

# Ricerca di Sistema elettrico



**Studio sui trattamenti di natura non termica e  
trattamenti termici innovativi in sostituzione di  
processi termici tradizionali nell'industria alimentare:  
identificazione di best practices da letteratura e  
definizione preliminare di una metodologia di  
valutazione energetica ed economica (LA2.4)**

Giovanni Landi, Miriam Benedetti

RdS\_PTR 22-24\_PR 1.6\_LA2.4\_056

STUDIO SUI TRATTAMENTI DI NATURA NON TERMICA E TRATTAMENTI TERMICI INNOVATIVI IN SOSTITUZIONE DI PROCESSI TERMICI TRADIZIONALI NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE: IDENTIFICAZIONE DI BEST PRACTICES DA LETTERATURA E DEFINIZIONE PRELIMINARE DI UNA METODOLOGIA DI VALUTAZIONE ENERGETICA ED ECONOMICA (LA2.4)

Giovanni Landi, Miriam Benedetti (ENEA)

Dicembre 2022

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA  
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Linea di attività: 2.4

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile del Work Package: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: 1

Mese inizio effettivo: 1

Mese fine previsto: 12

Mese fine effettivo: 12

## Indice

1	RISULTATI ATTESI .....	3
2	RISULTATI OTTENUTI.....	4
3	PRODOTTI ATTESI.....	5
•	RAPPORTO TECNICO DI DETTAGLIO CONTENENTE LA DESCRIZIONE DI TUTTE LE ATTIVITÀ SVOLTE E DEI RISULTATI OTTENUTI.....	5
4	PRODOTTI SVILUPPATI .....	6
5	ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI .....	7
6	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE .....	8
7	DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	9
8	CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE.....	21
9	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE.....	22
10	EVENTI DI DISSEMINAZIONE .....	23

## 1 Risultati attesi

- Analisi di letteratura delle tecnologie non termiche, termiche innovative e tradizionali nei processi industriali per il trattamento di alimenti;
- Analisi delle buone pratiche descritte in letteratura per diverse tipologie di processi produttivi;
- Identificazione e definizione di una metodologia di valutazione economica ed energetica da applicare ai casi di studio;
- Applicazione delle metodologie e strumenti per l'analisi costi-benefici per i seguenti casi studio: (i) impianto a campi elettrici pulsati (PEF) per la pastorizzazione di alimenti liquidi e (ii) impianto a riscaldamento ohmico per la pastorizzazione e sterilizzazione degli alimenti solido-liquidi.

## 2 Risultati ottenuti

- È stata eseguita un'analisi di letteratura delle tecnologie non termiche, termiche innovative e tradizionali nei processi industriali per il trattamento di alimenti;
- È stata eseguita un'analisi delle buone pratiche descritte in letteratura per diverse tipologie di processi produttivi;
- È stata identificata e definita una metodologia di valutazione economica ed energetica da applicare ai casi di studio;
- Si sono applicate le metodologie e gli strumenti per l'analisi costi-benefici per: (i) un impianto a campi elettrici pulsati (PEF) per la pastorizzazione di alimenti liquidi e (ii) un impianto a riscaldamento ohmico per la pastorizzazione e sterilizzazione degli alimenti solido-liquidi.

### 3 Prodotti attesi

- Rapporto tecnico di dettaglio contenente la descrizione di tutte le attività svolte e dei risultati ottenuti.

## 4 Prodotti sviluppati

- Rapporto tecnico di dettaglio contenente la descrizione di tutte le attività svolte e dei risultati ottenuti.

## 5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Nella presente attività non c'è stato nessun scostamento tecnico rispetto al preventivo. Lo scostamento registrato per la voce C è legato ad una minore spesa per missioni (C3) rispetto a quanto preventivato, dovuta al fatto che molte delle riunioni previste per il coordinamento delle attività si sono svolte da remoto con nessuna ripercussione su attività e risultati.

## 6 Sintesi delle attività svolte

La ricerca si è concentrata sullo studio dei processi termici nell'industria alimentare, con l'analisi dei relativi consumi energetici e impatti ambientali. Si sono esplorate alternative elettrificate per migliorare efficienza, sostenibilità e qualità degli alimenti. L'analisi ha considerato pratiche industriali per la sicurezza alimentare, l'efficienza energetica e l'innovazione alimentare. Sono stati esaminati processi come la pastorizzazione di alimenti liquidi e la sterilizzazione di alimenti solidi-liquidi, evidenziando i benefici dei campi elettrici pulsati e del riscaldamento ohmico rispetto ai tradizionali processi termici. Metodologie di valutazione economica ed energetica sono state introdotte, inclusa una metodologia preliminare MVEE per la valutazione delle prestazioni energetiche ed economiche dei processi alimentari. La sua applicazione ha permesso analisi economiche e ambientali approfondite, dimostrando l'efficacia della MVEE nel selezionare le soluzioni ottimali.

