato sulla filiera delle pere IGP. In questo modo è stato possibile individuare quali sono i fattori che portano alla generazione di eccedenze lungo la filiera delle pere IGP, prima di indagarne le possibili modalità di valorizzazione a cui vengono destinate.

Tabella 2: Priorizzazione delle cause di generazione delle eccedenze tramite metodo ABC

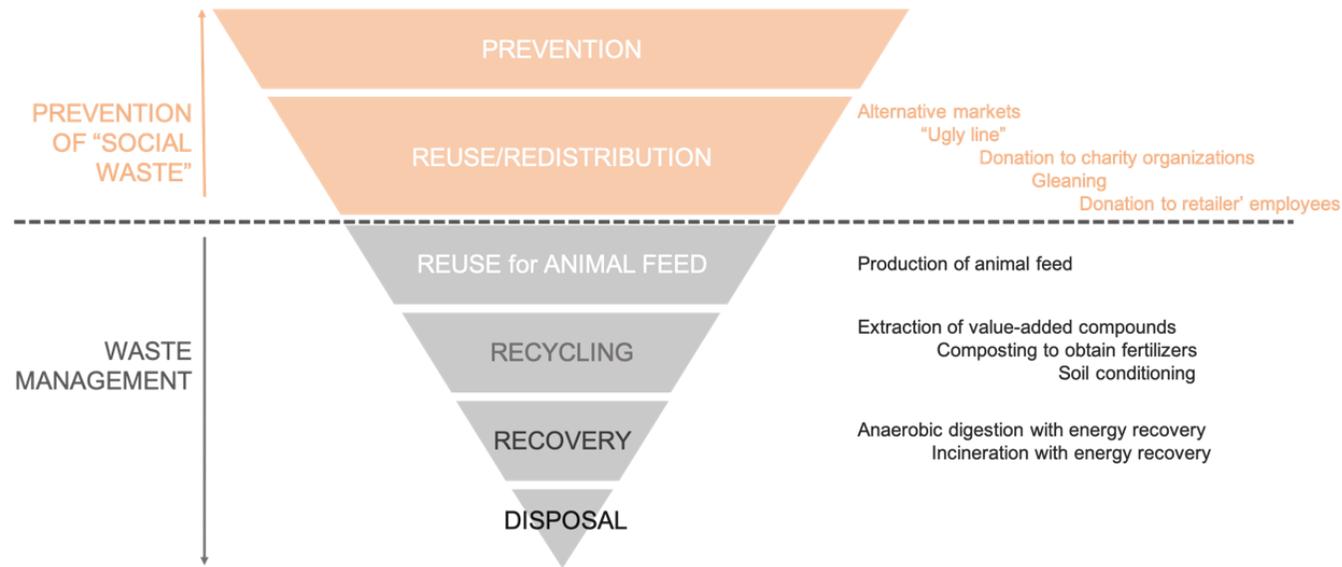
MACRO-CATEGORIES	CAUSES OF SURPLUS FOOD AND FOOD WASTE		FSC STAGE				
			AGRICULTURAL PRODUCTION	HANDLING AND STORAGE	PROCESSING AND PACKAGING	DISTRIBUTION	RETAIL
Supply chain	1	Overproduction; oversupply; excessive stock	✓	✓	✓	✓	✓
Supply chain	2	Inadequate demand forecasting; unpredictable orders	✓	✓	✓	✓	✓
Operational process	3	Poor operational performance	✓	✓	✓	✓	✓
Natural causes	4	Weather variability – extreme weather	✓	✓			
Quality standards	5	Non-conformity to quality specifications	✓	✓	✓	✓	✓
Natural causes	6	Product quality deterioration due to diseases, pest or contamination	✓	✓	✓	✓	✓
Supply chain	7	Not-harvested products due to unprofitable market prices	✓				
Quality standards	8	Short product shelf life; near expiry products	✓	✓	✓	✓	✓
Operational process	9	Inadequate transportation management	✓	✓	✓	✓	
Supply chain	10	Lack of coordination and information sharing	✓	✓	✓	✓	✓
Operational process	11	Lack of appropriate storage facilities and cold chain facilities		✓	✓	✓	✓
Operational process	12	Inadequate or defective packaging		✓	✓	✓	✓
Operational process	13	Storage at wrong temperatures		✓	✓	✓	✓
Supply chain	14	Take back agreements and orders cancellation			✓	✓	
Supply chain	15	Risk of rejection	✓				
Operational process	16	Inadequate inventory and storage management		✓	✓		
Operational process	17	Transportation at wrong temperatures				✓	
Operational process	18	Distance travelled				✓	
Supply chain	19	Pricing strategies and promotions management	✓	✓	✓		✓
Consumers	20	Inadequate handling by consumers					✓
Operational process	21	Inefficient in-store management					✓
Supply chain	22	Buyer availability	✓	✓		✓	
Consumers	23	Changing consumer tastes and demand over years	✓				✓
Operational process	24	Inadequate agronomic practices; inadequate harvest scheduling	✓	✓	✓	✓	
Consumers	25	Consumer education on food losses; consumer intolerance of substandard food			✓		✓
Operational process	26	Impossibility of repacking if one item becomes diseased or out of standard					✓
Operational process	27	Trimming			✓		

Fonte: elaborazione di Cattani (2021)

Partendo dallo stadio di *produzione*, *cause naturali* come *malattie e contaminazioni di insetti*, *variabilità metereologica ed eventi atmosferici estremi* (grandine, tempeste, siccità...) sui quali gli attori della filiera hanno il minimo controllo, sono tra le principali cause di generazione di eccedenze, in quanto vanno a deteriorare la qualità dei frutti, facendo sì che non siano commerciabili per il mercato del fresco e perfino dei trasformati. Anche le *limitazioni sul numero dei residui presenti nei frutti – standard qualitativi* - sono percepite come un'importante origine di eccedenza dagli attori della filiera, poiché diminuiscono la possibilità di contrastare malattie di piante e frutti che danneggiano i raccolti. Tutti questi fattori emergono come prioritari anche per lo stadio di *movimentazione e stoccaggio*, in quanto all'interno della filiera delle pere IGP tutto il prodotto raccolto dai produttori viene consegnato alle cooperative, che quindi percepiscono le stesse cause di danneggiamento dei prodotti che vedono anche nello stadio a monte. Ciò che è invece percepito prettamente dagli attori che operano in questo stadio è la *frammentazione della filiera – supply chain* - , un forte sbilanciamento di potere di acquisto da parte dei distributori che porta inevitabilmente a inefficienze e abbassamento del valore dei prodotti, percepiti appunto negli stadi a monte, così come la *scarsa educazione e sensibilizzazione del consumatore finale* in merito a problema dello spreco alimentare e *preferenze verso prodotti esteticamente perfetti*, fattori quindi legati al *consumatore finale*, che si riflettono nelle politiche di vendita e acquisto a svantaggio di prodotti ugualmente buoni e freschi ma con difetti estetici. Il tema della *non conformità agli standard qualitativi* da rispettare è percepito da tutti gli stadi della filiera delle pere IGP come cruciale per la generazione di eccedenze, e in particolare in fase di *trasformazione e packaging* i requisiti imposti dagli stadi a valle e dalle regolamentazioni Europee fanno sì che i prodotti che non hanno le dimensioni idonee e non superano le specifiche sui gradi *Brix* non possano accedere al migliore mercato (WRAP, 2011) (Richter and Bokelmann, 2016). Anche la *manca di coordinamento e condivisione di informazioni tra i diversi stadi della filiera* è un tema percepito da tutti gli attori dalla *produzione al retail*: avere visibilità sui processi precedenti o successivi favorirebbe un allineamento tra domanda e offerta, e il focalizzarsi prevalentemente sulle proprie attività senza pensare all'efficientamento e al "benessere" dell'intera filiera è un problema rilevante per tutti gli stadi. A livello di *distribuzione*, si riscontrano problemi legati a *processi operativi*, come la *manca o l'inadeguatezza del packaging*, che ha effetti importanti sulla conservazione del prodotto durante il trasporto e la movimentazione dal momento che questo viene più facilmente danneggiato in queste attività. Anche per la *distribuzione e retail* le inefficienze operative degli stadi a monte sono percepite in modo rilevante, ad esempio le *tempistiche di raccolta dei frutti e la loro inadeguata conservazione e movimentazione* hanno conseguenze sulle condizioni qualitative e sulla maturazione delle pere, che necessitano un'attenzione particolare in queste fasi essendo frutti abbastanza delicati e facilmente danneggiabili. In merito a questo, anche il comportamento del consumatore finale all'interno dei punti vendita ha conseguenze importanti, se si pensa al *maneggiamento dei prodotti sfusi* che se danneggiati - anche minimamente e solo dal punto di vista estetico - restano spesso invenduti e devono trovare altre destinazioni per evitare di essere sprecati.

Le modalità con cui le eccedenze di pere vengono valorizzate sono state analizzate in riferimento ai diversi livelli della *Food Waste Hierarchy* (si veda Figura 1), che dalla prevenzione al recupero energetico fornisce una gerarchia di azioni per implementare i concetti di circolarità alimentare, con cui è possibile gestire le eccedenze prima che diventino spreco.

Figura 1: Food Waste Hierarchy nella filiera ortofrutticola



Fonte: rielaborazione degli autori e Cattani (2021)

Anche per le destinazioni, è stata svolta innanzitutto un'approfondita analisi della letteratura scientifica (si veda Tabella 3), che ha consentito di comprendere a fondo le possibili destinazioni delle eccedenze per il settore ortofrutticolo. Successivamente, lo studio di caso ha permesso di validare i risultati emersi per la filiera delle pere IGP oggetto di analisi (si veda Tabella 4).

Tabella 3: Possibili destinazioni delle eccedenze lungo i livelli della Food Waste Hierarchy e per ogni stadio della filiera ortofrutticola

TYPE OF DESTINATION: Food Waste Hierarchy level	TYPE OF DESTINATION: details	FSC STAGE					REFERENCES
		AGRICULTURAL PRODUCTION	HANDLING AND STORAGE	PROCESSING AND PACKAGING	DISTRIBUTION	RETAIL	
Reuse / redistribution	Alternative market (juice, soup, jam,..)	✓	✓	✓	✓	✓	Ghosh et al., 2016; Kitinoja et al., 2018; Fernandez-Zamudio et al., 2020; Johnson et al., 2018a; FAO, 2011; Garcia-Garcia et al., 2019; Stone et al., 2019; Richter and Bokelmann, 2016; Mena et al., 2011; Eriksson et al., 2017; WRAP, 2011; WRAP, 2017;
	“Ugly line”	✓	✓	✓	✓	✓	Fernandez-Zamudio et al., 2020; Johnson et al., 2018a; Gunders, 2012; Garcia-Garcia et al., 2019; Stone et al., 2019; Raak et al., 2017; Mena et al., 2011; Hermsdorf et al., 2017; Lebersorger and Schneider, 2014; WRAP, 2017;
	Donation to food banks	✓	✓	✓	✓	✓	Kitinoja et al., 2018; Johnson et al., 2019; Johnson et al., 2018a; Gunders, 2012; Hermsdorf et al., 2017;
	Donation to front-line charity organizations	✓	✓	✓	✓	✓	Ghosh et al., 2016; Johnson et al., 2019; Johnson et al., 2018a; Gunders, 2012; Richter and Bokelmann, 2016; Ghosh et al., 2017; Mena et al., 2011; Eriksson et al., 2017; Albizzati et al., 2019; Hermsdorf et al., 2017; O'Donnell et al., 2015; Lebersorger and Schneider, 2014; Buzby et al., 2015; Ishangulyyev et al., 2019;
	Donation to retailers' employees					✓	Hermsdorf et al., 2017;
	Gleaning	✓					Kitinoja et al., 2018; Johnson et al., 2019; Beausang et al., 2017; Johnson et al., 2018a; Gunders, 2012;
Reuse as animal feed	Animal feed	✓	✓	✓	✓	✓	Ghosh et al., 2016; Kitinoja et al., 2018; Joensuu et al., 2020; Beausang et al., 2017; FAO, 2011; Fernandez-Zamudio et al., 2020; Raimondo et al., 2018; Garcia-Garcia et al., 2019; Salihoglu et al., 2018; Raak et al., 2017; Ghosh et al., 2017; Mena et al., 2011; Albizzati et al., 2019; Hermsdorf et al., 2017; O'Donnell et al., 2015; WRAP, 2011; WRAP, 2017;
Recycling	Extraction of value-added compounds			✓			Raimondo et al., 2018; Richter and Bokelmann, 2016;
	Composting to obtain fertilizers	✓	✓	✓	✓	✓	Ghosh et al., 2016; Kitinoja et al., 2018; Joensuu et al., 2020; Beausang et al., 2017; Raak et al., 2017; Plazzotta et al., 2017; Hermsdorf et al., 2017; O'Donnell et al., 2015; Eriksson et al., 2012; Buzby et al., 2015; WRAP, 2011; WRAP, 2017;
	Soil conditioning	✓	✓	✓			Ghosh et al., 2016; Kitinoja et al., 2018; Fernandez-Zamudio et al., 2020; Joensuu et al., 2020; Johnson et al., 2019; Beausang et al., 2017; Johnson et al., 2018b; Johnson et al., 2018a; Gunders, 2012; Plazzotta et al., 2017; WRAP, 2011; WRAP, 2017;
Recovery	Anaerobic digestion with energy recovery	✓	✓	✓	✓	✓	Kitinoja et al., 2018; Beausang et al., 2017; Raimondo et al., 2018; Garcia-Garcia et al., 2019; Salihoglu et al., 2018; Raak et al., 2017; Mena et al., 2011; Eriksson et al., 2017; Albizzati et al., 2019; O'Donnell et al., 2015; WRAP, 2011; WRAP, 2017;
	Incineration with energy recovery				✓	✓	Albizzati et al., 2019; Eriksson et al., 2012;
Disposal	Landfill	✓	✓	✓	✓	✓	Gunders, 2012; Salihoglu et al., 2018; FAO, 2011; Mena et al., 2011; O'Donnell et al., 2015; Lebersorger and Schneider, 2014; Buzby et al., 2015; WRAP, 2011; WRAP, 2017;
	Incineration	✓			✓	✓	Ghosh et al., 2016; Eriksson et al., 2017; Buzby et al., 2015; Mattsson et al., 2018; Eriksson et al., 2012;

Fonte: elaborazione di Cattani (2021)

Tabella 4: Destinazione delle eccedenze lungo i livelli della Food Waste Hierarchy e per ogni stadio della filiera ortofrutticola da letteratura e studio di caso sulla filiera della pera IGP.

