



“Questo progetto ha ricevuto finanziamenti dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell’Unione Europea ai sensi della convenzione di sovvenzione n. 101000801”



Thermochemical Fluids in **Greenhouse Farming**

MANUALE di TRAINING

COORDINATORE



Zurich University
of Applied Sciences



School of
Engineering

IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering



MEYER
ORCHIDEEN



IZNAB Sp. z o.o.

"Innovation Oriented To Business"



Leibniz
Universität
Hannover



UNIVERSIDAD
DE ALMERÍA



DISCLAIMER

Qualsiasi diffusione dei risultati deve indicare che riflette solo il punto di vista dell'autore e che l'Agenzia e la Commissione europea non sono responsabili per qualsiasi uso che possa essere fatto delle informazioni in esso contenute.

Sommario

1. Introduzione	4
1.1. Consorzio	4
1.2. Quadro generale del progetto	4
1.3. L'idea concettuale	5
1.4. Applicazione per le serre	6
1.5. Applicazione per il processo di essiccazione per la preparazione degli alimenti	6
1.6. Rigenerazione del TCF	7
1.7. Fluidi utilizzati in TheGreefa	8
2. Dimostrazione delle tecnologie di TheGreefa	9
2.1. Dimostrazione in Svizzera.....	13
2.2. Dimostratore in Tunisia	20
3. Simulazioni ed ottimizzazione – Casi Studio	29
3.1. Casi Studio	29
3.2. Caso di studio 1 – Serra non riscaldata di tipo Almería	34
3.3. Caso di studio 2 – Serre multicampata non riscaldate in Spagna	36
3.4. Caso Studio 3 – Serre multicampata riscaldate in Spagna	37
3.5. Caso Studio 4 – Serra multicampata non riscaldata in Italia.....	39
3.6. Caso Studio 5 – Serre multicampata riscaldate ad alta tecnologia in Italia.....	40
3.7. Conclusioni	42
4. Gli impatti di TheGreefa	43
4.1. Impatto ambientale.....	43
4.2. Impatto economico	51
4.3. Conclusioni	56
5. Aspetti e politiche sociali	57
5.1. Quadro strategico europeo in agricoltura	57
5.2. Quadro normativo europeo in materia di energia.....	58
5.3. Quadro normativo europeo in materia di acqua	58
5.4. Quadro normativo europeo nel settore chimico	59
5.5. Conclusioni	59
Riferimenti.....	61
I partner di TheGreefa e le persone coinvolte	62

1. Introduzione

Questo documento presenta la struttura e i risultati del progetto TheGreefa (programma di ricerca e innovazione Horizon 2020, invito LC-FNR-06-2020, accordo di sovvenzione n. 101000801) e fornisce una panoramica delle sue fasi principali e dei risultati ottenuti.

1.1. Consorzio

TheGreefa è un progetto di ricerca e innovazione finanziato dalla Commissione Europea e realizzato da 12 partner provenienti da 7 paesi (Figura 1). Il consorzio, un team di istituti di ricerca, PMI, operatori agricoli ed esperti legali, è stato costituito per garantire un equilibrio di competenze ed esperienze per lo sviluppo di una tecnologia economicamente vantaggiosa e innovativa che ridurrà significativamente l'uso di energia fossile in agricoltura.

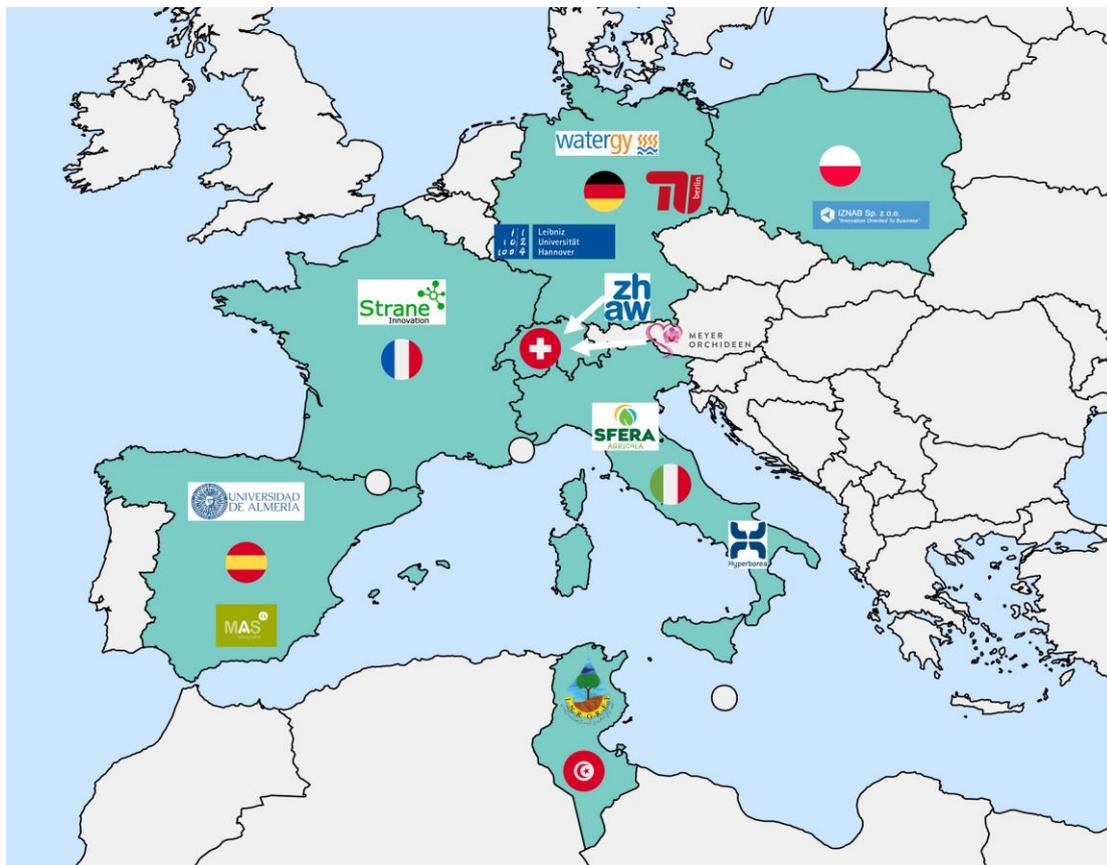


Figura 1. Partners del Consorzio TheGreefa.

1.2. Quadro generale del progetto

Lo scopo del progetto è lo sviluppo e la sperimentazione di una tecnologia economicamente vantaggiosa e innovativa che ridurrà significativamente l'uso di energia fossile in agricoltura.

Le soluzioni proposte da TheGreefa sono perfettamente in linea con gli obiettivi chiave dell'UE nell'incrementare l'uso di energie rinnovabili in agricoltura, dove le serre stanno assumendo sempre più importanza. Nei paesi sviluppati l'elevata qualità della vita riguarda soprattutto l'alimentazione, che deve essere fresca, sana e variata. Spesso sono necessari lunghi percorsi di trasporto. Il trasporto di frutta e verdura fresca provoca elevate emissioni di CO₂ e una parte significativa dell'impronta ambientale degli alimenti. Le regioni povere con condizioni culturali avverse non possono permettersi l'importazione di cibo.

In entrambi i casi, le serre con essiccatore e recupero dell'acqua rappresenteranno la giusta soluzione purché soddisfino i seguenti requisiti come fa TheGreefa.

1.3. L'idea concettuale

The Il focus di TheGreefa è sulle applicazioni per le serre e per i processi di essiccazione. La tecnologia per le serre comprende applicazioni per il loro controllo climatico, compreso il riscaldamento, il raffreddamento e il controllo dell'umidità dell'aria. La tecnologia proposta utilizza essiccanti liquidi, i cosiddetti fluidi termochimici (TCF). I TCF tipici sono soluzioni saline a base di idrossido di sodio o cloruro di magnesio. L'effetto comune in tutte le applicazioni sono le proprietà igroscopiche del TCF, che consentono l'assorbimento del vapore acqueo dall'aria, rilasciando così anche un considerevole calore convertito dal calore latente immagazzinato nel vapore.

Per dare un'approssimazione del processo:

- 1 tonnellata di umidità dell'aria assorbita nel TCF, secondo il cambiamento di fase coinvolto nell'energia, rilascia 680 kWh di calore (parte destra della Figura 2). L'umidità viene quindi condensata in acqua liquida.
- L'assorbimento di acqua diluisce il TCF. Quando il TCF viene diluito ad un certo livello, il processo non può continuare e il TCF deve essere rigenerato. L'acqua assorbita deve essere nuovamente rilasciata.
- Per la riconcentrazione (rigenerazione), la stessa quantità di energia rilasciata dal processo di assorbimento deve essere reintrodotta nel sistema, sempre ca. 680 kWh/ton di acqua evaporata. Temperature inferiori a 60°C della fonte di calore sono ampiamente sufficienti per il processo di rigenerazione, la temperatura esatta dipende dall'equilibrio di fase del vapore in pressione tra il TCF e l'aria nell'ambiente.

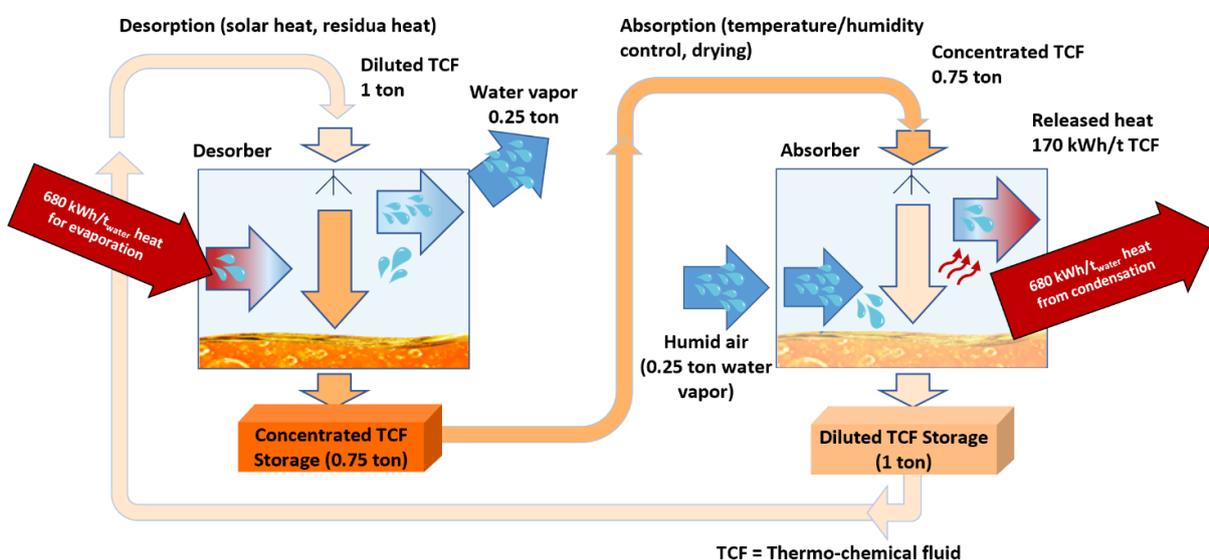


Figura 2. L'idea concettuale di TheGreefa.

L'acqua può essere rilasciata sotto forma di vapore acqueo assorbito dall'aria secca (parte sinistra della Figura 2) oppure può essere condensata e recuperata come acqua pura.

Il TCF diluito può essere immagazzinato e rigenerato quando il calore è disponibile, ad esempio durante le giornate soleggiate con energia solare o tramite calore residuo. Il TCF concentrato può essere conservato in semplici contenitori di plastica (ad esempio serbatoi IBC per piccole applicazioni) per tutto il tempo necessario, ad esempio come stoccaggio stagionale. Lo spostamento

nel tempo e nello spazio tra il processo di rigenerazione e l'uso efficace del TCF è il grande vantaggio della soluzione proposta rispetto ai processi di assorbimento esistenti, ad esempio le ruote rotanti essiccanti.

Nella modalità di rigenerazione, il processo può essere gestito con un effetto di umidificazione e raffreddamento (evaporativo) come servizio aggiuntivo.

1.4. Applicazione per le serre

Il riscaldamento delle serre è il fattore di costo più rilevante per il business delle serre nell'Europa centrale. TheGreefa può essere applicato con successo in quelle regioni riducendo la quantità di energia richiesta per il riscaldamento.

Questa applicazione è spiegata nella Figura 3 sotto, che confronta i flussi di energia e acqua di una serra standard (a sinistra) con una serra in cui è installata la tecnologia proposta (a destra).

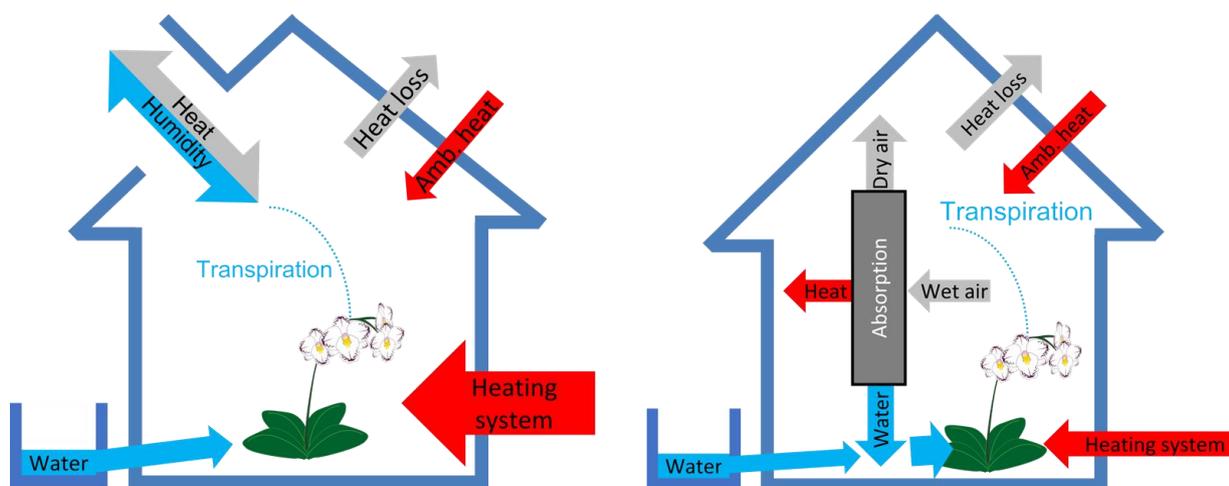


Figura 3. Applicazione delle tecnologie nelle serre – serre standard (a sinistra) e la tecnologia proposta (a destra).

Il consumo energetico totale (frecche rosse) sarà fortemente ridotto: da un lato si azzereranno le dispersioni termiche per la ventilazione perché l'aria viene ricircolata, e l'umidità eliminata dal TCF. Dall'altro lato, il calore viene rilasciato attraverso il processo di assorbimento.

La tecnologia consiste di uno scambiatore aperto controcorrente di calore e di massa (l'assorbitore), che deumidifica e riscalda/raffredda l'aria utilizzando il TCF per assorbimento. L'acqua assorbita può essere recuperata come acqua pura. Il calore termico può essere immagazzinato stagionalmente sotto forma di TCF concentrato. Esiste un recupero del calore termico spostato nel tempo e nello spazio.

1.5. Applicazione per il processo di essiccazione per la preparazione degli alimenti

Il processo è molto adatto anche per l'essiccazione di prodotti agricoli come erbe e frutti, che devono essere essiccati immediatamente dopo la raccolta, indipendentemente dalle condizioni atmosferiche.

Questa applicazione è spiegata nella Figura 4. L'aria viene essiccata in un assorbitore in controcorrente con un TCF concentrato ma non è necessariamente riscaldata, poiché il calore potrebbe danneggiare le foglie/verdure e influenzarne la qualità. In un ciclo chiuso, l'aria secca rilasciata viene poi iniettata nella camera di essiccazione dove può essere estratta l'umidità delle

verdure. Il TCF diluito può quindi essere immagazzinato senza perdite termiche e rigenerato quando il calore rinnovabile (ad esempio il calore solare) è nuovamente disponibile. Rispetto ai moderni impianti che utilizzano deumidificatori a compressione, in un essiccatore ad assorbimento il consumo di energia elettrica è limitato al funzionamento di ventilatori e pompe del liquido, mentre l'energia termica richiesta può essere interamente fornita da un impianto a bassa temperatura. fonte di calore, ad es. può essere rinnovabile (calore solare, calore di scarto). Dopo il processo di rigenerazione, anche l'energia fornita può essere immagazzinata senza perdite sotto forma di TCF concentrato.

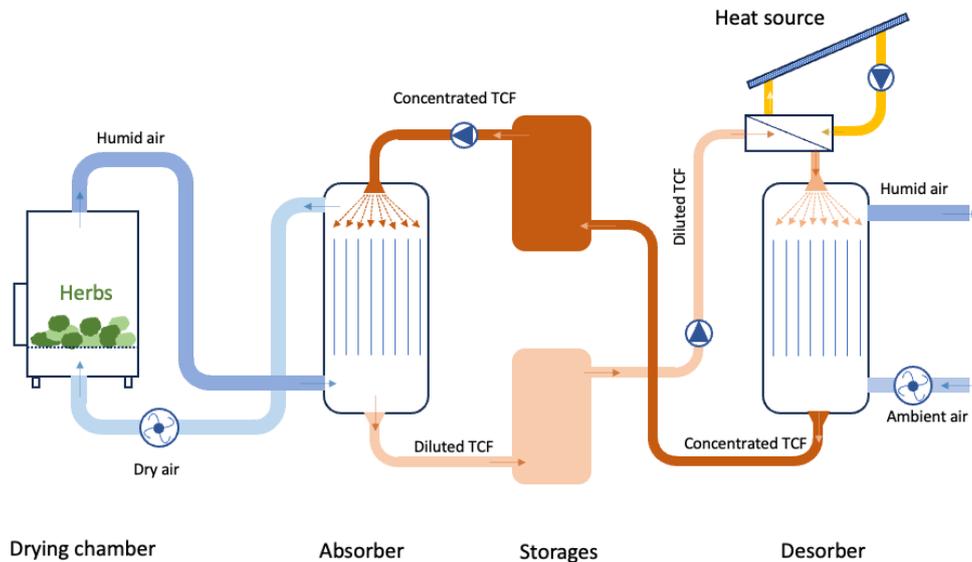


Figura 4. Processo di essiccazione con l'utilizzo di assorbitore e desorbitore.

1.6. Rigenerazione del TCF

Dopo l'assorbimento, il fluido termochimico ha raggiunto il punto di saturazione ed è quindi insufficiente ai fini dell'essiccazione/deumidificazione. Il TCF necessita di essere rigenerato per rilasciare l'acqua assorbita. La rigenerazione è il processo opposto all'assorbimento. Il TCF viene portato a contatto con aria secca e parti dell'acqua della soluzione TCF vengono evaporate nell'aria che passa attraverso il dispositivo. Per forzare il processo, solitamente è necessaria una piccola quantità di calore a bassa temperatura per aumentare la temperatura dell'aria, diminuendone così l'umidità relativa. Il livello di temperatura dipende dall'equilibrio della pressione di vapore tra aria e TCF, in ogni caso sarà inferiore a 60°C. Il "calore" viene immagazzinato durante questo processo all'interno del TCF sotto forma di potenziale termochimico (TCF concentrato).

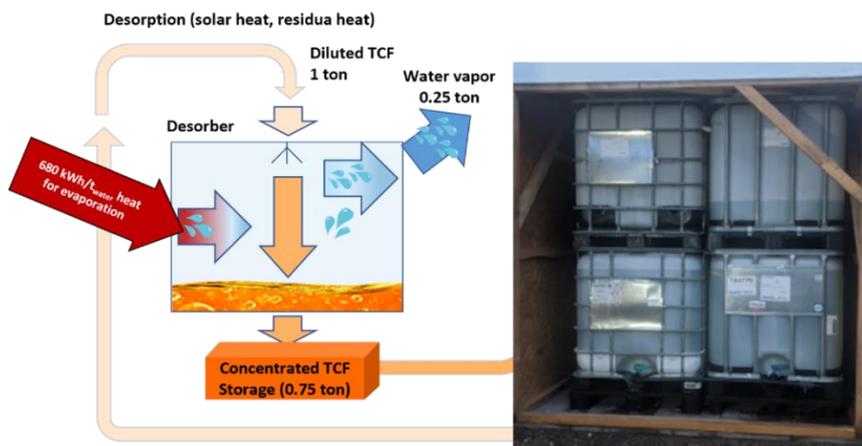


Figura 5. Rigenerazione del TCF.

L'assorbimento e il desorbimento potrebbero avvenire nella stessa colonna (detta assorbitore) in periodi diversi. L'equilibrio della pressione di vapore tra aria e TCF determinerà in quale direzione scorrerà l'acqua/umidità.

1.7. Fluidi utilizzati in TheGreefa

I fluidi termochimici utilizzati in questo progetto sono $MgCl_2$ e $NaOH$.

$MgCl_2$ non è molto comunemente utilizzato nei processi di essiccazione perché la sua igroscopicità è molto inferiore all'igroscopicità di $LiBr$ o $LiCl$; Le soluzioni di $MgCl_2$ possono ridurre l'umidità relativa dell'aria al 30% a temperatura ambiente ($20^\circ C$), ma non al di sotto. Tuttavia, l'umidità richiesta per l'applicazione in serra è compresa tra il 40 e il 70%, il che significa che l'igroscopicità di $MgCl_2$ è sufficiente. Il vantaggio di $MgCl_2$ è la sua elevata disponibilità poiché fa parte dell'acqua di mare con una concentrazione nell'acqua di mare di 1 kg/m^3 , e il costo molto basso, che è di circa 100 €/m^3 .

$NaOH$ viene utilizzato per l'applicazione di essiccazione. Il $MgCl_2$ non è adatto a causa della sua bassa igroscopicità. Per l'essiccazione del raccolto l'umidità dell'aria deve essere ridotta a ca. 10% all'uscita dell'assorbitore. Ciò è possibile utilizzando $NaOH$, la cui disponibilità è anch'essa elevata e il costo è basso. Un limite all'utilizzo del $NaOH$ è la sua reazione con la CO_2 contenuta nell'aria. Questa reazione non influisce in modo significativo sul processo di essiccazione perché l'aria viene ricircolata in una camera di essiccazione-assorbitore a circuito chiuso.

Questi due fluidi termochimici sono innocui: $MgCl_2$ è un prodotto della preparazione del sale da cucina, mentre $NaOH$ è utilizzato come ingrediente per preparazioni speciali.

2. Dimostrazione delle tecnologie di TheGreefa

Come già introdotto nella sezione 1.3, TheGreefa utilizza essiccanti liquidi, i cosiddetti Fluidi Termochimici (TCF). I TCF tipici sono soluzioni saline a base di idrossido di sodio o cloruro di magnesio. L'effetto comune in tutte le applicazioni sono le proprietà igroscopiche del TCF, che consentono l'assorbimento del vapore acqueo dall'aria, rilasciando così anche il calore sensibile convertito dal calore latente immagazzinato nel vapore. Per dare un'approssimazione del processo:

- 1 tonnellata di umidità dell'aria assorbita nella serra, a seconda del cambiamento di fase coinvolto nell'energia, rilascia 680 kWh di calore. L'umidità (vapore) diventa acqua liquida. L'effetto è che la serra viene riscaldata e deumidificata allo stesso tempo.
- L'assorbimento di acqua diluisce il TCF. Quando il TCF viene diluito ad un certo livello, il processo non può continuare e il TCF deve essere rigenerato. L'acqua assorbita deve essere nuovamente espulsa.
- Il TCF diluito può essere conservato a lungo senza perdite, il TCF diluito verrà rigenerato quando il calore sarà disponibile.
- Quando il calore è disponibile, ad esempio durante le giornate soleggiate o quando è disponibile calore residuo, il TCF diluito viene trasportato alla rigenerazione, che può trovarsi nello stesso luogo della serra o anche in un altro luogo (parte sinistra della Figura 6 sotto) perché non ci sono perdite durante il trasporto. Non viene immagazzinata energia termica, ma il potenziale per rilasciare energia termica.
- Per la riconcentrazione (rigenerazione) verrà reimpressa nel sistema la stessa quantità di energia rilasciata dal processo di assorbimento, sempre ca. 680 kWh/ton di acqua evaporata. Temperature inferiori a 60°C della fonte di calore sono ampiamente sufficienti per il processo di rigenerazione, la temperatura esatta dipende dall'equilibrio di fase del vapore in pressione tra il TCF e l'aria ambiente.
- L'acqua può essere rilasciata sotto forma di vapore acqueo assorbito dall'aria secca oppure può essere condensata e recuperata come acqua pura (parte centrale della Figura 6).
- Il TCF concentrato può essere conservato per tutto il tempo necessario, anche per un lungo periodo.