## 7 Dettaglio delle attività svolte

La presente attività di ricerca si è concentrata sull'analisi delle applicazioni dei trattamenti termici innovativi (TTI) e dei trattamenti di natura non termica (TNNT) nell'ambito dell'industria alimentare, con l'obiettivo principale di valutare la loro idoneità come alternative ai processi termici tradizionali. Nel corso di questo studio preliminare, sono state valutate da letteratura diverse tecnologie non termiche, tra cui i campi elettrici pulsati (PEF), la luce pulsata (PL), gli ultrasuoni (US), l'omogenizzazione ad alta pressione (HHP), e tecnologie termiche innovative, come il riscaldamento ohmico (OH), le microonde (MW) e il riscaldamento a radiazione infrarossa (IR), tutte basate sull'utilizzo di corrente elettrica.

Inizialmente, si è proceduto all'analisi dettagliata dei processi termici tradizionali ampiamente adottati nell'industria alimentare italiana, quali la pastorizzazione e la sterilizzazione rapida ad alta temperatura (HTST) mediante piastre riscaldanti, con l'obiettivo di identificare i consumi energetici, le emissioni di CO<sub>2</sub> e i costi operativi associati a tali processi. In parallelo, è stata esplorata la potenzialità delle tecnologie TNNT e TTI come alternative o integrazioni ai processi termici convenzionali, rivelando notevoli vantaggi in termini di efficienza energetica, riduzione dei costi operativi e miglioramento della qualità dei prodotti alimentari.

Al fine di agevolare la comprensione delle opportunità offerte da queste tecnologie, sono stati sviluppati strumenti informativi, come tabelle e grafici comparativi, per mettere in evidenza in modo chiaro le differenze tra i processi termici tradizionali e quelli alternativi, sia non termici che termici innovativi. L'analisi bibliografica è stata effettuata attraverso il database Scopus utilizzando parole chiave pertinenti alle tecnologie oggetto dello studio<sup>2</sup>. Ad esempio, per il solo processo di pastorizzazione sono stati valutati 1076 articoli.

La ricerca ha introdotto una metodologia preliminare di valutazione energetica ed economica (MVEE) basata su una media pesata di indicatori prestazionali specifici per ogni trattamento. Tale metodologia è stata altresì implementata su due casi di studio particolari, al fine di evidenziare ulteriormente la sua applicabilità in contesti reali.

### 7.1 Applicazioni e buone pratiche dei trattamenti non termici e termici innovativi nel settore alimentare

Nel contesto dell'industria alimentare, il riscaldamento a basse temperature, generalmente al di sotto di 140°C, è ampiamente impiegato. Tuttavia, le tecnologie termiche tradizionali, sebbene comunemente adottate, presentano limitazioni, quali la perdita di nutrienti e l'alterazione delle proprietà sensoriali degli alimenti. Inoltre, richiedono un considerevole consumo energetico, con possibili impatti ambientali negativi. L'adozione di tecnologie termiche innovative (TTI) e di tecnologie di natura non termica (TNNT) nell'industria alimentare può essere ostacolata da elevati costi iniziali e la necessità di migliorare le infrastrutture elettriche. D'altra parte, vi sono ulteriori complessità legate alla diversificazione dei settori industriali e alla complessità dell'integrazione dei processi, che potrebbero richiedere una riorganizzazione delle linee di produzione.

Di seguito è riportato un estratto (Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 5) che riassume le buone pratiche descritte in letteratura e raccolte in ambito industriale per le diverse tipologie di processi produttivi. Le alternative tecnologiche più realistiche per l'elettificazione dei processi identificati come quelli con il più elevato consumo energetico nell'industria alimentare, ovvero i processi di essiccazione, evaporazione, cottura, nonché i processi di pastorizzazione e sterilizzazione, sono mostrati in Tabella 1<sup>1</sup>. In particolare, i processi di pastorizzazione e sterilizzazione, cruciali per garantire la sicurezza alimentare, spesso richiedono temperature superiori a 100°C. Per tali processi, è possibile considerare una vasta gamma di alternative basate su tecnologie elettriche che hanno raggiunto un adeguato livello di sviluppo. Un estratto delle sfide e

---

<sup>1</sup> M. Wei, C. A. McMillan, and S. de la Rue du Can, "Electrification of Industry: Potential, Challenges and Outlook," *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, vol. 6, no. 4, pp. 140–148, Dec. 2019, doi: 10.1007/s40518-019-00136-1.

degli ostacoli associati all'adozione dell'elettrificazione, a livello aziendale e nazionale, sono dettagliati nella Tabella 2<sup>2</sup>.

Per integrare le informazioni non direttamente reperibili nella letteratura, è stato condotto un dialogo con aziende ed esperti del settore. Questa collaborazione è finalizzata a colmare eventuali lacune informative. Sono stati esaminati due casi di studio specifici come la pastorizzazione di alimenti liquidi e la sterilizzazione di alimenti solidi-liquidi, con l'obiettivo di acquisire una comprensione approfondita delle sfide e delle variabili coinvolte nella valutazione dei costi e dei benefici legati all'utilizzo di queste tecnologie.

**Tabella 1. Tecnologie elettriche selezionate per i processi ad alto consumo energetico nell'industria alimentare<sup>3</sup>.**

		Processi			
		Essiccazione	Evaporazione	Cottura	Pastorizzazione e sterilizzazione
Tecnologie termiche innovative	Radiofrequenza (RF)	X		X	X
	Microonde (MW)	X		X	X
	Riscaldamento ohmico (OH)	X		X	X
	Infrarossi (IR)			X	
	Induzione	X		X	X
	Processo termico tradizionale (HTST)	X	X	X	X
Tecnologie non termiche	Campi elettrici pulsati (PEF)	X		X	X
	Luce pulsata (PL)				X
	Campo elettrico ad alta tensione	X			X
	Plasma a freddo				X
	Ozonizzazione				X
	Luce ultravioletta (UV)				X
	Ultrasuoni (US)	X			X
	Alta pressione (HPP)				X
	Processi a membrana	X	X		X

<sup>2</sup> Per maggiori informazioni sulle altre tecnologie si prega di consultare il report esteso.