TYPE OF DESTINATION: Food Waste Hierarchy level	TYPE OF DESTINATION: details	PEAR SUPPLY CHAIN STAGE				
		AGRICULTURAL PRODUCTION	HANDLING AND STORAGE	PROCESSING AND PACKAGING	DISTRIBUTION	RETAIL
Reuse / redistribution	Alternative market (syrup, purees, juices, jams, mustards, sweetener)	✓	✓	Not mentioned	Not mentioned	✗
	“Ugly line”	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	✓
	Donation to food banks	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	✓	✓
	Donation to front-line charity organizations	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	✓	✓
	Donation to retailers’ employees					Not mentioned
	Gleaning	Not mentioned				
	Alternative market (distillery: grappa)	✓	✓	✓		
Reuse as animal feed	Animal feed	✓	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned
Recycling	Extraction of value-added compounds			✗		
	Composting to obtain fertilizers	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned
	Soil conditioning	✓	Not mentioned	✓		
Recovery	Anaerobic digestion with energy recovery	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned
	Incineration with energy recovery				Not mentioned	Not mentioned
Disposal	Landfill	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	✓	✓
	Incineration	Not mentioned			Not mentioned	Not mentioned

Fonte: elaborazione di Cattani (2021)

Per ciascun livello della Food Waste Hierarchy, i canali in cui vengono indirizzate le pere in eccedenza sono diversi a seconda dello stadio della filiera in cui si generano, in quanto a seconda del contesto in cui ci si trova sono diverse le possibilità e le attività che gli attori sono in grado di implementare. Il riutilizzo e la redistribuzione rappresentano il livello più alto di gestione delle eccedenze, in quanto i prodotti possono ancora trovare una destinazione per il consumo umano. Le pere IGP che non riescono a trovare accesso al mercato di prima qualità (prodotti freschi e di prezzo maggiore, Deliverable 1.1) vengono trasformate in altri prodotti (concentrati, puree, succhi, cubetti per macedonie, mostarde...) e destinate a *mercati alternativi*, che in alcuni casi consentono una buona valorizzazione del prodotto anche a livello economico, come nel caso delle pere scioppate per l'industria dolciaria e Ho.Re.Ca. (Tesi Cattani, Deliverable 1.1) o la distillazione, che consente di trovare un mercato anche per i frutti molto danneggiati e già in fase di fermentazione. La destinazione alla trasformazione viene effettuata direttamente dai primi stadi della filiera, quindi direttamente dai produttori e dalle cooperative, che cercano di trovare uno sbocco economico per tutti i prodotti che ricevono. Altri modi di valorizzare i prodotti sono la vendita in specifici reparti, collegata spesso a campagne di sensibilizzazione dei consumatori verso prodotti "*brutti ma buoni*", realizzate all'interno dei punti vendita dei retailer. Si ha poi la *donazione a Food Banks* o direttamente ad *Associazioni Non Profit ed Enti Caritativi* dei frutti rimasti invenduti negli ultimi stadi della filiera (distribuzione e retail). Scendendo lungo la *Food Waste Hierarchy*, il *riutilizzo di frutti per il consumo animale* risulta essere per questa filiera un'opzione valutata solo da parte dei produttori, quando a causa di fattori naturali la qualità delle pere viene inficiata a tal punto da non rendere più idonee per il consumo umano. A livello di *riciclo* invece, il *condizionamento del terreno* è la destinazione che produttori e aziende della trasformazione considerano come ultima opzione possibile di valorizzazione dei prodotti. Non è emerso infatti da parte di alcun attore la destinazione di eccedenze per il *recupero energetico*.

3.2 Proposta di una nuova tassonomia delle soluzioni tecnologiche per la prevenzione e la gestione delle eccedenze alimentari nella filiera ortofrutticola

Le tecnologie giocano un ruolo chiave nella traduzione concreta di soluzioni di economia circolare nel settore agroalimentare, prevenendo la generazione di sprechi (Ciccullo et al., 2021). Esse trovano un ambito fertile di sviluppo e applicazione nella filiera ortofrutticola (Ciccullo et al., 2021). Le tecnologie consentono alle imprese di intervenire sui diversi livelli della Food Waste Hierarchy, dando priorità alla prevenzione e al riutilizzo delle eccedenze per il consumo umano (Ciccullo et al., 2021).

Tabella 5. Tassonomia delle tecnologie per la prevenzione dello spreco nella filiera ortofrutticola.
Fonte: Elaborazione di Ciccullo et al. (2021)

Taxonomy of technologies, objectives, supply chain stages that represent the main user of the technology

		Supply chain stage of the client company				
		Cultivation and harvesting	Selection, storage, packing	Transportation	Manufacturing	Retail
Information systems and analytics	Forecasting	Comp. G Comp. M Comp. S				
	Monitoring	Comp. D Comp. T Comp. A Comp. C		Comp. N Comp. R		Comp. N
	Grouping / sorting		Comp. B Comp. P Comp. J Comp. E			
Chemical preservation	Shelf life extension				Comp. E	
	Quality upgrading	Comp. F Comp. L				Comp. K
Mechanical preservation	Shelf life extension		Comp. H Comp. Q	Comp. O Comp. Q		
Processing	Product value upgrading					Comp. U

Ciccullo e al. analizzano il ruolo della collaborazione tra provider tecnologici e le imprese della filiera come fattore abilitante all'adozione di tali tecnologie per la riduzione dello spreco nella filiera ortofrutticola. Gli stessi autori propongono una tassonomia delle tecnologie che contribuiscono a prevenire la generazione di eccedenze lungo la medesima filiera. La tassonomia proposta classifica le tecnologie sulla base di tre dimensioni: i) tipo di tecnologia; ii) obiettivo specifico al fine di prevenire la generazione di eccedenze; iii) stadio della filiera in cui si colloca l'azienda che adotta una determinata tecnologia.

In particolare, le tecnologie di prevenzione vengono distinte in quattro categorie:

- *Information systems and analytics*: soluzioni tecnologiche che si affidano a sistemi di raccolta dati per limitare la sovrapproduzione, identificare cause di non conformità agli standard di mercato e destinare i prodotti ai mercati appropriati sulla base delle caratteristiche intrinseche ed esterne dei frutti, perseguendo così gli obiettivi specifici di previsione, monitoraggio o raggruppamento e selezione. Rientrano in questo cluster i sistemi di previsione della domanda e dell'offerta di frutta e verdura basati sull'applicazione di algoritmi di machine learning, o sensori che misurano e monitorano parametri di campo ed esogeni, ad esempio la temperatura e il livello di umidità del suolo, il livello di pioggia, la velocità e la direzione del vento, al fine di supportare gli agricoltori nelle attività agricole, ottimizzando la programmazione della produzione.
- *Chemical preservation*: sostanze chimiche che, applicate direttamente a frutta e verdura e/o attraverso il cosiddetto "packaging attivo", allungano la loro durata di conservazione e migliorano o mantengono la qualità, ad esempio rallentando il processo di maturazione.
- *Mechanical preservation*: sistemi di conservazione e trasporto in grado di monitorare parametri specifici (ad esempio temperatura, livello di ossigeno) con l'obiettivo di ampliare la durata di conservazione. Ricadono in questo gruppo le tecnologie di stoccaggio in atmosfera controllata per la conservabilità della frutta.
- *Processing technology*: tecnologia di trasformazione dei prodotti freschi, come frutta e verdura, in altri prodotti finiti, come snack, zuppe, succhi di frutta, estendendone la shelf-life.

Il tipo di tecnologia è strettamente connesso all'obiettivo specifico di utilizzo rispetto all'obiettivo più generale di prevenzione delle eccedenze alimentari.

Gli obiettivi specifici sono sei e riconducibili a: *previsione, monitoraggio, raggruppamento e selezione, miglior conservazione dei prodotti per estenderne la shelf-life, miglioramento della qualità e incremento del valore del prodotto.*

In particolare, i sistemi di *information system e analytics* possono essere adottati per fini di previsione, monitoraggio, raggruppamento e selezione; le tecnologie di *chemical preservation e mechanical preservation* sono impiegate per migliorare la qualità del prodotto o per estenderne la vita residuale. Infine, le tecnologie di trasformazione sono impiegate per trasformare il prodotto in un altro di maggior valore percepito di qualità e/o economico. I vari tipi di tecnologie trovano diversa applicazione e livello di adozione considerando l'obiettivo

specifico perseguito e lo stadio della filiera in cui tali tecnologie sono adottate.

3.2.1 Arricchimento e validazione della tassonomia Ciccullo et al. (2021)

Partendo dal framework di Ciccullo et al. (Tabella 5), è stata sviluppata una nuova tassonomia di tecnologie per la prevenzione e la gestione delle eccedenze nella filiera ortofrutticola, che ha ampliato e arricchito il framework esistente integrando i livelli più “bassi” della Food Waste Hierarchy dopo la prevenzione, in un’ottica di circolarità. L’arricchimento del framework è stato condotto attraverso l’analisi della letteratura scientifica e di settore e la mappatura di casi di innovazioni tecnologiche di recente evoluzione e adozione sul mercato (si veda Capitolo 2 Metodologia).

La Tabella 6 classifica le soluzioni tecnologiche secondo quattro parametri: i) destinazione d’uso delle eccedenze secondo i livelli della Food Waste Hierarchy; ii) cluster tecnologico di appartenenza; iii) obiettivo specifico perseguito per la prevenzione e gestione delle eccedenze; iv) stadio della filiera in cui si generano le eccedenze (che sono quindi prevenute all’origine o valorizzate grazie ad una determinata soluzione tecnologica). Nella tabella sono riportate le fonti consultate in letteratura scientifica e grigia e i riferimenti ai casi tecnologici analizzati.

Inoltre, la nuova classificazione opera una ulteriore distinzione all’interno delle tecnologie di processing basata sui principi del processo di trasformazione e valida e arricchisce gli obiettivi specifici di utilizzo. La nuova tassonomia è stata quindi ulteriormente integrata e validata attraverso le interviste con gli esperti. Infine, la nuova tassonomia è stata applicata anche al contesto specifico di ESPERA (si veda capitolo 2 Metodologia).

Nel dettaglio, si confermano gli obiettivi di previsione (*forecasting*), raggruppamento e selezione (*grouping and sorting*), estensione della shelf-life (*shelf-life extension*), incremento del valore del prodotto (*product-value upgrading*). Quest’ultimo assume un’accezione più ampia di recupero di prodotti edibili, sottoprodotti e scarti per la creazione di altri prodotti o composti di utilizzo ad uso alimentare, consumo animale o in altri settori (ad esempio nella cosmesi), che presentano un maggior valore qualitativo e/o economico rispetto all’input originario. L’obiettivo di monitoraggio è coniugato a quello di tracciabilità (*monitoring and traceability*). Inoltre, l’obiettivo di incremento della qualità viene ridefinito come preservazione della qualità (*quality preservation*). Infine, sono stati aggiunti i seguenti obiettivi: accesso e condivisione dei prodotti (*food access and sharing*); sicurezza alimentare (*food safety*); recupero di energia (*energy recovery*) e riduzione

del volume dei rifiuti (*reduction in waste volume*).

A livello di soluzioni tecnologiche, in aggiunta ai fini di previsione della domanda, i sistemi di *information system e analytics* possono abilitare la tracciabilità dei prodotti, che è strettamente connessa al loro monitoraggio nelle diverse fasi (*monitoring and traceability*). Inoltre, come già evidenziato in precedenza, queste tecnologie consentono di classificare e selezionare i frutti in base ad alcuni parametri specifici (ad esempio il grado di maturazione, il livello zuccherino, le dimensioni, il peso, la presenza di difetti estetici), destinandoli a diversi canali di distribuzione e vendita (*grouping and sorting*). Questi sistemi abilitano anche lo scambio di dati e l'accesso in real-time a informazioni sui prodotti, incrementando la comunicazione e l'integrazione di filiera, ottimizzando l'equilibrio tra domanda e offerta e quindi la gestione delle scorte, o favorendo il recupero di prodotti in eccedenza (*food access and sharing*). Le soluzioni tecnologiche che appartengono a questo cluster permettono quindi di prevenire la generazione di eccedenze o, una volta generate, di riutilizzarle o ridistribuirle per il consumo umano.

Fanno parte di questo cluster tecnologico le tecnologie di *machine learning* per migliorare la previsione della domanda e quindi la programmazione della produzione; i sistemi di supporto alle decisioni basati sull'analisi di *Big Data*; sensori e altri dispositivi *IoT* applicati alle unità logistiche e connessi ad un'unità centrale di controllo, in grado di monitorare alcuni parametri critici come la qualità, la freschezza e la sicurezza degli alimenti, in particolare per i prodotti freschi e facilmente deperibili, e, facendo ricorso ad altre applicazioni e immagini satellitari, suggerire percorsi di trasporto ottimali, minimizzando i tempi di consegna degli alimenti. Rientrano nel cluster *information system and analytics* anche i sistemi di *Artificial Intelligence e imaging spettrale*, impiegati per ottimizzare il controllo di qualità e selezionare i frutti in base a dimensioni, peso, caratteristiche intrinseche ed estetiche. Quest'ultimi possono essere coniugati con sistemi elettronici di calibrazione, impiegati negli impianti di selezione e lavorazione dell'ortofrutta. Analogamente, fanno parte di questo cluster anche le tecnologie spettroscopiche non distruttive, che permettono di classificare i frutti in fase di raccolta in base al loro livello di maturazione.

Per fini di monitoraggio e tracciabilità sono impiegati sensori e tag RFID applicati al packaging (primario, secondario e terziario) e soluzioni di packaging "intelligente", in grado di monitorare le condizioni di conservazione del prodotto, rilevando la variazione di concentrazione di gas, pH, umidità, luce o temperatura dell'interno di un imballaggio e segnalando il superamento di determinate soglie critiche di temperatura o umidità.

Inoltre, *piattaforme collaborative, in particolare basate sul paradigma blockchain*, vengono impiegate per tracciare i prodotti e scambiare dati in real-time tra gli attori di filiera, rendendo la supply chain più trasparente, e di mettere in connessione le imprese che generano eccedenze con le organizzazioni del Terzo Settore impegnate nella loro redistribuzione a fini sociali. Le tecnologie del cluster *chemical preservation* sono utilizzate per preservare la qualità degli stessi, mantenendone quanto possibile le

proprietà organolettiche e nutrizionali, e allungare la vita residuale degli stessi. Inoltre, queste tecnologie sono adottate per garantire la sicurezza alimentare dei prodotti (*food safety*), aspetto emerso come particolarmente rilevante nelle interviste con gli esperti e quindi integrato nella nuova tassonomia. Pertanto, queste tecnologie sono funzionali a prevenire la generazione di eccedenze. Fanno parte di questo cluster tecnologico imballaggi in atmosfera modificata, soluzioni di coating protettive, trattamenti biochimici applicati direttamente sui frutti, al fine di rallentare i processi di maturazione e l'imbrunimento degli stessi, prevenire fitopatie e la crescita di agenti microbici. Ad esempio, rientrano in questo cluster i trattamenti 1-MCP per ritardare la maturazione dei frutti; i processi di ossidazione a bassa temperatura per rimuovere l'etilene, che favorisce la maturazione e il deperimento; l'utilizzo dell'ozono come agente disinfettante, o ancora l'utilizzo del metabisolfito per inibire le reazioni di imbrunimento ed evitare la crescita microbica.

Per fini di prevenzione sono adottate anche le tecnologie di *mechanical perservation*, che consentono di estendere la shelf-life dei prodotti – obiettivo già presente nel precedente framework – e/o di preservare la qualità degli stessi – obiettivo aggiuntivo emerso come rilevante dalle interviste con gli esperti e riscontrato nei casi analizzati. Esempi di tecnologie che rientrano in questo cluster sono i sistemi di refrigerazione ad atmosfera controllata, le tecnologie di umidificazione ad ultrasuoni, sistemi di raffreddamento sottovuoto o a pressione. Rientrano in questo cluster anche soluzioni di packaging sterilizzate prima del riempimento con prodotti trattati ad altissima temperatura, in grado di allungare la durata di conservazione di oltre sei mesi senza l'utilizzo di conservanti: imballaggi a tenuta d'aria, che rimuovono l'aria dalla confezione prima della sigillatura; o ancora processi di idrorefrigerazione, tramite cui frutta e verdura vengono raffreddate subito dopo la raccolta.