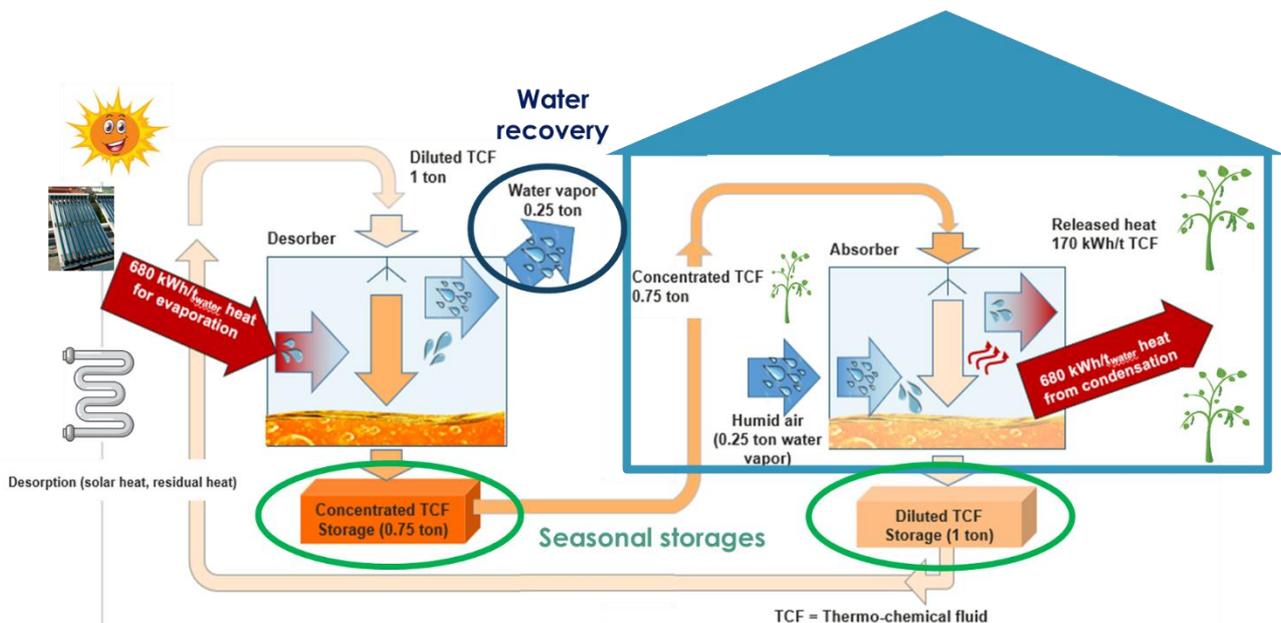


Figura 6. Ciclo dei fluidi nelle serre.

Il Greefa viene utilizzato nelle regioni a clima continentale per regolare la temperatura e l'umidità all'interno delle serre. L'utilizzo di TheGreefa può ridurre l'energia necessaria per il riscaldamento, che in queste regioni incide notevolmente sul bilancio complessivo. Controllando l'umidità senza aprire le finestre e quindi senza rilasciare calore all'esterno, si riducono le perdite di calore verso l'esterno. Inoltre, il processo di assorbimento rilascia ulteriore calore, diminuendo ulteriormente l'energia necessaria per il riscaldamento. Nella Figura 7, sul lato sinistro è rappresentata una serra tradizionale, mentre a destra la serra TheGreefa. Il processo di rigenerazione avviene all'esterno della serra e l'aria umida viene poi rilasciata nell'atmosfera. Nella regione continentale non è necessario recuperare l'acqua.

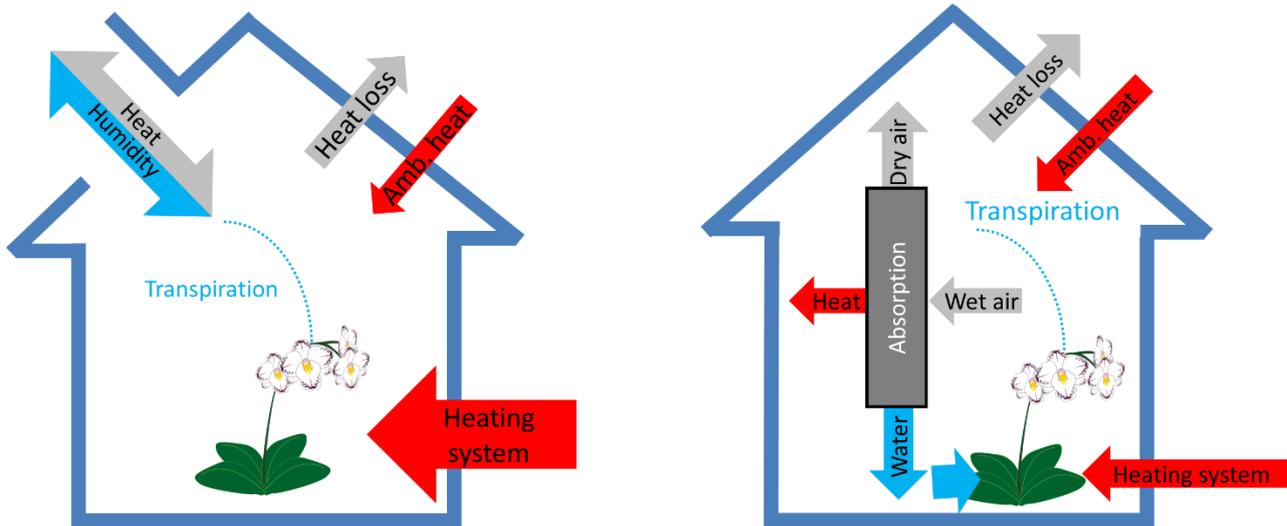


Figura 7. L'applicazione Greefa a confronto con una serra standard.

L'assorbitore

L'assorbitore è un componente molto semplice, è uno scrubber di plastica riempito mediante un imballaggio casuale. La plastica è necessaria a causa dell'elevato livello di corrosione del TCF (soluzione salina).

L'aria fluisce dal basso verso l'alto e il TCF dall'alto verso il basso. La baderna aumenta la superficie di contatto ed il tempo di contatto tra l'aria ed il TCF.

Per garantire un elevato grado di assorbimento è necessario un tempo minimo di permanenza dei due fluidi all'interno dell'assorbitore. Ciò viene fatto impostando una velocità massima dell'aria e una densità minima del flusso TCF.



Figura 8. Packing.

Nel dimostratore svizzero, il tempo di residenza è di 1,5 secondi e sono fissati due valori: 1 m/s per la velocità dell'aria (assorbitore vuoto) e $12 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ per la densità del flusso TCF. Questo parametro di progettazione si traduce in un diametro di 0,4 m e un'altezza attiva di 1,3 m

(l'altezza attiva è la parte dell'assorbitore, dove c'è contatto tra aria e TCF).

La semplice realizzazione è mostrata nella Figura 9: a sinistra un prototipo trasparente utilizzato presso i laboratori di ZHAW. La parte "bianca" viene riempita tramite impaccamento ed è l'altezza attiva. A destra c'è l'assorbitore installato nel dimostratore svizzero.



Figura 9. Assorbitore trasparente nel laboratorio ZHAW (a sinistra) e assorbitore installato nel dimostratore svizzero (a destra).

Assorbitore: I componenti

L'assorbitore è composto da diverse parti contrassegnate da colori diversi nella Figura 10:

- Giallo: il distributore TCF assicura che il TCF sia distribuito in modo omogeneo in tutta la sezione dell'assorbitore;
- Blu: Parte attiva / impaccamento casuale: questa parte è riempita con piccoli impaccamenti casuali. Qui avviene il processo di assorbimento;
- Rosso: la guarnizione galleggiante previene la formazione di aerosol nello scrubber;
- Viola: la coppa raccoglie il TCF proveniente dalla parte attiva e da qui il TCF viene pompato nuovamente all'assorbitore;
- Verde: il demister evita che liquido goccioli fuoriuscendo dall'assorbitore.

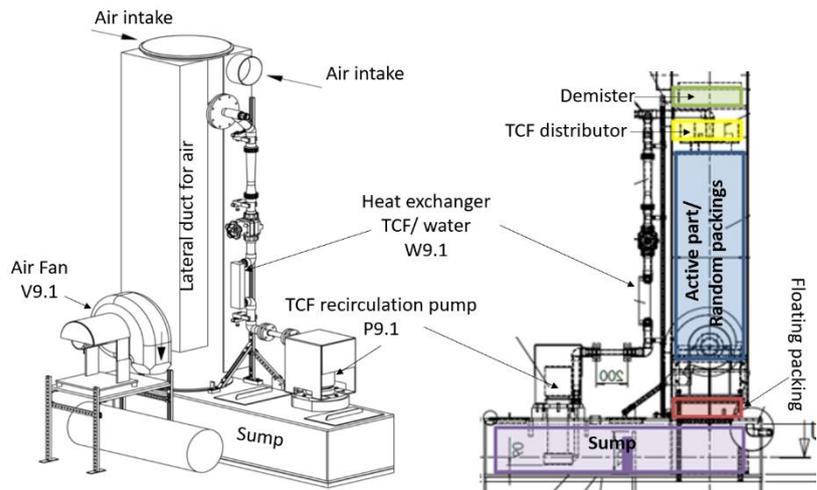


Figura 10. Componenti dell'Assorbitore.

L'aria viene aspirata nell'assorbitore attraverso un ventilatore. Il ventilatore (V9.1) si trova all'uscita dell'aria, l'assorbitore funziona alla pressione ambiente. Questa soluzione evita la fuoriuscita di aria non trattata dall'assorbitore.

Sul lato TCF, il TCF viene estratto dalla coppa dalla pompa di ricircolo (pompa centrifuga sommergibile-P9.1) e pompato attraverso lo scambiatore di calore a piastre (W9.1) nella testa dell'assorbitore, dove viene distribuito uniformemente sul pacco da un distributore di liquidi.

Lo scrubber è completamente inserito nel pozzetto ed è dotato di aperture di scarico per la soluzione salina sul fondo. Questo sifone separa l'aria nello scrubber dall'atmosfera nel serbatoio di raccolta in modo che possa funzionare con atmosfera aperta all'ambiente della serra. Tra lo scrubber e la pompa di circolazione della soluzione è presente un troppopieno nel serbatoio di stoccaggio che garantisce un flusso uniforme e impedisce così il verificarsi di una distribuzione eterogenea della concentrazione del TCF.

Tutte le parti dell'assorbitore a contatto con il TCF sono realizzate in polipropilene o polivinilcloruro. Lo scambiatore di calore ha un rivestimento di parylene sul lato della soluzione.

Assorbitore: controllo della temperatura e dell'umidità dell'aria

L'umidità dell'aria è controllata dalla concentrazione TCF, mentre la temperatura dell'aria è controllata dalla temperatura TCF.

La concentrazione di TCF all'interno dell'assorbitore dovrà essere mantenuta ad una certa percentuale per consentire il processo di assorbimento, solo in questo modo è possibile controllare l'umidità dell'aria nella serra. Un TCF troppo diluito non può più controllare l'umidità dell'aria.

Il processo per il controllo dell'umidità è implementato come processo batch. Non appena il punto di misurazione MR1 indica un'umidità troppo elevata, la vasca del TCF viene svuotata e riempita con TCF concentrato.

La temperatura dell'aria viene misurata all'uscita dell'assorbitore (TR 2). Se la temperatura non rientra nell'intervallo richiesto, ad es. troppo basso o troppo alto, il TCF viene riscaldato o raffreddato nello scambiatore di calore mostrato nella Figura 11. Nella serra svizzera lo scambiatore di calore è uno scambiatore di calore TCF/acqua.

Desorbitore: rigenerazione

Il desorbitore viene utilizzato per rigenerare (si dice anche concentrare) il TCF diluito.

Il desorbitore ha la stessa struttura dell'assorbitore, ma funziona sotto pressione positiva, la ventola si trova sull'ingresso dell'aria. L'aria entra nel desorbitore direttamente dal basso e lo lascia dall'alto.

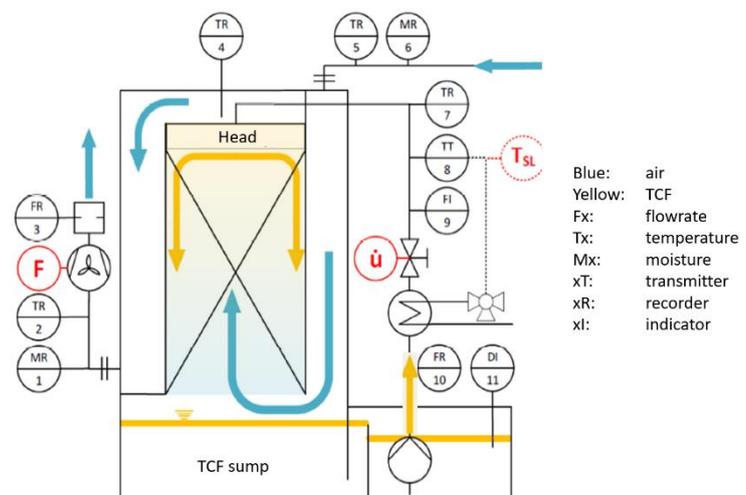


Figura 11. Assorbitore: controllo della temperatura e dell'umidità dell'aria.

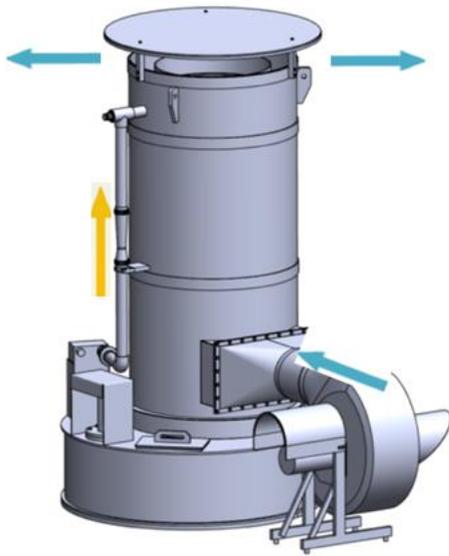


Figura 12. Il modello del desorbitor.

Lo scambiatore di calore viene utilizzato per fornire l'energia necessaria per il processo di desorbimento.

La temperatura nel desorbitor per il processo di rigenerazione (es. processo di evaporazione dell'acqua contenuta nel TCF e suo assorbimento da parte dell'aria) influenza la velocità necessaria per raggiungere la concentrazione richiesta del TCF.

Anche il funzionamento del desorbitor è un processo batch. La vasca del desorbitor è normalmente vuota. Per la rigenerazione, viene riempito con TCF diluito che viene ricircolato da e verso la coppa attraverso il desorbitor. In base alla misurazione della densità e alla temperatura della soluzione viene determinata la concentrazione del TCF. Se viene raggiunta la concentrazione massima di TCF (nel dimostratore svizzero 32%), il processo di desorbimento viene terminato e il TCF concentrato viene pompato dalla vasca del desorbitor nel serbatoio di stoccaggio del TCF concentrato.

Potete trovare maggiori dettagli sulla pagina web di Cordis o sulla pagina web di TheGreefa nella sezione download/Pubblicazioni, nel documento **Concetto per un sistema completamente automatizzato e manuale operativo**.

Questi sono i link:

Cordis: <https://cordis.europa.eu/project/id/101000801/results/>

TheGreefa: https://thegreefa.eu/wp-content/uploads/2024/06/THEGREEFA_D1.3-Control-system-and-operating-manual.pdf

2.1. Dimostrazione in Svizzera

I risultati qui presentati si riferiscono al dimostratore svizzero del progetto TheGreefa. Il dimostratore svizzero è una serra di 600 m², situata vicino a Zurigo, in Svizzera. È specificatamente studiato per la coltivazione delle orchidee. Invece di essere posizionati direttamente sul pavimento, i raccolti sono situati su tavoli, come mostrato nella Figura 13.



Figura 13. Tavoli con le piantine nel dimostratore Svizzero. In verde viene evidenziato l'assorbitor.

Bilancio energetico nel dimostratore svizzero

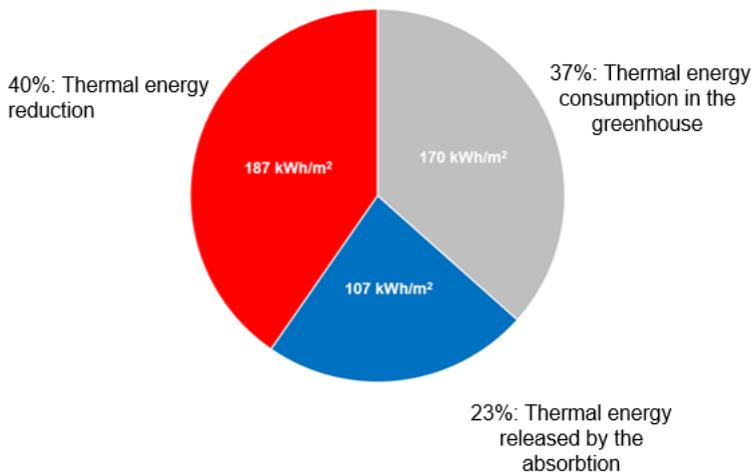


Figura 14. Bilancio energetico annuale nel dimostratore svizzero.

Sulla base dei dati misurati in più di un anno e della loro interpolazione, è stato stimato il risparmio energetico apportato alle serre svizzere dalla tecnologia TheGreefa. Il 100% nel grafico a torta (Figura 14) rappresenta l'energia termica che sarebbe stata necessaria nella serra senza TheGreefa. La parte rossa indica l'energia risparmiata da TheGreefa grazie al controllo dell'umidità basato sull'assorbimento invece che sul rilascio dell'aria calda e umida all'esterno. La parte blu rappresenta l'energia termica rilasciata durante il

processo di assorbimento. Questa parte blu rappresenta l'energia necessaria per riscaldare la serra, ma non deve essere fornita dal gestore della serra. Si tratta dell'energia necessaria per la rigenerazione del TCF, ad esempio l'energia termica a bassa temperatura, che altrimenti rimarrebbe inutilizzata. La caratteristica di TheGreefa è che non è necessario che la disponibilità di questa energia coincida con l'utilizzo, nel tempo e nello spazio. Questa energia può essere immagazzinata per lunghi periodi senza alcuna perdita di energia sotto forma di TCF concentrato, conservando il potenziale per rilasciare energia termica.

Il segmento grigio, infine, rappresenta l'energia termica che deve essere fornita dal gestore della serra.

Per il consumo di elettricità, invece, la situazione è invertita: il gestore della serra deve effettivamente fornire.

Tuttavia, la situazione si inverte se si considera il consumo di elettricità. Come mostrato nella Figura 15, con l'installazione di TheGreefa il consumo elettrico aumenta di circa il 24%. È importante considerare che i componenti rotanti, come pompe e ventilatori installati nel sistema TheGreefa, non sono stati ottimizzati per le loro prestazioni elettriche. Inoltre, la progettazione dei condotti dell'aria e degli scambiatori di calore ha dato priorità alle prestazioni termiche, con conseguenti perdite significative ad alta pressione. Pertanto, esiste il potenziale per ridurre questo consumo aggiuntivo attraverso sforzi di ottimizzazione.

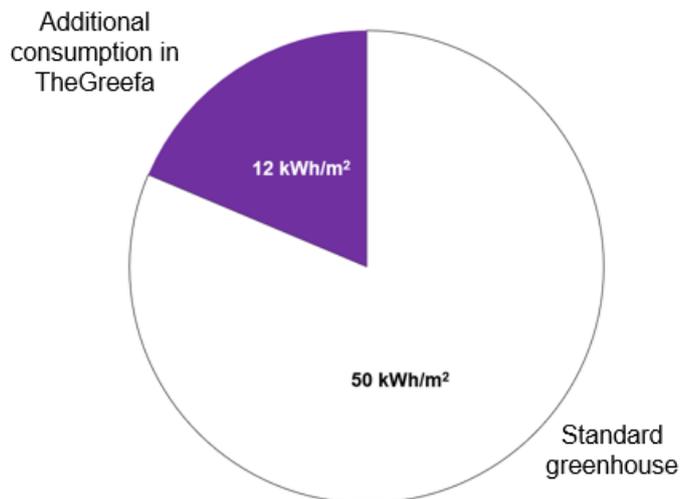


Figura 15. Consumo annuo di elettricità nel dimostratore svizzero.

Se si considera il bilancio energetico complessivo della serra svizzera, è evidente che l'energia elettrica ha un impatto minore rispetto all'energia termica. Se escludiamo l'energia utilizzata per la rigenerazione – sia perché gestita separatamente dal gestore della serra, sia perché rimane

altrimenti inutilizzata – il risparmio energetico totale supera il 50%. Anche includendo l'energia di rigenerazione si ottiene comunque un notevole risparmio pari a circa il 35%.

Tabella 1. Riepilogo del bilancio energetico nella serra svizzera.

	TheGreefa kWh/m ² anno	W/o TheGreefa kWh/m ² anno
Energia termica	155	464
Energia elettrica	62	50
Totale	217	514
Energia per la rigenerazione (calore a bassa temperatura)	107	
Totale incl. rigenerazione	324	514

Risultati TCF

Sulla base dei dati misurati del TCF concentrato utilizzato nel dimostratore (linea blu nella Figura 16), la produzione di TCF concentrato (linea verde nella Figura 16) è stato simulato utilizzando una fonte di calore acqua calda generata in pannelli solari termici situati vicino alla serra. Per la serra svizzera sono necessari circa 100 m² di pannelli solari termici, ovvero circa un sesto della superficie della serra. È interessante notare che la rigenerazione del TCF avviene tutto l'anno poiché dipende dalla differenza di temperatura tra l'aria e il TCF, piuttosto che dalla temperatura assoluta. La produzione subisce una leggera diminuzione durante i mesi più freddi a causa delle giornate più corte e della maggiore copertura nuvolosa.

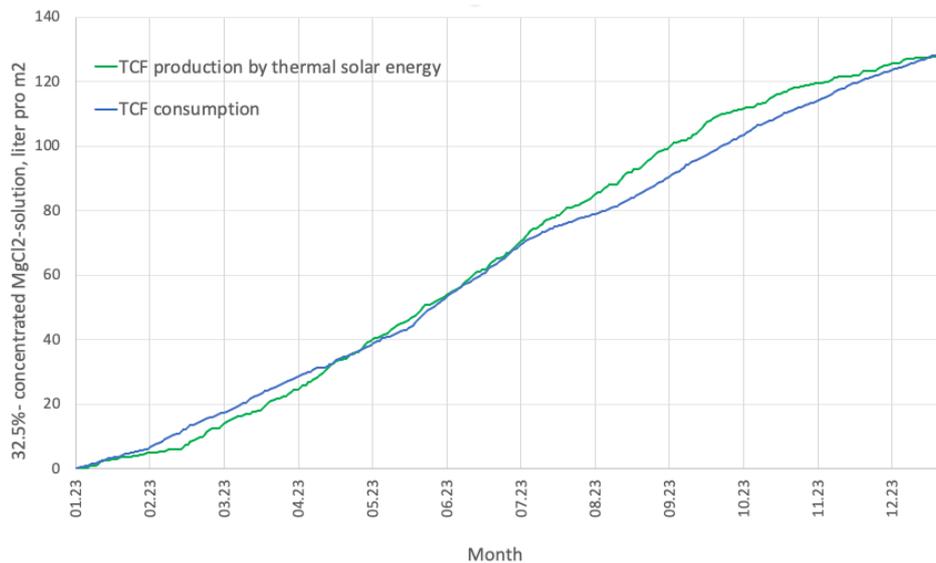


Figura 16. Assorbimento e rigenerazione del TCF (MgCl₂).