<sup>3</sup> N. A. Kermani, F. Holm, and B.; Elmegaard, "A systematic review of electrification technologies for Danish food and beverage industry," APA, 2022.

**Tabella 2. Estratto dei benefici, delle sfide tecnologiche, dell'efficienza energetica e del TRL per le tecnologie riscaldamento ohmico (TTI) e campi elettrici pulsati (TNNT) <sup>3</sup>.**

Tecnologie	Sfide tecnologiche	Efficienza energetica (%)	TRL
<b>Riscaldamento ohmico (OH)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'efficacia dipende dalla resistenza del materiale di destinazione.</li> <li>Problemi di scalabilità.</li> <li>Progettazione specifica per ogni situazione.</li> <li>È necessaria una superficie di contatto pulita senza incrostazioni per una buona connessione elettrica.</li> <li>Si basa principalmente su sistemi a flusso continuo.</li> <li>Gli alimenti non omogenei possono richiedere l'agitazione, il riscaldamento intermittente o la combinazione con altre fonti di energia, al fine di migliorare l'uniformità del riscaldamento.</li> </ul>	75-95	Commerciale TRL 8
<b>Campi elettrici pulsati (PEF)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costi di capitale elevati.</li> <li>Migliorare l'affidabilità dei generatori per lunghi tempi di applicazione.</li> <li>Limitata durata degli elettrodi.</li> <li>Applicabilità ad impianti con capacità superiore.</li> </ul>	75-90	Commerciale TRL 8

**Tabella 3. Applicazioni delle tecnologie non termiche per la pastorizzazione degli alimenti liquidi<sup>4</sup>.**

Tecnologia	Alimento	Condizioni operative	Costi di investimento	Costi energetici	Altri costi	Benefici energetici	Benefici non energetici	Pay Back Period (PBP)
<b>Trattamento termico</b>	Succhi di arancia	Scambiatore di calore a piastre  t=5 s  T=85 °C  Q=3000 l/h	132 k\$	8000 \$/anno (consumo di 38100 kW/h)	Costo del lavoro=22000 \$/anno  Costi di amministrazione =247000 \$/anno	Minor consumo energetico: 38100 kW/anno	Il trattamento termico (85 °C, 5 s) ha ridotto lo sfondo iniziale dei batteri mesofili di 0,70 log	

<sup>4</sup> Per maggiori informazioni si prega di consultare il report esteso.

<b>PEF</b>	Succhi di arancia	E=30 kV T=60 °C Q= 3000 l/h W=65,6-182,2	2,1 M\$	60 k\$ (consumo di 864000 kW/h)	Costo del lavoro= 220000 \$  Costo dell'acqua di raffreddamento= 9000 \$	Nessuna perdita di vitamina C  Il trattamento con PEF non è stato in grado di ridurre il background mesofilo del succo d'arancia che è rimasto costante durante il periodo di conservazione
<b>Luce pulsata</b>	Succhi di arancia	Dosaggio PL= 5,5 J/cm <sup>2</sup>				La riduzione di Escheria coli è di 5
<b>Trattamento termico (HTST)</b>	Latte	T= 72 °C t=15-20 s W <sub>T</sub> =50 kJ/kg	129295 \$		Costo operativo totale: 385857 \$/anno	5,57 anni
<b>PEF</b>	Latte	E=30-50 kV/cm T=70-80 °C				Il processo PEF ha mantenuto il sapore e il valore nutritivo del latte e ha portato a una minore denaturazione delle proteine del latte rispetto al trattamento termico.  La carica batterica inattivata è di 6 logCFU/ml.

**Tabella 4. Esempi di applicazioni del riscaldamento ohmico (TTI) nel settore alimentare per alimenti solido-liquidi<sup>4</sup>.**

Tipologia di alimento	Fase di processo	Condizioni di processo	Effetti
<b>Albicocche</b>	Pastorizzazione	Temperatura: 90°C Tempo di holding: 113 secondi Tensione di picco: 2,2 kV Potenza elettrica media: 12,8 kW	Shelf-life di almeno un anno, si evita un ulteriore trattamento termico dopo il confezionamento asettico
<b>Pesche</b>	Pastorizzazione	Temperatura: 70°C Tempo di holding: 360 minuti	Migliori proprietà organolettiche del prodotto finale, aumento del contenuto di fenoli