Infine, il cluster di tecnologie di trasformazione o *processing* presenta la gamma più ampia di tecnologie disponibili, che vengono classificate nelle cinque sottocategorie sopra menzionate e che possono intervenire su più livelli di gestione delle eccedenze, dal riutilizzo per consumo umano, al riutilizzo per consumo animale, al riciclo e recupero energetico, fino allo smaltimento in discarica. Queste tecnologie possono infatti assolvere a più funzioni: recuperare prodotti, sottoprodotti e scarti per la generazione di altri prodotti di maggior valore qualitativo e/o economico (*product value upgrading*); recuperare energia (*energy recovery*); ridurre il volume dei rifiuti organici da smaltire (*reduction in waste volume*).

In questo cluster rientrano tecnologie di natura meccanica che applicano ai prodotti trattamenti a determinate temperature per estenderne il ciclo di vita generando un altro prodotto di maggior valore, come nel caso dell'essiccazione, della liofilizzazione e dei sistemi di cottura ad estrusione per la preparazione di snack ad alto contenuto di frutta e verdura. Per lo stesso fine sono impiegate tecnologie dei campi elettrici pulsati (PEF), che non applicano variazioni di temperatura (*mechanical treatment*).

Scendendo lungo la *Food Waste Hierarchy*, ritroviamo diverse soluzioni tecnologiche che applicano trattamenti meccanici, termomeccanici, chimici e biochimici per fini di riciclo. Ad esempio, rientrano in questo cluster l'estrazione della pectina dalle bucce di pompelmo



mediante estrazione con riscaldamento assistito da ultrasuoni (UAHE) e l'estrazione dei poliidrossialcanoati (PHA) sintetizzati da microbi procarioti, ovvero poliesteri compostabili a base biologica che rappresentano una delle alternative alle comuni plastiche a base petrolchimica. Rientrano in questa categoria anche il compostaggio e la produzione di fertilizzanti organici da rifiuti alimentari mediante fermentazione aerobica dinamica ad alta temperatura (DHAF). Per il recupero energetico vengono adottate tecnologie di natura biochimica o termochimica. Ad esempio, la gassificazione, processo di degradazione termica che avviene a temperature elevate e in un ambiente privo di ossigeno per convertire la biomassa solida in gas sintetico combustibile che può essere usato come materia prima per la sintesi di prodotti chimici, o può essere direttamente usato come combustibile per la generazione di energia e/o calore. Infine, l'incenerimento è il trattamento termico generalmente utilizzato per lo smaltimento. Si evidenzia che il processo di estrazione di componenti attivi, che attualmente non trova una collocazione chiara nel framework della *Food Waste Hierarchy*, è inserito a livello di riciclo con l'obiettivo di estrarre materiale per altre applicazioni (*product value upgrading*).

Tabella 6. Classificazione delle tecnologie per destinazione d'uso, cluster tecnologico di appartenenza, obiettivo specifico e stadio della filiera.
 Fonte: elaborazione propria degli autori del presente deliverable.

Tecnologie per la prevenzione						
Tipo di tecnologia	Fonte in letteratura scientifica	Descrizione della soluzione	Categoria tecnologica di appartenenza	Obiettivo specifico	Stadio della filiera	Casi aziendali
Machine learning to improve the accuracy of demand forecast	Moraes et.al, 2021; Tanizaki et.al, 2020; Tsoumakas, 2018;	Il machine learning è uno strumento che può migliorare l'accuratezza della previsione della domanda attraverso l'uso di modelli elaborati tramite l'acquisizione di dati in modo iterativo.	Information systems and analytics	Forecasting	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	



Big data analytics as decision support systems	Cuttini et.al, 2018; Gunders, 2012; Li et.al, 2010; Lorenc et.al, 2021	Gli strumenti di Big Data Analytics analizzano le fonti di dati ed estrarono da esse informazioni utilizzabili. Monitorando i fattori determinanti misurabili, possono proporre azioni appropriate per prevenire o ridurre le deviazioni previste.	Information systems and analytics	Forecasting	<ul style="list-style-type: none">- Produzione- Movimentazione e stoccaggio- Trasformazione e packaging- Distribuzione- Retail	<ul style="list-style-type: none">- https://mitakus.de/en/- https://www.wasteless.com/
IoT based food supply chain with dynamic vehicle routing for transport optimization	Moraes et.al, 2021; Nagarajan et.al, 2022	Pianificare il trasporto utilizzando applicazioni che scelgano percorsi migliori e orari di partenza ottimizzati permette di migliorare la consegna accurata e rapida dei prodotti con tempi minimi.	Information systems and analytics	Forecasting	Distribuzione	
Artificial Intelligence and hyperspectral imaging to optimize quality control		L'imaging iperspettrale riesce a determinare attraverso il rilevamento del pH di un alimento quanto manca al deterioramento del prodotto.	Information systems and analytics	Forecasting	Trasformazione e packaging	https://www.imagoai.com/about-us



<p>Artificial Intelligence for tracking food consumption</p>		<p>Programmazione e progettazione di sistemi mirati alla misurazione e tracciabilità del cibo consumato in vari settori della FSC.</p>	<p>Information systems and analytics</p>	<p>Monitoring</p>	<p>Retail</p>	<ul style="list-style-type: none"> - https://www.kitro.ch/product - https://lumitics.com/waste-management-solutions/ - Positive Carbon - Automated Food Waste Prevention - Venturis HoReCa
<p>RFID tag ('smart tag') in primary, secondary or tertiary packaging.</p>	<p>Verghese et.al, 2015; Facchini,2020</p>	<p>Utilizzo di microchip che memorizza i dati sul prodotto, elaborati via internet o via satellite e permette di tracciare i prodotti lungo tutta la catena di approvvigionamento.</p>	<p>Information systems and analytics</p>	<p>Monitoring</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione 	
<p>Sensors to monitor the change of packaging internal conditions</p>	<p>Facchini,2020</p>	<p>Utilizzo di dispositivi nanotecnologici in grado di rilevare la variazione di concentrazione di gas, pH, umidità, luce o temperatura dell'interno di un imballaggio.</p>	<p>Information systems and analytics</p>	<p>Monitoring</p>	<p>Trasformazione e packaging</p>	<ul style="list-style-type: none"> - http://www.ripesense.co.nz/ - https://www.trturon.com/en - https://www.strellabio.tech.com

Nanotechnology enabling the study of plant disease mechanisms	Chen et.al, 2011; Osservatorio Food Sustainability, 2021	La nanotecnologia può essere sviluppata e impiegata per il monitoraggio in tempo reale della crescita delle colture e delle condizioni del campo, inclusi livello di umidità, fertilità del suolo, temperatura, stato dei nutrienti delle colture e malattie delle piante.	Information systems and analytics	Monitoring	Produzione	<ul style="list-style-type: none"> - https://www.metacortex.it/index.php/tree-tech-revolution-in-eco-environment - https://www.gamaya.com/ - https://www.viridix.com/ - https://agriio.app/
Intelligent packaging technologies	Verghese et.al, 2015; Facchini, 2020; Osservatorio Food Sustainability, 2020; Won et.al, 2021	Sistema di imballaggio in grado di rilevare e comunicare le condizioni degli alimenti confezionati e/o l'ambiente esterno che circonda gli alimenti	Information systems and analytics	Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	Smart Label con barcode dinamico: l'evoluzione del packaging PPS (ppsolutions.it)
E-platform to establish an integrated supply chain management	Cuttini et.al, 2018; Osservatorio Food Sustainability, 2021; Priefer et.al, 2016; Gunders, 2012	Le piattaforme elettroniche (es. quelle fondate sul paradigma blockchain) sono in grado di tracciare i prodotti lotto per lotto lungo le linee di produzione e condividere i dati in tempo reale tra tutti gli attori della filiera, ciò permette di creare una SC più sincronizzata con maggiore visibilità e tracciabilità.	Information systems and analytics	Food access and sharing	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	<ul style="list-style-type: none"> - https://cryptonomist.ch/2019/06/25/olio-caroli-blockchain/ - https://agrimetrics.co.uk/ - https://www.crunchbase.com/organization/tomato-jos - SensiWatch® Products Sensitech - https://www.krishihub.com/ - https://bonharvest.com/about



						- https://www.consentio.co/features
Vision and spectroscopy systems	Cuttini et.al, 2018;	La misurazione dei frutti al momento della raccolta mediante un'innovativa tecnica spettroscopica non distruttiva (TRS) consentirebbe la classificazione dei frutti in base al grado di maturazione.	Information systems and analytics	Forecasting	Produzione	- Unitec: - http://www.dameter.com/
Electronic calibration		Applicazione di calibrazione elettronica in tutti quei processi dove sono necessari un controllo accurato e una misurazione accurata.	Information systems and analytics	Monitoring	Trasformazione e packaging	- Calibratrici Pere, Impianti per Selezione, Confezionamento, Lavorazione (unisorting.com) - Fruttometro (sperimentale) – Winet srl



Modified atmosphere packaging (MAP)	Vergheese et.al, 2015; Al-Tayyar et al, 2020	Vengono aggiunti gas particolari alla confezione prima che venga sigillata per controllare l'atmosfera all'interno attraverso il confezionamento sottovuoto per ridurre i tassi di respirazione nel prodotto e la crescita di microrganismi.	Chemical preservation	Shelf-life extension	Trasformazione e packaging	- https://www.biopac.com.au/map-bag-atmosphere-control/ - https://www.amcor.com/insights/blogs/modified-atmosphere-packaging
1-MCP treatment to block ripening processes	Jedermann et.al, 2015	Il trattamento 1-MCP delle pere "Conference" è molto efficace nel ritardare la maturazione e, più specificamente, nell'ammorbidire.	Chemical preservation	Shelf-life extension/Quality preservation	- Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging	SmartFresh™ post-harvest treatment from AgroFresh
Low-temperature catalytic oxidation for ethylene elimination	Qi et.al, 2021; Vergheese et.al, 2015	L'etilene agisce come un ormone importante per innescare la maturazione e la senescenza di frutta e verdura. Per evitare questo tipo di reazioni esso viene eliminato attraverso reazioni di ossidazione.	Chemical preservation	Shelf-life extension/Quality preservation	Trasformazione e packaging	
Ozone Sanification		L'ozono è un disinfettante straordinariamente versatile e potente che può essere efficacemente utilizzato nella disinfezione in ambito alimentare.	Chemical preservation	Shelf-life extension/Quality preservation	Trasformazione e packaging	- Tecnologie Postraccolta » Saim Impianti - Biofresh (biofresh.com)

Sodium metabisulfite preservative to inhibit browning reactions and suppress microbial growth	Ahmadi et.al, 2018	Il metabisolfito è un conservante efficace con note proprietà battericide che può essere utilizzato per inibire le reazioni di imbrunimento catalizzate enzimaticamente e non enzimaticamente e per sopprimere efficacemente la crescita microbica.	Chemical preservation	Quality preservation/ Food Safety	Movimentazione e stoccaggio	
Essential oils as antimicrobial compounds on fresh products	Özcan et.al, 2016; de Azeredo et.al, 2011; Zantar et.al, 2015	Gli oli essenziali ottenuti dalle piante hanno attività antimicrobica e possono fornire un approccio naturale per ridurre i patogeni sui prodotti freschi.	Chemical preservation	Food Safety	- Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging	
FDA-approved sticker that creates a protective layer around the fruit to slow down the ripening process		Il rivestimento completamente naturale composto da cera e altri ingredienti naturali crea uno strato protettivo attorno al frutto rallentando il processo di maturazione e prolungando la freschezza fino a 14 giorni.	Chemical preservation	Shelf-life extension	- Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging	https://www.ryplabs.com/stixfresh
Protective silk coating		Rivestimento protettivo completamente naturale composto principalmente da seta permette di prolungare la	Chemical preservation	Shelf-life extension/ Food Safety	- Movimentazione e stoccaggio	https://www.mori.com/



		freschezza e proteggere il prodotto.			Trasformazione e packaging	
Ultrasonic humidification	Fabbri et.al, 2018	Un umidificatore ad ultrasuoni utilizza onde ultrasoniche per generare un aerosol di gocce d'acqua che aumenta l'umidità relativa dell'aria che circonda il prodotto fresco prevenendo l'essiccamento e la crescita microbica, prolungando così la durata di conservazione dei prodotti e migliorandone l'aspetto.	Mechanical preservation	Shelf-life extension/ Quality preservation	<ul style="list-style-type: none">- Movimentazione e stoccaggio- Trasformazione e packaging- Distribuzione- Retail	
Sterelization for aseptic packaging	Vergheese et.al, 2015	Gli imballaggi vengono sterilizzati prima del riempimento con alimenti trattati ad altissima temperatura e ciò garantisce una durata di conservazione di oltre 6 mesi senza conservanti.	Mechanical preservation	Shelf-life extension	Trasformazione e packaging	
Air-sealing swoosh packaging		L'imballaggio a tenuta d'aria è un metodo di imballaggio che rimuove l'aria dalla confezione prima della sigillatura. L'intento del confezionamento sottovuoto è solitamente quello di rimuovere l'ossigeno dal contenitore per prolungare la durata di conservazione degli alimenti e, con forme di confezionamento flessibili,	Mechanical preservation	Shelf-life extension	Trasformazione e packaging	https://thebotto.com/



		ridurre il volume del contenuto e della confezione.				
Reduced storage temperature	Diaz-Ruiz et.al, 2019; Eriksson et.al, 2016; Mercier et.al, 2017; Van Holsteijn et.al, 2017; Moraes et.al, 2021	Modificando la temperatura di conservazione da 8°C a 2°C la capacità di conservazione degli alimenti aumenta esponenzialmente.	Mechanical preservation	Shelf-life extension/ Quality preservation	Trasformazione e packaging	https://www.montisrl.it/it/prodotti-e-impianti-it/ortofrutticolo-it.html
Controlled atmosphere refrigerators		L'atmosfera controllata è una tecnica di refrigerazione in cui la composizione del gas viene modificata in una camera di refrigerazione o in un contenitore refrigerato. In questo modo viene effettuato un controllo di regolazione delle variabili fisiche dell'ambiente (temperatura, umidità e circolazione dell'aria).	Mechanical preservation	Shelf-life extension/ Quality preservation	- Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione	- https://www.adviceconsulting.it/prodotti-e-servizi/conservazione-atmosfera-controllata/ - https://www.montisrl.it/it/prodotti-e-impianti-it/ortofrutticolo-it.html
Vacuum cooling		Attraverso un sistema di Vacuum Cooling è possibile raffreddare gli alimenti più velocemente, riducendo i costi produttivi e preservando	Mechanical preservation	Shelf-life extension/ Quality preservation	- Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione	Refrigerazione » Saim Impianti

