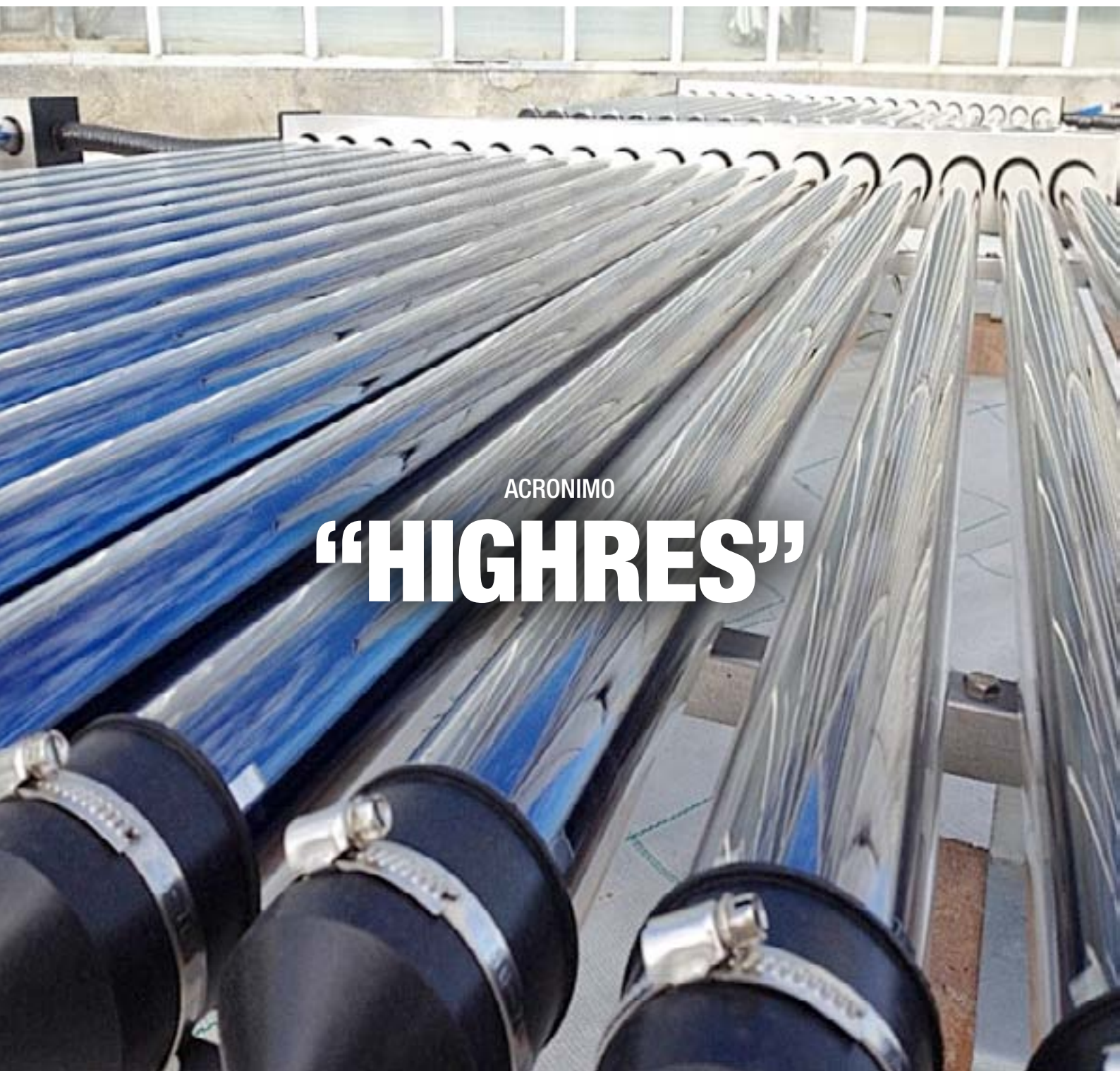


Programma Regionale di Sviluppo Rurale 2007-2013 - LIGURIA
Misura 111 - Azione "PROGETTI DIMOSTRATIVI"
"Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale: l'Europa investe nelle zone rurali"
PROGETTO DIMOSTRATIVO STRATEGICO

IMPIANTI DI RISCALDAMENTO AD ALTA EFFICIENZA PER LA COLTIVAZIONE DI SPECIE AD ALTO REDDITO IN AMBIENTE PROTETTO



ACRONIMO
"HIGHRES"

PREMESSA

I CONSUMI ELETTRICI IN AGRICOLTURA

In agricoltura i consumi elettrici riguardano diverse classi di impieghi:

- consumi generici (illuminazione della casa colonica, illuminazione delle aree di lavorazione e imballaggio dei prodotti, ...)
- consumi per l’approvvigionamento idrico (pompe per pozzi, impianti di distribuzione localizzata, ...)
- consumi per l’automazione degli apprestamenti protetti (aperture di ventilazione, impianti di ombreggiamento, ...)
- consumi per il funzionamento di impianti di riscaldamento
- consumi per accessori specifici (illuminazione suppletiva, tapis-roulants per la movimentazione dei vasi, sistemi di movimentazione di bancali mobili, ...)
- consumi per sistemi di gestione dell’impiantistica (computers, attuatori, ...)

A titolo di esempio facciamo un elenco dei consumi di una azienda ideale che produce fiori, o ortaggi in ambiente protetto:

- motoriduttori per apertura e chiusura delle aperture di ventilazione delle serre
- motoriduttori per la movimentazione degli ombreggi esterni e/o interni
- ventilatori interni
- termoventilatori per il riscaldamento o ventilatori scambiatori di calore
- celle frigorifere per la conservazione del prodotto pre-vendita
- movimentazione di bancali mobili
- compressore per aria compressa (per funzionamento sistema di sollevamento dei bancali mobili)
- movimentazione di tapis-roulants per lo spostamento dei vasi
- illuminazione delle aree di lavorazione
- illuminazione suppletiva
- funzionamento dei processori di gestione degli automatismi
- antifurto

Alcuni dei consumi citati sono molto limitati, altri decisamente più importanti e possono rappresentare una spesa molto rilevante. La spesa annuale in aziende di media superficie in Liguria (10.000 m2) può variare tra i 5.000 e 30.000 euro, a seconda della tipologia di impianti installati e dalla presenza di celle di condizionamento pre-vendita dei prodotti. Parte o tutti questi impianti che consumano energia elettrica possono essere alimentati a partire da fonti di energia ottenuta da fonti rinnovabili.

LA FORZATURA DELLE PIANTE: UN PROBLEMA CHE INTERESSA L'ORTICOLTURA E IL FLOROVIVAISMO

La forzatura delle colture, ovvero l'effetto di induzione dello sviluppo della pianta o di una delle fasi vegetative, rappresenta un problema energetico importante sia dal punto di vista tecnico, che da quello economico.

Il consumo di energia può essere opportunamente gestito e reso efficiente: importante è portare il calore dove effettivamente serve, evitando, o minimizzando, le dispersioni. Alfine di determinare il tipo di sistema di riscaldamento necessario alle esigenze dell'impresa agricola, occorre rispondere ad una domanda fondamentale: "il calore serve sempre e ovunque?"

La risposta dipenderà dal tipo di coltura che occorre far sviluppare in ambiente protetto. La risposta sarà "no" se verranno coltivate piante di piccola dimensione, in contenitore; la risposta sarà "si", se saranno prodotte piante di grande dimensione, capaci di occupare una parte importante del volume della serra (figura 1).



Figura 1. Semplice schema decisionale per definire il tipo di sistema di riscaldamento necessario.