<b>Succo di arancia con particelle di alginato</b>	Pastorizzazione	Potenza:30 kW Frequenza:50 Hz Voltaggio: 360 V Intensità di corrente: 8A Temperatura target: 90°C Tempo di holding: 3,68 min	Risparmio energetico: Usando il trattamento ohmico si consumano 0,11 kWh mentre per il trattamento convenzionale di 0,27 kWh (59% di risparmio) tempo:3,68 min contro i 6,03 min del trattamento convenzionale conservazione di vitamina C: nel trattamento ohmico abbiamo una riduzione del solo 4,18% contro il 13,58% del trattamento convenzionale
<b>Teste di carciofo</b>	Scottatura	Temperatura target:80°C Intensità del campo elettrico: 24 V/cm Tempo di holding:360-480s	Il tempo totale di scottatura richiesto per riscaldare il cuore dei carciofi da 20 a 80 C è 2,8 volte più lungo con il metodo convenzionale che con il riscaldamento ohmico. Migliore conservazione del colore, morbidezza uniforme del carciofo. Decremento di proteine solo del 2,9% rispetto al metodo convenzionale
<b>Pasta</b>	Cottura	Intensità del campo elettrico: 10 V/cm,20 V/cm,30 V/cm,40 V/cm	Tempo di trattamento:140, 35, 25 min La reidratazione della pasta risulta essere più veloce con il riscaldamento ohmico che con quello convenzionale
<b>Purea di piselli</b>	Scottatura	Range di intensità del campo elettrico: 20-50 V/cm Temperatura di target: 100°C	Minor tempo di processo rispetto al metodo di scottatura convenzionale, miglior mantenimento del colore

**Tabella 5. Esempi di applicazioni delle tecnologie termiche innovativa nel settore alimentare<sup>4</sup>.**

Tipologia di alimento	Tecnologia impiegata	Fase di processo	Stato dell'alimento	Condizioni di processo	Effetti
<b>Pomodoro</b>	Infrarossi (IR)	Essiccamento	Solido	Potenza:1,830 W/cm <sup>2</sup> ;2640 W/cm <sup>2</sup> ;3,165 W/cm <sup>2</sup> ; Tempo: 141-246 min	Diminuzione del tempo di essiccamento, aumento fino al 337% del contenuto di licopene
<b>Pomodoro datterino</b>	Microonde (MW)	Cottura	Solido-liquido	Potenza: 700 W; 750W Tempo: 10s; 20s; 30s; 40s; 50s	Riduzione della Salmonella di 1,6log(40s,750W); 1,7log(50s,700W); 1,45(40s,700W è l'unico trattamento che non cambia la qualità del pomodoro, inclusa la texture)
<b>Latte di soia</b>	Radiofrequenza (RF)	Pastorizzazione	Liquido	Frequenza: 28 MHz Tout: 100°C-115°C Tempo: 4s	Riduzione delle spore del Bacillus subtilis di 4 ordini di grandezza alla temperatura di uscita di 115°C, il tofu fatto dal latte di soia trattato con radiofrequenze presenta una maggiore resistenza alla rottura

## 7.2 Caso studio A: campi elettrici pulsati (PEF) nella pastorizzazione alimenti liquidi

Nel primo caso, si è condotta una valutazione energetica ed economica dell'adozione della tecnologia basata sui campi elettrici pulsati (PEF) per la pastorizzazione di alimenti liquidi (succo di arancia), in alternativa ai tradizionali trattamenti termici (HTST). Questa analisi ha dimostrato che, nonostante i costi operativi leggermente superiori della pastorizzazione PEF rispetto al trattamento HTST con recupero di calore, l'efficienza energetica ottenuta attraverso la combinazione di temperature moderate e il recupero del calore residuo ha permesso di compensare questa differenza ottenendo una riduzione del 60% dei costi operativi come mostrato in Figura 1.