In base alla quantità e al modello di utilizzo del TCF utilizzato e rigenerato, è stata determinata la dimensione minima richiesta per lo stoccaggio del TCF (Figura 17). È necessaria una sola unità di stoccaggio, poiché le diverse densità del TCF concentrato e diluito impediscono che si mescolino. Durante la stagione fredda, l'utilizzo del TCF è elevato e la rigenerazione è leggermente inferiore; entro la fine di questa stagione (marzo) lo stoccaggio sarà completamente occupato da TCF diluito.

Al contrario, entro la fine della stagione calda, a causa di condizioni opposte, lo stoccaggio è interamente riempito da TCF concentrato. Il volume di stoccaggio richiesto è di ca. 175 litri per metro quadrato di superficie della serra.

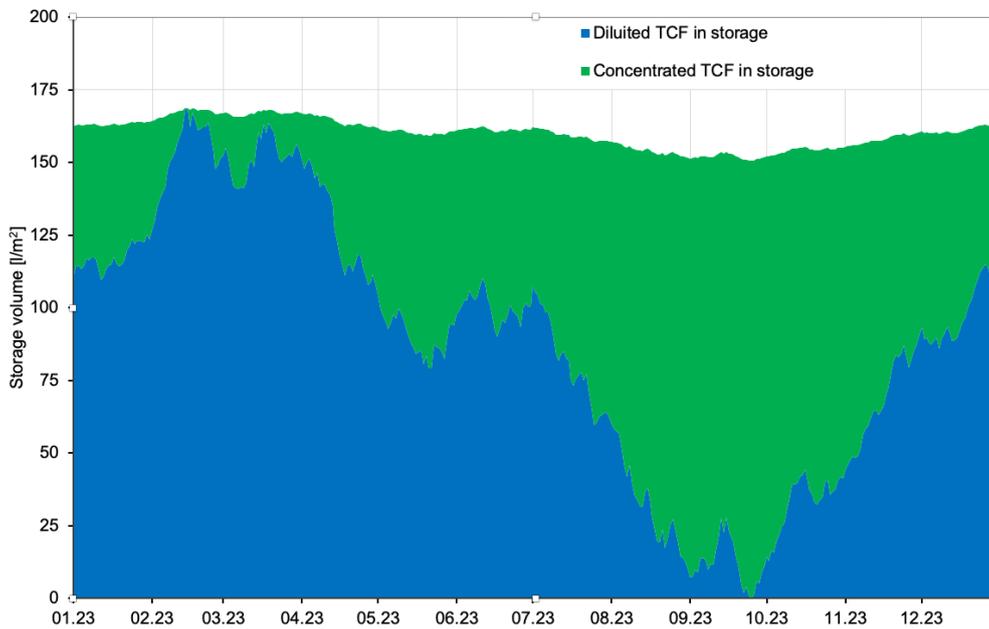


Figura 17. Volume di stoccaggio.

Processo di essiccazione

Il processo di essiccazione è molto simile al processo di controllo dell'umidità dell'aria e della temperatura. La differenza è che in questo caso lo scopo è deumidificare l'aria, senza controllo della temperatura. Questa applicazione è spiegata in Figura 18. L'aria viene essiccata in un assorbitore in controcorrente con un TCF concentrato ma non è necessariamente riscaldata, poiché il calore potrebbe danneggiare le foglie/verdure e comprometterne la qualità. La configurazione dell'assorbitore può essere la stessa dell'assorbitore utilizzato nella serra. In un ciclo chiuso, l'aria secca rilasciata viene poi immessa nella camera di essiccazione dove può essere estratta l'umidità delle verdure.

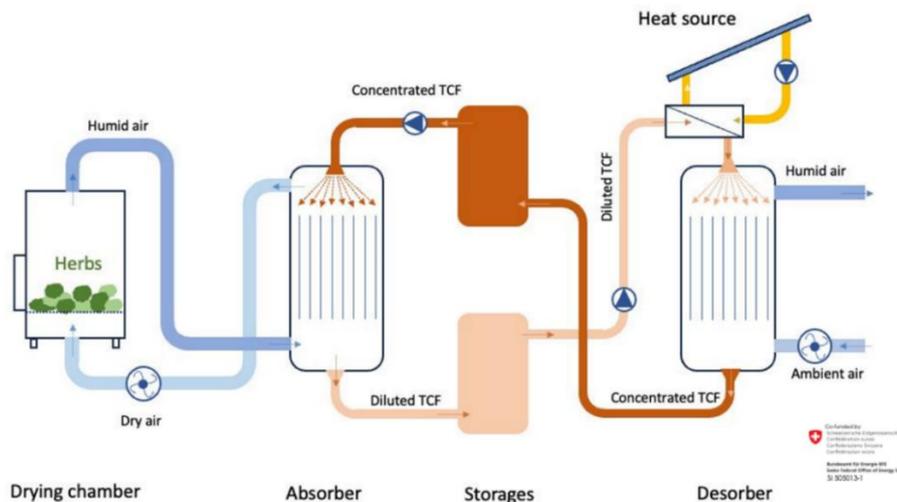


Figura 18. Processo di essiccazione utilizzando l'assorbitore e il desorbitore.

Il TCF diluito può quindi essere immagazzinato senza perdite termiche e rigenerato quando il calore rinnovabile (ad esempio il calore solare) è nuovamente disponibile. Rispetto agli impianti più

moderni che utilizzano deumidificatori a compressione, in un essiccatore ad assorbimento il consumo di energia elettrica è limitato al funzionamento di ventilatori e pompe del liquido, mentre l'energia termica richiesta può essere interamente fornita da una fonte di calore a bassa temperatura, per esempio. può essere totalmente rinnovabile. Dopo il processo di rigenerazione, l'energia fornita può anche essere immagazzinata senza perdite.

Selezione del TCF

La scelta del TCF da utilizzare nell'impianto di essiccazione è diversa da quella in serra.

La Figura 20 mostra la linea di equilibrio tra i diversi TCF e l'aria umida. Le linee tratteggiate rappresentano l'aria con diversi livelli di umidità. I punti di intersezione tra le linee di solubilità dei TCF e quelle dell'aria indicano l'umidità minima raggiungibile ad una data temperatura. Ad esempio a 20°C con una soluzione di $MgCl_2$ il grado massimo di deumidificazione non scende sotto il 35%. $MgCl_2$ è stato scelto in serra per la sua disponibilità e il basso costo, ma la sua igroscopicità è limitata. A 20°C, l'umidità dell'aria non può essere ridotta al di sotto del 35% RH. Mentre per la coltivazione delle piante questo livello di umidità è inaccettabile perché troppo basso, per un processo di essiccazione è troppo alto. Un'alternativa costosa potrebbe essere rappresentata dalle soluzioni LiBr o LiCl.

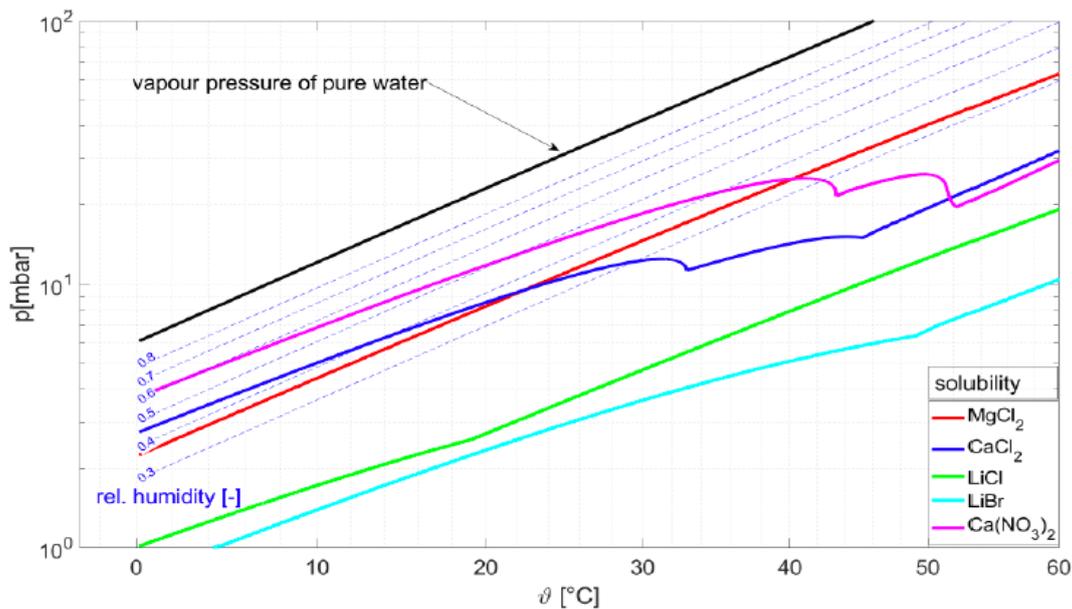


Figura 20. Confronto fra diversi TFC.



Figura 19. Interno dell'essiccatrice con erbe essiccate.

Tabella 2. Diversi TCF testati per il processo di essiccazione.

Salt (TCF)	Chemical compounds	Air humidity at the equilibrium, 20°C
Caesium fluoride	CsF	3.38 %rH
Lithium bromide	LiBr	6.61 %rH
Zinc bromide	ZnBr ₂	7.94 %rH
Sodium hydroxide	NaOH	8.91 %rH
Potassium hydroxide	KOH	9.32 %rH
Lithium chloride	LiCl	11.31 %rH
Calcium bromide	CaBr ₂	16.50 %rH

Per il processo di essiccazione, abbiamo mirato a trovare e testare un TCF con proprietà igroscopiche migliori rispetto a $MgCl_2$, ma con costi accessibili. Inoltre, doveva essere un TCF compatibile con l'industria alimentare. Sono state analizzate le caratteristiche dei diversi TCF nella Tabella 2 e la scelta è ricaduta su $NaOH$, che è ampiamente utilizzato nella panificazione e soddisfa questi requisiti.

Un problema che può sorgere con l'utilizzo di $NaOH$ è la sua reattività con la CO_2 presente nell'aria. Questa reazione forma carbonati che precipitano, quindi il precipitato deve essere rimosso e l' $NaOH$ reagito reintegrato. Il problema può essere ridotto al minimo, se non eliminato, facendo ricircolare l'aria in un circuito chiuso. Nella Figura 21, La CO_2 che reagisce con $NaOH$ durante il processo di rigenerazione è mostrata in blu. Nello stabilimento ZHAW la rigenerazione è avvenuta a ciclo aperto, dove veniva continuamente fornita nuova aria ambiente. In questo caso è necessario il rifornimento continuo di $NaOH$.

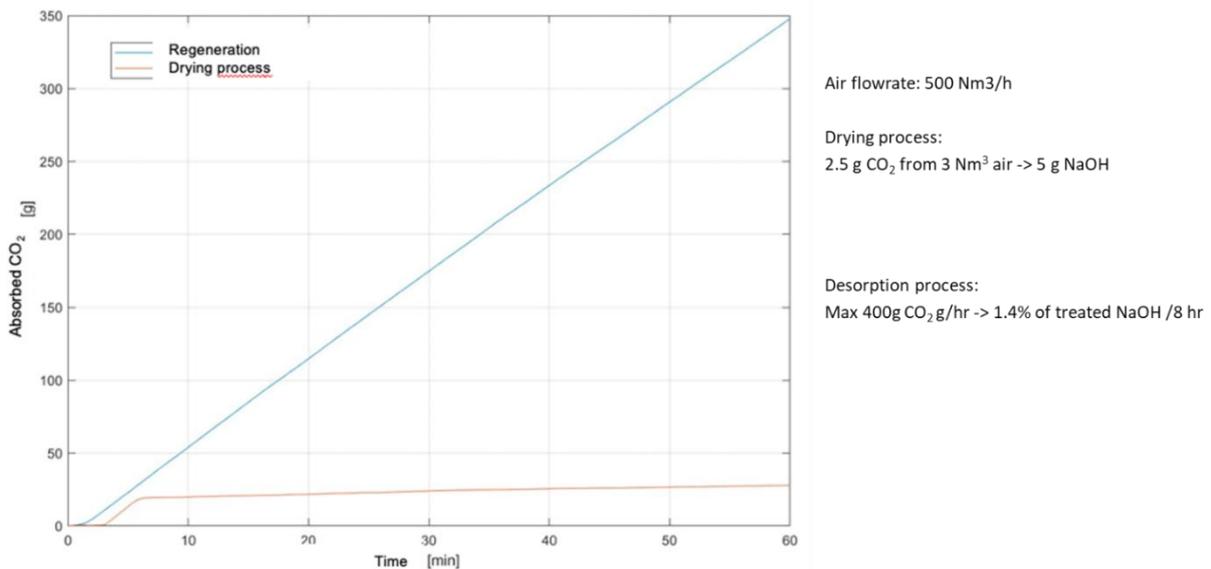


Figura 21. Reazione della CO_2 con $NaOH$.

Nell'assorbitore per la deumidificazione dell'aria (processo di essiccazione), l'aria viene fatta circolare continuamente. Come evidenziato dalla linea rossa, la CO_2 reagisce con il $NaOH$ solo inizialmente; una volta che il suo livello scende al di sotto della soglia di reazione, non viene più rimosso.

$NaOH$ non richiede rifornimento. I carbonati formati precipitano in soluzione di $NaOH$ e possono essere rimossi al termine del ciclo di essiccazione.

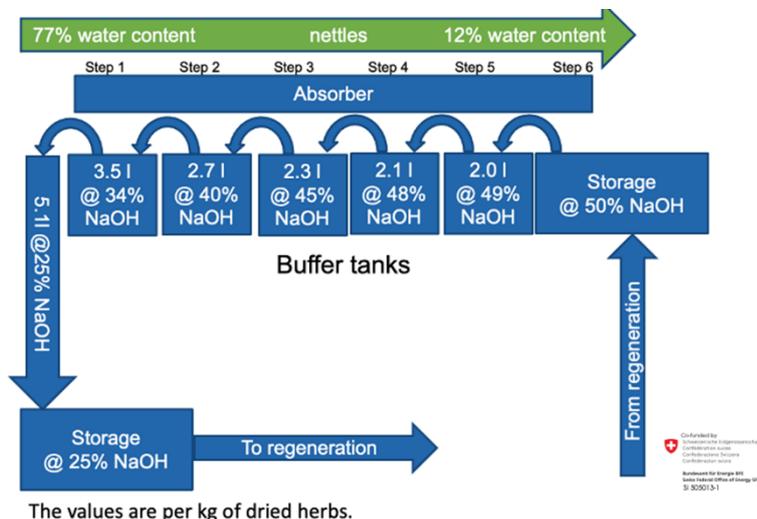


Figura 22. Concetto proposto per il processo di essiccazione.

Processo di ottimizzazione

La concentrazione di TCF utilizzata nelle prove di laboratorio è stata del 50% all'inizio del processo di essiccazione e del 44% alla fine. Non è mai stato sostituito durante l'intero processo di asciugatura.

Il potere di assorbimento è stato quindi maggiore all'inizio che alla fine. Tuttavia, nelle fasi finali, rimuovere l'umidità residua dalle erbe quasi secche è più impegnativo..

Un'elevata concentrazione di TCF non è strettamente necessaria all'inizio del processo di essiccazione, mentre è fondamentale nelle fasi finali. Per questo motivo si propone il concetto illustrato nella Figura 22. Il processo inizia con un TCF diluito, che viene poi sostituito nelle fasi successive con TCF sempre più concentrato. Ciò può essere ottenuto riutilizzando il TCF della fase finale di un lotto di erbe in una fase precedente del lotto successivo. Solo quando il TCF sarà talmente diluito da non poter più assorbire verrà inviato alla rigenerazione o allo stoccaggio del TCF diluito.

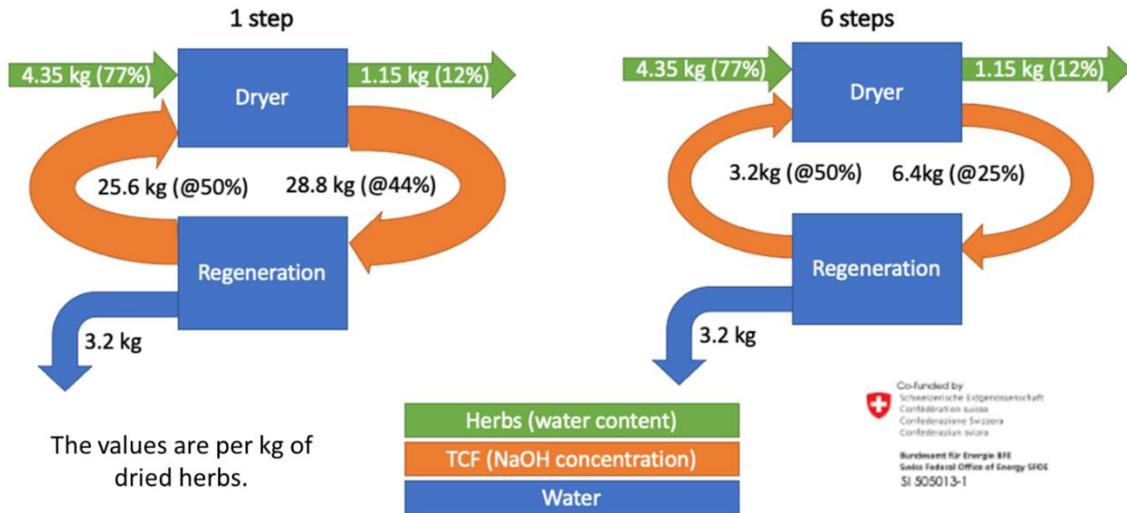


Figura 23. Riduzione del volume nel processo a fasi.

Utilizzando un processo a fasi, è possibile ridurre il volume richiesto dallo stoccaggio come illustrato nella Figura 23. L'energia necessaria per la rigenerazione rimane la stessa essendo pari alla quantità di acqua da evaporare.

Confronto energetico

Il consumo energetico specifico di un intero impianto, inclusa la rigenerazione del TCF, è stato stimato e confrontato con l'impianto reale. Nell'immagine di Figura 24, le frecce blu rappresentano l'energia elettrica e le frecce rosse l'energia termica

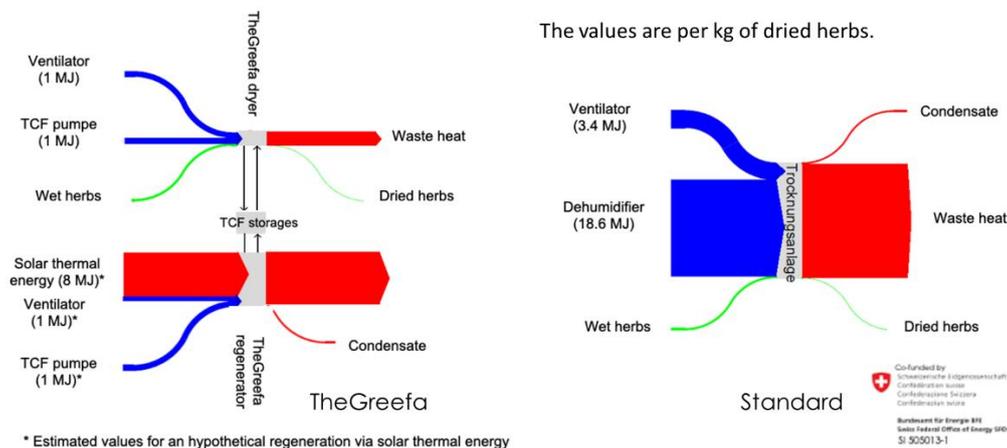


Figura 24. Confronto energetico tra il processo di essiccazione TheGreefa e l'essiccazione standard.

Considerando che la rigenerazione utilizzerà energia termica altrimenti non utilizzata (diciamo energia gratuita), il fabbisogno energetico specifico di TheGreefa è nettamente inferiore a quello dell'essiccazione convenzionale con deumidificatore. È importante sottolineare che il grande vantaggio di TheGreefa non è solo che il processo richiede meno energia rispetto ad un impianto convenzionale, ma anche che l'energia termica richiesta è disaccoppiata dal processo di essiccazione.

Questa energia termica può provenire interamente da energia rinnovabile o da calore di scarto a bassa temperatura che altrimenti rimarrebbe inutilizzato. Inoltre, il TCF può immagazzinare energia termica indirettamente per un lungo periodo senza alcuna perdita di energia.

2.2. Dimostratore in Tunisia

L'obiettivo principale di questo progetto pilota è valutare le prestazioni di un sistema di controllo climatico basato su TCF per una serra chiusa. L'indagine si concentra sulla valutazione dell'efficienza del sistema nel creare un ambiente equilibrato e controllato all'interno della serra nelle condizioni climatiche della Tunisia. Il sistema è implementato e testato con l'obiettivo di realizzare un approccio innovativo al ciclo dell'acqua utilizzando evaporazione e condensazione combinate.

Poiché l'apporto solare genera elevate quantità di calore, che nelle serre convenzionali viene ritirato attraverso la ventilazione esterna, si sta testando un nuovo tipo di sistema di raffreddamento con trasferimento di calore attraverso la superficie esterna. Il nuovo design mira a fornire una superficie molto più ampia per la dissipazione del calore. Allo stesso tempo, la raccolta delle goccioline viene migliorata grazie alla maggiore inclinazione della lamina, soprattutto nella parte superiore del tetto del tunnel. A questo scopo la serra è stata progettata a forma di fisarmonica, che garantisce una superficie maggiore del 70%.

Il sistema si basa su tre diversi punti:

1. Rigenerazione dell'essiccante durante la notte utilizzando il calore immagazzinato durante il giorno:
 - Accumulo e rilascio di calore termico giorno/notte (raccolta passiva del fresco dalla notte).
 - Possibilità di migliore rigenerazione con fonte di calore aggiuntiva (collettori solari in plastica, potenziale calore residuo da CSP).
 - Possibilità di rigenerazione esterna tramite riscaldatore solare con funzionamento 24h.
2. Accumulo di CO₂ (1000 – 2000 ppm) nell'atmosfera chiusa:
 - Migliore fotosintesi se vengono soddisfatti anche altri fattori di crescita come acqua/nutrienti.
 - Miglioramento della produzione.
 - Migliore accettazione del calore che consente misure di raffreddamento ridotte (sostenendo l'apporto di CO₂ delle colture anche a stomi chiusi derivanti da stress termico e/o idrico).
3. Recupero acqua mediante evapocondensazione combinata:
 - Acqua dall'umidità dell'aria all'essiccante durante il giorno,
 - Acqua dall'essiccante all'aria durante la notte,
 - Condensa d'acqua sulla superficie interna della lamina,

- Rimozione delle gocce d'acqua grazie alla forma modificata del tetto, fornendo una pendenza sufficiente per la rimozione e la raccolta delle gocce,
- Maggiore rimozione del calore grazie alla forma modificata del tetto (zig-zag) che fornisce una superficie totale più ampia.

Componenti del Sistema del Dimostratore Tunisino

I componenti principali del sistema del pilota in Tunisia sono:

- La serra
- Due dispositivi assorbitori,
- Il circuito essiccante (due serbatoi di stoccaggio, pompe, tubi, elettrovalvole),
- Il circuito dell'aria (condotti dell'aria, ventilatori),
- Il sistema di monitoraggio e controllo.

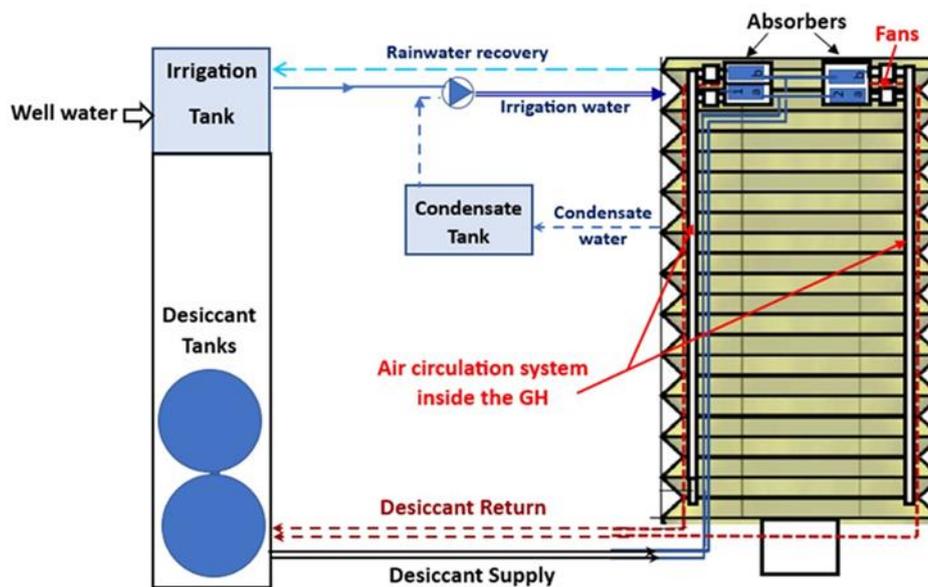


Figura 25. Schema del sistema.