		la qualità e la shelf life del prodotto finale.				
Pressure cooling		La pressione svolge un ruolo importante nel migliorare i processi di raffreddamento e congelamento e nel garantire la qualità degli alimenti, e la modellizzazione matematica è uno strumento efficace per comprendere i meccanismi termodinamici e cinetici di questi processi al fine di ottimizzarli al massimo.	Mechanical preservation	Shelf-life extension/ Quality preservation	<ul style="list-style-type: none"> - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione 	Refrigerazione » Saim Impianti
Hydro cooling		L'idrorefrigerazione è un processo che viene effettuato su frutta e verdura, le quali vengono raffreddate subito dopo la raccolta. Ha come vantaggio la possibilità di raffreddare velocemente gli alimenti e di consentire una più facile commercializzazione di grandi quantità di prodotti ortofrutticoli.	Mechanical preservation	Shelf-life extension/ Quality preservation	<ul style="list-style-type: none"> - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione 	Refrigerazione » Saim Impianti
Tecnologie per il riutilizzo e la redistribuzione						
Tipo di tecnologia	Fonte in letteratura	Descrizione della soluzione	Categoria tecnologica di appartenenza	Obiettivo specifico	Stadio della filiera	Casi aziendali
Drying		L'essiccazione è il semplice processo di disidratazione degli alimenti fino a quando non c'è abbastanza umidità per supportare l'attività	Processing - thermal treatment	Product value upgrading	Trasformazione e packaging	https://www.rindsnacks.com/ https://www.sparesnacks.com/pages/our-story



		microbica. L'essiccazione rimuove l'acqua necessaria per la crescita di batteri, lieviti e muffe.				
Freeze-drying		Gli alimenti liofilizzati utilizzano un processo chiamato freeze-drying per abbassare la temperatura del prodotto al di sotto dello zero, quindi viene applicato un vuoto ad alta pressione per estrarre l'acqua sotto forma di vapore che poi viene rimosso. Questo processo mantiene la struttura fisica del prodotto alimentare e lo conserva per la reidratazione in un secondo momento.	Processing - thermal treatment	Product value upgrading	Trasformazione e packaging	https://opifrutta.com/it/la-tecnologia/
Cold pressing for the production of fruit and vegetable juices		Il succo spremuto a freddo viene prodotto con una pressa idraulica che utilizza migliaia di libbre di pressione per estrarre la massima quantità di liquido da frutta e verdura fresca. Nel processo non viene utilizzato calore o ossigeno aggiuntivo, il che significa che nessun nutriente viene perso nel calore della pastorizzazione tradizionale.	Processing - thermal treatment	Product value upgrading	Trasformazione e packaging	https://flawsomedrinks.com/



Extrusion of fruit and vegetables waste to produce snacks	Liu et.al, 2019; Augustin et.al, 2020; Ying et.al, 2017; Grasso, 2020	La cottura per estrusione è una tecnica comune di lavorazione degli alimenti che utilizza alte temperature e alte forze di taglio in un tempo molto breve, tipicamente utilizzata per preparare snack pronti con formulazioni ad alto contenuto di frutta e verdura.	Processing - thermomechanical treatment	Product value upgrading	<ul style="list-style-type: none">- Produzione- Movimentazione e stoccaggio- Trasformazione e packaging- Distribuzione- Retail	
Pulsed Electric Fields-Assisted Drying	Andreou et.al, 2021	L'essiccazione ad aria calda porta a una diminuzione dell'attività dell'acqua del prodotto, con conseguente riduzione della proliferazione microbica e riduzione al minimo delle velocità di reazione chimica ed enzimatica.	Processing - nonthermal treatment	Product value upgrading	<ul style="list-style-type: none">- Movimentazione e stoccaggio- Trasformazione e packaging- Distribuzione	

<p>Pulsed electric field-assisted pressing for the production of fruit and vegetable juices</p>	<p>Bobinaité et.al, 2015; Barba et.al, 2015</p>	<p>Il pretrattamento con la tecnologia dei campi elettrici pulsati (PEF) prima della spremitura è significativamente utile poiché aumenta la resa in succo con un contenuto fenolico totale un contenuto di antociani totali e un'attività antiossidante significativamente più alti.</p>	<p>Processing - thermomechanical treatment</p>	<p>Product value upgrading</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	
<p>E-commerce platform for sharing and redistribution of surplus food</p>	<p>Harvey et.al, 2020; Osservatorio Food Sustainability, 2020; Osservatorio Food Sustainability, 2021;</p>	<p>Gli studi empirici ad oggi sulla condivisione del cibo assistita dalla tecnologia sono di natura varia, ma tutti dimostrano il rapido aumento degli utenti sui sistemi di condivisione peer-to-peer (P2P).</p>	<p>Information systems and analytics</p>	<p>Food access and sharing</p>	<p>Retail</p>	<ul style="list-style-type: none"> - https://toogoodtogo.it/it - https://olioex.com/ - https://www.feedbackapp.ca/ - https://www.flashfood.com/ - https://foodfinder.eco.br/como-funciona - https://dontwaste.me/b2b - https://goodr.co/food-waste-solutions/surplus-food-recovery/ - https://www.eu-startups.com/directory/graapz/ - https://www.localharvest.org/grabz-M73029 - https://www.hofo.es/

						<ul style="list-style-type: none"> - https://producepeddlers.com/#how-it-works - https://www.mealboxapp.com/about - https://www.misfitsmarket.com/whats-in-your-box?exp=autoship - Retailer WholeSurplus
IT systems to foster the partnerships between retailers and charitable organizations	Gunders, 2012; MOOC; OERSA, 2021	Le tecnologie dell'informazione possono facilitare la condivisione e la redistribuzione del cibo tramite piattaforme web o app. I coltivatori possono aiutare le organizzazioni e le banche alimentari locali possono aiutare i produttori a donare i loro prodotti con uno sforzo relativamente ridotto, nutrendo le persone e ricevendo allo stesso tempo agevolazioni fiscali.	Information systems and analytics	Food access and sharing	Retail	<ul style="list-style-type: none"> - https://twiga.com/ - https://food.cloud/ - https://bringfood.org/benefits.html - https://www.gocopia.com/nonprofits - https://foodmesh.ca/ - https://www.replate.org/
Tecnologie per il riutilizzo per consumo animale						
Tipo di tecnologia	Fonte in letteratura	Descrizione della soluzione	Categoria tecnologica di appartenenza	Obiettivo specifico	Stadio della filiera	

Fermentation to produce single-cell proteins suitable for animal-based diets	Dunuweera et.al, 2021	L'utilizzo degli scarti della frutta per produrre proteine unicellulari (SCP) tramite fermentazione è una soluzione alternativa per far fronte alla carenza globale di proteine e ridurre al minimo i problemi di inquinamento.	Processing - biochemical treatment	Product value upgrading	Produzione	Processo SYMBA
Solar drying of food to obtain animal feed	Nijmeh M.N. et al.,1998	Sono stati effettuati degli studi sul potenziale dell'utilizzo di due diversi tipi di essiccatori solari fabbricati con materiali disponibili localmente in condizioni climatiche desertiche per essiccare i rifiuti alimentari da utilizzare come mangime per animali.	Processing - thermal treatment	Product value upgrading	Produzione	https://life-f4f.gr/en/aim-of-the-project/
Tecnologie per il riciclo						
Tipo di tecnologia	Fonte in letteratura	Descrizione della soluzione	Categoria tecnologica di appartenenza	Obiettivo specifico	Stadio della filiera	Casi aziendali



<p>Extraction of PHA (bio-based plastic material) through the biosynthesis of lignocellulosic biomass</p>	<p>Osservatorio Food Sustainability, 2020; Andler et.al, 2021</p>	<p>Tra i materiali plastici a base biologica, i poliidrossialcanoati (PHA) sono una delle alternative più promettenti alle comuni plastiche a base petrolchimica poiché sono poliesteri compostabili a base biologica sintetizzati da microbi procarioti.</p>	<p>Processing - biochemical treatment</p>	<p>Product value upgrading</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	<ul style="list-style-type: none"> - https://www.freshfruitportal.com/news/2019/11/20/peach-waste-used-to-make-bio-packaging-serve-as-substitute-in-stone-fruit-packaging/ - https://www.mdpi.com/1420-3049/26/13/4031/html - https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84885571875&origin=inward&txGid=85e9239ec0a7cf5e35a4e65e646004a3 - Gestione dei rifiuti organici – Venvirotech
<p>Composting</p>	<p>Esparza et.al, 2020; Thi et.al, 2015; Torrijos et.al, 2021; Zorpas et.al, 2018; Estrella-González et.al, 2019; Lim et.al, 2019</p>	<p>Il compostaggio è un processo biologico che converte i rifiuti organici in prodotti a valore aggiunto con elevate sostanze umiche che possono essere utilizzate per migliorare la qualità del suolo, ridurre al minimo l'erosione del suolo e promuovere la crescita delle piante.</p>	<p>Processing - biochemical treatment</p>	<p>Product value upgrading</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	<ul style="list-style-type: none"> - https://www.omicsonline.org/effect-of-compost-derived-from-decomposed-fruit-wastes-by-effective-microorganism-emit-technology-on-plant-growth-parameters-of-vigna-mungo-2155-6199.1000167.php?aid=8865 - https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=B1189&title=Food%20Waste



						%20Composting:%20Institutional%20and%20Industrial%20Application - https://susglobalenergy.com/projects/belleville/compost-process/
Ultrasound assisted-extraction of pectin	Marić et.al, 2018; Putnik et.al, 2017	L'estrazione della pectina dalle bucce di pompelmo mediante estrazione con riscaldamento assistito da ultrasuoni (UAHE) ha suscitato un crescente interesse come potenziale prebiotico con proprietà migliorate.	Processing - Thermomechanical treatment	Product value upgrading	<ul style="list-style-type: none">- Produzione- Movimentazione e stoccaggio- Trasformazione e packaging- Distribuzione- Retail	
Microwave-assisted extraction (MAE)	Marić et.al, 2018; Tranfić Bakić et.al, 2019; Putnik et.al, 2017	Tecnologia di estrazione innovativa che combina le classiche onde elettromagnetiche con procedure di estrazione tradizionali che coinvolgono anche solventi. L'uso di MAE è applicabile a vari materiali vegetali al fine di ottenere preziosi composti bioattivi.	Processing - Thermomechanical treatment	Product value upgrading	<ul style="list-style-type: none">- Produzione- Movimentazione e stoccaggio- Trasformazione e packaging- Distribuzione- Retail	

<p>Fractionation through dissolution in ionic liquid of lignocellulosic biomass to extract cellulose</p>	<p>Shen et.al, 2021</p>	<p>La strategia di frazionamento catalitico è una promettente strategia lignocellulosica in grado di trasformare un determinato componente rilasciato dalla lignocellulosa in situ per migliorare il valore del prodotto finale e garantire l'utilizzo efficiente della biomassa lignocellulosica mediante frazionamento graduale.</p>	<p>Processing-biochemical treatment</p>	<p>Product value upgrading</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	
<p>Pulsed electric fields-assisted extraction</p>	<p>Pataro et.al, 2020; Bobinaité et.al, 2014</p>	<p>L'esposizione del tessuto vegetale a un campo elettrico di moderata intensità e di energia relativamente bassa e applicato sotto forma di impulsi di tensione ripetitivi molto brevi, induce una permeabilità delle membrane cellulari che facilita il rilascio di succhi e composti preziosi dalle parti interne delle cellule per migliorare la purezza e la resa degli estratti.</p>	<p>Processing - Thermomechanical treatment</p>	<p>Product value upgrading</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	

Carbonization, ultrasound and drying treatments to produce activated carbon, a precursor of low cost adsorbents for removal of organic pollutants from water.	Ali et.al, 2012; Vankar et.al, 2013; Peláez-Cid et.al, 2016;	L'adsorbimento è considerato il miglior metodo di trattamento delle acque reflue e avviene in corrispondenza di un'interfaccia tra adsorbente solido e acqua contaminata. Il carbone attivo è l'adsorbente più efficiente e popolare utilizzato per l'eliminazione dei metalli pesanti.	Processing - Thermomechanical and thermal treatment	Product value upgrading	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	
Rapid thermophilic aerobic digestion to produce organic fertilizer	Osservatorio Food Sustainability, 2020; Andler et.al, 2021	Produzione rapida di fertilizzanti organici da rifiuti alimentari mediante fermentazione aerobica dinamica ad alta temperatura (DHAF)	Processing - Biochemical treatment	Product value upgrading	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione 	https://www.biomaxgreen.com/
Tecnologie per il recupero energetico						
Tipo di tecnologia	Fonte in letteratura	Descrizione della soluzione	Categoria tecnologica di appartenenza	Obiettivo specifico	Stadio della filiera	Casi aziendali
Anaerobic digestion to produce biogas	Zia et.al, 2020; Esparza et.al, 2020; Thi et.al, 2015; Ruffino et.al, 2017; Ambaye et.al, 2021; Boccia et.al, 2019; Lattieff, 2016; Valenti et.al, 2018	L'AD è un processo microbico che trasforma i materiali organici in biogas e un sottoprodotto digestato, ricco di macro e micronutrienti che possono essere utilizzati come fertilizzante naturale nei campi agricoli. Dal gas prodotto si può ricavare combustibile per generare energia elettrica o calore.	Processing - Biochemical treatment	Energy recovery	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	<ul style="list-style-type: none"> - https://webgate.ec.europa.eu/life/public-Website/index.cfm?fuseaction=search.ds.pPage&n_proj_id=3660 - https://www.corteva.it/prodotti-e-soluzioni/servizi-agronomici/servizio-biogas.html

						<ul style="list-style-type: none"> - http://brocklesby.org/our-biogas-anaerobic-digestion-plant/ - https://seabenergy.com/products/mb400/
Gasification to obtain syngas, that can be used as a feedstock for chemicals synthesis or as a fuel for power and/or heat generation	Esparza et.al, 2020; Forster-Carneiro et.al, 2013; Yang et.al, 2016	La gassificazione è un processo di degradazione termica che avviene a temperature elevate e un ambiente privo di ossigeno per convertire la biomassa solida in gas sintetico combustibile che può essere usato come materia prima per la sintesi di prodotti chimici, o può essere direttamente usato come combustibile per la generazione di energia e/o calore.	Processing - Thermochemical treatment	Energy recovery	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	<ul style="list-style-type: none"> - http://www.bio2chp.com/x.html
Pyrolysis to produce char, bio oil and syngas	Esparza et.al, 2020; Forster-Carneiro et.al, 2013; Yang et.al, 2016; Boccia et.al, 2019	La pirolisi è un processo di decomposizione termochimica, ottenuto mediante l'applicazione di calore e in completa assenza di ossigeno. La pirolisi dei rifiuti converte il materiale dallo stato solido in prodotti liquidi (char) e/o gassosi (syngas), utilizzabili quali combustibili.	Processing - Thermochemical treatment	Energy recovery	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione - Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging - Distribuzione - Retail 	
Tecnologie per lo smaltimento						



Tipo di tecnologia	Fonte in letteratura	Descrizione della soluzione	Categoria tecnologica di appartenenza	Obiettivo specifico	Stadio della filiera	Casi aziendali
Incineration	Esparza et.al, 2020; Thi et.al, 2015	L'incenerimento è un trattamento termico utilizzato per lo smaltimento dei rifiuti che consiste in un processo di combustione ad alta temperatura	Processing-Thermal treatment	Reduction in waste volume	<ul style="list-style-type: none">- Produzione- Movimentazione e stoccaggio- Trasformazione e packaging- Distribuzione- Retail	

3.2.2 Approfondimento dei casi aziendali

Il seguente capitolo descrive alcuni esempi di casi aziendali di soluzioni tecnologiche disponibili per la prevenzione e valorizzazione delle eccedenze, menzionati nella Tabella 6.