SORGENTI DI CALORE

Un apprestamento protetto è bersaglio di diverse sorgenti di energia, e quindi di calore. Volendo semplificare, una serra può essere riscaldata da due fonti di calore principali:

- a. **irraggiamento solare**
questa fonte di energia porta al suolo, e quindi sulle coperture degli apprestamenti protetti, da 80-100 W/m² nelle giornate con copertura nuvolosa, a 1000-1050 W/m², durante le giornate soleggiate.
- b. **irraggiamento indotto**
l'irraggiamento indotto può essere generato da diversi tipi di impianti di climatizzazione, capaci di utilizzare differenti fonti di energia.

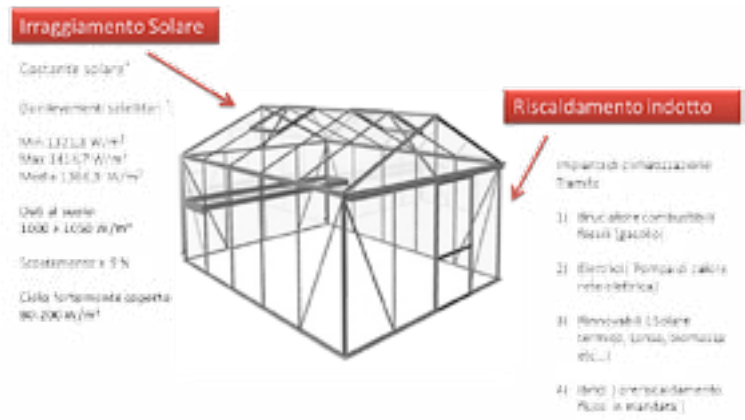


Figura 2. Principali sorgenti di irraggiamento

PERDITE DI CALORE

Le perdite di calore a cui è sottoposta una serra sono numerose e legate sia ai dati di progetto (forma della serra, capacità isolante dei vetri, numero, ampiezza e disposizione delle aperture, presenza di guarnizioni in tutte le giunzioni, tipo di telaio, materiale e posizionamento), sia dalle caratteristiche ambientali in cui la serra viene ad essere costruita (temperatura, umidità, velocità e direzione del vento, direzione dell'asse maggiore, ...). Convezione superficiale, irraggiamento infrarosso e

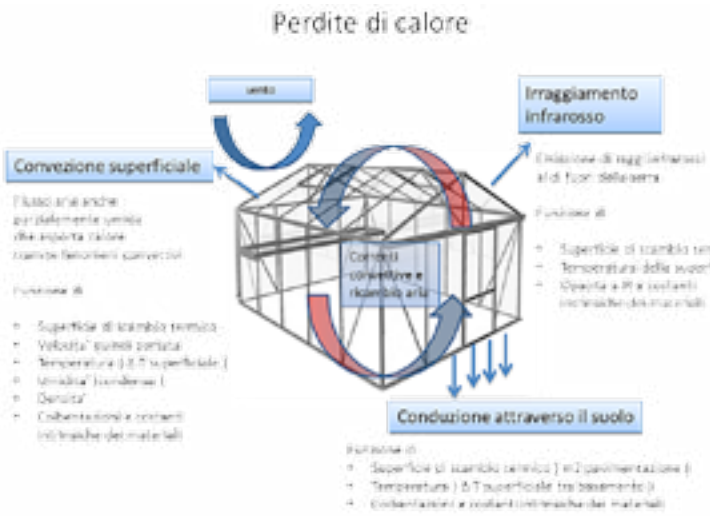


Figura 3. Tipologie di perdite di calore di un apprestamento protetto.

conduzione attraverso il suolo sono le principali perdite di calore della serra, sinteticamente rappresentate in figura 3.

In linea teorica, sarebbe possibile realizzare un sistema energetico in equilibrio se la differenza tra energia termica in ingresso e la somma di calore trattenuto dalla serra e energia termica in uscita fosse pari a zero. L'ideale sarebbe mantenere costanti l'energia termica in entrata e quella in uscita, al fine di evitare escursioni termiche all'interno della serra; tuttavia questo non è possibile, in quanto ogni sistema, quando non è un sistema ideale, è soggetto a perdite, che vanno compensate da input energetici ulteriori, che vanno a sommarsi a quelli già presenti. In figura 4 si riporta uno schema riassuntivo del bilancio energetico.

Dal punto di vista degli input energetici, l'ambiente naturale è fonte discontinua di energia. Essa, infatti, è legata all'irraggiamento solare, che, alle nostre latitudini, è variabile a seconda della stagione. In figura 5, a titolo esemplificativo, si riportano in forma grafica gli input energetici in un giorno medio di inizio primavera.

Come è possibile osservare, all'inizio del contributo dell'irraggiamento solare la temperatura ambientale della serra cresce rapidamente, fino ai valori massimi registrati entro un'ora dopo lo zenith solare. Dopo la fine del contributo dell'irraggiamento solare, la temperatura interna scende con regolarità e in maniera relativamente lenta, grazie al calore accumulato dall'aria interna e, soprattutto, dalle strutture, dalle piante e dal suolo. In figura 6 è riportato, sovrapponendo gli andamenti dell'irraggiamento solare e della temperatura ambientale, lo scostamento temporale tra l'input energetico e la sua conseguenza sulle variazioni termiche del sistema.

Inoltre, prima dell'input energetico legato all'irraggiamento solare e poco dopo il suo termine, viene a realizzarsi una zona che occorre compensare termicamente. Il valore della compensazione termica dipende dalle esigenze della coltura e dagli obiettivi produttivi dell'agricoltore. Nel caso preso ad esempio, si è ipotizzato di richiedere al sistema un salto termico pari a 10°C tra interno e esterno dell'ambiente.

Figura 6. Andamento delle temperature in serra in assenza di riscaldamento artificiale (Albenga, marzo 2014)