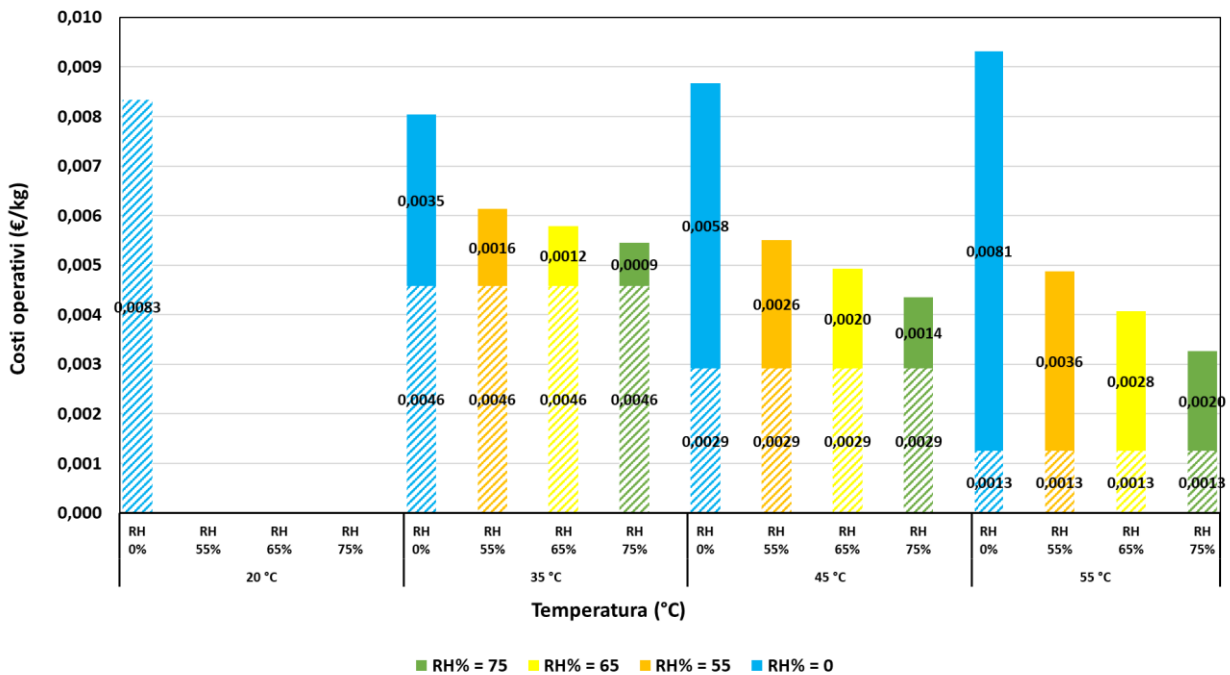


Figura 1. Relazione tra i costi operativi e la temperatura ( $T_1$ ) di ingresso alla cella PEF per diversi valori di recupero RH. Il contributo PEF è rappresentato dalle barre a strisce diagonali mentre il contributo termico è rappresentato dalle barre a tinta unita.

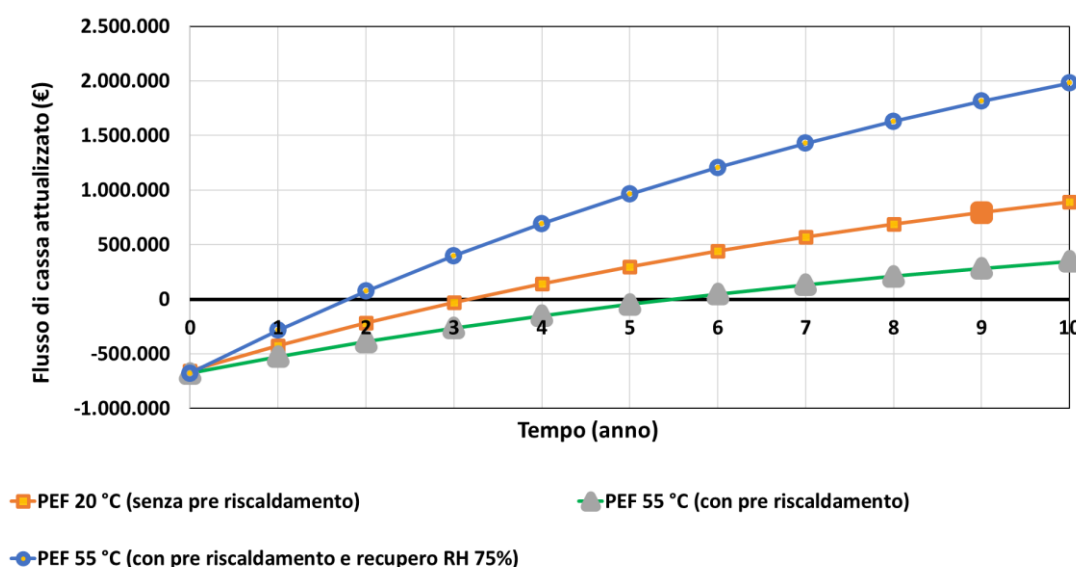
In Tabella 6 sono riportati i parametri, NPV (Net Present Value) e PBP (Pay Back Period), calcolati utilizzando fogli di calcolo per tutte e tre le configurazioni PEF rispetto a un impianto termico senza recupero di calore.

Tabella 6. Parametri NPV e PBP per tutte e tre le configurazioni PEF rispetto a un impianto termico senza recupero di calore.

Parametro	PEF: 20 °C	PEF: 55 °C	PEF: 55 °C e recupero RH 75
$s$ (anni)	10	10	10
$r$ (%)	10	10	10
$C_0$ (€)	-653250	-677970	-677970
$C_i$ (€)	251499	166800	432738

<b>NPV (€)</b>	892103	346943	1981018
<b>PBP (anni)</b>	2,6	4,0	1,6
<b>Convenienza</b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>+++</b>

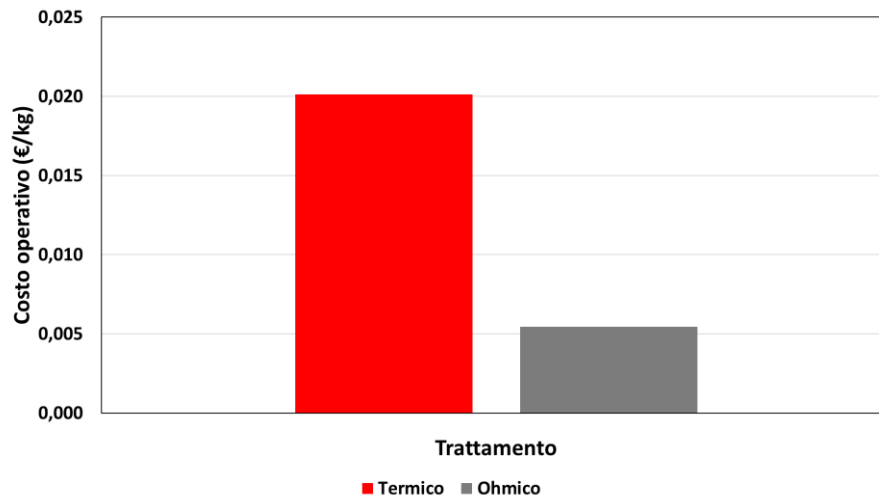
Pur richiedendo un investimento iniziale più elevato rispetto al trattamento tradizionale (Tabella 6), l'adozione della tecnologia PEF è emersa come scelta strategica vantaggiosa per le aziende, offrendo un vantaggio competitivo attraverso un breve ritorno dell'investimento (Figura 2), prodotti di alta qualità e pratiche sostenibili. Inoltre, la pastorizzazione PEF, considerata un trattamento "a freddo", ha ridotto in modo significativo il fabbisogno di acqua di raffreddamento e ha migliorato la qualità dei prodotti finali.