Il nuovo design mira a ricevere una superficie molto più ampia per lo smaltimento del calore. Allo stesso tempo, la maggiore inclinazione della lamina migliora la raccolta delle gocce, soprattutto nella parte superiore del tunnel.

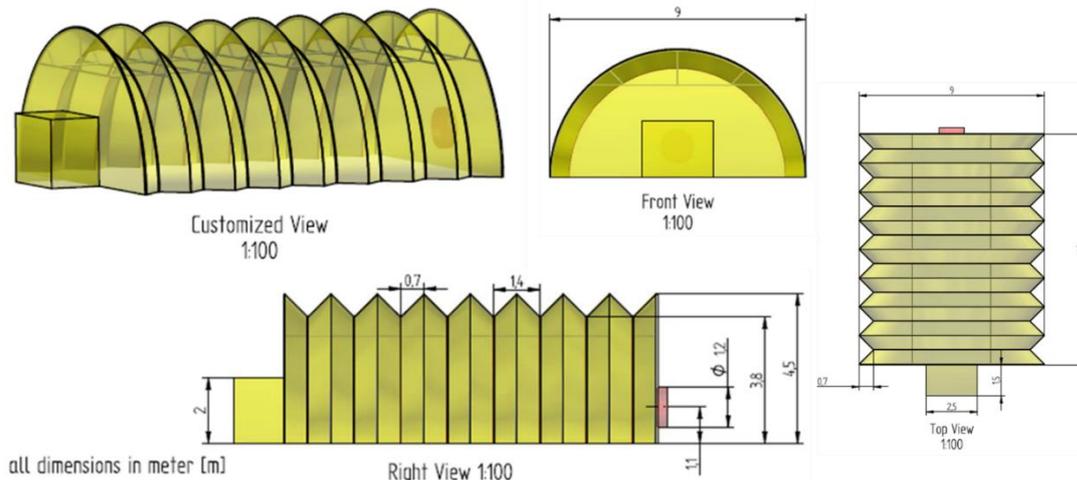


Figura 26. Specifiche tecniche della serra – Forma a Zig-Zag (a fisarmonica).



Figura 27. Serra chiusa da 100 m² (in alto) e vasca di recupero acqua da 1 m³ (in basso).

Il serbatoio dell'acqua è raffigurato nella Figura 27 è un serbatoio combinato che raccoglie l'acqua piovana dal tetto della serra e le gocce d'acqua condensate dalla superficie interna.

Progettazione dell'assorbitore

L'assorbitore è il componente principale del sistema di climatizzazione della serra, garantendo il trasferimento di calore e massa tra l'aria della serra e il TCF in controcorrente. Air e TCF sono in contatto diretto. La circolazione consente la regolazione sia della temperatura che dell'umidità dell'aria convertendo il calore latente in calore sensibile e assorbendo l'umidità dell'aria. Il calore viene ritirato dalla serra al TCF, che viene immagazzinato all'esterno della serra.

L'assorbitore è stato prodotto dal gruppo di lavoro dell'Università Tecnica di Berlino (TUB) e concettualizzato/sviluppato da Watergy GmbH.



Figura 28. L'assorbitore installato nel dimostratore tunisino (a sinistra) e la struttura interna dell'assorbitore (a destra).

I test iniziali del prototipo dell'assorbitore hanno fornito informazioni chiare sui deficit nella distribuzione del liquido. L'analisi a infrarossi (IR) (Figura 29) ha mostrato che il rilascio di calore nel processo in corso non è uniforme a causa delle diverse portate al centro (flusso basso) e nel perimetro (flusso alto).

Utilizzando un liquido colorato sono stati dimostrati anche problemi di distribuzione ineguale. I deficit evidenziati dai test hanno portato ad una nuova progettazione degli assorbitori. La distribuzione ineguale dell'aria sul fondo dell'assorbitore è stata evidenziata dall'analisi della nebbia.

L'aria veniva condotta verso l'alto principalmente da una zona prossima all'ingresso dell'aria, grazie ad una fitta configurazione di elementi assorbitori.

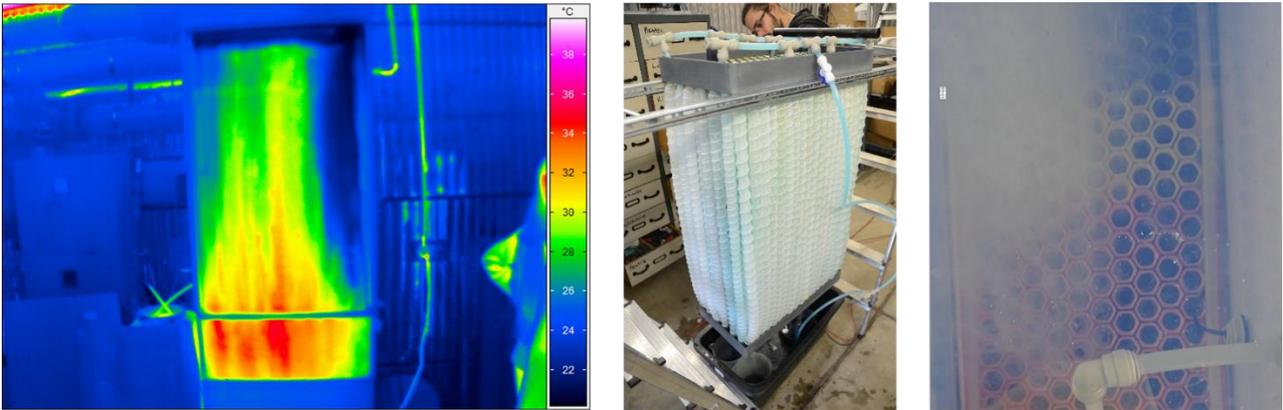


Figura 29. Analisi IR (a sinistra), analisi di liquidi colorati (al centro) e analisi della nebbia (a destra).

Un nuovo design prevedeva una forma di elementi assorbenti con diametro decrescente verso il basso, consentendo all'aria di entrare nella zona interna del volume.



Figura 30. Il design dell'assorbitore con struttura interna esagonale stampata in 3D.

Il nuovo design dell'elemento di distribuzione dell'essiccante dell'assorbitore mira ad una fornitura totale e decentralizzata di liquido fornendo ingressi tra ciascuna delle aperture esagonali.

Un ingresso centrale sotto l'elemento si collega a un sistema di canali interni nella parte stampata, guidando il fluido verso ciascuna apertura.

Il design è ottimizzato per un flusso di volume elevato (20 l/min, prelievo di ~10 kW di calore a $\Delta T=5K$). L'ottimizzazione viene eseguita per il flusso equalizzato della soluzione.

Proprietà della soluzione essiccante

Test delle prestazioni dell'essiccante:

- L'effetto della soluzione salina fornita da Sallina Sfax (Mare Alb) è stato testato in condizioni climatiche di serra.
- Sono state eseguite misurazioni dell'aria all'interno di una bottiglia di soluzione salina e di una bottiglia d'acqua per confrontare la temperatura e l'umidità dell'aria risultanti.



Figura 31. Misura con 2 bottiglie.

Composizione della soluzione salina:

- Densità: 1 350,
- Magnesio Mg: 112,65 g/l,
- Solfato SO₄: 34,09 g/l,
- Altri residui (Cl, Ca, K...): 428 g/l.
- Acqua

Il funzionamento del dispositivo assorbitore del sistema si basa sulle proprietà igroscopiche del TCF utilizzato, che è una soluzione salina di soluzione di cloruro di magnesio (MgCl₂).

Le misurazioni dell'Umidità Relativa di Equilibrio (ERH) sono state eseguite nel mese di gennaio 2022, secondo il metodo della soluzione salina satura, che prevede il posizionamento di un campione della soluzione salina in un contenitore sigillato e la misurazione dell'umidità relativa dell'aria a contatto con il BLD. Quando l'aria raggiunge l'equilibrio con il BLD, la sua umidità relativa corrisponde all'ERH del fluido essiccante.

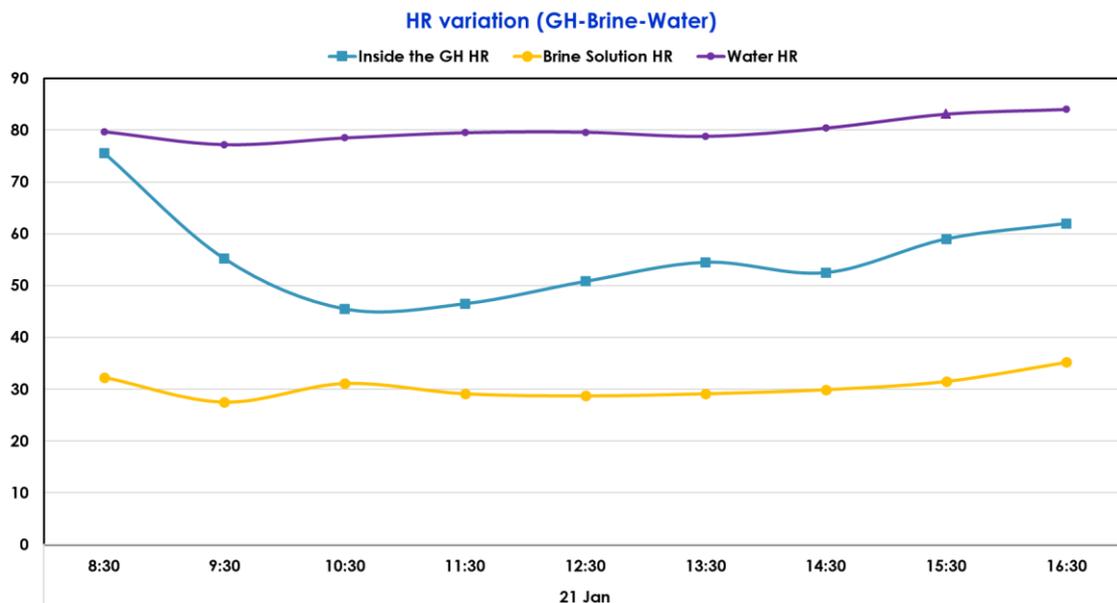


Figura 32. Effetto della soluzione salina – 21 gennaio 2022.

I valori misurati di ERH sono conformi alla letteratura consolidata che fa riferimento al valore ERH di $32,78 \pm 0,16\%$ per una soluzione pura satura di MgCl₂ a 25°C.

La curva gialla nella Figura 32 indica l'umidità relativa dell'aria sopra l'essiccante che è costantemente intorno al 30%. La curva viola mostra l'umidità relativa nell'altro contenitore, contenente acqua. L'aria sopra l'acqua mostra un'umidità relativa molto elevata vicino al punto di rugiada, come previsto. La linea blu mostra l'umidità relativa all'interno dell'aria della serra che circonda i due contenitori

Circolazione dell'essiccante nel sistema

Nel sistema studiato sono stati utilizzati due serbatoi di stoccaggio collegati tra loro, con un volume totale di 15 m³ della soluzione salina. I serbatoi di stoccaggio sono collegati ai dispositivi di assorbimento tramite due pompe e un impianto idraulico. I dispositivi assorbitori sono stati montati su supporti ad un livello più alto per consentire il ritorno della soluzione TCF per gravità e ridurre la complessità del controllo del sistema.

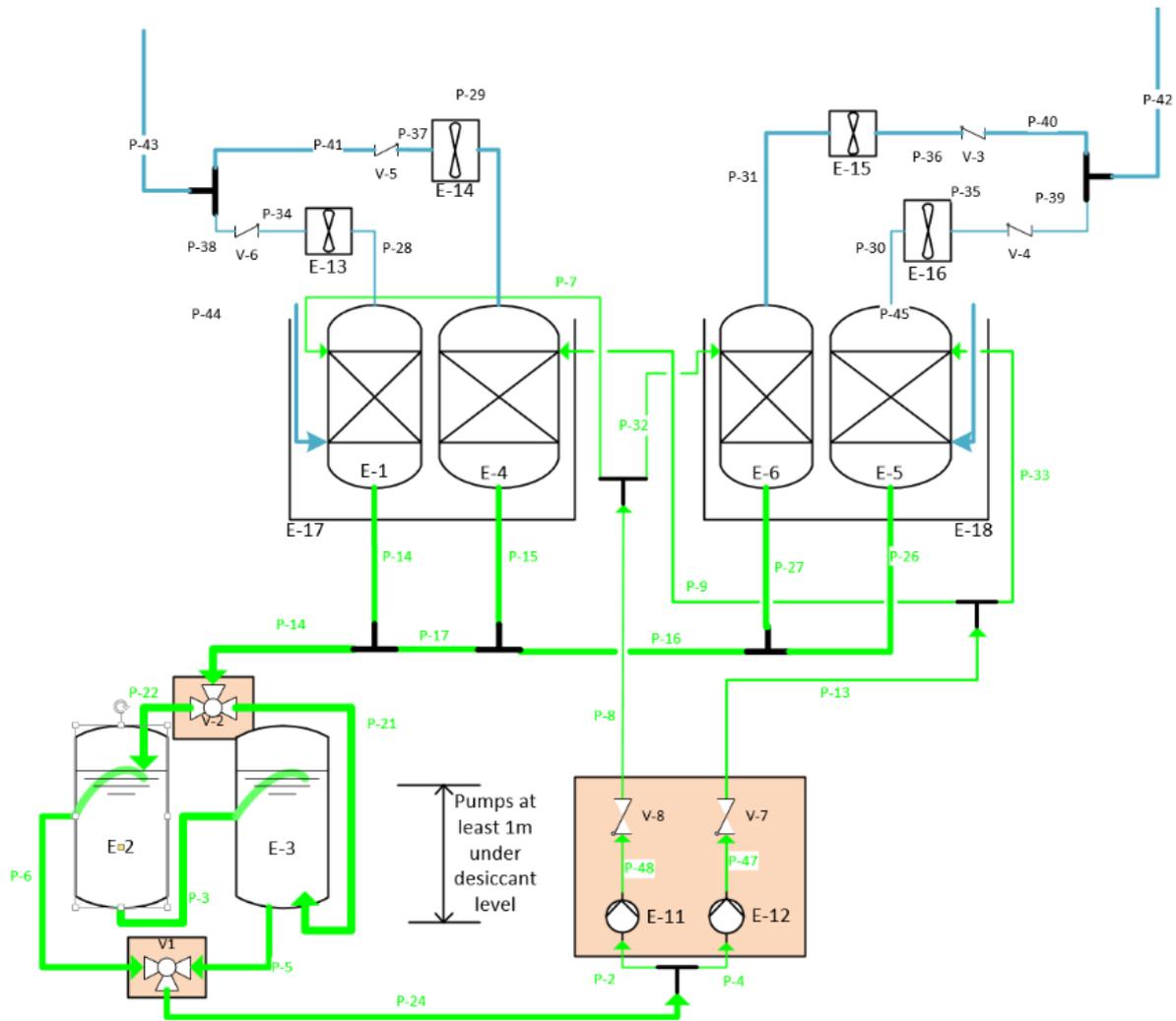


Figura 33. Installazione dei serbatoi di stoccaggio e collegamento dei componenti del sistema essiccante.



Figura 34. Pompe ed elettrovalvole installate a lato dell'accumulo TCF.

Distribuzione dell'aria all'interno della serra

L'aria viene aspirata dal tetto della serra e convogliata attraverso l'assorbitore. Dopo aver subito lo scambio termico e la deumidificazione, l'aria trattata viene immessa nella serra a livello delle piante.



Figura 35. Installazione dei dispositivi assorbitori e del sistema di circolazione dell'aria all'interno della serra (ventilatori e condotti dell'aria).

La Figura 35 presenta gli assorbitori posti nella parte posteriore della serra e i tubi di distribuzione dell'aria ai lati (foto a sinistra). Nella foto a destra è presentato l'assorbitore installato.

Sistema di monitoraggio

Il funzionamento del sistema essiccante è fornito dal sistema di misurazione e controllo. Le diverse condizioni climatiche vengono gestite utilizzando tre fasi di intensità nelle modalità giorno e notte. La prima modalità è gestita da una sola pompa che alimenta un compartimento più piccolo dell'assorbitore. La seconda modalità è gestita da una seconda pompa più grande che alimenta un compartimento più grande dell'assorbitore. Nella terza modalità, entrambe le pompe funzionano in parallelo, alimentando l'intera capacità dell'assorbitore.

Il sistema di monitoraggio implementato consente di effettuare misurazioni di::

- temperatura e umidità relativa,
- La portata dell'essiccante,
- La concentrazione di CO₂,
- Il livello dell'essiccante all'interno dei serbatoi di stoccaggio.

Utilizzando i dati monitorati è possibile calcolare il bilancio energetico e l'efficienza del sistema.



Figura 36. Installazione della scatola di controllo, dei sensori e del sistema di acquisizione dati.

Conclusioni

Come ultima parte della presentazione del dimostratore tunisino, alcune conclusioni e insegnamenti sono elencati di seguito:

- Per raggiungere le condizioni di condensazione è necessario un elevato livello di tenuta all'aria nella serra.
- È necessaria una ventilazione di emergenza a prova di errore, ma deve anche supportare il concetto di tenuta all'aria in modalità spento.
- L'installazione degli assorbitori dovrà avvenire preferibilmente nella serra (non all'esterno).
- La progettazione dell'assorbitore con una combinazione di componenti prefabbricati e assemblaggio locale ha avuto successo in termini di complessità e riduzione dei costi.
- Le parti stampate in 3D richiedono plastica di alta qualità, resistente al calore e protezione solare per evitare che si sciolgano nell'ambiente caldo.
- Il volume di stoccaggio è costoso e i collegamenti idraulici sono soggetti a errori.
- Gli essiccanti richiedono la massima attenzione per quanto riguarda la corrosività, le perdite, lo smaltimento e il riciclaggio.

I prossimi passi da intraprendere per migliorare il sistema e garantire maggiore efficienza e affidabilità sono i seguenti:

- L'uso di materiale a cambiamento di fase (PCM) per l'accumulo di calore consentirà una riduzione del volume di stoccaggio di circa il 70% e della quantità di essiccante dell'80-90%.
- L'integrazione del PCM all'interno dell'assorbitore può anche ridurre i costi di pompaggio del 50-90% e una leggera riduzione dei requisiti di ventilazione (~30%).
- Verrà studiato il PCM a basso costo per un punto di fusione intorno ai 30°C. Per tale uso possono essere presi in considerazione il grasso riciclato o il carbonato di sodio.
- È possibile un'ulteriore semplificazione della costruzione Zig-Zag. Utilizzando queste semplificazioni la costruzione non sarà infine molto più costosa delle serre a tunnel già esistenti.

- Sono necessarie ulteriori attività di ricerca, anche a causa della mancanza di alternative per superare la crisi idrica.
- Vi sono numerose attività recenti nella costruzione di impianti di climatizzazione che utilizzano essiccanti liquidi. Le start-up come "Blue Frontier" (finanziata da Bill Gates) e "7AC" sono recenti investimenti multimilionari. C'è una forte concorrenza in questo tipo di ricerca, non solo nel campo delle serre.

3. Simulazioni ed ottimizzazione – Casi Studio

3.1. Casi Studio

Gli obiettivi principali dei casi di studio sono analizzare le diverse condizioni al contorno in termini di due regioni climatiche europee rappresentative selezionate nel progetto.

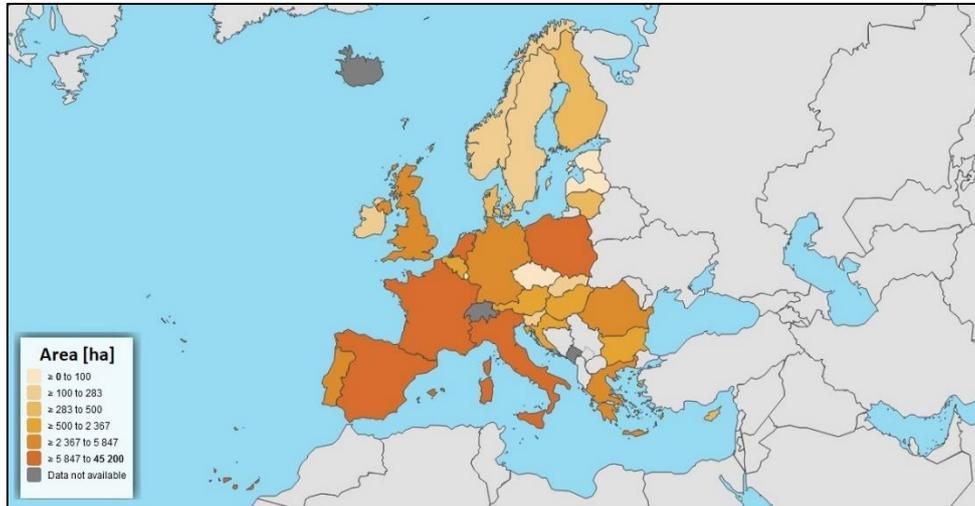


Figura 37. Distribuzione delle serre nei paesi dell'Unione Europea EU-27 (EUROSTAT, 2023a).

La Spagna, con la più grande estensione di serre orticole in Europa, è stata scelta come area di studio prioritaria. Nel 2023, l'area delle serre orticole era 77 923 ha.



Figura 38. Mappa delle regioni spagnole con diverse superfici di serre.

L'Italia, con una solida industria delle serre, è stata identificata nel precedente Task T3.1 – Valutazione del mercato come potenziali mercati iniziali per TheGreefa. L'area delle serre nel 2023 era di 35 229 ha.

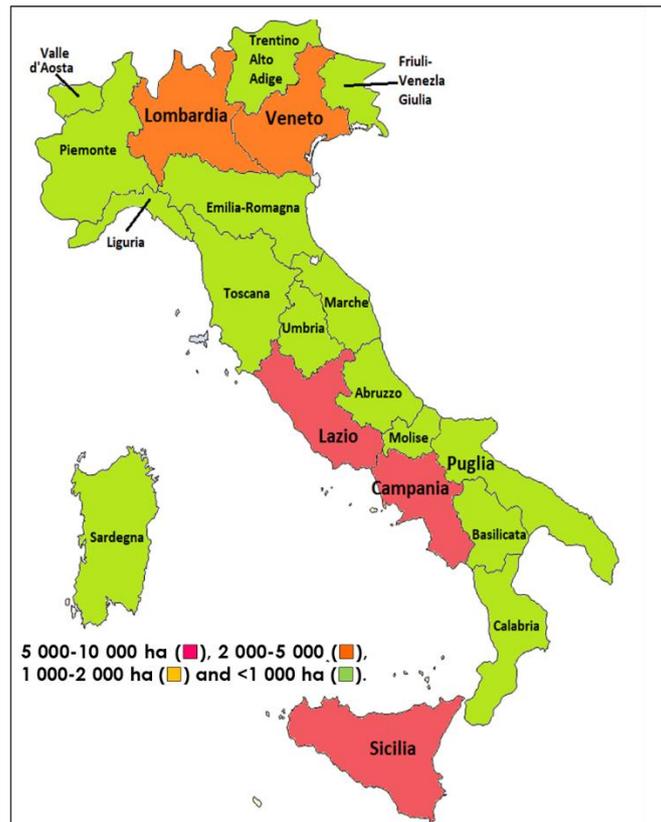


Figura 39. Mappa delle regioni italiane con diverse superfici di serre.