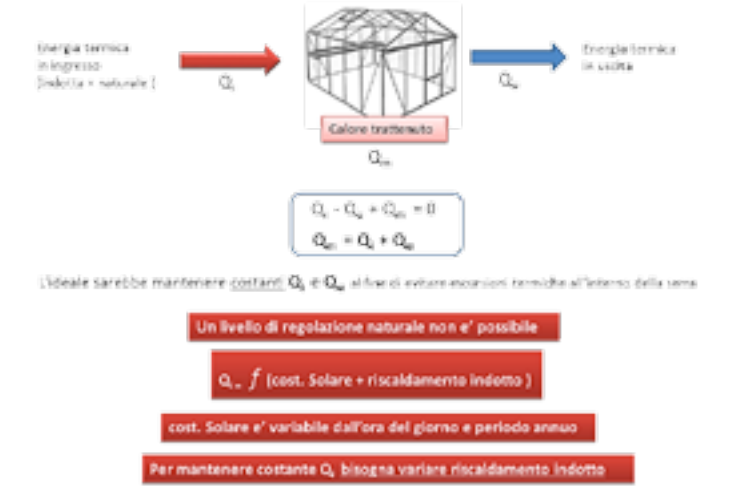


Figura 4. Schema riassuntivo del bilancio energetico di una serra

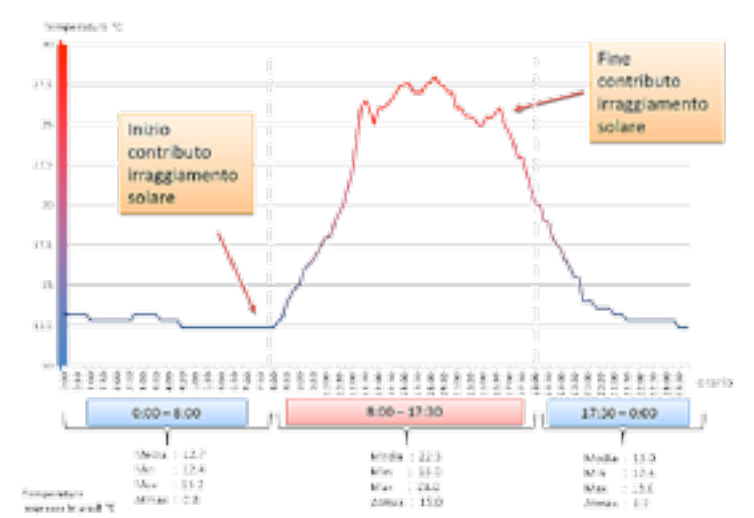
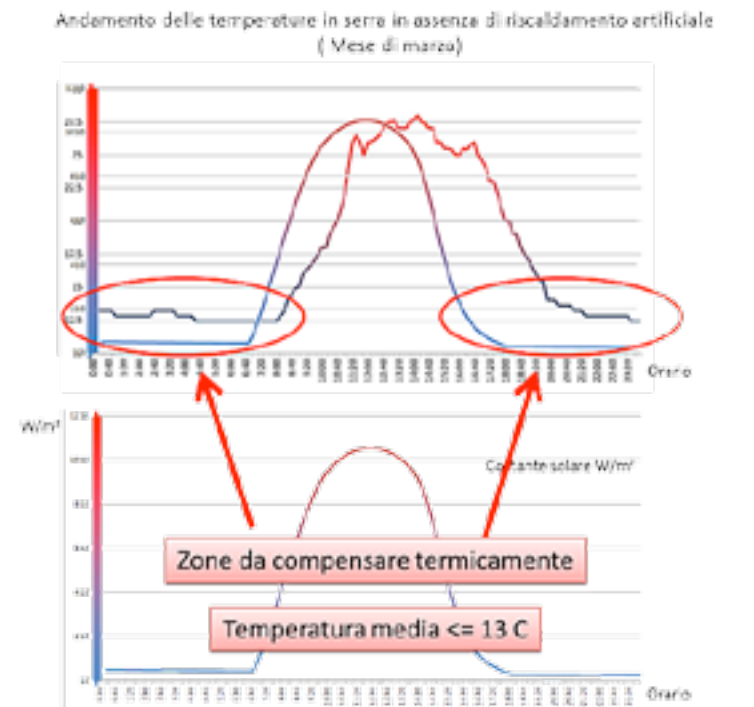


Figura 5. Andamento della temperatura in serra in relazione all'irraggiamento solare (Albenga, marzo 2014)



MODELLO DI CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA DI UNA SERRA GENERICA

Nel caso di una serra in vetro con superficie pari a 1.000 m² e altezza media 4 m (volume=4.000 m³), tenuto conto delle dispersioni e della necessità di realizzare un salto termico interno-esterno di 10°C, è possibile quantificare il fabbisogno di energia:

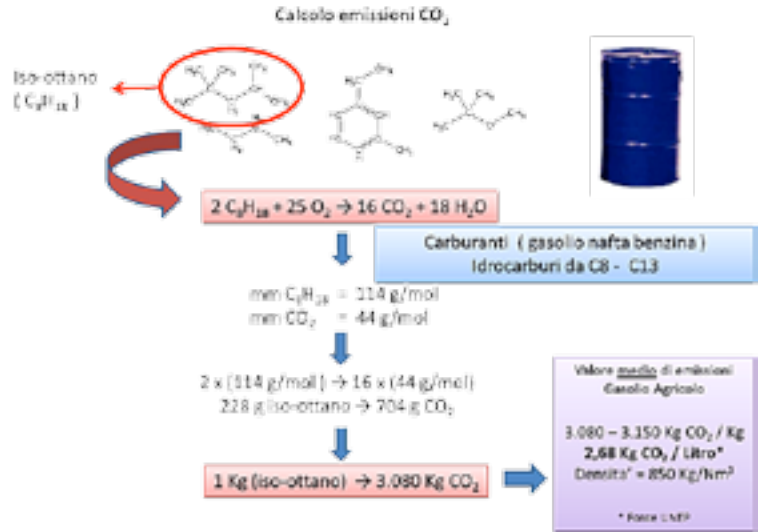
- Dati**
100 Kcal/m³ di volume di serra per il raggiungimento del set up termico
50 Kcal/m³ di volume di serra per il mantenimento del set up termico
Richiesta di energia: 400.000 Kcal per realizzare il salto termico globale
Carburante: 50 Kg/h gasolio per la messa a regime
25 Kg/h gasolio per il mantenimento

Ipotesi di fabbisogno termico giornaliero
1 ora di funzionamento per la messa a regime, pari a 50 Kg gasolio
4 ore di funzionamento il mantenimento, pari a 100 Kg gasolio
Totale consumi e costi (per 5 ore 10°C di salto termico serra 1000 m²):

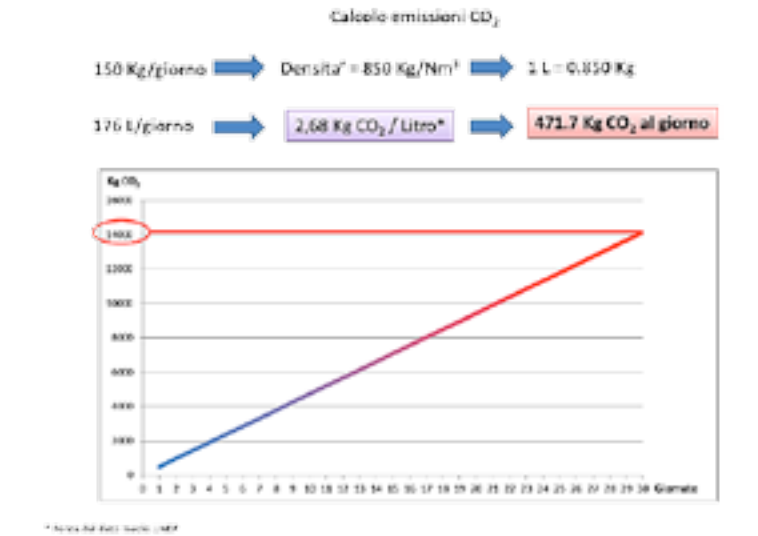


CALCOLO DELLE EMISSIONI DI CO2

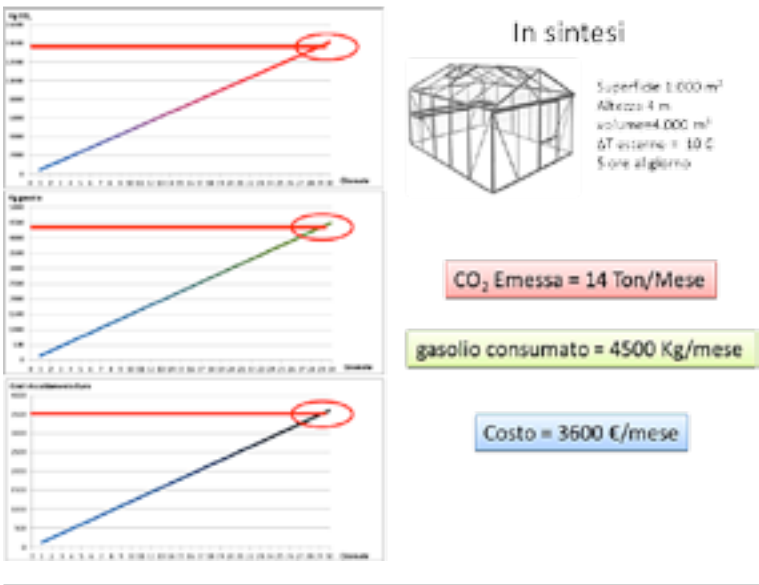
La stima delle emissioni di anidride carbonica nell'ambiente, conseguente all'impiego di combustibili fossili, può essere genericamente eseguita facendo riferimento al gasolio come combustibile di riferimento. Il gasolio, infatti, continua ad essere una delle fonti energetiche più largamente utilizzate in campo agricolo, anche se altre fonti, tra cui il metano, si stanno diffondendo. La stima, pertanto, viene calcolata sulla combustione dell'iso-ottano (C8 – C13) secondo il seguente schema riassuntivo:



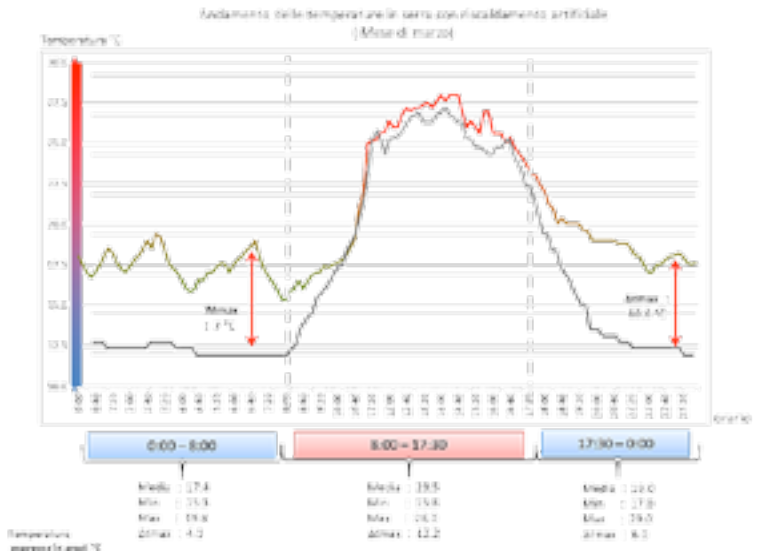
Tenendo conto del consumo medio giornaliero precedentemente stimato e della densità del gasolio, è possibile stimare, per il caso-studio in esame, la quantità di anidride carbonica prodotta:



In sintesi, tenuto conto della superficie della serra individuata per il caso-studio, del suo volume e del salto termico che si intende realizzare e mantenere, si ottiene la seguente stima della produzione mensile di CO₂, del consumo di gasolio e del costo mensile:



Dal punto di vista grafico, le variazioni termiche imposte al sistema-serra considerato e applicato nell'ambiente protetto individuato dal CeRSAA (serra 10-11-12) sono state le seguenti:



GLI IMPIANTI DIMOSTRATIVI INSTALLATI AL CERSAA NEL CORSO DELLA PROVA

Sul mercato esistono impianti di riscaldamento sottosuperficiale funzionanti mediante circolazione di acqua calda proveniente da riscaldatori (caldaie,...) che impiegano fonti di energia non rinnovabili. Allo stesso modo sul mercato sono disponibili impianti di riscaldamento solare termico utilizzati nell'edilizia civile e nelle applicazioni abitative. La novità introdotta dal progetto consiste nella combinazione di questi due tipi di impianto - compresa, quindi tutta la parte idraulica impiantistica e di controllo dei flussi di energia - in grado di produrre acqua calda, facendola circolare nell'impianto di riscaldamento sotto superficiale, a partire da fonte rinnovabile (impianto solare termico). L'impianto di riscaldamento radiante perimetrale (o a "battiscopa") rappresenta infine un'applicazione assolutamente innovativa, per quanto riguarda l'utilizzo in serra, che è stata recentemente introdotta all'interno di una serra pilota allestita presso le strutture del Cersaa. In tutti i casi, l'impianto solare-termico, in relazione al periodo dell'anno, alle condizioni climatiche e alle esigenze aziendali, può essere utilizzato per inviare calore direttamente agli impianti di riscaldamento, ovvero alla riserva idrica, ovvero alla caldaia. In quest'ultimo caso, l'acqua calda andrà ad innalzare il livello termico di partenza della stessa, riducendo il salto termico tra acqua fredda ed acqua calda inviata agli utilizzatori e riducendo, quindi, il quantitativo di energia da combustibile consumato nel processo di riscaldamento.

OBIETTIVI GENERALI DEL PROGETTO DIMOSTRATIVO

Il progetto dimostrativo è stato ideato e sviluppato al fine di verificare l'efficacia e l'efficienza di alcuni impianti di riscaldamento, già esistenti e disponibili sul mercato, ma utilizzati in maniera innovativa.

TIPOLOGIA DEGLI IMPIANTI SELEZIONATI

Tenendo conto delle indicazioni bibliografiche e di quelle fornite dai diversi costruttori, sono stati selezionati alcuni impianti potenzialmente interessanti per le applicazioni in campo agricolo e potenzialmente adatti al settore florovivaistico. Nel corso delle attività, sono state illustrate in maniera semplice, informata e concreta le possibilità applicative di questa tipologie di impianti, peraltro già utilizzati in altri Paesi europei. Obiettivo è stato anche quello di illustrare e dimostrare la competitività economica di queste soluzioni impiantistiche a fronte delle soluzioni convenzionali disponibili sul mercato. Si è potuto, infatti, dimostrare che l'uso, in sostituzione o in combinazione, di impianti di riscaldamento sottosuperficiali e di impianti di riscaldamento dell'acqua solare-termici può ridurre sia i costi di installazione di impianti termici che utilizzano fonti non rinnovabili, sia i conseguenti costi di gestione, quelli legati all'approvvigionamento dei carburanti e i costi ambientali.

1. Impianto di riscaldamento interrato.

Sul mercato esistono numerose tipologie di impianti di riscaldamento interrati; alcuni di questi sono realizzati disponendo tubetti di piccole dimensioni nel suolo a profondità comprese tra 10 e 20 cm, caratterizzati da semplicità di installazione e di rimozione al termine del periodo di utilizzo. Un impianto di questo tipo è stato appositamente realizzato dal CeRSAA per simularne due condizioni d'uso:

a. interramento a bassa profondità nel terreno all'interno di una serra:



Figura 7.
Impianto posto a terra prima del suo interrimento. È visibile la struttura del sistema a serpentina e del collegamento con i tubi di trasporto del calore.



Figura 8.
Impianto posto a dimora e coltivazione in atto

b. posizionamento su bancale sopraelevato:



Figura 9.
Impianto di riscaldamento posto su bancale secondo le due configurazioni sotto descritte.

Questi due impianti sono stati realizzati con un tubo in rame rivestito in materiale plastico che, rivestito ulteriormente con materiale isolante, è stato utilizzato per il trasferimento del calore. Privato dell'isolamento, invece, è stato utilizzato nelle zone di dissipazione. Come vettore del

calore è stata utilizzata acqua. L'impianto interrato è stato posto a circa 10 cm di profondità rispetto alla superficie del terreno. Pertanto, tale impianto è stato strutturato come un sistema di riscaldamento temporaneo, da rimuovere al termine del suo utilizzo e prima della lavorazione del terreno. Su bancale, il secondo impianto è stato posizionato sia in superficie al bancale stesso, direttamente a contatto con le piante allevate in vaso, sia "annegato" in uno strato di circa 5 cm di pomice, utilizzato per meglio realizzare il piano di appoggio per le piante in vaso. Le prove dimostrative di coltivazione sono state eseguite ponendo a confronto il risultato di sviluppo delle piante ottenibile da questi due sistemi di riscaldamento basale con quello ottenuto coltivando le piante in assenza di riscaldamento, ma poste nelle medesime condizioni ambientali.

A terra sono state coltivate piante aromatiche (basilico). La coltivazione è avvenuta a partire da piante trapiantate da cubetto; i rilievi sono consistiti nella misura della biomassa prodotta; ulteriori osservazioni sono state fatte sulla base dello sviluppo della coltura e delle eventuali anomalie/caratteristiche particolari osservate nel corso delle prove. Su bancale sono state coltivate sia piante aromatiche (rosmarino), sia piante da fiore (margherita). Le piante sono state allevate in vaso di polipropilene avente diametro di 14 cm. I rilievi e le osservazioni sono state le stesse di quelle applicate per le prove eseguite in pieno campo.

2. Impianto di riscaldamento solare termico.

Sul mercato sono ormai disponibili numerosi tipi di impianti di riscaldamento solare termico. Tra questi, i più efficienti sono quelli funzionanti sotto vuoto, ovvero dotati di camere in vetro prive di aria, al cui interno viene fatta passare una lamina in rame. Tale lamina è collegata mediante connettori specifici ad una riserva idrica che in questo modo viene riscaldata.