**Figura 2. Curva degli NPV in funzione del tempo per un impianto PEF di pastorizzazione del succo d'arancia con e senza preriscaldamento e recupero di calore in sostituzione di un trattamento termico tradizionale.**

### 7.3 Caso studio B: Riscaldamento ohmico (OH) nella sterilizzazione di alimenti solidi-liquidi

Nel secondo caso di studio, l'utilizzo del riscaldamento ohmico (OH) nella sterilizzazione di alimenti solidi-liquidi (fagioli in scatola) ha evidenziato notevoli vantaggi dal punto di vista dell'efficienza energetica ed economicità. I risultati hanno chiaramente indicato che il trattamento ohmico richiede significativamente meno energia rispetto al trattamento termico tradizionale, con una riduzione del 54,1% nel consumo energetico. Nonostante gli investimenti iniziali più alti, i costi operativi per la sterilizzazione ohmica si sono dimostrati inferiori del 41,7% rispetto al trattamento termico (Figura 3).



**Figura 3. Confronto del costo operativo tra metodo di sterilizzazione termico tradizionale ed ohmico innovativo.**

Inoltre, questa tecnologia ha contribuito a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>, sottolineando il suo ruolo nella promozione della sostenibilità ambientale. Dal punto di vista economico (Tabella 8), l'adozione di OH in sostituzione del trattamento termico tradizionale consente un recupero breve dell'investimento con un PBP calcolato in 1,8 anni (Figura 4).

**Tabella 7. Parametri economici NPV e PBP per l'impianto OH rispetto a un impianto termico convenzionale.**

Parametro	Termico innovativo
<b>s (anni)</b>	10
<b>r (%)</b>	10
<b>C<sub>0</sub>(€)</b>	-718550
<b>C<sub>i</sub>(€)</b>	468267
<b>NPV (€)</b>	2158748
<b>PBP (anni)</b>	1,8 anni
<b>Convenienza</b>	+++

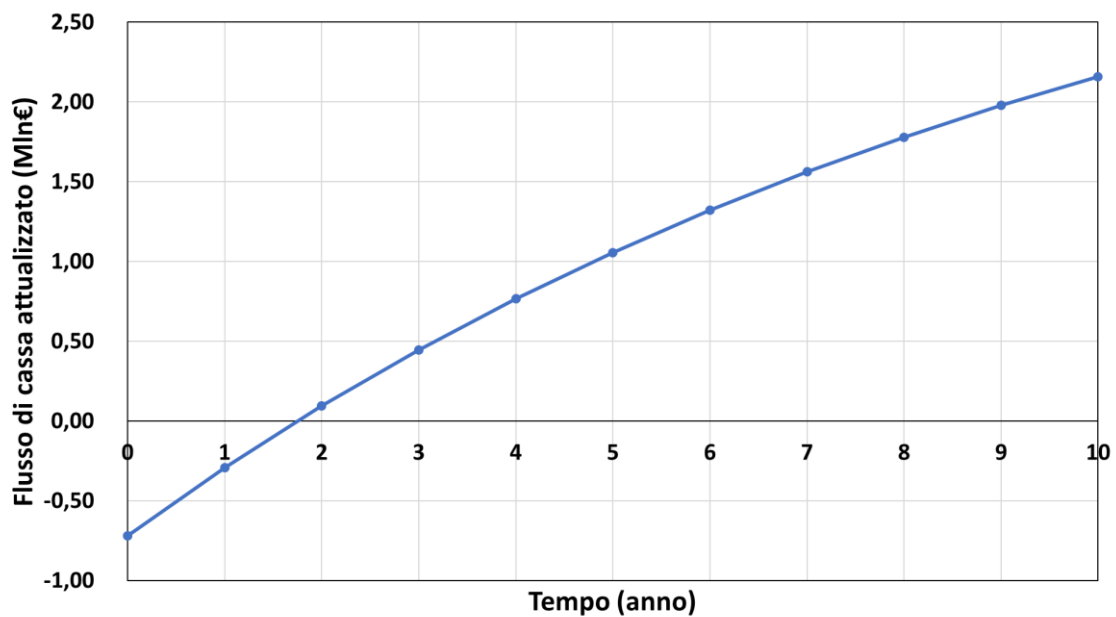


Figura 4. Andamento del NPV in funzione del tempo per un impianto ohmico di sterilizzazione per i fagioli in scatola in sostituzione di un impianto termico tradizionale.