Lo scopo dell'analisi ha incluso tre casi studio selezionati nella regione di Almería (Spagna):

- Serra tipo Almería non riscaldata e ventilata naturalmente.
- Serra multicampata non riscaldata con regolatore climatico.
- Serre multicampata riscaldate a gas naturale

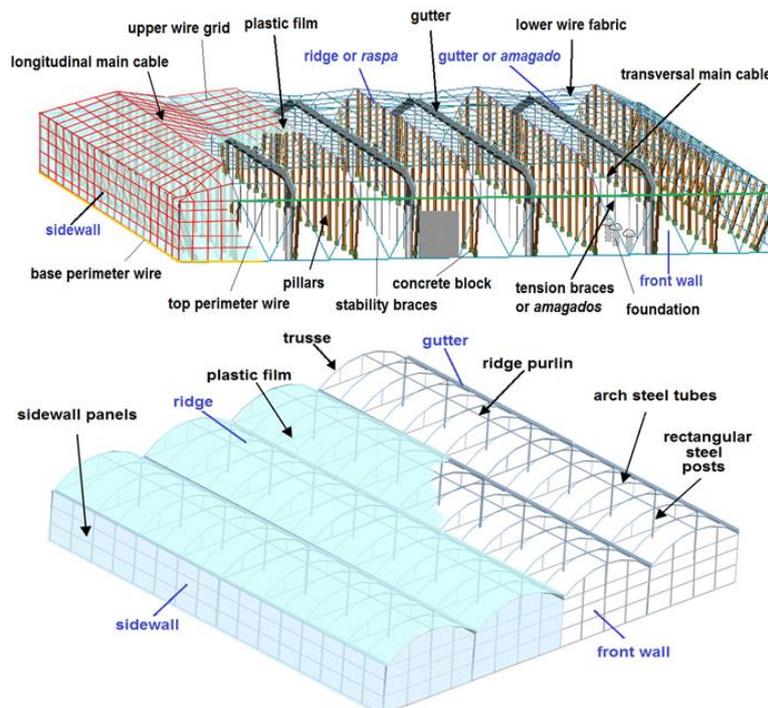


Figura 40. Serra semplice tipo Almería con struttura in "raspa y amagado" (in alto) e serra ad alta tecnologia con struttura multicampata (in basso).

Nella serra tipo Almería dell'Università di Almería sono state analizzate due colture di pomodori realizzate nella stagione 2017/18 e nell'attuale stagione 2023/24. Durante lo sviluppo del progetto TheGreefa sono state coltivate diverse alternative di combinazioni di colture in serre multicampata non riscaldate: cetriolo-pomodoro, cetriolo-peperone e pomodoro-zucchina.

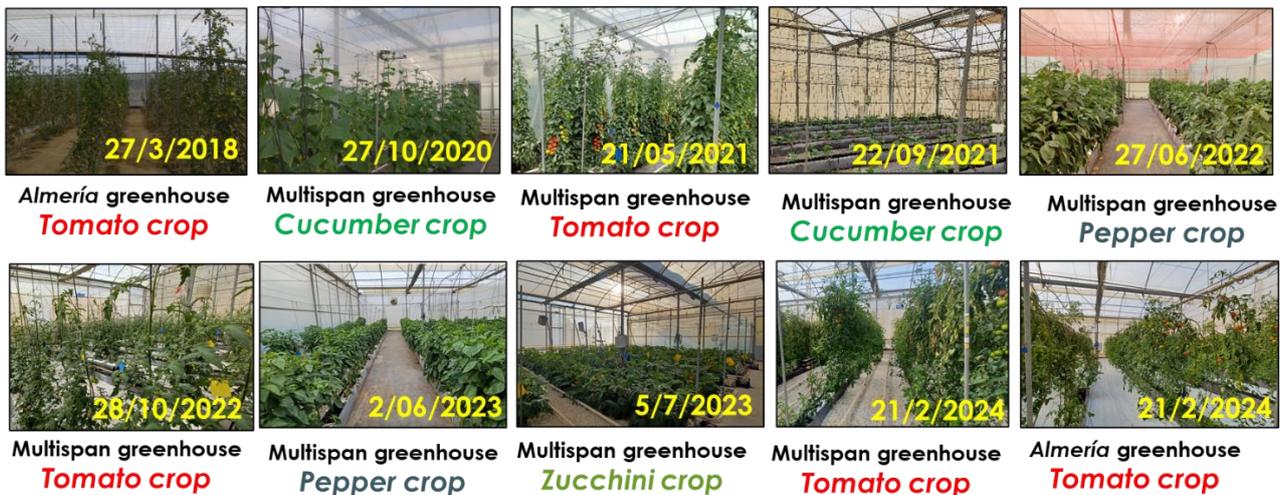


Figura 41. Le colture più importanti analizzate in Almería e nelle serre multicampata dell'Università di Almería.

In Italia sono stati selezionati due casi studio per la produzione di pomodoro:

- Serra multicampata non riscaldata.
- Serre multicampata riscaldate con gas naturale, petrolio e cippato di legno.



Figura 42. Coltivazione di pomodorini "ciliegini" in serre multicampata non riscaldate (a sinistra) e serre multicampata riscaldate (a destra).

Fonti di informazione

- **La caratterizzazione tecnico-produttiva delle serre in Almería** è stata effettuata attraverso un'indagine effettuata nel corso dell'anno **2022** dalla **Società Cooperativa Andalus AFE** a 222 soci, che coprende **610 serre (1,4%** della superficie totale della regione Almería).
- **I costi di produzione delle serre in Almería** per le stagioni **2021-22** e **2022-23** sono stati analizzati per le **serre non riscaldate di tipo Almería** per sette diverse alternative di cicli colturali, dai dati dell'**Osservatorio dei prezzi e dei mercati** del Ministero dell'Agricoltura e del Bestiame , Pesca e Sviluppo Sostenibile del **Governo dell'Andalusia - JA**.
- Sono stati misurati i **costi di produzione, il consumo di energia, acqua, fertilizzanti e prodotti fitosanitari**, durante le stagioni **2020-21, 2021-22, 2022-23** e **2023-24** per le **serre**

non riscaldate di tipo Almería e multicampata dell'Università di Almería per pomodori, colture di peperoni e cetrioli.

- **I costi di produzione del pomodoro delle serre multicampata non riscaldate in Italia sono stati ottenuti da dati governativi (Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare - ISMEA) e il consumo di energia e acqua è stato misurato da Sfera Agricola in una serra commerciale multicampata riscaldata, stimando i costi di produzione associati.**
- **È stata sviluppata una valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA) stimando i principali fattori di impatto ambientale per i cinque casi di studio utilizzando il modello di simulazione ambientale EXCEL EUPHOROS.**

Nel caso studio sono stati analizzati i principali parametri climatici che influenzano lo sviluppo delle colture orticole in serra. L'installazione di un sistema di climatizzazione che utilizzi fluidi termochimici può contribuire a mantenere una temperatura e un'umidità adeguate, ad incorporare la CO₂ proveniente dall'ambiente esterno e ad ottenere una maggiore omogeneità di questi parametri climatici. La progettazione del sistema di distribuzione dell'aria deve prevenire la perdita di radiazioni a livello della coltura dovuta all'ombreggiamento.

Analisi delle condizioni climatiche per la coltivazione in serra:

- Temperature adeguate dell'aria, delle foglie delle piante e del suolo.
- Umidità relativa moderata per evitare condensa o stress idrico.
 - Elevato livello di radiazione fotosinteticamente attiva (PAR).
 - Concentrazione di CO₂ nell'aria intorno al livello esterno di 420 ppm.
 - Uniformità dei diversi parametri climatici.

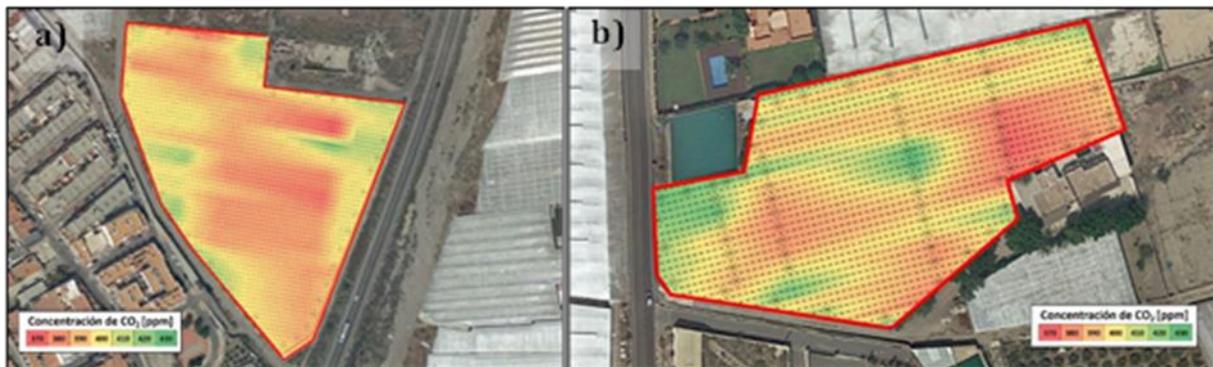


Figura 43. Distribuzione di CO₂ all'interno delle serre solari del tipo Almería "raspa y amagado" o semplice (a) e "parral plana" o elementare (b).

Sebbene esistano molteplici opzioni per un controllo climatico efficace nelle serre, i sistemi attivi richiedono un elevato consumo energetico e i sistemi passivi sono spesso limitati dalle condizioni meteorologiche esterne. L'uso di fluidi termochimici potrebbe essere utilizzato come complemento ad altri sistemi al fine di ridurre il consumo di energia.

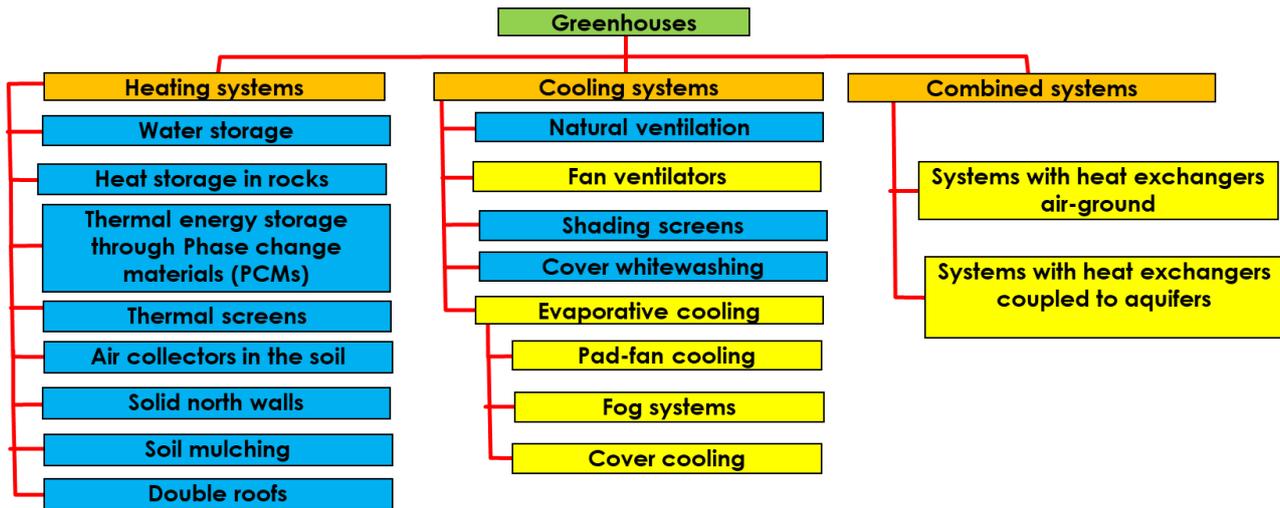


Figura 44. Classificazione di vari sistemi di climatizzazione per serre - metodi passivi (contrassegnati in blu).

Il consumo energetico nelle serre è influenzato dalla necessità di riscaldamento. Nelle serre non riscaldate il consumo varia da 30 a 100 GJ/ha, mentre nelle serre riscaldate l'energia richiesta può superare i 20 000 GJ/ha.

Tabella 3. Consumo energetico dell'agricoltura in serra in alcuni paesi europei (diversi studi).

Country	Greenhouse area (ha)	Energy (GJ/ha)		Total energy		Gas emission	
		Heating	Electricity	(GJ/ha)	(kWh/m ²)	(toe/ha) ^b	(tCO ₂ eq/ha) ^c
Spain	77 923	81 – 16 272	2.8	84 – 17 784	2.3 – 158	2.0 – 332.0	13.6 – 1 277
Italy	35 229	11.8 – 9 450	13.5 – 65.6	62 – 14 616	1.7 – 406	3.0 – 349	11.6 – 1 344
Netherland	10 636	10 303 – 14 990	1 300	11 603 – 22 689	325 – 630	277 – 365	1 389 – 1 820
France	9 813	180 – 11 412	158 – 5 976	6 156 – 11 412	171 – 317	45 – 273	354 – 1 049
Greece	5 100	56 – 8 138	1.1	57 – 8 550	1.6 – 237	1.4 – 204	9 – 786
Germany	3 199	12 612 – 13 000	-	3 981 – 16 308	111 – 453	302 – 390	1 163 – 1 499
Portugal	1 010	2 174 – 6 768	-	273 – 11 556	7.6	6.5	25
Total/Average	120 930	39 020 571	3 871 189	1 562	155	1 717	48

^a 1 GWh = 8.60x10⁻⁵ Mtoe - Mega tonne oil equivalent (Krey et al., 2014).

^b Using a factor emission of CO₂ for heat production of 0.331 tCO₂eq/MWh (Krey et al., 2014).

Mentre in Spagna la superficie delle colture protette è aumentata fino al 18,7% negli ultimi sette anni, in Italia la superficie occupata dalle serre è rimasta molto stabile.

Tabella 4. Superfici coperte da serre e produzione di ortaggi nelle diverse regioni di Spagna e Italia.

Evolution of surface of greenhouses in different regions of Spain (MAPA, 2024).

Year	Andalucía	Murcia	Canary Islands	Spain
2016	48 509	6 235	6 744	65 674
2020	55 138	6 491	5 491	71 783
2023	61 099	6 449	5 495	77 923

+18.7%

Evolution of greenhouse surface in different regions of Italy (ISTAT, 2024).

Year	Lazio	Campania	Sicilia	Veneto	Lombardia	Italy
2016	7 845	10 332	7 676	3 360	2 076	35 574
2020	9 001	9 994	7 121	3 285	1 949	35 574
2023	7 629	7 523	7 029	3 748	3 642	35 229

-0.9%

I prezzi dei prodotti orticoli presentano una variabilità significativa a seconda delle condizioni meteorologiche in Europa o di fattori che influenzano la commercializzazione (COVID, Guerra in Ucraina). I prezzi più alti sono stati raggiunti sia in Spagna che in Italia nel 2023. In generale, i prezzi di vendita sono tra il 15 e il 20% più alti in Italia.

Tabella 5. Prezzo medio [€/kg] ottenuto dagli agricoltori per la produzione in serra in Spagna e Italia nelle ultime stagioni (JA, 2024a; ISMEA, 2024a).

Country	Spain				2017	Italy		
	2016/17	2018/19	2020/21	2022/23		2019	2021	2023
Standard tomato	0.66	0.61	0.60	0.94	0.93	0.83	0.93	1.21
Cherry tomato	1.28	1.12	1.23	1.56	1.57	1.12	1.21	1.64
Pepper	0.91	0.77	0.84	1.23	0.74	0.88	1.00	1.51
Cucumber	0.70	0.53	0.57	0.95	0.42	0.48	0.54	0.74
Watermelon	0.35	0.30	0.31	0.40	0.21	0.34	0.25	0.48
Zucchini	0.68	0.54	0.50	0.67	0.93	0.97	1.12	1.16
Melon	0.41	0.48	0.40	0.49	0.52	0.65	0.61	1.05
Eggplant	0.73	0.60	0.55	0.74	0.63	0.71	0.86	1.02
Bean	1.69	1.83	1.63	2.26	1.84	1.63	2.90	0.80
Average	0.63	0.65	0.63	0.90	0.76	0.78	0.86	1.05

Per ciascuno dei cinque casi studio selezionati sono stati analizzati i costi di produzione, il consumo di acqua ed energia e il relativo impatto ambientale. Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per ciascuno dei cinque casi analizzati.

3.2. Caso di studio 1 – Serra non riscaldata di tipo Almería

Il primo caso analizzato sono le serre di tipo Almería, che rappresentano oltre il 70% in Spagna. Il loro costo di investimento è di 15-20 €/m².

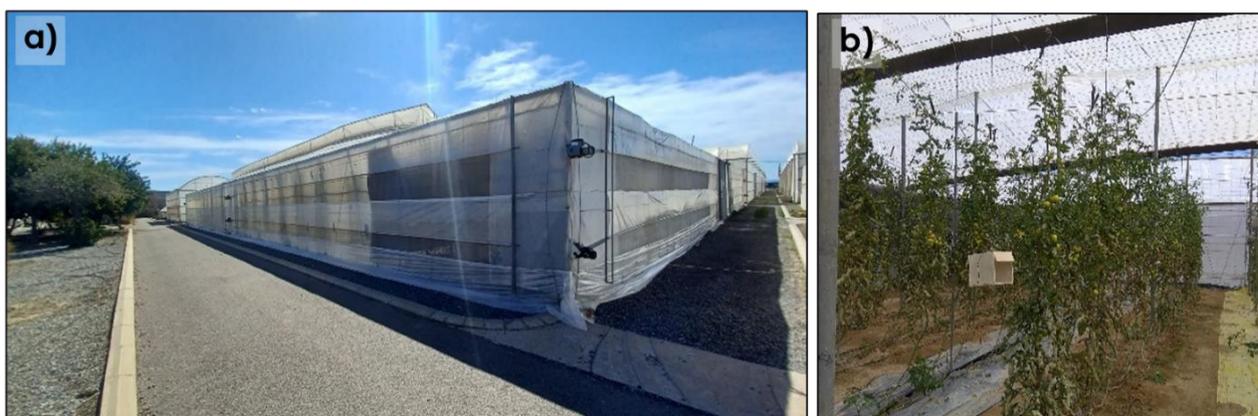


Figura 45. Serra tipo Almería (a) e coltivazione di pomodori all'interno (b) nella Stazione Sperimentale UAL-ANECOOP in Almería (Spagna).

Queste serre raggiungono valori di produttività normalmente inferiori a 15 kg/m², con costi di produzione compresi tra 0,7 e 1,0 €/kg. A seconda dei prezzi di ciascun anno, gli agricoltori possono ottenere un profitto fino a 50.000 euro/ha o subire perdite..

Table 1.

Tabella 6. Costi di produzione misurati per i pomodori coltivati in una serra di tipo Almería nelle stagioni 2017/18 (costi aggiornati alla stagione 2022/23) e 2023/24, situata nell'Azienda Agricola Sperimentale dell'Università di Almería-ANECOOP.

Greenhouse type	Almería-type in "Raspa y amagado"			
Farm area [m ²]	28 152		Greenhouse surface [m ²]	
Commercial type	On vine or branch		Tomato Pears	
Cycle length [days]	225		194	
Type of soil	Sand mulching		Coconut fiber substrate	
Average marketable yield Y _{CS} [kg/m ²]	10.8		6.6	
Type of cost	€/ha			
Supplies	24 823		19 127	
Transport	2 181		1 153	
Labour	30 675		24 206	
Contracted external services	1 224		508	
Total variable or direct costs, C _V [€/ha]	58 903		44 994	
Investment cost [€/m ²]	Amortization [€/ha]	17.8	17 070	18.4
Total fixed or indirect costs C _F [€/ha]	17 743		20 995	
Total cost [€/ha]	76 645		65 990	
Unitary cost [€/kg]	0.71		1.00	
Average price A _p [€/kg]	1.03		0.94	
Total value crop [€/m ²]	11.12		6.21	
Production value P _v [€/ha]	111 240		62 111	
Annual operating income I _v [€/ha]	34 595		-3 879	

Queste serre sono quelle che richiedono il minor consumo di energia, principalmente nel sistema di irrigazione e nell'apertura e chiusura delle finestre (quando sono motorizzate). Il consumo di energia elettrica varia tra 1 e 1,5 kWh/m² e il consumo di acqua varia tra 15-75 l/m².

Tabella 7. Consumo di energia e acqua misurato nella serra sperimentale non riscaldata di tipo Almería dell'Università di Almería.

Season	2020-21	2021-22	2022-23	2023-24
Crops	Cucumber+tomato	Cucumber+pepper	Tomato+zucchini	Tomato
Energy consumption				
Electricity price [€/kWh]	0.145	0.159	0.143	0.132
Electricity for ventilation [kWh/m ²]	0.398	0.379	0.452	0.230
Total electricity [kWh/m ²]	1.194	1.064	1.442	0.924
Electrical consumption [GJ/ha]	43.0	38.3	51.9	33.3
Water consumption				
Water consumption [m ³ /ha]	2 185	5 242	4 854	2 945
Water price [€/m ³]	0.54	0.76	1.06	1.23
Water requirements [m ³ /t]	14.3	63.5	73.8	61.6

In queste serre si ottengono gli impatti ambientali più bassi. La struttura della serra e il sistema di irrigazione generano l'impatto maggiore. I valori calcolati per le due colture di pomodoro sviluppate nelle serre UAL sono simili a quelli pubblicati, con emissioni comprese tra 95 e 280 kg CO₂ eq/tn.

Tabella 8. Fattori di impatto ambientale totali forniti dal modello di simulazione EXCEL EUPHOROS (Torrellas et al., 2013) per le colture di pomodoro in serre non riscaldate di tipo Almería dell'Università di Almería (UAL) e calcolati da Martin-Gorriz et al., 2011 (MG) e da García Martínez, 2019 (GM) per unità funzionale (1 tonnellata di pomodori commerciabili).

Crops	UAL 2017-18	UAL 2023-24	MG 2011	GM 2019
Yield [kg m ⁻²]	10.80	6.61	5.13	10.00
ADP - Abiotic depletion [kg Sb eq/tn]	1.66	2.00	0.01	0.79
AAP - Air acidification [kg SO ₂ eq/tn]	1.05	1.20	1.75	0.68
EUP - Eutrophication [kg PO ₄ eq/tn]	0.35	0.42	2.70	0.25
GWP - Global warming [kg CO ₂ eq/tn]	208.79	248.18	276.8	94.4
POP - Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ /tn]	0.05	0.06	-	0.03
CED - Cummulative energy demand [MJ/tn]	4 346	5 210	2 242	1 725
Water consumption [m ³ /tn]	30.17	33.86	38.00	44.80

3.3. Caso di studio 2 – Serre multicampata non riscaldate in Spagna

Le serre multicampata non riscaldate rappresentano circa il 2% della superficie serra in Spagna. Il costo di questa tipologia di serra varia dai 25 ai 38 €/m².



Figura 46. Serra multicampata non riscaldata (a) e coltivazione di pomodoro all'interno (b) nella Stazione Sperimentale UAL-ANECOOP in Almería (Spagna).

In queste serre si possono ottenere produzioni superiori a 15 kg/m², a seconda della combinazione di colture. I costi di produzione variano da 0,5 a 1,5 €/kg, corrispondenti a 50-100 mila €/ha. I costi di investimento più elevati rendono difficile ottenere profitti se i prodotti vengono venduti al prezzo medio. Normalmente gli agricoltori che dispongono di questo tipo di serre tendono ad ottenere prezzi di vendita migliori attraverso contratti diretti con le società di distribuzione.

Tabella 9. Costi di produzione nelle stagioni 2020/21- 2023/24 delle colture coltivate nelle serre sperimentali multicampata non riscaldate ubicate nell'Azienda Agricola Sperimentale UAL-ANECOOP.

Season	2020-21	2021-22	2022-23	2023-24
Crops	Cucumber+tomato	Cucumber+pepper	Tomato+zucchini	Tomato
Greenhouse surface [m ²]	1 080	1 080	1 080	2 970
Days of crop	259	247	294	174
Marketable yield, Y _C [kg/m ²]	15.3	8.25	6.58	4.78
Supplies	26 791	24 323	36 802	17 163
Transport	5 096	3 654	8 303	2 307
Labour	27 161	26 232	34 147	18 141
External services	1 640	147	677	508
Total variable or direct costs, C _V [€/ha]	60 688	54 357	79 929	38 119
Total investment cost, C _I [€/m ²]	34.0	35.8	37.6	22.9
Amortization costs, C _A =C _I /N _y [€/ha]	19 374	20 558	21 566	13 172
Total fixed or indirect costs, C _F [€/ha]	20 014	22 018	22 699	15 816
Total cost, T _C [€/ha]	80 702	76 375	102 628	53 936
Unitary cost, U _C =T _C /Y _C [€/kg]	0.53	0.93	1.56	1.13
Average price, A _p [€/kg]	0.58	0.81	1.35	1.14
Total value crop, P _V =A _p ·Y _C [€/m ²]	8.89	6.68	8.87	5.45
Revenue of production, P _V =A _p ·Y _C [€/ha]	88 896	66 752	88 733	54 492
Annual operating income, I _y =P _V -T _C [€/ha]	8 194	-9 623	-13 895	556

Il consumo di energia elettrica è simile a quello del tipo Almería, variando tra 1 e 1,5 kWh/m², e con un consumo di acqua variabile tra 15 e 75 l/m².