Nome della soluzione: TREE- Metacortex

Descrizione della soluzione: Soluzione tecnologica che sfrutta la combinazione di una rete neurale per la stima di parametri meteorologici legati all'area di studio e l'elaborazione di immagini acquisite da un drone per l'agricoltura di precisione e la mappatura del territorio. I dati ottenuti, elaborati con modelli matematici, permettono di stimare il rischio locale d'infezione della pianta per alcune patologie e la quantità prevista di produzione (Metacortex, 2021).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Produzione

Nome della soluzione: Fruttometro (sperimentale) - Winet Srl

Descrizione della soluzione: Il fruttometro è un innovativo sensore sviluppato dai ricercatori del Dipartimento di Scienze Agrarie dell'Università di Bologna per il monitoraggio dell'accrescimento dei frutti. Le misure effettuate durante le fasi di sviluppo dei frutti hanno mostrato un'alta sensibilità dello strumento, permettendo di evidenziare gli andamenti giornalieri nelle variazioni diametrali del frutto e monitorando in maniera precisa le piccole variazioni nei tassi di crescita durante le 24 ore. Tenere sotto controllo i tassi di crescita dei frutti permette di sperimentare l'utilizzo di volumi d'acqua ridotti senza compromettere la produzione e la pezzatura finale dei frutti (Winlet, 2019).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Produzione

Nome della soluzione: DA Meter – TR Turoni

Descrizione della soluzione: Il DA Meter è uno strumento che permette di misurare il contenuto di clorofilla in un frutto e quindi di conoscere lo stato di maturazione. Il suo funzionamento non dipende dalle condizioni meteorologiche della stagione, fattore che influenza altri tipi di misurazione come l'indice Brix. Tra gli altri strumenti offerti dall'azienda provider per il controllo di qualità e maturazione di frutta e verdura si trovano misuratori di acidità, tester di consistenza della frutta e rifrattometri per la lettura del contenuto di zuccheri (TR Turoni, 2017).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Produzione – Movimentazione e stoccaggio

Nome della soluzione: Root Sense - Viridix

Descrizione della soluzione: Il sensore di umidità del suolo Root-Sense misura l'acqua disponibile per le radici delle colture, fornendo una misurazione nota come potenziale idrico. Il sensore è in grado di essere piantato a più profondità, fornendo all'agricoltore un quadro completo di ciò che sta accadendo nel terreno. È inoltre alimentato ad energia solare permettendo di auto-ricaricarsi ed è connesso via wireless al cloud Internet, combinando dati accurati e tempestivi sul potenziale idrico con informazioni aggiuntive come condizioni meteorologiche, protocolli di irrigazione e caratteristiche del suolo (Viridix, s.d.).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Produzione

Nome della soluzione: RipeSense

Descrizione della soluzione:

RipeSense è un'etichetta dotata di un sensore intelligente che cambia colore per indicare la maturazione della frutta. Il sensore reagisce agli aromi rilasciati dal frutto durante la maturazione e da rosso sfuma in arancione e infine giallo, permettendo ai clienti di scegliere il livello di maturazione della frutta che preferiscono (Ripesense, s.d.).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Trasformazione e packaging – Distribuzione - Retail

Nome della soluzione: Smart Label con barcode dinamico- PPS

Descrizione della soluzione:

La soluzione Smart Label è un'etichetta intelligente, basata su tecnologia barcode e applicata al packaging, in grado di monitorare le variazioni di temperatura e localizzare geograficamente lotti, pallet e prodotti. La novità è il barcode stampato con inchiostro cromogenico, che funziona da indicatore di temperatura. Il barcode, infatti, modifica la disposizione delle linee del codice a barre in modo irreversibile, se è avvenuto il superamento della soglia di temperatura limite stabilita per quel prodotto, restituendo informazioni sul momento esatto in cui la temperatura è stata superata e per quanto tempo questo è avvenuto. La Smart Label è scansabile da qualunque dispositivo e l'accesso ai dati raccolti è semplice e immediato, grazie ad un unico database in cui dati di ogni scansione riguardo posizione, temperatura e tempo di trasporto vengono archiviati (PPS, 2021).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Trasformazione e packaging – Distribuzione - Retail

Nome della soluzione: Frigoriferi con atmosfera controllata - Advice&Consulting

Descrizione della soluzione:

I frigoriferi impiegano il metodo dell'atmosfera controllata ULO, utilizzando generatori di azoto, specifici per il raggiungimento rapido del valore di stress iniziale di ossigeno e controllando la concentrazione di anidride carbonica in cella con test specifici sul prodotto. Grazie a questa tecnologia la shelf-life può essere prolungata fino a 12 mesi per le mele, fino a 9 mesi per le pere, fino a 3 mesi per le pesche e per le ciliegie. Il programma di gestione dell'impianto è unico e completamente automatizzato, sia per il frigorifero che per l'atmosfera controllata e consente di controllare i parametri da remoto, anche da smartphone e tablet, e di memorizzare i dati di conservazione per avere uno storico (Advice&Consulting, 2021).

Cluster tecnologico – primo livello: Mechanical preservation

Obiettivo: Shelf-life extension

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Movimentazione e stoccaggio – Trasformazione e Packaging

Nome della soluzione: Celle frigo e magazzini refrigerati - Monti & C Tecnologie del freddo SRL

Descrizione della soluzione:

Le celle sono utilizzate per la breve e lunga conservazione di prodotti ortofrutticoli, e possono essere ad atmosfera controllata, di preraffreddamento, refrigerazione di fluidi per processi di lavorazione industriale della frutta, a bassa temperatura per conservazione di prodotti surgelati (Monti&C, 2021).

Cluster tecnologico – primo livello: Mechanical preservation

Obiettivo: Quality preservation

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Movimentazione e stoccaggio - Retail

Nome della soluzione: Ozono-Sanificazione - SAIM

Descrizione della soluzione:

Trattamento di aria ed acqua mediante applicazione di gas ozono. Nel settore agroalimentare, in particolare nel settore ortofrutticolo, l'ozono trova ampio impiego lungo tutta la filiera. Le caratteristiche dell'ozono lo rendono un importante agente contro batteri, muffe e altri patogeni, riducendo il deterioramento dei prodotti. In frigoconservazione di prodotti ortofrutticoli, ad esempio, l'ozono permette di ridurre la concentrazione di etilene, sostanza che accelera la maturazione dei frutti, accorciandone la shelf life (SAIM, 2021).

Cluster tecnologico – primo livello: Chemical preservation

Obiettivo: Shelf life extension

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Movimentazione e stoccaggio

Nome della soluzione: Celle frigo e magazzini refrigerati - SAIM

Descrizione della soluzione:

L'azienda realizza celle frigo e magazzini refrigerati per la frigoconservazione di prodotti agroalimentari sia freschi che surgelati, utilizzando diverse tecnologie quali vacuum cooling, hydro cooling e pressure cooling.

Il vacuum cooling (raffreddamento sottovuoto) è una tecnologia di raffreddamento che si basa sull'evaporazione di una piccola percentuale di umidità presente all'interno del prodotto. Il raffreddamento avviene dall'interno verso l'esterno, in maniera veloce, omogenea e senza stress per il prodotto, garantendo una shelf life più lunga. L'hydro cooling (raffreddamento ad acqua) è una tecnologia di raffreddamento che permette di abbassare rapidamente la temperatura di un prodotto grazie all'acqua fredda movimentata che investe il prodotto dall'alto penetrandolo fino all'interno, procurando così un veloce salto termico. Il pressure cooling (raffreddamento con ventilazione forzata) è una tecnologia di raffreddamento particolarmente indicata per prodotti ortofrutticoli consistenti (altrimenti difficili da raffreddare al loro interno) e poco compatibili al contatto con l'acqua. Qualora il pressure cooling venga applicato subito dopo la raccolta dal campo, è possibile ottimizzare freschezza e shelf life dei prodotti (SAIM, 2021).

Cluster tecnologico – primo livello: Mechanical preservation

Obiettivo: Shelf life extension

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Movimentazione e stoccaggio

Nome della soluzione: Biofresh freshpallet- Biofresh

Descrizione della soluzione:

Il Biofresh freshpallet è stato sviluppato per fornire il livello prescritto di ozono nel contenitore di stoccaggio per la durata del trasporto. Si tratta di un contenitore di acciaio fornito di sistemi di controllo del gas, al cui interno si possono facilmente inserire pallet di prodotto di diverse dimensioni, senza richiedere nessuno spazio aggiuntivo e nessuna fonte di alimentazione esterna. La soluzione igienizza il contenitore e i pallet al suo interno per proteggere dal decadimento microbico e rimuove l'etilene, grazie alla presenza di un ventilatore che aiuta a far circolare il flusso di ozono (Biofresh, s.d.).

Cluster tecnologico – primo livello: Chemical preservation

Obiettivo: Shelf life extension

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Distribuzione

Nome della soluzione: Progetto INNOFRUVE

Descrizione della soluzione: L'obiettivo del progetto Innofruve è favorire l'innovazione nell'industria agroalimentare ed il miglioramento qualitativo e funzionale di diversi prodotti di origine vegetale, nonché la valorizzazione degli scarti di lavorazione. In particolare l'attività relativa alle metodologie/tecnologie innovative ed emergenti sviluppate permetteranno di ottimizzare le condizioni di stoccaggio in post raccolta e del controllo qualitativo di alcune nuove varietà di frutta, sulla base delle differenti destinazioni d'uso (consumo fresco e/o trasformazione); realizzare puree vegetali di elevata qualità/funzionalità stabilizzate con

tecnologie non termiche innovative, quali alte pressioni di omogenizzazione e campi elettrici pulsati; realizzare prodotti di IV gamma innovativi e funzionali a seguito di formulazione con trattamenti mild (disidratazione osmotica, campi elettrici pulsati, impregnazione sotto-vuoto); implementare la logistica avanzata per la valutazione ed il controllo della shelf-life di prodotti surgelati; valorizzare gli scarti di lavorazione vegetali mediante definizione di uno schema di bioraffineria a cascata dedicato, finalizzato al recupero di molecole ad alto valore aggiunto ed alla produzione di biogas (INNOFRUVE, 2020).

Cluster tecnologico – primo livello: Prevention –Processing

Obiettivo: Monitoring - Life cycle extention

Destinazione: Prevenzione- Riutilizzo e Ridistribuzione – Riciclo – Recupero energetico

Stadio/i della filiera: Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e Packaging - Distribuzione

Nome della soluzione: Pears Sort 3 Unisorting Technology - Unitec

Descrizione della soluzione:

La tecnologia Unisorting permette di classificare i frutti in base al loro peso e dimensione (diametro). Grazie al sistema Pears Sort 3 le pere vengono classificate anche in base al colore e ai difetti interni ed esterni, permettendo di visionare l'intera superficie di ogni singola pera senza danneggiarla (Unisorting , 2020).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Movimentazione e stoccaggio

Nome della soluzione: SmartFresh - AgroFresh

Descrizione della soluzione: Il principio attivo della tecnologia SmartFresh, l'1-metilciclopropene (1-MCP), è simile all'etilene, un ormone naturale che fa maturare i frutti. SmartFresh interagisce con i siti sensibili all'etilene nel frutto per gestire la sua risposta alle fonti di etilene interne ed esterne. Questo permette di estendere la durata di conservazione. Inoltre il principio attivo si biodegrada naturalmente, senza lasciare residui sulla frutta o sull'ambiente (AgroFresh, 2021).

Cluster tecnologico – primo livello: Chemical preservation

Obiettivo: Shelf-life extension

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Produzione- Movimentazione e stoccaggio

Nome della soluzione: Gamaya

Descrizione della soluzione: L'azienda offre strumenti di agronomia digitale specifici per coltura e regione al fine di migliorare l'efficienza e la sostenibilità della produzione agricola. I servizi offerti riguardano l'uso mirato degli input delle colture per ottimizzare i costi e ridurre al minimo l'impatto ambientale, la diagnosi precoce di malattie ed erbe infestanti per ridurre le potenziali perdite di raccolto e una migliore previsione e mitigazione precoce dei rischi durante la stagione di crescita. Tutto ciò viene realizzato attraverso la raccolta dati (utilizzo di immagini

di telerilevamento aggiornate basate su droni, aeroplani e satellitari dei tuoi campi, insieme ai corrispondenti record storici del clima e del tempo) e la creazione di mappe (Gamaya, 2015)

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Produzione

Nome della soluzione: Agrimetrics

Descrizione della soluzione: Il servizio mette in collegamento organizzazioni del settore alimentare e agricolo per contribuire a creare un sistema più produttivo e sostenibile attraverso lo sviluppo di una piattaforma digitale in cui sia possibile trovare e accedere ai dati necessari, monetizzare i propri dati e accelerare lo sviluppo di nuove applicazioni. Un esempio applicativo della tecnologia riguarda la tracciabilità lungo tutta la filiera e la verificabilità della qualità, sicurezza e autenticità degli alimenti attraverso la digitalizzazione complessiva della catena del valore alimentare. (*EIT Food, 2020*)

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Produzione – Movimentazione e stoccaggio – Trasformazione e Packaging -Distribuzione

Nome della soluzione: FreshCode- Innolabel

Descrizione della soluzione: Le etichette per codici a barre intelligenti FreshCode™ brevettate da Varcode sono una tecnologia TTI che combina la misurazione della temperatura con il valore dei dati del codice a barre per il monitoraggio della catena del freddo.

L'etichetta si basa su un processo chimico che attiva un cambiamento di valore nel codice a barre visualizzato ogni volta che si verifica uno dei molteplici eventi preimpostati. Il codice a barre intelligente può essere letto da qualsiasi lettore di codici a barre comunemente usato, nonché da smartphone e tablet basati su iOS o Android (*Innolabel, 2019b*).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Trasformazione e Packaging - Distribuzione

Nome della soluzione: Spoiler Alert app

Descrizione della soluzione: Si tratta di un'applicazione iOS progettata per migliorare il modo in cui l'industria della ristorazione etichetta, traccia e monitora l'età del prodotto alimentare dal fresco al finito. Con questo strumento è possibile avere controllo totale sui prodotti, essere in regola con le normative sulla sicurezza alimentare, eliminare gli sprechi e, soprattutto, assicurare al consumatore finale prodotti freschi e sicuri (*SpoilerAlert Food Safety, 2019*).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Retail

Nome della soluzione: Hazel – Hazel Technologies, Inc.

Descrizione della soluzione: La tecnologia consiste in un piccolo sacchetto pieno di materiali naturali, in grado di rallentare la decomposizione degli alimenti. Ogni sacchetto contiene all'interno degli ingredienti attivi specifici per ciascun raccolto, come elementi antifungini o composti che inibiscono l'azione dell'etilene, per impedire la marcescenza dei prodotti.

Le bustine vengono inserite nelle scatole, assieme agli alimenti, prima di ogni spedizione. Il rilascio dei principi attivi è graduale, in modo da consentire una conservazione del cibo protratta nel tempo (*Hazel Technologies Inc.*, 2015).