#### 7.4 Definizione preliminare di una metodologia di valutazione energetica ed economica (MVEE) ed applicazione ai casi di studio

Nella prima annualità ci si è concentrati alla definizione preliminare di una metodologia di valutazione energetica ed economica (MVEE) basata su una media, con coefficienti pesati, di un insieme di indicatori che tengano conto dell’impatto ambientale, economico e di processo di una determinata tecnologia TTI e TNNT. In Tabella 8 sono riportati gli indicatori utilizzati nella presente analisi. La ricerca ha poi esaminato due casi di studio specifici allo scopo di sottolineare ulteriormente l'applicabilità della metodologia MVEE sviluppata in contesti reali.

Tabella 8. Elenco degli indicatori utilizzati nella presente analisi.

Indicatori economici			
Net Present Value (NPV)	Internal rate of return (IRR)	Payback period (PBP)	Profitability index (PI)
Indicatori ambientali			
Emissioni di CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /h)	Consumo di acqua (m <sup>3</sup> /h)	LCA (Life Cycle Assessment)	LCC (Life Cycle Cost)
Indicatori di processo			
Rapporto riduzione microbica/energia specifica (RME) (log-cycles/(kJ/kg))		Energia specifica (kJ/kg)	Costo totale del processo di trattamento (€/kg) oppure (€/l)

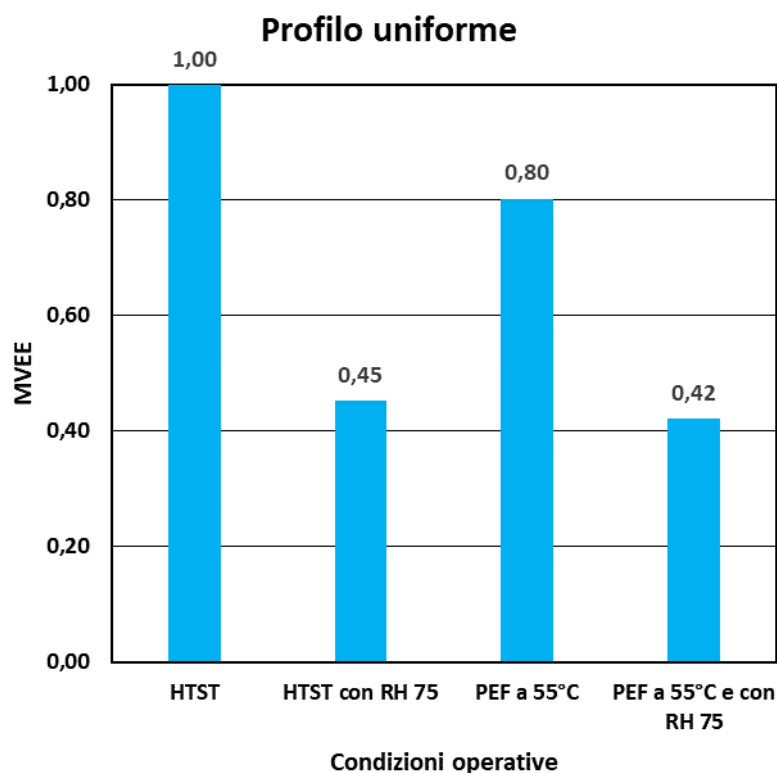
L'implementazione di un indice aggregato è fondamentale per sviluppare uno strumento efficace di supporto alle decisioni utile alle aziende. Questo indice permette di confrontare alternative, individuare possibili aree di miglioramento e stabilire obiettivi di prestazione in modo sintetico ed efficiente. Il metodo proposto cerca di minimizzare l'indice *MVEE* e la validazione avviene tramite i casi di studio A e B.

La Tabella 9 presenta gli indicatori prestazionali scelti tra quelli riportati in Tabella 8 per la pastorizzazione del succo di arancia. Figura 5 mostra l'indice *MVEE* in funzione delle condizioni operative per la pastorizzazione del succo di arancia utilizzando un profilo uniforme per i coefficienti pesati<sup>5</sup>. Dai risultati emerge chiaramente che, dal punto di vista ambientale ed energetico, la tecnologia PEF risulta essere più vantaggiosa rispetto al metodo termico tradizionale HTST. Infatti, l'indice aggregato mostra il valore più basso pari a 0,42 in corrispondenza dei PEF con recupero di calore RH 75%.

**Tabella 9. Indicatori prestazionali associati alle condizioni operative per la pastorizzazione del succo di arancia.**

		n - Indici				
		Energia specifica (kJ/kg)	PBP (anni)	Costi operativi (€/kg)	Emissione di CO <sub>2</sub> [kg(CO) <sub>2</sub> /h]	Riduzione microbica/energia specifica [log-cycles/(kJ/kg)]
<b>m - Condizioni</b>	HTST	253	0	0,015	154,24	0,02
	HTST con RH 75	63	2,6	0,004	39	0,079
	PEF a 55°C	166	4	0,008	96	0,025
	PEF a 55°C e con RH 75	64	1,6	0,003	34	0,078

<sup>5</sup> Per convalidare e testare la metodologia proposta, sono stati definiti tre profili di utilizzatori, ognuno con diverse priorità di interesse nei confronti degli indici. Questi profili includono un utente con un interesse uniforme su tutti gli indici, un utente maggiormente interessato agli indici di natura finanziaria e un utente maggiormente interessato agli indici ambientali. Nella pratica, la metodologia suggerisce i pesi per ciascun indicatore, ma tali coefficienti possono essere adattati liberamente dall'azienda in base alle sue specifiche esigenze e priorità. Questi profili simulano tre diverse aziende o utilizzatori dell'analisi, ciascuno con diverse necessità e priorità, al fine di fornire una valutazione completa e adattabile dell'indice aggregato *MVEE*.