Tabella 10. Consumo di energia e acqua misurato in serre sperimentali multicampata non riscaldate dell'Università di Almería.

Crops	Tomato 2022-23	Tomato 2023-24
Energy consumption		
Electricity price [€/kWh]	0.143	0.132
Ventilation electrical consumption [kWh/m ²]	0.350	0.411
Total electrical consumption [kWh/m ²]	1.576	1.053
Electrical consumption [GJ/ha]	56.7	37.9
Water consumption		
Water consumption [m ³ /ha]	3 258	2 238
Water price [€/m ³]	1.06	1.23
Water requirements [m ³ /t]	30.2	33.9

Per quanto riguarda la tipologia Almería, la struttura della serra e il sistema di irrigazione generano il maggiore impatto. In conseguenza del maggiore utilizzo di metallo nella costruzione della serra, gli impatti sono generalmente superiori a quelli del primo caso, con emissioni comprese tra 150 e 1000 kg CO₂ eq/tn.

Tabella 11. Fattori di impatto ambientale totali forniti dal modello di simulazione EXCEL EUPHOROS (Torrellas et al., 2013) per le colture di pomodoro in serre multicampata non riscaldate dell'Università di Almería (UAL) e calcolati da Martínez-Blanco et al., 2011 (MB) e da Torrellas et al., 2012 (TR) per unità funzionale (1 tonnellata di pomodori commerciabili).

Crops	UAL 2020-21	UAL 2022-23	UAL 2023-24	MB 2011	TR 2012
Yield [kg m ⁻²]	6.19	5.73	4.78	15.90	16.50
ADP - Abiotic depletion [kg Sb eq/tn]	7.92	7.60	6.63	1.06	1.26
AAP - Air acidification [kg SO ₂ eq/tn]	6.54	5.95	5.31	0.94	0.92
EUP - Eutrophication [kg PO ₄ eq/tn]	3.71	3.40	3.01	0.35	0.50
GWP - Global warming [kg CO ₂ eq/tn]	998.88	979.70	851.55	153.0	197.8
POP - Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ /tn]	0.41	0.35	0.31	0.03	0.03
CED - Cumulative energy demand [MJ/tn]	19 678	18 888	16 560	2 554	3 067
Water consumption [m ³ /tn]	16.85	64.28	61.61	39.11	28.78

3.4. Caso Studio 3 – Serre multicampata riscaldate in Spagna

L'ultimo caso selezionato per caratterizzare le serre spagnole sono le multicampata riscaldate, che rappresentano meno del 2% delle serre spagnole. Il costo di questo tipo di serra varia tra 45 58 €/m².



Figura 47. Serra commerciale multicampata riscaldata con doppia copertura (a) e coltivazione di pomodori all'interno (b) dell'azienda Natural Growers in Almería.

L'utilizzo del riscaldamento consente di aumentare la produttività oltre i 20 kg/m². Il costo di produzione più elevato è quello del gas naturale per il riscaldamento, circa il 40%. A seconda dei prezzi del carburante e delle verdure, gli agricoltori possono guadagnare o perdere denaro. Come nel caso precedente, se si considera il prezzo medio di vendita, è normale ottenere delle perdite. Gli agricoltori generalmente firmano contratti direttamente con le catene di supermercati per assicurarsi un profitto.

Tabella 12. Costi di produzione aggiornati alla stagione 2022/23 delle colture coltivate nel 2013/14 in tre serre multicampata riscaldate dell'azienda Natural Growers in Almería.

Greenhouse type	Plastic multispans with inflated double cover		
Farm area [m ²]	158 140		
Greenhouse surface [m ²]	35 200	11 600	7 200
Crops	Cucumber	Tomato "Cherry"	Tomato "Branch"
Cycle length [days]	280	308	308
Average marketable yield Y _{CS} [kg/m ²]	20.98	8.21	19.79
Type of cost	Subtype of cost		
	€/ha		
Supplies	107 762	110 164	111 041
Energy for heating	72 792	72 792	72 792
Transport	2 713	1 781	3 896
Labour	39 829	45 168	45 814
External services	1 147	520	1 722
Total variable or direct costs C _V [€/ha]	151 451	157 633	162 473
Investment cost [€/m ²]	52.8	Amortization [€/ha]	27 646
Total fixed or indirect costs C _F [€/ha]	31 210	31 768	30 480
Total cost, T _C [€/ha]	182 661	189 401	192 953
Unitary cost, U _C =T _C /Y _C [€/kg]	0.87	2.31	0.98
Average price, A _P [€/kg]	0.88	1.66	0.97
Total value crop, P _V =A _P ·Y _C [€/m ²]	18.40	13.63	19.16
Revenue of production, P _V =A _P ·Y _C [€/ha]	184 048	136 341	191 648
Annual operating income, I _V =P _V -T _C [€/ha]	1 387	-53 059	-1 305

L'uso del riscaldamento aumenta il consumo energetico oltre i 120 kWh/m². I consumi idrici possono aumentare anche per la maggiore traspirazione della coltura, con valori di 60-150 l/kg.

Tabella 13. Consumo di energia e acqua misurato in tre serre multicampata riscaldate dell'azienda Natural Growers in Almería con prezzi aggiornati alla stagione 2022/23.

Crop	Cucumber	Tomato "Cherry"	Tomato "Branch"
Energy consumption			
Electricity price [€/kWh]	0.143	0.143	0.143
Consumption in ventilation [kWh/m ²]	0.242	0.242	0.242
Total electrical consumption [kWh/m ²]	2.800	2.800	2.800
Electrical consumption [GJ/ha]	100.8	100.8	100.8
Natural gas price [€/m ³]	0.607	0.607	0.607
Natural gas consumption [m ³ /m ²]	11.99	11.99	11.99
Heating energy consumption [kWh/m ²]	128.7	128.7	128.7
Heating energy consumption [GJ/ha]	4632	4632	4632
Water consumption			
Water consumption [m ³ /ha]	19 198	11 982	11 982
Water price [€/m ³]	0.75	0.75	0.75
Water requirements [L/kg] or [m ³ /t]	91.5	145.9	60.5

Anche l'uso del riscaldamento aumenta notevolmente le emissioni fino a valori di 900-3500 kg di CO₂ eq/tn.

Tabella 14. Fattori di impatto ambientale totali forniti dal modello di simulazione ambientale EXCEL EUPHOROS (Torrellas et al., 2013) per le colture coltivate in tre serre multicampata riscaldate dell'azienda Natural Growers (NG) ad Almería con produzione biologica (senza uso di insetticidi o fungicidi) e calcolato da Pérez Neira et al., 2018 (PN) per le colture di pomodoro per unità funzionale (1 tonnellata di pomodori commerciabili).

Crops	Cucumber	T. Cherry	T. Branch	PN 2018
Yield [kg m ⁻²]	20.98	8.21	19.79	15.30
ADP - Abiotic depletion [kg Sb eq/tn]	11.83	30.35	12.59	-
AAP - Air acidification [kg SO ₂ eq/tn]	1.45	3.78	1.57	-
EUP - Eutrophication [kg PO ₄ eq/tn]	0.17	0.90	0.23	-
GWP - Global warming [kg CO ₂ eq/tn]	1 389.7	3 568.9	1 481.2	920.0
POP - Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ /tn]	0.11	0.28	0.11	-
CED - Cumulative energy demand [MJ/tn]	24 927	63 967	26 544	13 140
Water consumption [m ³ /tn]	91.51	145.94	60.55	-

3.5. Caso Studio 4 – Serra multicampata non riscaldata in Italia

Il primo caso selezionato in Italia è quello delle serre multicampata senza riscaldamento. Il suo costo varia tra 20 e 80 €/m².



Figura 48. Serra commerciale multicampata non riscaldata (a) e coltivazione di pomodoro all'interno (b) in Italia (COSER. 2024; De Marinis, 2023).

In queste serre la produzione non è molto elevata, quindi molti agricoltori optano per colture di alto valore come i pomodori “ciliegini”. Come nel caso della Spagna, gli elevati investimenti impongono agli agricoltori di garantire prezzi di vendita superiori alla media per evitare di subire perdite.

Tabella 15. Costi di produzione stimati per il pomodoro “ciliegino” coltivato in serre commerciali multicampata non riscaldate in Italia nella stagione 2022/23 (ISMEA, 2024 a-c).

Greenhouse type	Multispan		
Farm area [m ²]	100 000	Greenhouse surface [m ²]	10 000
Farm type	Average of commercial	Location	Ragusa (Italy)
Crop specifications			
Commercial type	Cherry	Crop type	Grafted
Cycle	6 months	Cycle length	180 days
Average marketable yield Y _{CS} [kg/m ²]	5.55		
Type of cost	€/ha		
Total variable or direct costs, C _V [€/ha]	40 550		
Investment cost [€/m ²]	Amortization [€/ha]	25.5	22 462
Total fixed or indirect costs C _F [€/ha]	10 303		
Total cost [€/ha]	108 331		
Unitary cost [€/kg]	1.96		
Average price A _P [€/kg]	1.60		
Total value crop [€/m ²]	8.83		
Production value P _V [€/ha]	88 331		
Annual operating income I _Y [€/ha]	-20 000		

Il consumo di energia e acqua è simile a quello delle serre multicampata non riscaldate in Spagna. Tuttavia, il costo dell'acqua, pari a circa 0,25 €/m³, è molto più basso che in Almería (0,75-1,25 €/m³).

Tabella 16. Consumo di energia e acqua stimato per le serre commerciali multicampata non riscaldate in Italia per la stagione 2022/23.

Energy consumption		Source
Electricity price [€/kWh]	0.210	ARERA (2023)
Total electrical consumption [kWh/m ²]	1.9	Estimated from ISMEA (2024 a)
Electrical consumption [GJ/ha]	67	Calculated
Water consumption		
Water consumption [m ³ /ha]	4 570	Bacci et al. (2005)
Water price [€/m ³]	0.25	CBTC, 2024
Water requirements [m ³ /t]	82.7	Calculated

La struttura metallica delle serre multicampata genera emissioni comprese tra 750 e 1200 kg di CO₂ eq/tn.

Tabella 17. Fattori di impatto ambientale totali forniti dal modello di simulazione ambientale EXCEL EUPHOROS (Torrellas et al., 2013) per il pomodoro "ciliegino" coltivato in serre multicampata non riscaldate in Italia e calcolati da Cellura et al., 2012 (CL) per unità funzionale (1 tonnellata di pomodori commerciabili).

Crops	Tomato "Cherry" 2022-23	CL - Tomato	CL - Tomato "Cherry"
Yield [kg m ⁻²]	5.53	-	-
ADP - Abiotic depletion [kg Sb eq/tn]	5.73	-	-
AAP - Air acidification [kg SO ₂ eq/tn]	4.71	5.70	9.80
EUP - Eutrophication [kg PO ₄ eq/tn]	3.52	2.10	3.70
GWP - Global warming [kg CO ₂ eq/tn]	868.8	740.0	1 245.9
POP - Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ /tn]	0.21	0.30	0.50
CED - Cumulative energy demand [MJ/tn]	14 141	16 200	23 000
Water consumption [m ³ /tn]	82.64	88.90	77.70

3.6. Caso Studio 5 – Serre multicampata riscaldate ad alta tecnologia in Italia

L'ultimo caso selezionato riguarda le serre riscaldate in Italia con un alto livello di tecnologia nei sistemi di climatizzazione. Il costo di queste serre è il più alto con valori di 70-160 €/m².



Figura 49. Serra commerciale multicampata riscaldata (a) e coltivazione di pomodoro in substrato con tubi di riscaldamento (b) di Sfera Agricola in Italia.

In queste serre il costo dell'energia per il riscaldamento rappresenta tra il 20 e il 40% dei costi totali. Il riscaldamento consente di aumentare la produzione oltre i 50 kg/m². Il rischio economico aumenta

notevolmente, quindi sia i profitti che le perdite possono essere molto maggiori rispetto alle serre non riscaldate.

Tabella 18. Stima dei costi di produzione del pomodoro “ciliegino” coltivato in serre commerciali multicampata ad alta tecnologia in Italia riscaldate con gas naturale nelle stagioni 2013/14 (costi da Battistel, 2014 aggiornati alla stagione 2022/23) e riscaldate con gasolio e pellet di legno nelle stagioni 2022/23 (energia misurata da Sfera Agricola).

Greenhouse type	Heated multispan high-tech		
Greenhouse surface [m ²]	50 000	119 232	
Cycle length [days]	320	343	
Average marketable yield Y_{CS} [kg/m ²]	50.0	15.0	
Type of cost	€/ha		
Supplies	365 387	117 094	
Heating energy consumption - gas	245 000	0	
Heating energy consumption - diesel fuel	0	36 068	
Heating energy consumption - wood	0	47 325	
Transport	11 275	3 383	
Labour	149 940	44 982	
External services	47 200	0	
Total variable or direct costs, C_v [€/ha]	573 802	165 459	
Investment cost [€/m ²]	Amortization [€/ha]	74.8	46 607
Total fixed or indirect costs C_f [€/ha]	42 000	26 000	
Total cost [€/ha]	662 409	238 066	
Unitary cost [€/kg]	1.32	1.59	
Average price A_p [€/kg]	1.65	1.65	
Total value crop [€/m ²]	82.7	24.8	
Production value P_v [€/ha]	826 500	247 950	
Annual operating income I_v [€/ha]	164 091	9 884	

Il consumo di energia per il riscaldamento è molto più elevato in queste serre, tra 9.000 e 13.000 GJ/ha, rispetto a quello richiesto in Almería, con un clima più temperato.

Tabella 19. Consumo di energia e acqua stimato per una serra commerciale multicampata ad alta tecnologia riscaldata con gas naturale e misurato in una serra riscaldata con gasolio e pellet di legno (Sfera Agricola) in Italia per la stagione 2022/23.

Heating energy source	Natural gas	References	Diesel and wood pellets
Energy consumption			
Electricity price [€/kWh]	0.276	ARERA (2023)	0.210
Total electrical consumption [kWh/m ²]	15.0	Battistel (2014)	11.4
Electrical consumption [GJ/ha]	540	Calculated	410
Natural gas price [€/m ³]	0.980	ARERA (2023)	-
Natural gas consumption [m ³ /m ²]	25.0	Battistel (2014)	-
Diesel fuel price [€/m ³]	-	-	1.050
Diesel fuel consumption [L/m ²]	-	-	3.44
Wood price [€/tons]	-	-	75.0
Wood consumption [kg/m ²]	-	-	63.1
Heating energy consumption [kWh/m ²]	270.8	Calculated	350.9
Heating energy consumption [GJ/ha]	9 747	Calculated	12 631
Water consumption			
Water consumption [m ³ /ha]	10 000	Battistel (2014)	300
Water price [€/m ³]	0.25	CBTC (2024)	0.25
Water requirements [m ³ /t]	20.0	Calculated	2.0

Queste serre generano emissioni più elevate di circa 1400 kg di CO₂ eq/tn.

Tabella 20. Fattori di impatto ambientale totali forniti dal modello di simulazione ambientale EXCEL EUPHOROS (Torrellas et al., 2013) per il pomodoro “ciliegino” coltivato in serre commerciali multicampata ad alta tecnologia riscaldate con gas naturale e con diesel e pellet di legno in Italia per la stagione 2022/2022. 23 per unità funzionale (1 tonnellata di pomodoro commerciabile).

Heating source	Natural gas	Diesel and wood pellets
Yield [kg m ⁻²]	50.00	15.00
ADP - Abiotic depletion [kg Sb eq/tn]	11.79	9.72
AAP - Air acidification [kg SO ₂ eq/tn]	2.50	5.16
EUP - Eutrophication [kg PO ₄ eq/tn]	1.16	2.01
GWP - Global warming [kg CO ₂ eq/tn]	1 444.0	1 415.6
POP - Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ /tn]	0.15	0.24
CED - Cumulative energy demand [MJ/tn]	25 552	24 120
Water consumption [m ³ /tn]	20.00	2.00

3.7. Conclusioni

Nelle serre riscaldate in Spagna ed in Italia i fluidi termochimici potrebbero essere utilizzati per ridurre il costo dell'energia di riscaldamento e per ridurre il loro impatto ambientale.

Il sistema di controllo climatico basato su fluidi termochimici potrebbe essere utilizzato nelle serre multicampata non riscaldate per il raffreddamento e il controllo dell'umidità.

Le aziende di dimensioni medio-grandi (20-50 ha) sono le più propense ad incorporare questo tipo di tecnologia in Spagna.

Gli agricoltori consultati hanno dichiarato che effettuerebbero un investimento di 5 000-15 000 €/ha con un periodo di ritorno di 2-10 anni.

4. Gli impatti di TheGreefa

La sezione del Manuale di Training di TheGreefa si concentra sulla presentazione dei risultati dell'analisi degli impatti ambientali ed economici legati all'implementazione della tecnologia TheGreefa nelle serre. La principale tecnologia analizzata è il sistema di controllo del clima interno per applicazioni in serra.

4.1. Impatto ambientale

Nel progetto TheGreefa, i potenziali benefici ambientali legati all'implementazione della tecnologia TheGreefa nelle serre sono stati identificati nell'analisi del ciclo di vita eseguita nell'ambito del Work Package 3 del progetto, concentrandosi sulla valutazione delle tecnologie sviluppate.

Lo studio è stato condotto in conformità con i principi e il quadro normativo per LCA, definiti nello standard internazionale per LCA, ISO 14040 e ISO 14044.

Sono stati raccolti dati dai dimostratori e casi di studio TheGreefa per essere analizzati in termini di consumo di energia, acqua, combustibili fossili e produzione delle serre per confrontare gli impatti ambientali prima e dopo l'implementazione del sistema TheGreefa sulla base di dati reali (dimostratori) o simulazioni (casi studi). Lo studio LCA consente di analizzare e presentare l'efficienza complessiva a lungo termine della tecnologia TheGreefa e come questa possa avere un impatto positivo sull'ambiente e sulle persone.

L'LCA è stata condotta sulla base di dati reali ottenuti dalle serre TheGreefa situate nella zona climatica mediocontinentale (Svizzera) e nella zona climatica mediterranea (Italia, Toscana).

Metodologia LCA

Ci sono quattro fasi distinte in uno studio LCA, descritte negli standard ISO citati.

Il primo è la definizione dell'obiettivo e dell'ambito dello studio, per garantire che l'LCA venga eseguita in modo coerente.

- L'LCA modella il ciclo di vita di un prodotto, servizio o sistema. Un modello è una semplificazione di una realtà complessa e, come tutte le semplificazioni, ciò significa che la realtà verrà in qualche modo distorta. La sfida per un professionista LCA è assicurarsi che la semplificazione e le distorsioni non influenzino troppo i risultati. Il modo migliore per farlo è definire attentamente l'obiettivo e la portata dello studio LCA.

Successivamente si può passare alla seconda fase, ovvero all'analisi inventariale delle estrazioni e delle emissioni.

- Nell'analisi inventariale vengono esaminati tutti gli input e gli output ambientali associati a un prodotto o servizio. Un esempio di input ambientale – qualcosa che viene prelevato dall'ambiente per essere inserito nel ciclo di vita del prodotto – è l'uso di materie prime ed energia. Gli output ambientali – che il ciclo di vita del prodotto immette nell'ambiente – includono l'emissione di sostanze inquinanti e i flussi di rifiuti. Insieme, forniscono il quadro completo del ciclo di vita del prodotto o del processo.

Una volta completata la fase inventariale, si può passare alla fase di valutazione dell'impatto del ciclo di vita.

- Nella valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA), vengono tratte le conclusioni che consentono di prendere decisioni aziendali migliori. Gli impatti ambientali vengono classificati e valutati in base a ciò che è più importante per un'azienda e tradotti in termini ambientali come il riscaldamento globale o la salute umana. La scelta più importante da fare riguarda il livello di integrazione dei risultati. È possibile assegnare un punteggio singolo per mostrare quanto sia sostenibile il prodotto o per poter vedere se il design migliora le emissioni di CO₂ e altri fattori di cambiamento climatico. Questo di solito dipende dal tipo di pubblico a cui rivolgersi e dalla capacità del pubblico di comprendere i risultati dettagliati.

Come passaggio finale – 4^a passaggio, dobbiamo interpretare i risultati ottenuti nel passaggio precedente.

- Durante la fase di interpretazione si verifica se le conclusioni sono ben motivate. Lo standard ISO 14044 descrive diversi controlli per verificare se le conclusioni sono adeguatamente supportate dai dati e dalle procedure utilizzate.

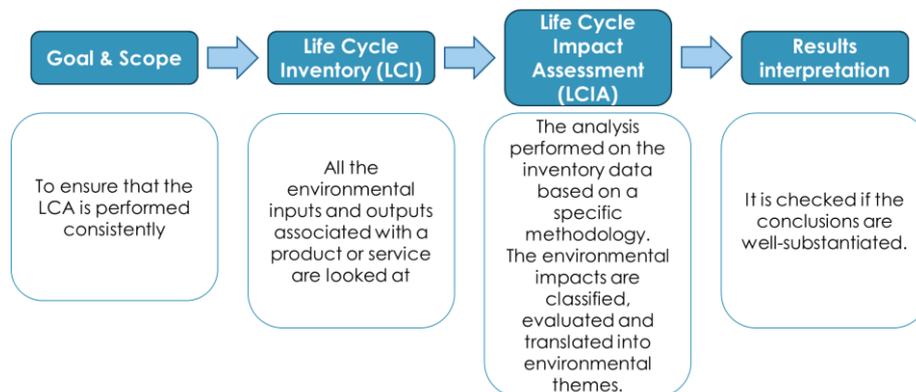


Figura 50. Quattro step nell'esecuzione di una LCA.

Per il progetto TheGreefa, l'obiettivo dello studio LCA era quello di analizzare e confrontare gli impatti ambientali risultanti da 15 anni di funzionamento delle serre, considerando la serra prima e dopo l'implementazione del sistema di controllo climatico TheGreefa.

LCA boundaries		Life cycle stages	Life cycle stage designation and description	
Cradle to cradle (C2C)	Cradle to grave (C2G)	Product stage	A1 Raw material extraction and processing, processing of secondary material input A2 Transport to the manufacturer A3 Manufacturing	
		Installation process stage	A4 Transport to the Building site A5 Installation into the Building site	
		Use stage – information modules related to the Product/Material	B1 Use or application of the installed product B2 Maintenance B3 Repair B4 Replacement B5 Refurbishment	
	Use stage – information modules related to the operation of the Customer site		B6 Operational energy use B7 Operational water use	
	Gate to grave	End-of-life stage	C1 Deconstruction, demolition C2 Transport to waste processing C3 Waste processing for reuse, recovery and/or recycling (3R) C4 Disposal	
			D Reuse, recovery and/or recycling (3R) potentials	
			Benefits and loads beyond the system boundary	

Figura 51. Fasi del ciclo di vita di un prodotto o servizio.

Successivamente occorre definire i confini dell'analisi. La tabella presenta i confini comprese tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto o servizio. Dall'acquisizione delle materie prime attraverso la produzione, l'uso, lo smantellamento, fino allo smaltimento finale o al riciclaggio dei materiali.

Nell'analisi, per ciascuna serra viene studiato il periodo di funzionamento di 15 anni per 1 ettaro di area della serra. Pertanto, per identificare e confrontare gli impatti viene considerata solo la fase operativa del ciclo di vita. Le differenze sono legate al consumo di energia e di carburante da parte dei sistemi energetici delle serre durante il loro funzionamento.

Per eseguire l'analisi è stato utilizzato il software SimaPro.