L'impianto è stato montato all'esterno del corpo serra principale del CeRSAA ed è stato montato disponendo gli elementi captanti in direzione nord-sud. Ogni modulo, composto da 18 elementi tubolari captanti, è stato disposto parallelamente al terreno.

I moduli sono stati collegati tra loro tramite il tubo di conduzione del fluido (acqua) utilizzato per trasferire il calore dalle diverse unità di produzione all'autoclave di accumulo termico. L'autoclave è stata posizionata all'interno della serra ed è stata dotata di un vaso di espansione e di una serpentina elettrica di soccorso necessaria a mantenere l'acqua su valori termici superiori ad una soglia predefinita (15°C). Una pompa circolativa è stata utilizzata per rendere più rapido il movimento dell'acqua all'interno degli impianti di cui al punto (1).

In figura 10 si riporta lo schema generale dell'impianto.

3. Impianto di riscaldamento radiante "a battiscopa".

Mutuato da sistemi di uso civile, impianti di questo tipo possono essere normalmente utilizzati per il riscaldamento delle serre attraverso la disposizione di elementi radianti su livelli sovrapposti. Il sistema, oggetto di un recente sviluppo sperimentale, è ora pronto per l'uso aziendale agricolo. L'impianto è stato realizzato disponendo quattro file di elementi radianti su più livelli. Il primo livello, posto in prossimità del suolo della serra, è stato realizzato ponendo due file parallele sovrapposte di

elementi radianti; una terza fila di elementi radianti è stata posta a circa 1,60 m di altezza e montata tra i vetri della serra e le teline coibentanti, con la funzione di ridurre la condensazione dell'acqua sulle pareti vetrate della serra stessa ed evitare, quindi, la caduta di acqua sulle piante. La quarta fila è stata posta all'altezza della gronda, al fine di limitare le "cadute" di masse di aria fredda dal tetto e dalle sue aperture. La validità del sistema è stata collaudata ponendo in coltivazione diverse specie di piante. I rilievi sono stati eseguiti su una specie aromatica (basilico). L'impianto è stato utilizzato, collegato alla caldaia del CeRSAA, per il riscaldamento della serra nel periodo invernale; nel periodo estivo, nell'impianto è stata fatta scorrere acqua fresca, proveniente dal pozzo del CeRSAA, valutando, in questo caso, quale effetto potesse essere misurabile.



4. La combinazione dei sopraccitati impianti.

Il progetto si è basato, successivamente all'individuazione e alla realizzazione degli impianti ritenuti più interessanti e innovativi, sulla combinazione efficiente degli stessi. In particolare, sono stati combinati insieme i sistemi 1 e 2. Il sistema n. 3 è stato combinato con l'impianto di riscaldamento normalmente utilizzato dal CeRSAA e rappresentativo della media degli impianti di riscaldamento serricoli.

RISULTATI AGRONOMICI ED ENERGETICI - POSSIBILI RICADUTE

CONSIDERAZIONI DI CARATTERE ECONOMICO E AMBIENTALE

Dal punto di vista economico, l'adozione di sistemi altamente efficienti (es. sistema radiante "a battiscopa") o in grado di utilizzare il calore prodotto dal sole (es. impianti solare-termici) consente significativi risparmi in termini energetici e in termini ambientali. Dal punto di vista del computo energetico, non sono stati tenuti in conto i costi ambientali sostenuti per la realizzazione dei materiali e degli impianti. Come vedremo più avanti, a fronte di un risultato economico e ambientale molto interessante, appare ancora necessario, in particolare per i sistemi solare-termici, integrare l'energia da essi prodotta con quella proveniente da altre fonti, anche non rinnovabili. A titolo di confronto energetico e ambientale, è stato scelto il sistema solare-termico come riferimento "verde" sviluppato dal progetto; le sue performances sono state poste a confronto con quelle fornite dal sistema di riscaldamento convenzionale utilizzato dal CeRSAA. Un terzo sistema è stato scelto tra quelli disponibili presso il CeRSAA - in quanto interessante dal punto di vista dei contenuti innovativi ed esso stesso particolarmente efficiente per quanto riguarda le performances energetiche e agronomiche: si tratta di un sistema di riscaldamento basale elettrico accoppiato all'impianto fotovoltaico del CeRSAA.

ASPETTI TERMODINAMICI E IMPIANTISTICI DEL SISTEMA SOLARE-TERMICO

Come riprodotto in figura 10, ciascun elemento dell'impianto, avente una superficie di 1 m², riesce a erogare una potenza termica compresa tra 255 e 890 W/m², con una efficienza molto alta, pari circa all'85%. Dal punto di vista dei consumi, la richiesta di energia è data dallo sviluppo in lunghezza del sistema radiante, realizzato con serpentine di tubi illustrate nell'immagine sottostante.

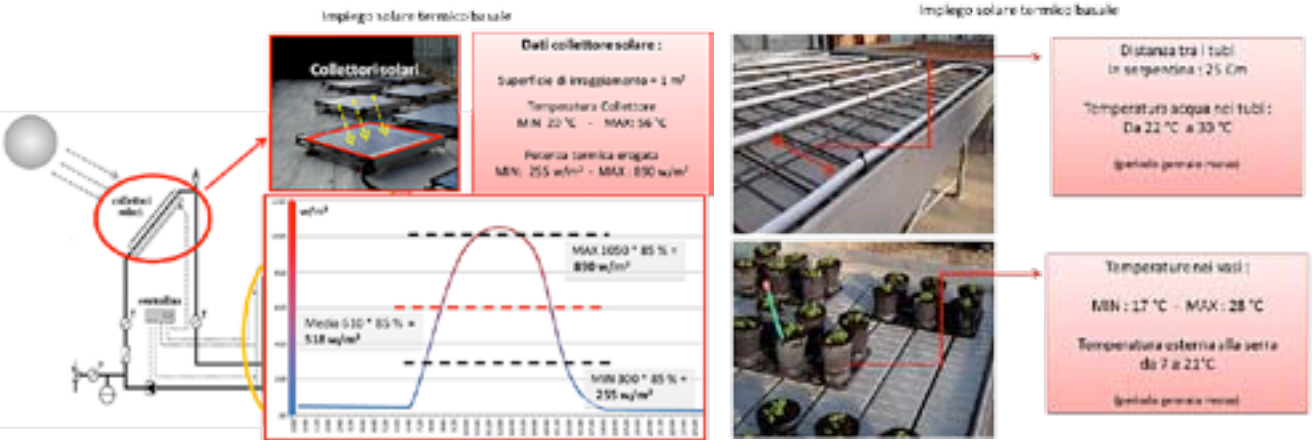
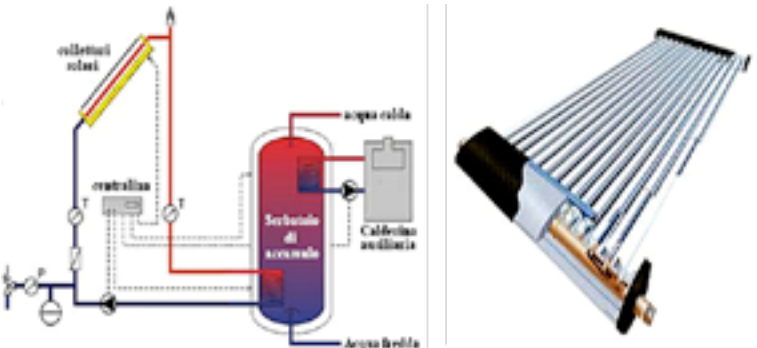


Figura 10. Schema dell'impianto solare termico e dati produttivi dei collettori sottovuoto

Con le suddette specifiche impiantistiche (tipo di collettori solari, loro efficienza e tipologia di sistema radiante), è possibile calcolare, in riferimento ad una serra - tipo avente una superficie pari a 1000 m², la quantità di collettori necessari a realizzare un salto termico di almeno 10°C per almeno 5 ore al giorno. I calcoli, riportati in figura 11, mettono in evidenza le superfici di collettori solari necessarie. Appare evidente che, a fronte delle necessità termiche stabilite, sia necessario, per una superficie da riscaldare pari a 1000 m², una superficie pari a circa 100 m² di collettori solari. Tale dato appare alto, anche in relazione alle superfici aziendali disponibili, ma pur sempre interessante, anche in relazione all'efficienza energetica elevata e al beneficio ambientale più oltre dettagliato. Appare evidente che l'impianto installato presso il CeRSAA a fini dimostrativi è ampiamente sottodimensionato per le necessità ipotizzate.