Cluster tecnologico – primo livello: Chemical preservation

Obiettivo: Quality preservation – Shelf life extension

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Movimentazione e stoccaggio

Nome della soluzione: Apeel

Descrizione della soluzione: Si tratta di un rivestimento edibile che migliora la conservazione dell'ortofrutta realizzato con lipidi organici estratti da scarti vegetali, come bucce, semi e polpa. La sostanza è inodore, incolore e insapore e diluita con acqua, viene spruzzata su frutta e verdura, rallentandone il deperimento. Con questo trattamento, quindi, l'ortofrutta raddoppia, o addirittura triplica, il suo tempo di conservazione. La formulazione varia a seconda dell'alimento da rivestire, adattandosi attualmente a circa 50 diverse categorie di prodotto, tra cui mele, carciofi, banane, fagioli, mirtilli e pomodori. Tra i punti di forza di questa tecnologia c'è la possibilità di applicare il rivestimento in qualsiasi passaggio della filiera (*Apeel*, 2019)

Cluster tecnologico – primo livello: Chemical preservation

Obiettivo: Quality preservation – Shelf life extension

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Movimentazione e stoccaggio – Trasformazione e packaging

Nome della soluzione: agrolife modified atmosphere packaging - BIOPAC

Descrizione della soluzione: La tecnologia utilizza il confezionamento in atmosfera modificata di frutta e verdura, riducendo l'ossigeno (O₂) e aumentando l'anidride carbonica (CO₂) all'interno della confezione, per rallentare il processo di maturazione di frutta o verdura. Inoltre, l'imballaggio riduce la perdita di umidità e disidratazione, blocca il meccanismo di azione e biosintesi dell'etilene, inibisce la crescita di patogeni e rallenta l'ingiallimento prevenendo la degradazione della clorofilla (*Biopac*, 2021).

Cluster tecnologico – primo livello: Chemical preservation

Obiettivo: Quality preservation – Shelf life extension

Destinazione: Prevenzione

Stadio/i della filiera: Movimentazione e stoccaggio

Nome della soluzione: Too Good To Go

Descrizione della soluzione: Si tratta di un'applicazione per smartphone che permette ai commercianti e ai ristoratori di mettere in vendita a prezzi ridotti il cibo invenduto a fine giornata e ai consumatori di acquistare "Magic Box" a un terzo del prezzo di vendita, impegnandosi quotidianamente nella lotta contro lo spreco alimentare (*Too Good To Go*, 2015).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Food access and sharing

Destinazione: Riutilizzo e Ridistribuzione

Stadio/i della filiera: Retail

Nome della soluzione: My Foody

Descrizione della soluzione: Un'applicazione per iOS e Android, che raccoglie tutte le offerte dei supermercati più vicini al consumatore, permettendogli di scegliere e programmare l'acquisto dei cibi che si stanno avvicinando alla scadenza, direttamente nel punto vendita. Per ora le catene della grande distribuzione aderenti sono Lidl, Coop e Carrefour (Caporale A., 2020).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Food access and sharing

Destinazione: Riutilizzo e ridistribuzione

Stadio/i della filiera: Retailer

Nome della soluzione: ThinkAbout

Descrizione della soluzione: La piattaforma di eCommerce propone settimanalmente i prodotti ancora buoni ma con qualche difetto, che verrebbero scartati dai produttori perché inadatti alla vendita. Le aziende aderenti al servizio possono proporre ai loro dipendenti di acquistarle a metà prezzo e ricevere la spesa direttamente in azienda (ThinkAbout, 2020).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Food access and sharing

Destinazione: Riutilizzo e ridistribuzione

Stadio/i della filiera: Retail

Nome della soluzione: Full Harvest

Descrizione della soluzione: Piattaforma B2B che collega le grandi aziende agricole alle aziende alimentari per vendere prodotti in eccedenza buoni ma dalla forma imperfetta, a prezzi scontati (Full Harvest Technologies, Inc., 2020)

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Food access and sharing

Destinazione: Riutilizzo e ridistribuzione

Stadio/i della filiera: Distribuzione.

Nome della soluzione: Spare fruit

Descrizione della soluzione: Azienda che si occupa della trasformazione di frutta in crisps di frutta. Vengono utilizzate sia mele crude che essiccate che spesso possono essere respinte

dalla GDO perché deformate, imperfette o ritenute della dimensione sbagliata. L'azienda recupera questo tipo di mele e le trasforma in snacks (*Spare Fruit*, 2019).

Cluster tecnologico – primo livello: Processing

Obiettivo: Life-cycle extension

Destinazione: Riutilizzo e redistribuzione

Stadio/i della filiera: Trasformazione e packaging

Nome della soluzione: GLOBALSCAN

Descrizione della soluzione: GLOBALSCAN® è un sofisticato sistema di visione completamente automatico che seleziona la frutta mentre si muove lungo un calibratore. Il sistema consente ai confezionatori di classificare accuratamente la frutta secondo criteri di qualità e colore prestabiliti per soddisfare le esigenze del mercato. I costi di lavorazione e confezionamento sono ridotti poiché la frutta che non soddisfa i requisiti di qualità viene immediatamente rimossa dai lotti di produzione e destinata ad altri mercati. (*Globalscan*, 2021)

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Riutilizzo e redistribuzione

Stadio/i della filiera: Distribuzione - Retail

Nome della soluzione: Genius - Tomra

Descrizione della soluzione: Selezionatrici ottiche che utilizzano una combinazione di varie tecnologie di selezione su pere tagliate a metà, pere a fette o pere intere in base a differenze di grandezza e forma, bucce, noccioli, difetti cromatici, difetti in genere, imperfezioni e tutti i tipi di corpi estranei (Tomra, 2020)

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Monitoring

Destinazione: Riutilizzo e Ridistribuzione

Stadio/i della filiera: Distribuzione and Retail

Nome della soluzione: Bring the Food

Descrizione della soluzione: Bringthefood è un'applicazione web utilizzata da diversi enti e reti di raccolta per gestire eccedenze provenienti dalla ristorazione, da esercizi commerciali (piccola e grande distribuzione) e dalle organizzazioni dei produttori. L'applicazione permette di semplificare le operazioni di raccolta delle eccedenze, mantiene traccia dell'intero ciclo di vita della donazione, dal donatore al ricevente, genera la documentazione fiscale per fruire dei benefici fiscali della legge 166/2016 e genera statistiche complete degli alimenti recuperati in tutti i settori (Ristorazione, GDO e OP), consentendo ai donatori di effettuare precise analisi sullo spreco generato e, conseguentemente, di introdurre efficaci politiche di riduzione degli sprechi (btf, s.d.)

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Food access and sharing

Destinazione: Riutilizzo e Ridistribuzione

Stadio/i della filiera: Produzione – Movimentazione e stoccaggio – Trasformazione e Packaging - Retail

Nome della soluzione: FoodCloud Hubs – FoodCloud

Descrizione della soluzione:

FoodCloud è una piattaforma che consente di connettere i retailer con Enti no profit, facendo sì che le eccedenze a disposizione nei punti vendita siano visibili in tempo reale da parte delle Organizzazioni, che possono così prenotare il ritiro dei prodotti necessari. I punti vendita possono caricare a sistema le eccedenze disponibili in modo veloce e semplice tramite dispositivo di lettore barcode interno o tramite app Food Cloud.

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Food access and sharing

Destinazione: Riutilizzo e Ridistribuzione

Stadio/i della filiera: Distribuzione - Retail

Nome della soluzione: OLIO

Descrizione della soluzione: L'applicazione collega i vicini tra loro e con le imprese locali in modo che il cibo in eccesso possa essere condiviso e non buttato via. Per rendere disponibile un articolo, basta aggiungere una foto all'app, una descrizione e quando e dove l'articolo è disponibile per il ritiro. Per ristoratori, rivenditori o qualsiasi altro fornitore alimentare, il programma Food Waste Heroes di OLIO si occupa di raccogliere regolarmente e ridistribuire in sicurezza il cibo in eccesso (OLIO, 2020).

Cluster tecnologico – primo livello: Information systems and analytics

Obiettivo: Food access and sharing

Destinazione: Riutilizzo e ridistribuzione

Stadio/i della filiera: Distribuzione - Retail

Nome della soluzione: Liocreo - Opi

Descrizione della soluzione: Grazie alla tecnologia di crio-essiccazione a basso consumo di energia, il gusto e i nutrienti della frutta non adatta alla grande distribuzione vengono trasferiti in un pratico snack. Tramite l'essiccazione a bassa temperatura, la frutta non perde le proprietà organolettiche, mantenendo la consistenza della polpa e il suo contenuto di vitamine (fino al 90%). La frutta fresca viene lavata, tagliata a fette e inserita nel freeze-dryer per evitarne qualunque forma di deterioramento. Alla fase di congelamento rapido segue poi l'essiccazione sottovuoto che rende la frutta secca e croccante. Infine, i pezzi disidratati vengono immediatamente imbustati in atmosfera controllata per evitare il contatto con l'umidità dell'aria e custodire la loro fragranza (OPI, 2021).

Cluster tecnologico – primo livello: Processing

Cluster tecnologico – secondo livello (se sussiste): Thermal treatment

Obiettivo: Product value upgrading

Destinazione: Riutilizzo e Ridistribuzione

Stadio/i della filiera: Trasformazione e packaging

Nome della soluzione: Cordis

Descrizione della soluzione: I ricercatori del progetto hanno studiato i rivestimenti barriera biodegradabili per i materiali di imballaggio in plastica in cui i biopolimeri sono derivati da residui fibrosi di frutta (lignocellulosa). La sansa di mela depectinizzata (il principale rifiuto solido generato nelle fabbriche che producono sidro e succo di mela) ha mostrato ottimi risultati. I ricercatori hanno anche studiato le possibili applicazioni industriali per altri tipi di residui di frutta, come vinacce e gusci di cacao per nuovi sistemi di produzione alimentare e l'industria biotecnologica. (*CORDIS*, 2016).

Cluster tecnologico – primo livello: Processing

Cluster tecnologico – primo livello: Biochemical treatment

Obiettivo: Product value upgrading

Destinazione: Riciclo

Stadio/i della filiera: Movimentazione e stoccaggio

Nome della soluzione: Agropack

Descrizione della soluzione: Il progetto consiste nello sviluppo di bio-packaging con materiali plastici ricavati dai sottoprodotti della pesca e di altre drupacee. L'iniziativa mira a immettere sul mercato imballaggi sostenibili (scatole, sacchetti, contenitori) riducendo gli sprechi e trovando un mercato redditizio dagli scarti delle pesche. I ricercatori hanno polverizzato i noccioli delle pesche per integrarli con un polimero per ottenere una materia prima ottimale che può essere utilizzata per produrre biocontenitori (*Agropack*, 2020).

Cluster tecnologico – primo livello: Processing

Cluster tecnologico – secondo livello: Biochemical treatment

Obiettivo: Product value upgrading

Destinazione: Riciclo

Stadio/i della filiera: Movimentazione e stoccaggio

Nome della soluzione: CITROFUEL

Descrizione della soluzione: Il progetto CITROFUEL ha sviluppato un prototipo industriale per la produzione di bioetanolo da scarti di agrumi. Il prototipo utilizza un nuovo processo di fermentazione. Ad oggi il progetto è stato implementato solo a livello di laboratorio ma sono stati ottenuti dei risultati promettenti. Si è visto infatti che potrebbe essere raggiunto un tasso di conversione praticabile dei rifiuti fermentati nel prodotto finale alcolico (*LIFE 3.0 - LIFE Project Public Page*, 2012).

Cluster tecnologico – primo livello: Processing

Cluster tecnologico – secondo livello: Biochemical treatment

Obiettivo: Energy recovery

Destinazione: Recupero energetico

Stadio/i della filiera: n.a.

Nome della soluzione: Progetto Biogas Pioneer – Corteva Agriscience

Descrizione della soluzione: Il Progetto Biogas è stato ideato nel 2009 per supportare, senza costi aggiuntivi, tutte le aziende italiane che producono energia rinnovabile da biomassa. Nell'ambito delle attività sviluppate per supportare i produttori di biogas, viene proposto un servizio di valutazione delle matrici di recupero, come ad esempio scarti agro-industriali (es. bucce di frutta e verdura).

Grazie alle informazioni ottenute dall'analisi degli scarti, gli impianti possono gestire in modo consapevole i diversi materiali utilizzabili per l'alimentazione del digestore, integrando eventuali carenze chimico-nutrizionali con altri substrati disponibili (Corteva Agriscienze, 2021).

Cluster tecnologico – primo livello: Processing

Cluster tecnologico – secondo livello (se sussiste): Biochemical treatment

Obiettivo: Energy recovery

Destinazione: Recupero energetico

Stadio/i della filiera: n.a.

3.3. La proposta di una nuova tassonomia delle tecnologie

Sulla base dei risultati della rassegna della letteratura e dei casi aziendali e attraverso le interviste con gli esperti, la Tabella 7 presenta la classificazione risultante organizzata per i) macrocategoria o cluster tecnologico e, laddove esistente, sottocategoria; ii) obiettivo specifico; iii) destinazione d'uso delle eccedenze secondo i livelli della Food Waste Hierarchy.

Rispetto alla precedente tassonomia (Tabella 5) la nuova classificazione presenta alcune differenze, evidenziate in colore blu e carattere corsivo nella Tabella 7.

Innanzitutto, la nuova classificazione integra i diversi livelli della Food Waste Hierarchy, dalla prevenzione fino al recupero energetico e smaltimento. Inoltre, distingue le tecnologie di processing in cinque tipologie, a seconda che il processo di trasformazione del prodotto ricorra ad un trattamento di tipo meccanico, chimico, biochimico, termo-chimico o termo-meccanico. Infine, per le diverse categorie di tecnologie sono stati validati o arricchiti gli obiettivi specifici di utilizzo per le diverse possibili destinazioni d'uso delle eccedenze.

Tabella 7. Nuova tassonomia delle tecnologie di prevenzione e gestione delle eccedenze nella filiera ortofrutticola

Cluster tecnologico	Sottocategoria tecnologica	Obiettivo	Destinazione d'uso delle eccedenze (Food Waste Hierarchy)
Information systems and analytics		Forecasting	Prevenzione
		Grouping and sorting	Prevenzione
		Monitoring and <i>traceability</i>	Prevenzione
		<i>Food access and sharing</i>	Prevenzione <i>Riutilizzo/ridistribuzione</i>
Chemical preservation		Shelf-life extension	Prevenzione
		<i>Food Safety</i>	Prevenzione
		<i>Quality preservation</i>	Prevenzione
Mechanical preservation		Shelf-life extension	Prevenzione
		<i>Quality preservation</i>	Prevenzione
Processing	<i>Mechanical treatment</i>	Product value upgrading	<i>Riutilizzo/ridistribuzione</i>
			<i>Riciclo</i>
	<i>Chemical treatment</i>	Product value upgrading	<i>Riciclo</i>
	<i>Biochemical treatment</i>	<i>Product value upgrading</i>	<i>Riutilizzo per consumo animale</i>
			<i>Riciclo</i>
		<i>Energy recovery</i>	<i>Recupero energetico</i>
	<i>Thermomechanical treatment</i>	<i>Product value upgrading</i>	<i>Riutilizzo/ridistribuzione</i>
			<i>Riutilizzo per consumo animale</i>
		<i>Riciclo</i>	
<i>Thermochemical treatment</i>	<i>Energy recovery</i>	<i>Recupero energetico</i>	
	<i>Reduction in waste volume</i>	<i>Smaltimento</i>	

Fonte: Elaborazione propria degli autori del presente deliverable

Infine, la Tabella 8 presenta la medesima tassonomia ma da un'altra prospettiva, ovvero per ciascun livello della Food Waste Hierarchy e obiettivo specifico sono riportate le diverse possibili tecnologie abilitanti.