Categorie di impatto

Le norme ISO definiscono le specifiche categorie di impatto che descrivono i carichi ambientali. Le principali categorie di impatto considerate nella LCA sono:

- **Potenziale di depauperamento abiotico** – riferito al consumo di risorse non biologiche come combustibili fossili, minerali, metalli, acqua, ecc. Indica la diminuzione di tali risorse. La categoria è espressa in unità MJ per i combustibili fossili e in kg di antimonio (Sb) equivalente per gli altri minerali.
- **Cambiamento climatico/potenziale riscaldamento globale** – definita come la variazione della temperatura globale causata dall'effetto serra provocato dal rilascio di "gas serra" da parte delle attività umane.
- **Potenziale di riduzione dello strato di ozono** – degrado dello strato di ozono stratosferico dovuto alle emissioni antropogeniche di sostanze che riducono lo strato di ozono. Può causare un aumento dei raggi ultravioletti UV-B e un numero di casi di malattie della pelle.
- **Potenziale di tossicità per l'uomo** – un indice calcolato che riflette il danno potenziale di un'unità di sostanze chimiche rilasciate nell'ambiente e si basa sia sulla tossicità intrinseca di un composto che sulla sua dose potenziale. Questi sottoprodotti, principalmente arsenico, bicromato di sodio e acido fluoridrico, sono causati, per la maggior parte, dalla produzione di energia elettrica da fonti fossili.
- **Potenziale di ecotossicità acquatica dell'acqua dolce** – gli effetti tossici delle sostanze chimiche sugli ecosistemi, in questo caso nell'acqua dolce, causando la perdita di biodiversità e/o l'estinzione delle specie.
- **Potenziale di ecotossicità acquatica marina** – gli effetti tossici delle sostanze chimiche sugli ecosistemi dei bacini marini, che causano la perdita di biodiversità e/o l'estinzione delle specie.
- **Potenziale di ecotossicità terrestre** – gli effetti tossici delle sostanze chimiche sugli ecosistemi terrestri, che causano la perdita di biodiversità e/o l'estinzione delle specie.
- **Potenziale di ossidazione fotochimica (potenziale di creazione di ozono fotochimico)** – definisce il potenziale di creazione del tipo di smog creato dall'effetto della luce solare, del calore e dei composti organici volatili non metanici (COVNM) e degli ossidi di azoto (NO_x).
- **Potenziale acidificazione** – riduzione del pH dovuta agli effetti acidificanti delle emissioni antropiche. È legato alle emissioni di gas come NH₃, NO_x e SO_x, che si mescolano con l'acqua nell'atmosfera e provocano piogge acide che aumentano l'acidità dell'acqua e del suolo.

- **Potenziale di eutrofizzazione** – definisce il potenziale di accumulo di nutrienti nei sistemi acquatici. Gli indicatori di impatto sono l'aumento della concentrazione di azoto e fosforo e la formazione di biomassa (ad esempio alghe).

Inventario del ciclo di vita – Serra svizzera

La serra Meyer Orchideen è il dimostratore di TheGreefa, dove il sistema in scala reale è implementato e in funzione. Nella serra della Meyer Orchideen AG in Svizzera, vicino all'aeroporto di Zurigo, è stato dimostrato il controllo dell'umidità, il riscaldamento e il raffreddamento di TheGreefa in un unico sistema attraverso un unico process.



Figura 52. La serra di Meyer Orchideen.

La serra analizzata ha una superficie di 600 m², dove sono implementate 9 unità di condizionamento (assorbitori), ciascuna della potenza di 8 kW come capacità termica/frigorifera, ciascuna fornendo circa 50 m² di tavoli di piantumazione.



Figura 53. L'unità di assorbimento (a sinistra) e i tavoli per la semina (a destra) nella serra in Svizzera.

Il TCF utilizzato nel progetto è MgCl₂. Tutti i 9 impianti sono serviti da desorbitorie installato all'esterno della serra. I sistemi energetici sono integrati con il sistema rinnovabile della serra, comprendente caldaia a legna, pompa di calore acqua di falda, pannelli fotovoltaici e acqua di pozzo.

L'energia solare viene utilizzata per la rigenerazione del TCF e vengono installati depositi tampone per immagazzinare il TCF diluito e concentrato.

I dati raccolti per la valutazione ambientale avrebbero dovuto consentire di confrontare gli impatti come gli impatti ambientali o gli impatti sulla salute umana tra la serra di 600 m² che funziona senza il sistema TheGreefa e con il sistema implementato in un periodo di 15 anni. L'analisi è stata eseguita per un'unità di riferimento pari a 1 ettaro della serra analizzata. Pertanto, gli input raccolti hanno richiesto un ricalcolo per un'area di 1 ettaro e per il periodo di tempo progettato.

L'attenzione si è concentrata sugli input che consentono di confrontare l'efficienza energetica della serra, considerando l'elettricità, l'acqua e i combustibili utilizzati. La maggior parte dell'acqua nella serra viene utilizzata in un ciclo chiuso o recuperata dalle precipitazioni. Nell'analisi è stata inclusa l'acqua necessaria per il processo di raffreddamento.

Nella Tabella 21 sono presentati i primi dati forniti dall'Università di Scienze Applicate di Zurigo, con l'aiuto dei quali IZNAB ha effettuato ulteriori calcoli, come la determinazione della quantità in peso di carburanti, il numero di trasporti. Questi dati erano necessari per l'analisi con il software SimaPro. Oltre al database SimaPro, nell'analisi è stato utilizzato il database Ecoinvent per fornire gli input e gli output necessari nei processi tecnologici del ciclo di vita della serra.

Tabella 21. Dati sul consumo energetico e di carburante raccolti nella serra svizzera.

	1 season for 600 m ² greenhouse		1 season for 1 ha greenhouse	
	Standard greenhouse	TheGreefa system	Standard greenhouse	TheGreefa system
Electricity consumption (pumps, fans and heat pump)	43 178.69 kWh	39 945.54 kWh	719 645 kWh	665 792 kWh
Oil consumption	1 350 kWh	320 kWh	22 500 kWh	5 333 kWh
Wood consumption	228 150 kWh	54 080 kWh	3 802 500 kWh	901 333 kWh
Water consumption	0 m ³	23 m ³	0 m ³	383.3 m ³

Inventario del ciclo di vita – Serra italiana

Il caso successivo è il sistema serricolo italiano di Sfera Agricola che rappresenta il sistema ad alta tecnologia e uno dei nuovi metodi di produzione agricola di alta qualità. Eseguo un caso di studio sul recupero dell'acqua e sull'efficienza energetica nelle serre. La serra si trova nel sud della Toscana in Italia.

Il caso studio dell'azienda Sfera rappresenta un esempio ideale delle sfide dell'agricoltura mediterranea intensiva e di alta qualità, in particolare negli importanti ambiti problematici dell'efficienza idrica ed energetica. La serra ha assunto il ruolo di caso studio nel progetto TheGreefa. Lo scopo delle attività di case study è quello di analizzare i dati raccolti durante l'anno, in funzione delle variazioni climatiche e delle esigenze colturali della serra, per definire le migliori esigenze progettuali per ridurre ulteriormente i costi energetici e migliorare qualità e produttività.

I dati raccolti per la valutazione ambientale sono risultati di simulazioni eseguite dai partner del progetto TheGreefa. I dati rappresentano un'intera stagione di funzionamento di 1 ettaro di serra.



Figura 54. La serra di Sfera Agricola – sistema tetto (in alto a sinistra), sistema di riscaldamento a tubazioni (in alto a destra) e le piante di pomodoro con sensori (in basso).

Il calore nella serra è fornito da caldaie a legna e gasolio. L'impianto ha una potenza di 7 000 kW. Le principali tipologie di legname utilizzate come combustibile sono l'abete, il pino, il leccio e il castagno. Il consumo di olio è di ca. 600 l/ora. Il sistema di riscaldamento consuma circa il 28% dell'elettricità utilizzata dalla serra, principalmente per le apparecchiature ausiliarie, come le pompe.

Tabella 22. Dati sui consumi energetici e di carburante raccolti nella serra italiana.

	Standard system	TheGreefa
Heating season	1 year for 1 ha greenhouse	
Electricity	90 330 kWh	99 363 kWh
Oil	34 350 l	27 480 l
Wood	631 t	505 t

Valutazione del ciclo di vita

Entrambe le serre sopra menzionate sono state valutate considerando due scenari:

- Scenario 1_Serra esistente (prima della modernizzazione). L'analisi del ciclo di vita della serra è stata effettuata prima dell'implementazione del sistema TheGreefa.
- Scenario 2_Serra adattata (dopo la modernizzazione). L'analisi del ciclo di vita della serra è stata effettuata dopo l'implementazione del sistema TheGreefa.

La serra svizzera

Innanzitutto vengono presentati i risultati della valutazione ambientale per la serra svizzera. Eseguendo il calcolo LCA utilizzando la metodologia di base CML-IA, i risultati vengono forniti per le principali categorie di impatto. In ciascuna categoria si può osservare l'impatto positivo dell'implementazione del sistema TheGreefa nella serra – più basso o più alto. La riduzione degli impatti in caso di funzionamento del sistema TheGreefa può arrivare dal 37% fino al 76%.

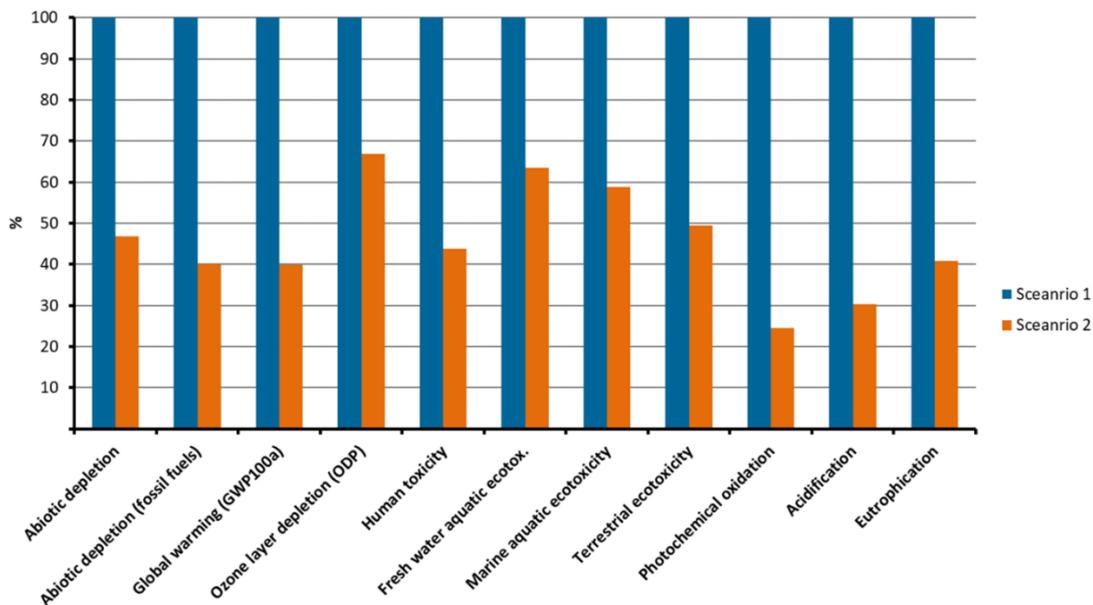


Figura 55. Valutazione ambientale: dimostratore svizzero – Scenario 1 e Scenario 2 a confronto (SimaPro 8.3.0). Metodo: CML-IA baseline V3.04 / EU25 / Caratterizzazione per categorie di impatto.

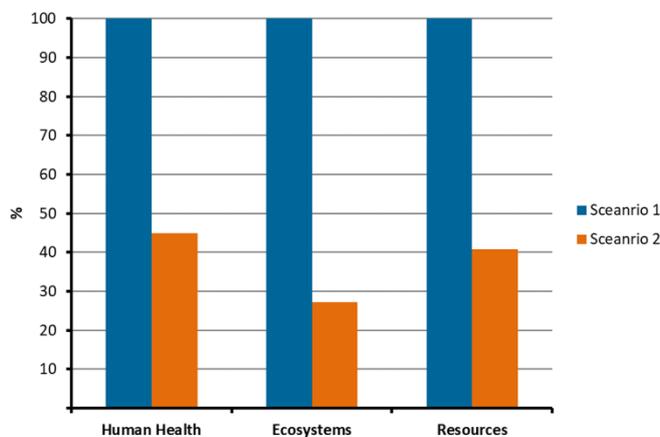


Figura 56. Confronto della valutazione dei danni: dimostratore svizzero – Scenario 1 e Scenario 2. Metodo: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europa ReCiPe E/A.

Per una migliore presentazione è stata eseguita un'altra analisi utilizzando la metodologia europea ReCiPe Endpoint. Presenta gli impatti raggruppati in 3 fattori principali: salute umana, ecosistemi e utilizzo delle risorse.

Sulla base dei risultati ottenuti, 15 anni di funzionamento del sistema TheGreefa nella serra svizzera potrebbero comportare ca. Riduzione del 55% degli impatti sulla salute umana, riduzione del 60% in caso di esaurimento delle risorse e ca. Riduzione del 73% degli impatti sugli ecosistemi.

Le fasi operative confrontate per entrambi gli scenari e i loro impatti ambientali sono principalmente dominati dall'energia consumata nella serra in diverse forme: elettricità e calore.

Un altro modo di presentare i benefici ambientali è nello specifico l'analisi della categoria Potenziale di Riscaldamento Globale espressa in equivalenti di kg di CO₂ emessi. In termini di CO₂, in 15 anni la tecnologia TheGreefa consentirà di risparmiare 2.680 tonnellate di emissioni di CO₂ da 1 ettaro di serra. In termini percentuali si ottiene una riduzione del potenziale di riscaldamento globale di circa il 60%. Tuttavia, la massa di CO₂ e la percentuale dovrebbero anche chiarire cos'è una coltivazione industriale intensiva in serra.

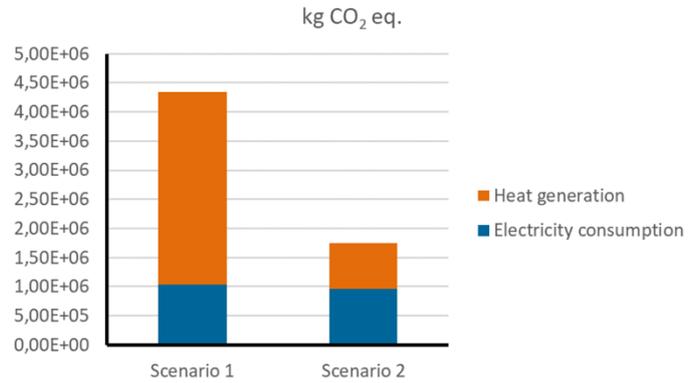


Figura 57. Potenziale di riscaldamento globale (GWP) del dimostratore svizzero in entrambi gli scenari.

La serra italiana

Ora, passando al caso italiano, utilizzando la metodologia di base CML-IA, analogamente a quanto fatto per il dimostratore svizzero, in ciascuna categoria si può osservare l'impatto positivo dell'implementazione del sistema TheGreefa nella serra anche per il caso studio italiano. Tuttavia, nella serra italiana la riduzione degli impatti è meno visibile nel grafico, in quanto per ciascuna categoria la riduzione varia tra il 10-20%.

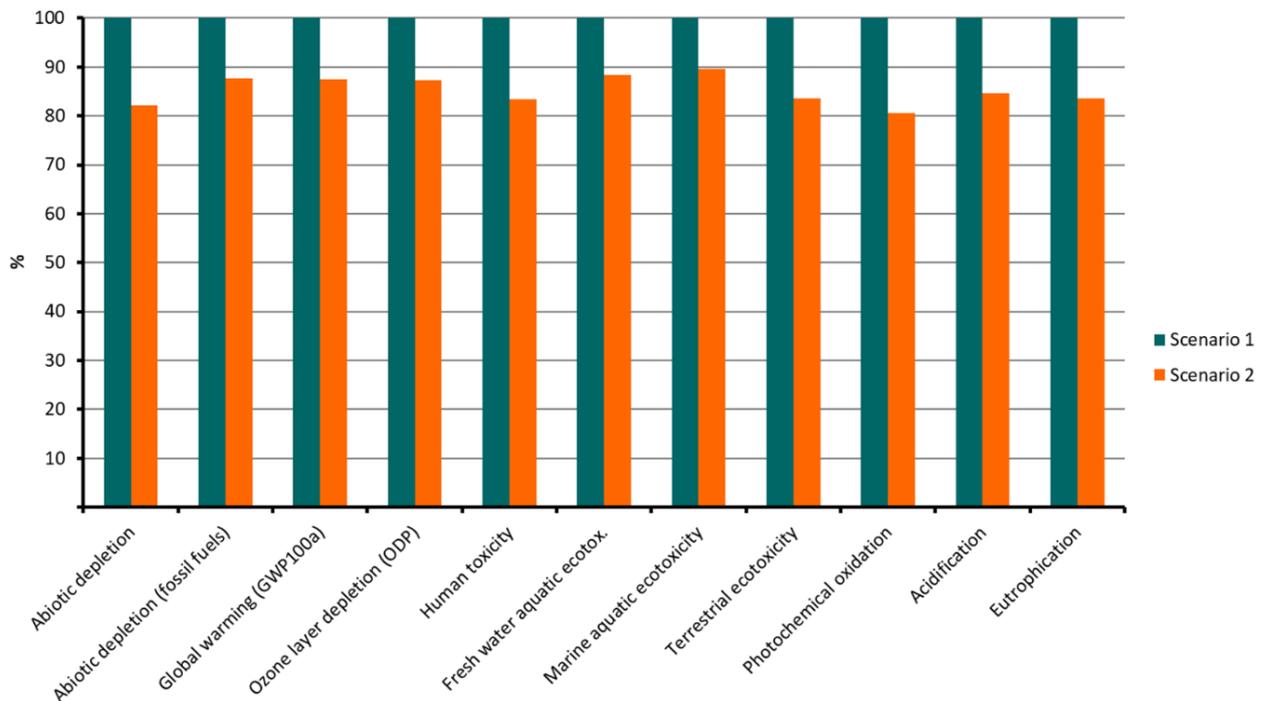


Figura 58. Valutazione ambientale: caso studio italiano – Scenario 1 e Scenario 2 a confronto (SimaPro 8.3.0). Metodo: riferimento LMC-IA V3.04/EU25.

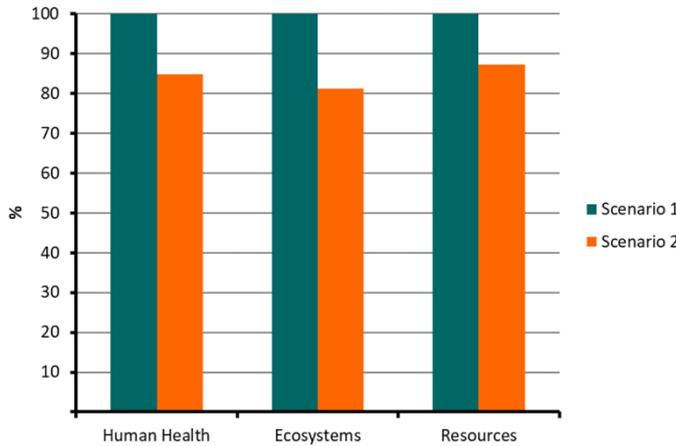


Figura 59. Confronto della valutazione dei danni: caso studio italiano – Scenario 1 e Scenario 2. Metodo: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europa ReCiPe E/A.

Using the European ReCiPe Endpoint methodology, 15 years of TheGreefa system operation in the Italian greenhouse may result in approx. 15% reduction in the human health impacts, 13% reduction in case of the resources depletion and approx. 19% reduction of the impacts on ecosystems.

Anche in questo caso gli impatti ambientali sono dominati principalmente dall'energia consumata nella serra sotto diverse forme – elettrica e termica.

In termini di risparmio di CO₂, la tecnologia TheGreefa consentirà di risparmiare oltre 362 tonnellate di emissioni di CO₂ da 1 ettaro di serra in 15 anni di funzionamento. In percentuale, dà una riduzione del potenziale di riscaldamento globale di quasi il 13%.

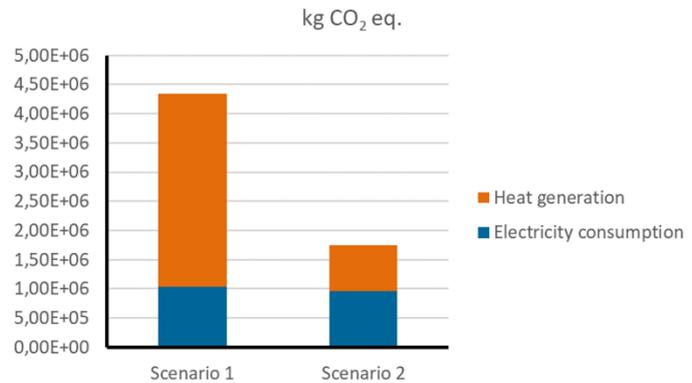


Figura 60. Potenziale di riscaldamento globale (GWP) del caso studio italiano in entrambi gli scenari.

4.2. Impatto economico

L'impatto economico di TheGreefa è stato analizzato nella valutazione tecnicoeconomica effettuata sul sistema di climatizzazione interna. Lo studio è stato eseguito in stretta relazione alla valutazione ambientale presentata nella **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..** Nello studio economico sono stati utilizzati gli stessi dati sull'energia e sui combustibili consumati nelle serre TheGreefa, considerando inoltre anche le informazioni sui costi relativi all'energia e ai combustibili. I risultati dello studio avrebbero dovuto essere la stima del possibile ritorno dell'investimento nel periodo per l'implementazione del sistema TheGreefa, nonché il costo adeguato del sistema stesso che offre un ritorno dell'investimento accettabile. Un altro risultato dell'analisi è la valutazione della fattibilità dell'implementazione del sistema nelle serre in diverse zone climatiche

L'esecuzione dei calcoli per una serra per due scenari offre un risparmio sui costi annuali di una serra confrontando il funzionamento della serra con e senza il sistema TheGreefa. Per confrontare le serre del progetto, i dati raccolti sono stati elaborati per il confronto di 1 ettaro di superficie delle serre.

La raccolta dati era disponibile per un dimostratore TheGreefa – la serra di Meyer Orchideen in Svizzera, e un caso studio – la serra di pomodori di Sfera Agricola in Italia.

Input di costo per la valutazione economica

I dati ambientali utilizzati per lo studio sono già stati presentati nella sezione precedente. Di seguito vengono presentati i dati raccolti sui costi.

La serra svizzera

L'energia termica per la serra viene fornita da un'azienda esterna. Il proprietario della serra paga i prezzi per l'energia fornita, come segue: 96 €/MWh di calore dal petrolio e 45,12 €/MWh di calore dal legno. Il costo dell'elettricità è di 197,76 €/MWh.

I dati raccolti per la valutazione avrebbero dovuto consentire di confrontare gli impatti economici tra la serra di 600 m² funzionante senza il sistema TheGreefa e con il sistema implementato in un periodo di funzionamento a lungo termine. L'analisi è stata eseguita per i 600 m², nonché per un'unità di riferimento di 1 ettaro della serra analizzata. Pertanto, gli input raccolti hanno richiesto un ricalcolo per un'area di 1 ettaro.

In termini di costi di investimento relativi all'implementazione del sistema TheGreefa nella serra svizzera, il costo è stato di 153.600 euro. Suddividendo questo costo in costo dei materiali e manodopera, il rapporto è stimato essere 50/50. In Svizzera, il costo della manodopera utilizzata nello studio è di 120 €/ora. Il costo dell'investimento rappresenta l'implementazione del sistema nella serra di 600 m².

Tabella 23. Input stagionale per la serra svizzera – 600 m².

	Serra standard	Costo	Sistema TheGreefa	Costo
Consumo di elettricità (pompe, ventilatori e pompa di calore)	43,18 MWh	€8 539,02	39,95 MWh	€7 900,03
Consumo di olio	1,35 MWh	€129,60	0,32 MWh	€30,72
Consumo di legno	228,15 MWh	€10 294,13	54,08 MWh	€2 440,09

Tabella 24. Costo di implementazione del sistema TheGreefa nella serra svizzera di 600 m².

Costo dei materiali	€76 800,00
Costo della manodopera	€76 800,00
Costo totale dell'investimento	€153 600,00

Come accennato, per poter confrontare i risultati dello studio con la serra italiana da 1 ettaro, i costi e i consumi di energia e combustibili sono stati calcolati per 1 ettaro. Quindi il costo dell'investimento è di 2 560 000 euro.