Dal punto di vista delle qualità ambientali, l'impianto solare-termico emette quantitativi molto ridotti di CO₂, essenzialmente imputabili al funzionamento della pompa circolativa accoppiata all'impianto.

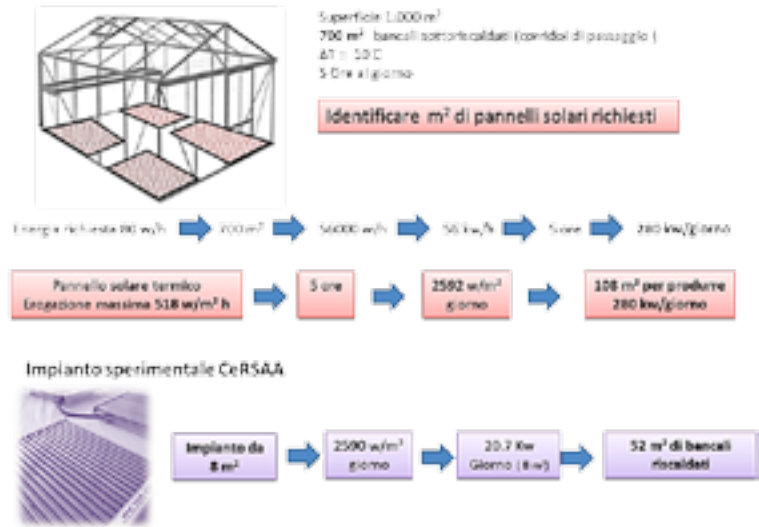
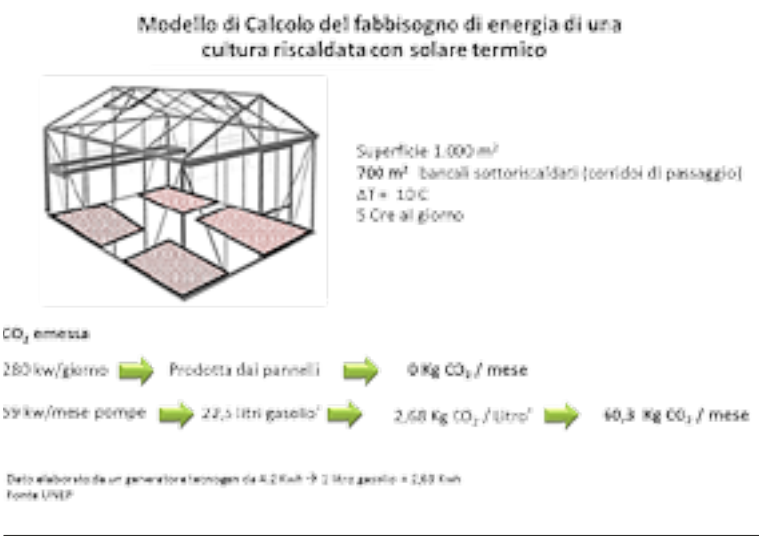


Figura 11. Identificazione della superficie di pannelli solare-termici necessaria al riscaldamento di una serra di superficie di 1000 m².



ASPETTI TERMODINAMICI E IMPIANTISTICI DEL SISTEMA ELETTRICO SCELTO COME CONFRONTO

Come ulteriore confronto, oltre al sistema di riscaldamento convenzionale utilizzato dal CeRSAA e rappresentativo dei sistemi mediamente utilizzati nelle aziende agricole. In questo caso, un sistema di cavi radianti disposti su bancale hanno lo scopo di riscaldare, per conduzione e irraggiamento, la rizosfera e il filloplano, limitando, anch'essi, il riscaldamento a zone limitate dell'ambiente di coltivazione, evitando il riscaldamento complessivo della serra (figura 12).

Anche in questo caso, i calcoli sono stati effettuati immaginando un dimensionamento sufficiente a riscaldare i bancali posti in una serra avente superficie pari a 1000 m² e realizzando un salto termico pari a 10°C ed un funzionamento pari a 5 ore/giorno. In questo caso specifico, la superficie netta coperta dai pannelli radianti dell'impianto è pari a m² 700, tenuto conto dei passaggi

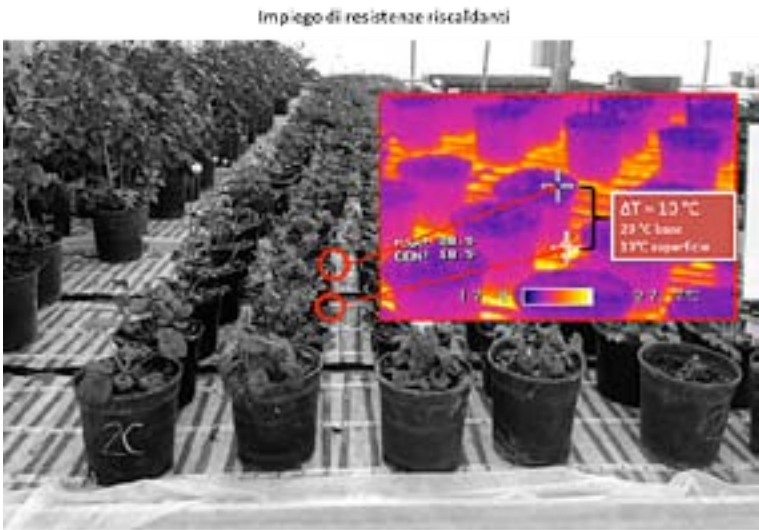
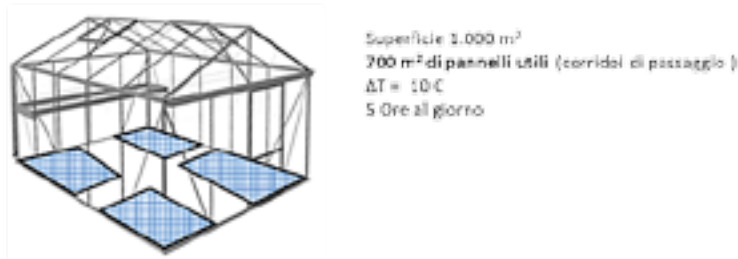


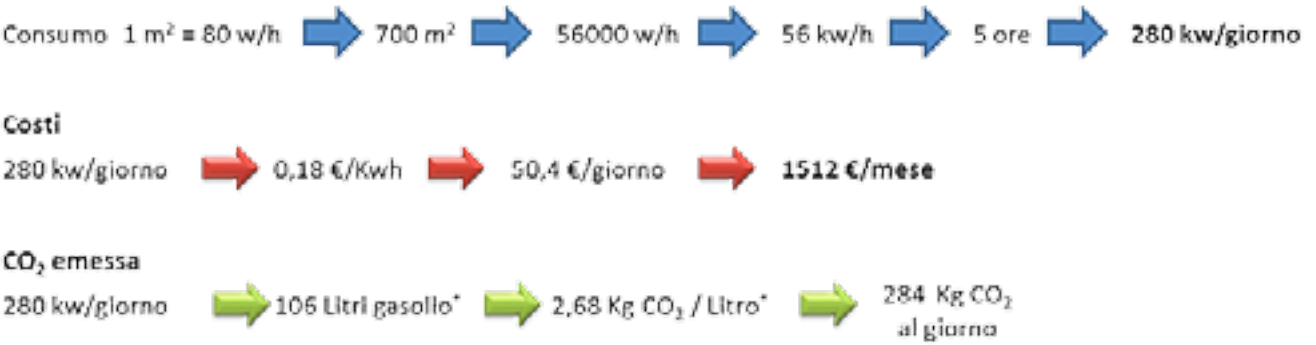
Figura 12. Immagine al visibile e all'infrarosso dell'impianto di riscaldamento basale elettrico.

tra i bancali, che sottraggono superficie utile per la coltivazione.