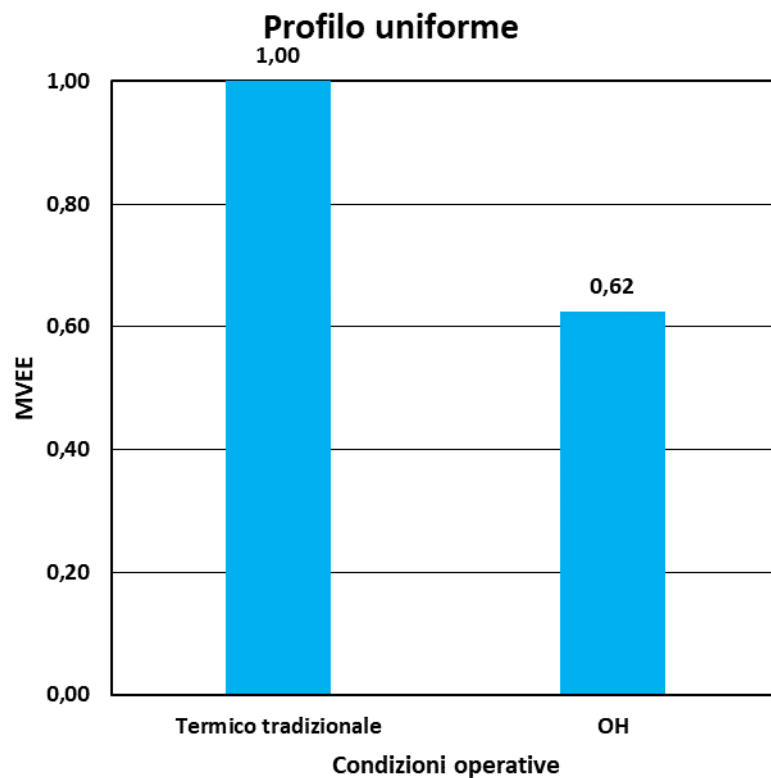


**Figura 5. Indice normalizzato *MVEE* in funzione delle condizioni operative per la pastorizzazione del succo di arancia utilizzando un profilo uniforme per i coefficienti pesati.**

La stessa metodologia è stata applicata alla sterilizzazione dei fagioli in scatola utilizzando gli indici in Tabella 10. Appare evidente in Figura 6 come l'uso del trattamento termico innovativo come OH sia più efficiente rispetto al trattamento termico tradizionale con un valore minimo di *MVEE* pari a 0,62.

**Tabella 10. Indicatori prestazionali associati alle condizioni operative per la sterilizzazione dei fagioli in scatola.**

		<b>n - Indici</b>			
		Energia specifica (kJ/kg)	PBP (anni)	Costi operativi (€/kg):	Emissione di CO <sub>2</sub> [kg(CO) <sub>2</sub> /h]
<b>m - Condizioni</b>	<b>Termico tradizionale</b>	266,2	0,00	0,024	721
	<b>OH</b>	121,14	1,80	0,015	201



**Figura 6. Indice normalizzato *MVEE* in funzione delle condizioni operative per la sterilizzazione dei fagioli in scatola utilizzando un profilo uniforme per i coefficienti pesati.**

La metodologia preliminare *MVEE* sviluppata nella prima annualità conferma i dati riportati in letteratura e fornisce una base solida per ulteriori ricerche e applicazioni pratiche, promuovendo l'innovazione nell'industria alimentare e il perseguimento di obiettivi di sostenibilità. Questo approccio permette alle aziende di prendere decisioni più informate riguardo all'adozione di tecnologie alternative, tenendo conto delle loro specifiche esigenze e priorità. *MVEE* può contribuire a colmare il divario con l'industria, applicando la metodologia in contesti reali attraverso i casi di studio, dimostrando così la sua effettiva utilità nel settore alimentare. Inoltre, l'attività di ricerca ha fornito evidenze concrete sull'efficacia delle tecnologie termiche innovative e non termiche nell'industria alimentare italiana, dimostrando che tali approcci possono offrire significativi vantaggi in termini di efficienza energetica, riduzione dei costi operativi e miglioramento della qualità dei prodotti alimentari.

## 8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

All'interno della LA 2.4 il capitolato di progetto non prevede consulenze, né sono state utilizzate nel corso dello svolgimento della LA.

## 9 Pubblicazioni scientifiche

La maggior parte delle attività di disseminazione sono previste nella LA 2.5, in quanto si prevede di avviarle in maniera completa una volta che saranno presenti i primi risultati di progetto (a termine della LA 2.4).

## 10 Eventi di disseminazione

La maggior parte delle attività di disseminazione sono previste nella LA 2.5, in quanto si prevede di avviarle in maniera completa una volta che saranno presenti i primi risultati di progetto (a termine della LA 2.4).