Tabella 25. Input stagionale per la serra svizzera – 1 ha.

	Serra standard	Costo	Sistema TheGreefa	Costo
Consumo di elettricità (pompe, ventilatori e pompa di calore)	719,65 MWh	€142 317,98	665,79 MWh	€131 666,63
Consumo di olio	22,50 MWh	€2 160,00	5,33 MWh	€511,68
Consumo di legno	3 802,50 MWh	€171 568,80	901,33 MWh	€40 668,01

Tabella 26. Costo stimato per l'implementazione del sistema TheGreefa nella serra svizzera di 1 ettaro.

Costo dei materiali	€1 280 000,00
Costo della manodopera	€1 280 000,00
Costo totale dell'investimento	€2 560 000,00

La serra italiana

Il calore nella serra è fornito da caldaie a legna e gasolio. L'impianto ha una potenza di 7 000 kW. Le principali tipologie di legname utilizzate come combustibile sono l'abete, il pino, il leccio e il castagno. Il consumo di olio è di ca. 600 l/ora. Il sistema di riscaldamento consuma circa il 28% dell'elettricità utilizzata dalla serra, principalmente per le apparecchiature ausiliarie, come le pompe. I costi unitari dell'energia e dei combustibili forniti da Sfera sono: 0,22 € per 1 kWh di energia elettrica, 1,05 € per 1 litro di gasolio e 75 € per 1 t di legna. Il costo annuo stimato per il trasporto dei carburanti è di 5 000 euro.

Tabella 27. Input stagionale per la serra italiana – 1ha.

	Serra standard	Costo	Sistema TheGreefa	Costo
Elettricità	90 330 kWh	€19 872,60	99 363 kWh	€21 859,86
Olio	34 350 l	€36 067,50	27 480 l	€28 854,00
Legno	631 t	€47 325,00	505 t	€37 860,00

Per quanto riguarda il costo dell'investimento, è stato stimato in base al costo della serra svizzera. È stato utilizzato lo stesso rapporto tra materiali e costi di manodopera. In termini di costo della manodopera, in Italia è più economico che in Svizzera, ed è pari a 40€/ora. Come base di calcolo sono stati presi 2.560.000 € del costo di investimento per 1 ettaro di serra svizzera. Il costo della manodopera ammonta a circa 426.600 €. Includendo i materiali, il valore totale del costo di investimento per la serra italiana è di 1.706.600 euro.

Tabella 28. Costo stimato di implementazione del sistema TheGreefa nella serra italiana da 1 ettaro.

Materials cost	€1 280 000.00
Labour cost	€426 000.00
Total investment cost	€1 706 600.00

Valutazione tecnoeconomica

Per poter eseguire la valutazione tecnoeconomica dell'implementazione del sistema TheGreefa, le due serre sono state analizzate in due scenari:

- Sistema standard – L'attività della serra prima dell'implementazione del sistema TheGreefa.
- Sistema TheGreefa – Implementazione del funzionamento della serra con il sistema di controllo climatico TheGreefa.

La serra svizzera

Il rendimento della simulazione del periodo di investimento è stato calcolato considerando le spese annuali del funzionamento della serra (sistemi energetici) con il sistema standard e con il sistema TheGreefa. Il risparmio sui costi annuali calcolato ammonta a 8 591,91 EUR. Sulla base della simulazione e considerando il costo dell'investimento di 153 600 euro, il periodo di ritorno dell'investimento è di 18 anni. Tale periodo di tempo è accettabile e previsto sia dal proprietario della serra Meyer, sia dall'Ufficio federale dell'energia svizzero che collabora alla dimostrazione della serra svizzera.

Il periodo di ritorno dell'investimento ottenuto è accettabile per il proprietario della serra. Tuttavia, nello studio di mercato del progetto TheGreefa, è stato identificato che il tempo più atteso e accettabile per la maggior parte delle serre è di 7-10 anni. Nella Figura 61 di seguito vengono presentati i risultati della simulazione in cui sono stati controllati i valori degli altri costi di investimento e il relativo rendimento dei periodi di investimento.



Figura 61. Simulazione del periodo di ritorno dell'investimento per diversi costi di investimento – Serra svizzera da 600 m².

L'obiettivo è trovare quale dovrebbe essere il costo dell'investimento per soddisfare l'intervallo menzionato del tempo previsto per il rendimento dell'investimento. Il valore iniziale è di 153.600 euro considerando il periodo di 18 anni. Limitando il costo a 110.000 euro, il ritorno dell'investimento può essere raggiunto in 13 anni. Tuttavia, solo se il costo è quasi 2 volte inferiore al valore iniziale (85.000 euro) si raggiunge il tempo previsto di 10 anni.

A scopo comparativo la simulazione è stata eseguita anche per una serra svizzera di 1 ettaro. Il costo di investimento stimato per questo caso è di 2 560 000 euro. Anche in questo caso il periodo di ritorno dell'investimento è di 18 anni.

La serra italiana

Il rendimento della simulazione del periodo di investimento è stato calcolato considerando le spese annuali del funzionamento della serra (sistemi energetici) con il sistema standard e con il sistema TheGreefa. Il risparmio sui costi annuali calcolato ammonta a 14.691,24 €. Sulla base della simulazione e considerando il costo dell'investimento di 1 706 600 €, il ritorno dell'investimento su un periodo di 100 anni. Un periodo così lungo è totalmente inaccettabile e irraggiungibile nella vita reale. Il lungo periodo è causato da un risparmio di costi proporzionalmente ridotto rispetto alla serra svizzera analizzata in precedenza. Nel caso del sistema di controllo del clima interno per le serre nel progetto TheGreefa, l'obiettivo è ridurre le perdite di calore e ridurre il consumo di elettricità e combustibili per soddisfare la domanda di calore della serra. Maggiore è la richiesta di calore della serra, maggiore sarà il risparmio derivante dall'implementazione del sistema. È stato identificato durante l'analisi delle serre svizzere e italiane, la domanda di calore del caso italiano è 10 inferiore a quella del caso svizzero. La differenza è ovviamente causata dalla posizione in zone climatiche diverse. La proporzione è visibile anche confrontando il risparmio sui costi. Per 1 ettaro di serra in Svizzera il risparmio sui costi è di 143.200,46 euro all'anno, mentre per 1 ettaro di serra italiana è di soli 14.691,24 euro.

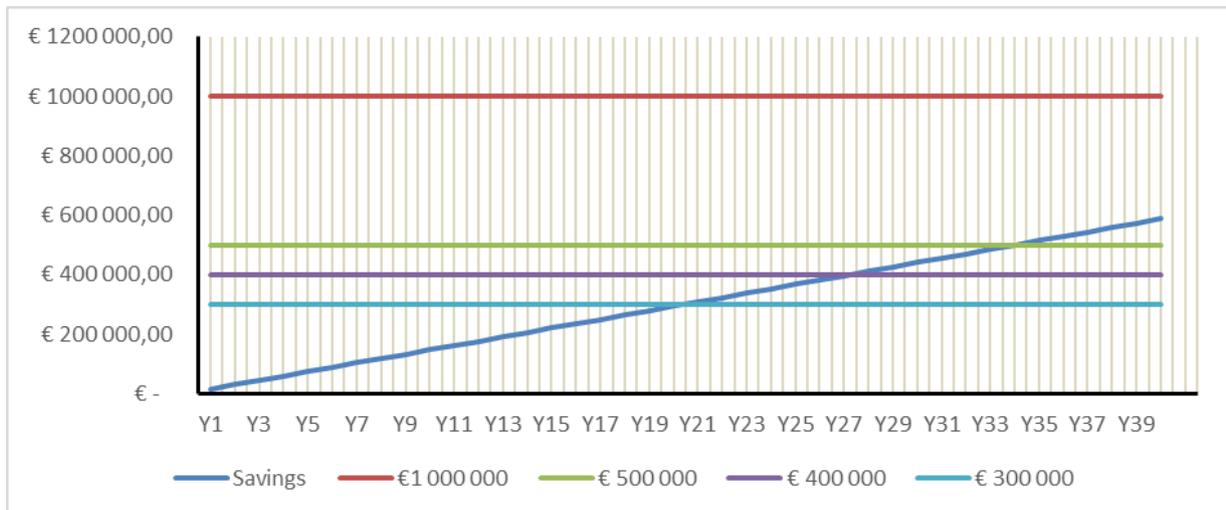


Figura 62. Simulazione del periodo di ritorno dell'investimento per diversi costi di investimento – 1 ha di serra italiana.

La simulazione è stata eseguita anche per vedere quale dovrebbe essere il costo del sistema per avere un ritorno dell'investimento paragonabile a quello della serra svizzera. I risultati presentati nella Figura 62 mostrano solo se il costo di implementazione del sistema è di € 300.000, quindi il periodo di ritorno dell'investimento è di 21 anni. Tuttavia, per ora non è possibile raggiungere tale costo per una serra di 1 ettaro.

4.3. Conclusioni

I risultati ottenuti nell'analisi del ciclo di vita (LCA) presentata hanno dimostrato che l'uso della nuova tecnologia TheGreefa nelle serre contribuisce a ridurre visibilmente gli impatti ambientali delle operazioni in serra. Il riscaldamento, il raffreddamento e il controllo dell'umidità sono processi ad alto consumo energetico nel funzionamento della serra. La produzione di calore e il consumo di elettricità sono responsabili della maggior parte dei carichi ambientali. Pertanto, l'implementazione di miglioramenti in questi aspetti è la giusta chiamata che può aiutare a raggiungere gli obiettivi climatici dell'UE riducendo l'uso di elettricità e risorse naturali.

Inoltre, le minori emissioni di gas serra (risparmio di CO₂) non sono gli unici vantaggi derivanti dall'implementazione del sistema TheGreefa. Naturalmente sono responsabili del cambiamento climatico. Ma ci sono altri aspetti in cui TheGreefa apporta miglioramenti nel lungo periodo di attività. Riducendo notevolmente fattori quali la tossicità umana o i potenziali di ossidazione fotochimica, l'uso del nuovo sistema può comportare una riduzione dal 20% a oltre il 50% dell'impatto negativo complessivo sulla salute umana.

L'uso di risorse come legno e petrolio, o anche gas naturale, è inferiore, ma può essere ridotto ulteriormente quando nei sistemi energetici delle serre vengono implementate più fonti di energia rinnovabile: pompe di calore, energia geotermica e altro.

La valutazione tecnicoeconomica ha dato risultati promettenti nel caso della serra svizzera del progetto TheGreefa situata nel clima del Medio Continente. Il costo di investimento per l'implementazione della tecnologia del progetto fornirà un ritorno stimato dell'investimento in un periodo di 18 anni. Se il costo di implementazione del sistema TheGreefa fosse inferiore di quasi la metà (85.000 € per una serra da 600 m² e 1.416.000 € per una serra da 1 ettaro), si potrebbe ottenere un ritorno dell'investimento in un periodo di 10 anni o inferiore.

Per quanto riguarda la serra italiana, lo studio ha dimostrato che il sistema TheGreefa con il suo costo attuale non può offrire un ritorno accettabile dell'investimento. La richiesta di calore della serra è troppo bassa per causare un risparmio di costi in grado di coprire i costi di implementazione del nuovo sistema.

Poiché il sistema TheGreefa non è ancora pronto per entrare nel mercato come prodotto, c'è ancora una possibilità e verranno fatti tentativi per ridurre il costo del sistema. Inoltre, si dovrebbe considerare di analizzare le possibili limitazioni in termini di requisiti delle serre in cui il sistema potrebbe essere implementato. In primo luogo, dovrebbe essere analizzata la domanda di calore della serra. Lo studio della serra svizzera può quindi essere utilizzato come base per la classificazione delle possibili opzioni di implementazione.

5. Aspetti e politiche sociali

Tenendo conto del campo di applicazione e dei vantaggi offerti dalla tecnologia proposta nel progetto, le raccomandazioni politiche dovranno basarsi sulla revisione di cinque aree fondamentali: agricoltura, energia, acqua, prodotti chimici e sicurezza alimentare. In questa presentazione, vedremo i principali documenti strategici e normativi in ciascuna di queste aree a livello europeo e poi, su tale base, identificheremo alcune raccomandazioni politiche che riteniamo possano facilitare l'implementazione della tecnologia proposta.

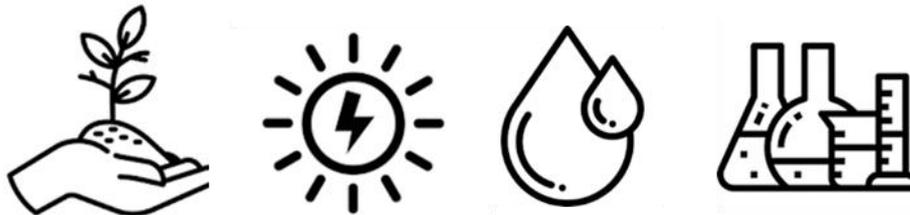


Figura 63. Principali aree su cui basare la revisione delle politiche: agricoltura, energia, acqua e prodotti chimici.

5.1. Quadro strategico europeo in agricoltura

Il cambiamento climatico e il degrado ambientale rappresentano una minaccia esistenziale per l'Europa e il mondo. Per superare queste sfide, il Green Deal europeo mira a trasformare l'UE in un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva, garantendo l'assenza di emissioni nette di gas serra entro il 2050, una crescita economica disgiunta dall'uso delle risorse e nessuna persona e nessun luogo lasciato indietro..

La strategia Farm to Fork è al centro del Green Deal europeo che mira a rendere i sistemi alimentari equi, sani e rispettosi dell'ambiente. Promuove un sistema alimentare più sostenibile e tra i suoi obiettivi principali rientra quello di garantire cibo a sufficienza, accessibile e nutriente, senza superare i limiti del pianeta.

Verrà avanzata una proposta per un quadro legislativo per i sistemi alimentari sostenibili per sostenere l'attuazione della strategia e lo sviluppo di una politica alimentare sostenibile.

La PAC 2023-27 è entrata in vigore il 1° gennaio 2023. I Piani approvati sono pensati per dare un contributo significativo alle ambizioni del Green Deal europeo, della strategia Farm to Fork e della strategia per la biodiversità, con la modernizzazione dell'agricoltura attraverso lo sviluppo di più pratiche agricole sostenibili, proteggendo la natura e combattendo il cambiamento climatico.

Tra gli strumenti che promuoveranno ulteriormente le pratiche agricole sostenibili in tutta l'UE, la futura PAC include la condizionalità, che collega i pagamenti della PAC per superficie e basati sugli animali a una serie di obblighi. Inoltre, introduce anche i nuovi "regimi ecologici" che mirano a premiare gli agricoltori che vanno oltre nell'attuazione di pratiche agricole sostenibili. Queste pratiche potrebbero includere l'implementazione di sistemi di produzione rispettosi dell'ambiente come l'agroecologia, l'agroforestazione e l'agricoltura biologica. Il quadro di sviluppo rurale comprende anche impegni di gestione ambientale e climatica, che mirano a compensare gli agricoltori e altri beneficiari per essersi impegnati volontariamente ad attuare pratiche sostenibili.

5.2. Quadro normativo europeo in materia di energia

La Direttiva 2023/1791 aumenta significativamente l'ambizione dell'UE in materia di efficienza energetica, rendendo vincolante per i paesi dell'UE garantire collettivamente un'ulteriore riduzione dell'11,7% del consumo energetico entro il 2030, rispetto alle proiezioni dello scenario di riferimento del 2020.

Inoltre, conferisce per la prima volta valore legale al “principio dell'efficienza energetica al primo posto”, in modo che debba essere preso in considerazione dai paesi dell'UE in tutte le politiche pertinenti e nelle principali decisioni di investimento prese nei settori energetico e non energetico. In effetti, un livello di ambizione più elevato richiede una maggiore promozione di misure di efficienza energetica economicamente vantaggiose in tutte le aree del sistema energetico e in tutti i settori rilevanti in cui l'attività influisce sulla domanda di energia, come l'agricoltura.

Inoltre, in base a questa direttiva rivista, i paesi dell'UE dovranno garantire un livello adeguato di competenza per i professionisti legati all'efficienza energetica, allineandoli alle esigenze del mercato e imponendo requisiti più chiari e più rigorosi per le competenze necessarie. Ciò include fornitori di servizi energetici, auditor energetici, gestori energetici e installatori.

Il regolamento (UE) 2017/1369 stabilisce un quadro che si applica ai prodotti o sistemi connessi all'energia immessi sul mercato o messi in servizio. Prevede la loro etichettatura e la fornitura di informazioni standard riguardanti l'efficienza energetica, il consumo di energia e di altre risorse durante l'uso e informazioni supplementari, consentendo così ai clienti di scegliere prodotti più efficienti per ridurre il proprio consumo energetico. Il suo articolo 7.2 stabilisce che laddove gli Stati membri concedono incentivi per un prodotto, devono puntare alle classi di efficienza energetica più elevate.

La nuova direttiva sulle energie rinnovabili aumenta la quota di energia rinnovabile nel consumo energetico complessivo dell'UE al 42,5% entro il 2030, con un ulteriore aumento indicativo del 2,5% per consentire il raggiungimento dell'obiettivo del 45%. Ogni Stato membro contribuirà a questo obiettivo comune.

Infine, dobbiamo citare la Raccomandazione della Commissione Europea del 14 marzo 2023 sullo stoccaggio dell'energia – Sostegno ad un sistema energetico dell'UE decarbonizzato e sicuro (2023/C 103/01) stabilisce un elenco di raccomandazioni per garantire una maggiore diffusione dello stoccaggio dell'energia.

5.3. Quadro normativo europeo in materia di acqua

La Direttiva Quadro sulle Acque riconosce che le acque nella Comunità sono sotto una pressione crescente a causa della continua crescita della domanda, e che è necessario raggiungere un'ulteriore integrazione della protezione e della gestione sostenibile delle acque nelle aree politiche comunitarie come l'agricoltura. Tenuto conto di ciò, promuove un uso sostenibile dell'acqua basato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili.

Il processo di pianificazione idrologica è cruciale per raggiungere questo obiettivo e si basa sulla pianificazione integrata della gestione delle risorse idriche per bacini o distretti idrografici. Gli Stati membri assicurano che per ciascun distretto idrografico interamente compreso nel loro territorio sia prodotto un piano di gestione dei bacini idrografici che renda compatibile il raggiungimento degli

obiettivi ambientali per i corpi idrici e gli ecosistemi associati con l'attenzione alle esigenze dei diversi usi di acqua, sia in quantità che qualità sufficienti.

Inoltre, deve essere stabilito un programma di misure per raggiungere gli obiettivi ambientali e gli Stati membri possono includervi misure di gestione della domanda, tra cui la promozione di una produzione agricola adattata, come le colture che richiedono scarse risorse idriche nelle aree colpite dalla siccità.

D'altro canto, bisogna fare riferimento al regime economico-finanziario dell'acqua, basato sul principio del recupero dei costi stabilito nella WFD (=il costo degli investimenti effettuati dalle autorità pubbliche per consentire la fornitura di acqua da parte dei privati viene recuperato attraverso il pagamento per l'utilizzo dell'acqua da parte dei diversi utenti finali) L'applicazione di questo principio deve avvenire in modo da favorire l'uso efficiente dell'acqua e, quindi, contribuire agli obiettivi ambientali perseguiti, con un adeguato contributo dei diversi usi, in secondo il principio "chi inquina paga" e considerando almeno l'approvvigionamento, gli usi agricoli e industriali. In base a questo principio, le pubbliche amministrazioni competenti devono stabilire meccanismi per trasferire i costi, che normalmente includono bonus per uso agricolo quando viene dimostrata l'applicazione di buone pratiche agricole.

5.4. Quadro normativo europeo nel settore chimico

I regolamenti REACH e CLP riguardano tutte le aziende che utilizzano sostanze chimiche nel corso delle proprie attività industriali o professionali (utilizzatori a valle), non solo quelle che producono o importano sostanze chimiche.

Secondo tali normative il cloruro di magnesio è una miscela non classificata come pericolosa, ma possiamo individuare i seguenti obblighi principali per l'utilizzo del cloruro di magnesio in agricoltura professionale in serra:

- Utilizzare la miscela solo in conformità con le misure di controllo dei rischi fornite con le informazioni ricevute dalla catena di fornitura
- Garantire che i lavoratori dispongano di informazioni adeguate sulla miscela

5.5. Conclusioni

Come abbiamo potuto verificare dall'analisi effettuata, la tecnologia proposta è strettamente in linea con le raccomandazioni strategiche e le normative che regolano le aree interessate dal progetto.

Tuttavia, possiamo identificare le seguenti raccomandazioni politiche per facilitare l'implementazione della tecnologia proposta dal progetto:

1. Garantire che i professionisti dedicati all'efficienza energetica conoscano la tecnologia proposta e comprendano i vantaggi che offre in termini di efficienza energetica, in linea con il nuovo mandato della Direttiva (UE) 2023/1791 del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 13 settembre 2023, sull'efficienza energetica, per garantire un livello adeguato di competenza per i professionisti legati all'efficienza energetica.
2. Adozione da parte della Commissione di un atto delegato conformemente all'articolo 17 del regolamento (UE) 2017/1369 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 4 luglio 2017, che

stabilisce un quadro per l'etichettatura energetica, al fine di integrare il presente regolamento stabilendo requisiti dettagliati relativi alle etichette per la tecnologia proposta, in modo che gli Stati membri possano fornire incentivi per essa secondo l'articolo 7.2.

3. Nei distretti idrografici colpiti dalla siccità, inserimento nel programma da parte degli Stati membri di misure di promozione delle colture che necessitano di poca acqua.
4. Considerazione della tecnologia proposta da parte delle autorità pubbliche competenti come una buona pratica agricola meritevole di un bonus nel regime economico e finanziario dell'acqua.
5. Formazione dei lavoratori sull'uso sicuro del cloruro di magnesio.

Riferimenti

Sito Web e Social Network



<https://thegreefa.eu>



<https://x.com/TheGreefa>



<https://www.linkedin.com/company/thegreefa/>



<https://www.youtube.com/@thegreefaprojekt>



https://zenodo.org/communities/thegreefa_h2020_project/



https://explore.openaire.eu/search/project?projectId=corda_h2020::0172da9ca5a679fbb4d0a5f045bd5029

I partner di TheGreefa e le persone coinvolte

Zurich University
of Applied Sciences



School of
Engineering

IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering

ZHAW

**Zurich University of Applied Sciences – Institute for Energy
Systems and Fluid Engineering**

Serena Danesi – Coordinatore del progetto

serena.danesi@zhaw.ch

Raphael Baumann

baap@zhaw.ch



WATERGY

Watergy GMBH

Martin Buchholz

martin.buchholz@watergy.de



TUB

The Technische Universität Berlin

Reiner Buchholz

reiner.buchholz@tu-berlin.de



INRGREF

**National research Institute of rural engineering, Water and
Forests**

Thameur Chaibi

thameurchaibi@gmail.com

Meriem Soussi

soussi.meriem@gmail.com



SFERA

Sfera società agricola srl

Claudio La Carbonara

claudio.lacarbonara@sferaagricola.it



HYPERBOREA

Hyperborea Srl

Norma Zanetti

n.zanetti@hyperborea.com



MEYER

Meyer Orchideen AG

Hanspeter Meyer

hanspeter.meyer@swissorchid.ch

STRANE

STRANE INNOVATION SA

Raphaël Hercelin

raphael.hercelin@strane-innovation.com

Nathalie Vallee

nathalie.vallee@strane-innovation.com

IZNAB

IZNAB SPOLKA Z OGRANICZONA ODPOWIEDZIALNOSCIA

Jakub Pluta

jakub.pluta@iznab.pl

UAL

Universidad de Almería

Francisco Domingo Molina Aiz

fmolina@ual.es

MAS

Moragues and Scade Abogados

Juan Luis Moragues

jlm@mas-abogados.com

Begoña Benito

bbg@grupomas.net

LUH

Leibniz Universität Hannover

Philipp Geyer

philipp.geyer@iek.uni-hannover.de



www.thegreefa.eu



“Questo progetto ha ricevuto finanziamenti dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell’Unione Europea ai sensi della convenzione di sovvenzione n. 101000801”