Tabella 8. Le categorie di tecnologie per livello della Food Waste Hierarchy e obiettivo specifico.
Fonte: elaborazione propria degli autori (2021)

Destinazione delle eccedenze (Food Waste Hierarchy)	Obiettivo specifico	Tipo di tecnologia			
		Tecnologia A	Tecnologia B	Tecnologia C	Tecnologia D
Prevenzione	Forecasting	Information systems and analytics			
	Food access and sharing	Information systems and analytics			
	Grouping and sorting	Information systems and analytics			
	Monitoring / traceability	Information systems and analytics			
	Shelf-life extension	Chemical preservation			
	Quality preservation	Chemical preservation			
	Food Safety	Chemical preservation			
	Shelf-life extension	Mechanical preservation			
	Quality preservation	Mechanical preservation			
Riutilizzo / redistribuzione per consumo umano	Product value upgrading	Processing - Mechanical treatment	Processing-thermomechanical		
	Food access and sharing	Information systems and analytics			
Riutilizzo per consumo animale	Product value upgrading	Processing - biochemical treatment	Processing-thermomechanical		
Riciclo	Product value upgrading	Processing - biochemical treatment	Processing - Mechanical treatment	Processing-thermomechanical	Processing-Chemical treatment
Recupero	Energy recovery	Processing - Biochemical treatment	Processing - Thermochemical treatment		
Smaltimento	Reduction in waste volume	Processing - Thermochemical treatment			

3.4 Inquadramento del caso ESPERA

Le quattro nuove soluzioni tecnologiche sviluppate dai Partner nel progetto ESPERA sono state mappate all'interno della nuova tassonomia delle soluzioni tecnologiche sia per fini di validazione di quest'ultima sia per posizionare le innovazioni sperimentate nel progetto nel quadro delle soluzioni esistenti.

Descrizione della soluzione proposta: progettazione, sviluppo e caratterizzazione di un prototipo innovativo per misure ottiche non distruttive del grado di maturazione adattabile alle linee di selezione dei frutti. Partner CNR-IFN - WP2

Ottimizzazione del prototipo esistente di misurazione non invasiva laser (TRS) per analisi del grado di maturazione delle pere. Miglioramento e sviluppo di un nuovo prototipo di misurazione per migliorare la potenza dei raggi laser (rosso e infrarosso) per misurare la polpa del frutto e comprendere lo stato qualitativo del frutto indirizzandolo al corretto trattamento e sbocco di mercato.

Cluster tecnologico – primo livello: Information system and analytics

Obiettivo: Forecasting

Destinazione: Prevenzione

Stadio della filiera: Movimentazione e stoccaggio

Descrizione della soluzione proposta: selezione e conservazione dei frutti. Partner CREA-IT MI - WP3

_Realizzazione di campagne di misurazione non distruttive dei frutti presso la Cooperativa C.O.R.MA. La prima campagna è stata effettuata su pere Abate Fetel, la seconda su pere Conference, per un totale di 1380 frutti misurati. La misurazione è avvenuta tramite tecnologia TRS (*time-resolved reflectance spectroscopy*), in grado di rilevare il livello di clorofilla all'interno della polpa del frutto, e quindi rilevare il suo grado di maturazione in modo da comprendere quale sia l'effetto della selezione alla raccolta sulle conseguenti scelte della modalità di conservazione e di trattamento. Creazione di diverse classi di maturazione.

Cluster tecnologico – primo livello: Information system and analytics

Destinazione: Prevenzione

Obiettivo: Grouping and sorting

Stadi della filiera: Movimentazione e stoccaggio - Trasformazione e packaging

_Trattamento di una parte di pere con 1-MCP (1-metilciclopropene), antagonista dell'etilene, un ormone della crescita di piante e frutti che ne stimola la maturazione. Il trattamento consente di rallentare la maturazione dei frutti, estendendone quindi la loro vita utile e la loro freschezza.

Cluster tecnologico – primo livello: Chemical preservation

Destinazione: Prevenzione

Obiettivi: Shelf-life extension e Quality preservation

Stadio della filiera: Trasformazione e packaging

_Randomizzazione dei frutti di diverso grado di maturazione, trattati e non con 1-MCP, per la conservazione a diverse atmosfere, sia Atmosfera Normale (AN) che Atmosfera Controllata (AC), seguita da analisi di tipo qualitativo (colore, proprietà meccaniche - durezza -, analisi livelli zuccherini in gradi Brix e acidità, di 6 uscite dalle celle di conservazione (AN/AC). Ad ogni uscita dalle celle vengono analizzati anche i difetti, e le pere non idonee al consumo fresco, sia da AN che da AC, vengono destinate alla trasformazione in rondelle.

Cluster tecnologico – primo livello: Mechanical preservation

Destinazione: Prevenzione

Obiettivi: Shelf-life extension e quality preservation

Stadi della filiera: Movimentazione e stoccaggio- Trasformazione e packaging- Distribuzione - Retail.

Descrizione della soluzione proposta: estrazione dei composti da scarti di lavorazione. Partner: UNIMI ESP - *WP4*

Ottimizzazione dell'estrazione di composti bioattivi con proprietà antiossidanti e potenziale nutraceutico dagli scarti di produzione delle rondelle di pere. La tecnologia di estrazione utilizza CO₂ in condizioni ultra-critiche, abbinando velocità di estrazione con condizioni operative molto blande e non inquinanti (assenza totale di solventi organici). Altre tecniche quali estrazioni mediate da microonde o ultrasuoni sono confrontate a quest'ultima.

Cluster tecnologico – primo livello: Processing

Cluster tecnologico – secondo livello: Biochemical treatment

Destinazione: Riciclo

Obiettivo: Product value upgrading

Stadio della filiera: Trasformazione e packaging

Descrizione della soluzione proposta: trasformazione dei frutti in rondelle – CREA-IT MI - *WP4*

Essiccazione delle rondelle di pere grazie a un trattamento termico che consente di portare le rondelle a un livello di umidità residua bassissima, stabilizzandole quindi anche dal punto di vista microbiologico. In questo modo l'acqua presente è talmente bassa che permette la conservazione delle rondelle.

Cluster tecnologico – primo livello: PROCESSING

Cluster tecnologico – secondo livello: THERMAL TREATMENT

Obiettivo: SHELF-LIFE EXTENSION/QUALITY PRESERVATION

Destinazione: Riutilizzo e Ridistribuzione

Stadio della filiera: trasformazione e packaging

4. Conclusione e sviluppi futuri

I principali risultati della ricerca presentata in questo report sono tre, ovvero (i) la sistematizzazione, validazione e perfezionamento di una tassonomia delle cause di generazione delle eccedenze lungo la filiera dell'ortofrutta, (ii) la proposta di una nuova tassonomia delle soluzioni tecnologiche per la prevenzione e valorizzazione delle eccedenze lungo la medesima filiera, (iii) una proposta di posizionamento delle innovazioni in corso di sperimentazione nel progetto Espera nella tassonomia delle tecnologie.

Come integrazioni finali del progetto per il M36, si propongono le seguenti attività.

- Confronto anche visuale tra le soluzioni Espera e i casi aziendali più assimilabili dal punto di vista delle dimensioni della tassonomia, per analizzare i relativi vantaggi e svantaggi e comprendere le sovrapposizioni in termini di applicazione operativa e di mercato.
- Condurre alcune interviste a fornitori o adottatori delle tecnologie dei casi aziendali, per evidenziare gli adattamenti e le innovazioni nei processi operativi necessarie per adottare e beneficiare appieno delle nuove tecnologie.

II. Riferimenti bibliografici

Advice&Consulting Official website. Accessed on the Internet on October 15, 2021. <https://www.advice-consulting.it/prodotti-e-servizi/conservazione-atmosfera-controllata/>

Agrimetrics Official website. Accessed on the Internet on November 13, 2021. <https://agrimetrics.co.uk/>

AgroFresh Official website. Accessed on the Internet on October 15, 2021. SmartFresh™ post-harvest treatment from AgroFresh

Ahmadi, F., Lee, Y. H., Lee, W. H., Oh, Y. K., Park, K. K., & Kwak, W. S. (2018). Preservation of fruit and vegetable discards with sodium metabisulfite. *Journal of Environmental Management*, 224, 113-121.

Ali, I., Asim, M., & Khan, T. A. (2012). Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. *Journal of Environmental Management*, 113, 170-183.

Al-Tayyar, N. A., Youssef, A. M., & Al-Hindi, R. R. (2020). Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 26.

Ambaye, T. G., Rene, E. R., Nizami, A. -, Dupont, C., Vaccari, M., & van Hullebusch, E. D. (2021). Beneficial role of biochar addition on the anaerobic digestion of food waste: A systematic and critical review of the operational parameters and mechanisms. *Journal of Environmental Management*, 290.

Amcor Official website. Accessed on the Internet on November 13, 2021. <https://www.amcor.com/insights/blogs/modified-atmosphere-packaging>

Andler, R., Valdés, C., Urtuvia, V., Andreeßen, C., & Díaz-Barrera, A. (2021). Fruit residues as a sustainable feedstock for the production of bacterial polyhydroxyalkanoates. *Journal of Cleaner Production*, 307.

Andreou, V., Dimopoulos, G., Tsonas, T., Katsimichas, A., Limnaios, A., Katsaros, G., Taoukis, P. (2021). Pulsed Electric Fields-Assisted Drying and Frying of Fresh Zucchini. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 2091-2106.

Augustin, M. A., Sanguansri, L., Fox, E. M., Cobiac, L., & Cole, M. B. (2020). Recovery of wasted fruit and vegetables for improving sustainable diets. *Trends in Food Science and Technology*, 95, 75-85.

Bakić, M. T., Pedisić, S., Zorić, Z., Dragović-Uzelac, V., & Grassino, A. N. (2019). Effect of microwave-assisted extraction on polyphenols recovery from tomato peel waste. *Acta Chimica Slovenica*, 66(2), 367-377.

Barba, F. J., Parniakov, O., Pereira, S. A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N., . . . Vorobiev, E. (2015). Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International*, 77, 773-798.

Bayram, B., Ozkan, G., Kostka, T., Capanoglu, E., & Esatbeyoglu, T. (2021). Valorization and Application of Fruit and Vegetable Wastes and By-Products for Food Packaging Materials. *Molecules*, 26(13), 4031.

BIO2CHP Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021. <http://www.bio2chp.com/x.html>.

Biofresh Official website. Accessed on the Internet on October 16, 2021. <https://biofresh.com/products.php>

BIOMAX Official website. Accessed on December 4, 2021. <https://www.biomaxgreen.com/>

BIOPAC Official website. Accessed on the Internet on November 12, 2021. <https://www.biopac.com.au/map-bag-atmosphere-control/>

Bobinaitė, R., Pataro, G., Lamanauskas, N., Šatkauskas, S., Viškelis, P., & Ferrari, G. (2015). Application of pulsed electric field in the production of juice and extraction of bioactive compounds from blueberry fruits and their by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5898-5905.

Boccia, F., Di Donato, P., Covino, D., & Poli, A. (2019). Food waste and bio-economy: A scenario for the Italian tomato market. *Journal of Cleaner Production*, 227, 424-433.

Bon Harvest Official website. Accessed on the internet on December 7, 2021. <https://bonharvest.com/about>

Botto Official website. Accessed on the Internet on December 6, 2021. <https://thebotto.com/>

BringTheFood Official website. Accessed on the Internet on December 7, 2021. <https://bringfood.org/benefits.html>

Brocklesby Biogas Ltd Official website. Accessed on the Internet on December 7, 2021. <http://brocklesby.org/our-biogas-anaerobic-digestion-plant/>

Cattani, A. (2021). Food Waste along the Fruit and Vegetable Supply Chain. A Case Study of PGI Pears. Polytechnic of Milan.

Chen, H., & Yada, R. (2011). Nanotechnologies in agriculture: New tools for sustainable development. *Trends in Food Science and Technology*, 22(11), 585-594.

Ciccullo, F., Cagliano, R., Bartezzaghi, G., & Perego, A. (2021). Implementing the circular economy paradigm in the agri-food supply chain: The role of food waste prevention technologies. *Resources, Conservation and Recycling*, 164.

Copia Official website. Accessed on the Internet on December 7, 2021. <https://www.gocopia.com/nonprofits>

Consentio Official website. Accessed on the Internet on December 4, 2021. <https://www.consentio.co/features>

CORTEVA agriscience Official website. Accessed on the Internet on October 18, 2021. <https://www.corteva.it/prodotti-e-soluzioni/servizi-agronomici/servizio-biogas.html>

Cuttini, C., De Vincenzi, C. (2018). Preventing Food Waste along the Agri-Food Supply Chain: A Study on Technologies and Collaborations. [Unpublished doctoral dissertation]. Polytechnic of Milan.

DA-Meter Official website. Accessed on the Internet on November 12, 2021. <http://www.dameter.com/>

DCS Tramaco Official website. Accessed on the Internet on October 14, 2021. Servizi, Logistica del Freddo (tramaco.net)

De Azeredo, G. A., Stamford, T. L. M., Nunes, P. C., Gomes Neto, N. J., De Oliveira, M. E. G., & De Souza, E. L. (2011). Combined application of essential oils from *origanum vulgare* L. and *rosmarinus officinalis* L. to inhibit bacteria and autochthonous microflora associated with minimally processed vegetables. *Food Research International*, 44(5), 1541-1548.

De Candia, A. (2019). L'olio Caroli si traccia sulla blockchain. *The cryptonomist*. Accessed on the Internet on November 12, 2021. <https://cryptonomist.ch/2019/06/25/olio-caroli-blockchain/>

Diaz-Ruiz, R., Costa-Font, M., López-i-Gelats, F., & Gil, J. M. (2019). Food waste prevention along the food supply chain: A multi-actor approach to identify effective solutions. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 249-260.

Dunuweera, A. N., Nikagolla, D. N., & Ranganathan, K. (2021). Fruit waste substrates to produce single-cell proteins as alternative human food supplements and animal feeds using baker's yeast (*saccharomyces cerevisiae*). *Journal of Food Quality*, 2021.

Eriksson, M., Strid, I., & Hansson, P. -. (2016). Food waste reduction in supermarkets - net costs and benefits of reduced storage temperature. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 73-81.

Esparza, I., Jiménez-Moreno, N., Bimbela, F., Ancín-Azpilicueta, C., & Gandía, L. M. (2020). Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. *Journal of Environmental Management*, 265.

ESPERA. (2018). Allegato B: Indice del Progetto di ricerca. (Bando 2018 d.d.s. n. 4403 del 28/03/2018).

ESPERA. (2021) D1.1 Analisi preliminare dei processi e della filiera delle pere IGP del Mantovano.

Estrella-González, M. J., Jurado, M. M., Suárez-Estrella, F., López, M. J., López-González, J. A., Siles-Castellano, A., & Moreno, J. (2019). Enzymatic profiles associated with the evolution of the lignocellulosic fraction during industrial-scale composting of anthropogenic waste: Comparative analysis. *Journal of Environmental Management*, 248.