Modello di calcolo del fabbisogno di energia di una cultura riscaldata a pannelli Basali elettrici



Tenuto conto dei consumi elettrici rilevati e dei costi conseguenti dell'energia elettrica, si ottengono i seguenti risultati in termini di costo economico e ambientale:



CONFRONTO TRA I SISTEMI PRESI IN CONSIDERAZIONE

Il risultato finale dell'analisi energetica e ambientale effettuata pone in risalto l'elevata sostenibilità e il basso costo del sistema solare-termico; anche il sistema radiante elettrico manifesta buone performances, mentre il sistema più costoso dal punto di vista economico e della sostenibilità ambientale è quello "convenzionale", ovvero quello più largamente utilizzato delle aziende agricole (figura 13).

Come è possibile osservare in figura 13, il costo economico e ambientale delle soluzioni innovative sviluppate dal progetto è decisamente più contenuto rispetto agli stessi costi che occorre sostenere per l'applicazione della soluzione più diffusa e tradizionale a livello aziendale. In questa analisi non sono stati presi in considerazione i costi relativi alla produzione industriale dei diversi impianti, ma soltanto i costi che l'utilizzatore si trova ad affrontare. Malgrado l'ottimo risultato economico e ambientale del sistema solare-termico, occorre tenere conto del notevole spazio di cui esso necessita per la produzione dell'energia necessaria al riscaldamento della superficie serricola individuata. Questo aspetto è senz'altro uno di quelli limitanti la sua adozione, assieme alle necessità di accumulo termico, che rendono necessarie ulteriori considerazioni impiantistiche e di organizzazione aziendale.

L'esercizio proposto con il progetto, peraltro, rende chiara la possibilità concreta di individuare soluzioni tecniche alternative a quelle attualmente in uso, capaci di ridurre significativamente i costi aziendali e quelli ambientali.

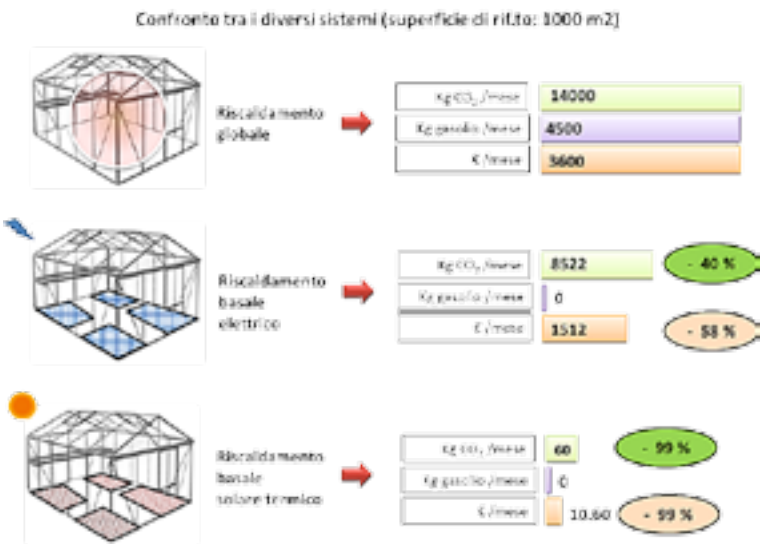


Figura 13. Confronto tra i tre sistemi scelti per la valutazione della sostenibilità ambientale e economica

RISULTATI AGRONOMICI

I risultati ottenuti sotto il profilo produttivo vengono di seguito sinteticamente riassunti. In termini generali, è possibile affermare che i sistemi di riscaldamento localizzato, che come abbiamo visto appaiono particolarmente competitivi dal punto di vista economico e ambientale, appaiono interessanti anche sotto il profilo dei risultati produttivi. Tuttavia, a fronte di tali vantaggi, gli impianti localizzati scontano problemi di gestione irrigua e di regolazione termica.

a. Gestione dell'irrigazione

L'acqua contenuta nei substrati di coltivazione posti a contatto con fonti di calore provenienti dal basso evapora più rapidamente. Ne consegue che le piante possono essere più facilmente sottoposte a condizioni di stress termico e di carenza idrica. Associato a questa tipologia di impianti, pertanto, è necessario rivedere il sistema irriguo e la strategia di applicazione dell'acqua, alfine di non far mai mancare la corretta umettazione del substrato e minimizzare gli stress sulla coltura.

b. Regolazione termica

La regolazione termica influisce sia sulla gestione della disponibilità irrigua sopra discussa, sia sullo sviluppo della coltura. In particolare, i problemi maggiori derivano dalle rampe termiche (incremento e diminuzione) che possono causare stress nel corso della germinazione dei semi, o dello sviluppo radicale delle talee. Infine, rampe termiche troppo rapide - soprattutto in fase di incremento termico - possono essere causa di appassimenti gravi e di danni estetici e funzionali alla porzione subaerea delle piante.

In sintesi, l'elevata efficienza dei sistemi di riscaldamento localizzati deve essere opportunamente gestita tenendo conto dei possibili problemi legati a repentine carenze idriche e umidità ambientali molto basse a livello del filloplano.

Il sistema di riscaldamento radiante a battiscopa, funzionante con combustibili e sistemi di conversione energetica convenzionali, ha manifestato, invece, problemi decisamente più contenuti in termini di induzione di stress termico e irriguo. In questo caso, pur in considerazione del maggiore costo ambientale e energetico che tale sistema implica, è osservabile una elevata efficienza agronomica quando tale sistema viene confrontato con sistemi che utilizzano il medesimo sistema di produzione dell'energia (caldaia funzionante a gasolio), ma differenti sistemi di diffusione del calore (scambiatore di calore posto in un punto unico prossimo al colmo della serra, oppure impianto radiante a battiscopa).

Sistema di riscaldamento radiante a battiscopa – risultati produttivi

Una serie di prove è stata effettuata ponendo a confronto due diverse condizioni climatiche e tre diverse situazioni impiantistiche. In tabella 1 si riportano le diverse condizioni poste a confronto e stabilite per la realizzazione delle prove dimostrative di confronto.

Tabella 1. Impostazione delle condizioni ambientali e climatiche nelle serre utilizzate per le prove dimostrative.

Ambiente di coltivazione	Riscaldamento	Set-up termico	Distribuzione calore	Note
Serra 2	-	-	-	
Serra 3	Radiante, a battiscopa	18°C	Moti convettivi naturali	
Serra 4	Termoventilatore	18°C	Flusso d'aria forzata	

Altre regolazioni. Coibentazione teline: attivazione con temperatura esterna a 16°C. Luminosità esterna di coibentazione: chiusura teline a 1000 lux. Sensori per la rilevazione della temperatura sono stati disposti a diverse quote nella serra e a livello della coltura, alfine di rilevare le condizioni climatiche interne all'ambiente protetto.