European Commission-LIFE Public Database. (2010). *Demonstration project on a new process for second-generation bio fuel production: bio ethanol from citrus flesh*. Accessed on the Internet on November 13, 2021.

https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3660

Fabbri, S., Olsen, S. I., & Owsianiak, M. (2018). Improving environmental performance of post-harvest supply chains of fruits and vegetables in Europe: Potential contribution from ultrasonic humidification. *Journal of Cleaner Production*, 182, 16-26.

Facchini, S. (2020). Communicative packaging as a lever to pursue agri-food sustainability: taxonomy and impact analysis. [Unpublished doctoral dissertation]. Polytechnic of Milan.

Feedback Official website. Accessed on the Internet on December 6, 2021. <https://www.feedbackapp.ca/>

Flashfood Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021.
<https://www.flashfood.com/>

Flawsome! Drinks Official website, Accessed on the Internet on December 5, 2021.
<https://flawsomedrinks.com/>

Food finder Official website. Accessed on the Internet on December 4, 2021.
<https://foodfinder.eco.br/como-funciona>

FoodChain - Preventing food waste Official web site. Accessed on the Internet on December 4, 2021. <https://dontwaste.me/b2b>

FoodCloud Official website. Accessed on the Internet on December 7, 2021.
<https://food.cloud/>

FoodMesh Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021.
<https://foodmesh.ca/>

Forster-Carneiro, T., Berni, M. D., Dorileo, I. L., & Rostagno, M. A. (2013). Biorefinery study of availability of agriculture residues and wastes for integrated biorefineries in brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 77, 78-88.

GAMAYA Official website. Accessed on the Internet on November 12, 2021.
<https://www.gamaya.com/>

Graapz Official website. Accessed on the Internet on December 7, 2021. <https://www.eu-startups.com/directory/graapz/>

Grabz Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021.
<https://www.localharvest.org/grabz-M73029>

Grasso, S. (2020). Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 99, 284-294.

Goodr Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021. <https://goodr.co/food-waste-solutions/surplus-food-recovery/>

Gunders, D. (2012) Wasted: How America Is Losing Up to 40 Percent of Its Food from Farm to Fork to Landfill. *NRDC Issue Paper*, iP:12-06-B.

Harvey, J., Smith, A., Goulding, J., & Branco Illodo, I. (2020). Food sharing, redistribution, and waste reduction via mobile applications: A social network analysis. *Industrial Marketing Management*, 88, 437-448.

HOFO Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021. <https://www.hofo.es/>

Holsteijn, F. V., & Kemna, R. (2018). Minimizing food waste by improving storage conditions in household refrigeration. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 25-31.

ImagoAi Official website. Accessed on the Internet on December 6, 2021. <https://www.imagoai.com/about-us>

INNOLABEL Official website. Accessed on the Internet on November 12, 2021. <https://www.innolabel.eu/en/products/p/freshcode/>

KITRO Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021. <https://www.kitro.ch/product>

KrishiHub Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021. <https://www.krishihub.com/>

Lattieff, F. A. (2016). A study of biogas production from date palm fruit wastes. *Journal of Cleaner Production*, 139, 1191-1195.

Leanpath Official website. Accessed on the Internet on September 27, 2021 <https://www.leanpath.com/>

Li, Y., Kramer, M. R., Beulens, A. J. M., & Van Der Vorst, J. G. A. J. (2010). A framework for early warning and proactive control systems in food supply chain networks. *Computers in Industry*, 61(9), 852-862.

Lim, L. Y., Lee, C. T., Bong, C. P. C., Lim, J. S., & Klemeš, J. J. (2019). Environmental and economic feasibility of an integrated community composting plant and organic farm in malaysia. *Journal of Environmental Management*, 244, 431-439.

Liu, G., Ying, D., Guo, B., Cheng, L. J., May, B., Bird, T., . . . Augustin, M. (2019). Extrusion of apple pomace increases antioxidant activity upon: In vitro digestion. *Food and Function*, 10(2), 951-963.

Lorenc, A., Czuba, M., & Szarata, J. (2021). Big data analytics and anomaly prediction in the cold chain to supply chain resilience. *FME Transactions*, 49(2), 315-326.

Lumitics Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021.
<https://lumitics.com/waste-management-solutions/>

MACS-G20. (2021). *International Workshop on Food Loss and Waste Prevention targeting Mediterranean countries*. Workshop 04.11.21.

Marić, M., Grassino, A. N., Zhu, Z., Barba, F. J., Brnčić, M., & Rimac Brnčić, S. (2018). An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. *Trends in Food Science and Technology*, 76, 28-37.

MealBox Official website. Accessed on the Internet on December 6, 2021.
<https://www.mealboxapp.com/about>

Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2017). Time–Temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 647-667.

METACORTEX Official website. Accessed on the Internet on October 16, 2021.
<https://www.metacortex.it/index.php/tree-tech-revolution-in-eco-environment>

Misfits Market Official website. Accessed on the Internet on December 6, 2021.
<https://www.misfitsmarket.com/whats-in-your-box?exp=autoship>

MITAKUS Official website. Accessed on the Internet on December 4, 2021.
<https://mitakus.de/en/>

Monti & C. Tecnologie del freddo. Accessed on the Internet on October 19, 2021.
<https://www.montisrl.it/it/prodotti-e-impianti-it/ortofrutticolo-it.html>

Moraes, N. V., Lermen, F. H., & Echeveste, M. E. S. (2021). A systematic literature review on food waste/loss prevention and minimization methods. *Journal of Environmental Management*, 286.

Mori Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021. <https://www.mori.com/>

Nagarajan, S. M., Deverajan, G. G., Chatterjee, P., Alnumay, W., & Muthukumaran, V. (2022). Integration of IoT based routing process for food supply chain management in sustainable smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 76.

OERSA. (2020). Le potenzialità del primario e del consumatore nella gestione delle eccedenze.

OLIO Official website. Accessed on the Internet on December 4, 2021. <https://olioex.com/>

OPI FRUTTA Official website. Accessed on the Internet on November 5, 2021. <https://opifrutta.com/it/la-tecnologia/>

Osservatorio Food Sustainability of Politecnico di Milano. (2021). DAI SEMI DELL'INNOVAZIONE, AI FRUTTI DELLA SOSTENIBILITÀ!

Osservatorio Food Sustainability of Politecnico di Milano. (2020). LA SOSTENIBILITÀ VIEN INNOVANDO! Informazione e circolarità, Chiavi di volta per una filiera più sostenibile e inclusiva.

Özcan, G., & Demirel Zorba, N. N. (2016). Combined effect of ultrasound and essential oils to reduce listeria monocytogenes on fresh produce. *Food Science and Technology International*, 22(4), 353-362.

Papargyropoulou, E., Lozano, R., K. Steinberger, J., Wright, N., & Ujang, Z. B. (2014). The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste. *Journal of Cleaner Production*, 76, 106-115.

Pataro, G., Carullo, D., Falcone, M., & Ferrari, G. (2020). Recovery of lycopene from industrially derived tomato processing by-products by pulsed electric fields-assisted extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 63.

Peach waste used to make bio-packaging. (2019). *Fresh fruit portal*. Accessed on the internet on November 13, 2021. <https://www.freshfruitportal.com/news/2019/11/20/peach-waste-used-to-make-bio-packaging-serve-as-substitute-in-stone-fruit-packaging/>

Peláez-Cid, A. -, Herrera-González, A. -, Salazar-Villanueva, M., & Bautista-Hernández, A. (2016). Elimination of textile dyes using activated carbons prepared from vegetable residues and their characterization. *Journal of Environmental Management*, 181, 269-278.

Polimi OpenKnowledge. (2017, October 3). Partnerships and digital transformation: implications for food banks (Angela Frigo). [File video]. <https://www.youtube.com/watch?v=73p3Z6U4euA>

Positive Carbon Official website. Accessed on the Internet on December 6, 2021. Positive Carbon - Automated Food Waste Prevention

Preethi, R., Sasikala, P., & Aravind, J. (2012). Microbial production of polyhydroxyalkanoate (PHA) utilizing fruit waste as a substrate. *Res Biotechnol*, 3(1), 61-69.

Produce Peddlers Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021.
<https://producepeddlers.com/#how-it-works>

PPS Official website. Accessed on the Internet on September 14, 2021. Smart Label con barcode dinamico: l'evoluzione del packaging | PPS (ppsolutions.it)

Priefer, C., Jörissen, J., & Bräutigam, K. -. (2016). Food waste prevention in europe - A cause-driven approach to identify the most relevant leverage points for action. *Resources, Conservation and Recycling*, 109, 155-165.

Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Režek Jambrak, A., Barba, F. J., Cravotto, G., Binello, A., . . . Shpigelman, A. (2017). Innovative "green" and novel strategies for the extraction of bioactive added value compounds from citruswastes - A review. *Molecules*, 22(5).

Qi, Y., Li, C., Li, H., Yang, H., & Guan, J. (2021). Elimination or removal of ethylene for fruit and vegetable storage via low-temperature catalytic oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(36), 10419-10439.

Raak, N., Symmank, C., Zahn, S., Aschemann-Witzel, J., & Rohm, H. (2017). Processing- and product-related causes for food waste and implications for the food supply chain. *Waste management*, 61, 461-472.

Raja Namasivayam, S. K., Bharani, R.S.A. (2012). Effect of Compost Derived From Decomposed Fruit Wastes by Effective Microorganism (EM) Technology on Plant Growth Parameters of *Vigna mungo*. *J Bioremed Biodeg* 3:167. 6.

Replate Official website. Accessed on the Internet on December 7, 2021.
<https://www.replate.org/>

Richter, B., & Bokelmann, W. (2016). Approaches of the German food industry for addressing the issue of food losses. *Waste management*, 48, 423-429.

RindSnacks Official website. Accessed on the Internet on December 6, 2021.
<https://www.rindsnacks.com/>

Ripsense Official website. Accessed on the Internet on October 10, 2021.
<http://www.ripesense.co.nz/>

Ruffino, B., & Zanetti, M. (2017). Present and future solutions of waste management in a candied fruit – jam factory: Optimized anaerobic digestion for on site energy production. *Journal of Cleaner Production*, 159, 26-37.

Ryp LABS Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021.
<https://www.ryplabs.com/stixfresh>

Sailog Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021. <https://agrio.app/>

SAIM Official website. Accessed on the Internet on October 16, 2021. Tecnologie Postraccolta
» Saim Impianti

SEaB Energy Official website. Accessed on the Internet on December 7, 2021.
<https://seabenergy.com/products/mb400/>

SENSITECH Official website. Accessed on the Internet on October 16, 2021. SensiWatch®
Products | Sensitech

Shen, X., & Sun, R. (2021). Recent advances in lignocellulose prior-fractionation for biomaterials, biochemicals, and bioenergy. *Carbohydrate Polymers*, 261.

Spare Snacks Official website. Accessed on the Internet on December 6, 2021.
<https://www.spareasnacks.com/pages/our-story>

Strella Biotechnology Official website. Accessed on the Internet on December 6, 2021.
<https://www.strellabiotech.com>

SusGlobal Energy Corp Official website. Accessed on November 12, 2021.
<https://susglobalenergy.com/projects/belleville/compost-process/>

Tanizaki, T., Hoshino, T., Shimmura, T., & Takenaka, T. (2020). Restaurants store management based on demand forecasting. *Procedia CIRP*, 88, 580-583.

Thi, N. B. D., Kumar, G., & Lin, C. -. (2015). An overview of food waste management in developing countries: Current status and future perspective. *Journal of Environmental Management*, 157, 220-229.

Too Good To Go Official website. Accessed on the Internet on September 12, 2021.
<https://toogoodtogo.it/it>

Torrijos, V., Calvo Dopico, D., & Soto, M. (2021). Integration of food waste composting and vegetable gardens in a university campus. *Journal of Cleaner Production*, 315.

T.R. Turoni Official website. Accessed on the Internet on October 16, 2021.
<https://www.trturoni.com/en>

Tsoumakas, G. (2019). A survey of machine learning techniques for food sales prediction. *Artificial Intelligence Review*, 52(1), 441-447.

Twiga Official website. Accessed on the Internet on December 4, 2021. <https://twiga.com/>

Unisorting Official website. Accessed on the Internet on October 19, 2021. Calibratrici Pere, Impianti per Selezione, Confezionamento, Lavorazione (unisorting.com)

Valenti, F., Porto, S. M. C., Selvaggi, R., & Pecorino, B. (2018). Evaluation of biomethane potential from by-products and agricultural residues co-digestion in southern Italy. *Journal of Environmental Management*, 223, 834-840.

Vankar, P. S., Sarswat, R., Dwivedi, A. K., & Sahu, R. S. (2013). An assessment and characterization for biosorption efficiency of natural dye waste. *Journal of Cleaner Production*, 60, 65-70.

Venturis HoReCa Official website. Accessed on the Internet on December 6, 2021. Venturis HoReCa

VEnvirotech Biotechnology Official website. Accessed on the Internet on December 5, 2021. Gestión de residuos orgánicos – Venvirotech

Verghese, K., Lewis, H., Lockrey, S., & Williams, H. (2015). Packaging's role in minimizing food loss and waste across the supply chain. *Packaging Technology and Science*, 28(7), 603-620.

Viridix Official website. Accessed on the Internet on October 15, 2021. <https://www.viridix.com/>

Wasteless Official website. Accessed on the Internet on December 3, 2021. Wasteless

Whole Surplus Official website. Accessed on the Internet on December 4, 2021. <https://wholesurplus.com>

Winet Official website. Accessed on the Internet on October 16, 2021. <https://www.winetsrl.com/fruttometro-sperimentale/>

Won, S., & Won, K. (2021). Self-powered flexible oxygen sensors for intelligent food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 29.

WRAP. (2011). *Fruit and vegetable resource maps: Mapping fruit and vegetable waste through the retail and wholesale supply chain*. Resource Maps (RSC-008).

Yang, Z., Koh, S. K., Ng, W. C., Lim, R. C. J., Tan, H. T. W., Tong, Y. W., . . . Wang, C. -. (2016). Potential application of gasification to recycle food waste and rehabilitate acidic soil from secondary forests on degraded land in southeast asia. *Journal of Environmental Management*, 172, 40-48.

Ying, D., Hlaing, M. M., Lerisson, J., Pitts, K., Cheng, L., Sanguansri, L., & Augustin, M. A. (2017). Physical properties and FTIR analysis of rice-oat flour and maize-oat flour based extruded food products containing olive pomace. *Food Research International*, 100, 665-673.

Zantar, S., El Garrouj, D., Pagán, R., Chabi, M., Laglaoui, A., Bakkali, M., & Hassani Zerrouk, M. (2015). Effect of Harvest Time on Yield, Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of *Thymus vulgaris* and *Mentha pulegium* Essential Oils. *European Journal of Medicinal Plants*, 8(2), 69-77.

Zia, M., Ahmed, S., & Kumar, A. (2020). Anaerobic digestion (AD) of fruit and vegetable market waste (FVMW): Potential of FVMW, bioreactor performance, co-substrates, and pre-treatment techniques. *Biomass Conversion and Biorefinery*.

Zorpas, A. A., Lasaridi, K., Pociovalisteanu, D. M., & Loizia, P. (2018). Monitoring and evaluation of prevention activities regarding household organics waste from insular communities. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3567-3577.