La prima coltivazione effettuata è stata una aromatica (basilico) seminata direttamente su bancale. I rilievi effettuati hanno messo in evidenza quanto segue:

Data di semina del basilico (prima prova): 16/03/14
Germinazione al rilievo del 23/03: Serra 2 – assenza di germinazione
Serra 3 – germinazione evidente (cotiledoni in fase di espansione)
Serra 4 – inizi germinazione

Indice medio di germinazione		Tukey
Serra 2	1,9	b
Serra 3	2,5	a
Serra 4	1,8	b

Tabella 2. Germinazione al rilievo del 01/04 (indice di germinazione 0-3)

Peso netto delle porzioni epigee (g) delle piante presenti in 10 aree 20 x 20 cm				
	Valore medio			
	Su 0,04 m²		Su 1 m²	
Serra 2	37,9	c	947,5	c
Serra 3	68,8	a	1.719,5	a
Serra 4	59,7	b	1.491,3	b

Tabella 3. Produzione di biomassa a fine ciclo produttivo (22/04)

Come è possibile osservare in tabella 2 e in tabella 3, il sistema radiante “a battiscopa” presenta performances elevate e superiori a quelle ottenute dall’ambiente 4, nel quale erano state impostate le medesime condizioni climatiche.

La ragione di tale risultato può essere vista nella costanza delle condizioni termiche osservabili in Serra 3, rispetto a quelle della serra 4 (figura 14). Le variazioni termiche, durante la fase di riscaldamento, sono molto più ridotte, a tutto vantaggio di un miglior rendimento produttivo.

Anche per il raffrescamento estivo è vantaggiosamente utilizzabile il sistema a termosifone, capace di creare un ambiente fresco utilizzando l'acqua fresca di pozzo. L'immagine termografica ben rappresenta quanto rilevato all'interno della serra 3 (figura 15).

Oltre all'analisi termografica, l'analisi termica effettuata con rilevatori termici posizionati a diverse quote (suolo, bancali, gronda) ha permesso di fare una interessante osservazione: il raffrescamento estivo attuato con il sistema a termosifone montato in serra 3 ha permesso di ridurre gli eccessi termici (temperature massime), anche se non è stata osservata alcuna differenza a livello di temperatura media tra i tre ambienti di coltivazione.

Nel periodo più caldo dell'anno (luglio) in serra 4 - priva del sistema di raffrescamento - le temperature massime del periodo hanno frequentemente superato i 40°C, una temperatura molto alta e dannosa per la maggior parte delle colture (figura 15). Al contrario, in presenza del sistema di raffrescamento in serra 3, le temperature massime non hanno mai superato i 40°C (figura 16), riducendo, quindi, sensibilmente i rischi di stress delle colture. Le prove sono state effettuate utilizzando l'acqua di pozzo del CeRSAA, prelevata da una profondità ridotta (15 m) e pertanto non particolarmente fresca. Il salto termico realizzato, pertanto, non è stato sufficiente a garantire anche la riduzione delle temperature medie. Ciò sarebbe stato possibile se l'acqua prelevata avesse avuto una provenienza da falde più profonde. Vale, infine, rammentare che in Liguria la pratica del condizionamento delle serre mediante l'uso di acque di falda non è autorizzato, al contrario di quanto accade in altre Regioni italiane, tra cui il Piemonte e la Toscana.



Figura 15. Temperature rilevate nella serra non climatizzata nel periodo estivo

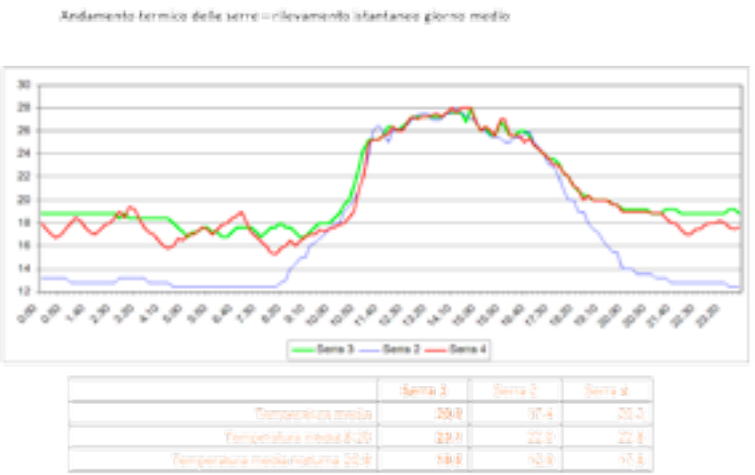


Figura 14. Andamento termico all'interno dei tre ambienti posti a confronto.

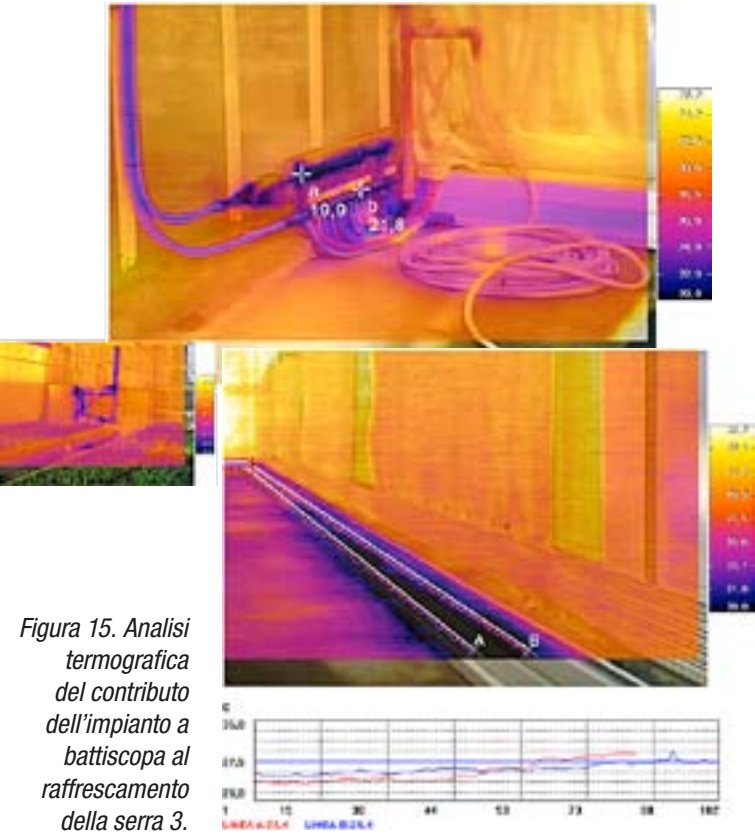


Figura 15. Analisi termografica del contributo dell'impianto a battiscopa al raffrescamento della serra 3.

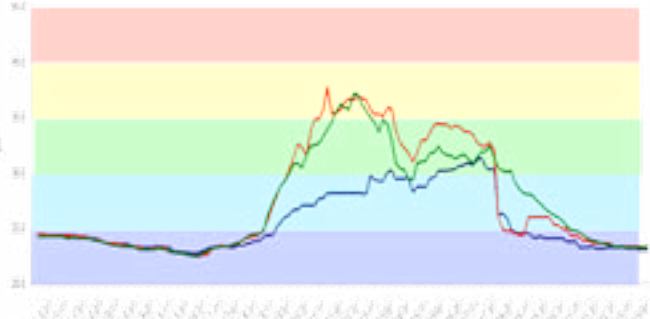


Figura 16. Temperature rilevate nella serra climatizzata nel periodo estivo

RISCALDAMENTO BASALE DEI BANCALI E DEL SUOLO MEDIANTE L'USO DEI COLLETTORI SOLARI

I risultati offerti da questo sistema, mai in precedenza saggiato in campo agricolo, sono stati particolarmente positivi dal punto di vista dell'efficienza produttiva.

Dal punto di vista agronomico, il monitoraggio delle condizioni ambientali e colturali effettuate nel corso delle prove dimostrative allestite tra il 2014 e il 2015 ha permesso di ricavare le seguenti indicazioni in merito alle condizioni termiche.

Temperature

Le temperature del collettore e dell'acqua dipendono dalle **condizioni meteorologiche**, ed in modo particolare dalla radiazione solare. I collettori sottovuoto non sono influenzati dalle condizioni termiche dell'ambiente in cui sono poste (caldo/freddo), ma soltanto dalla presenza e dall'intensità della radiazione solare.

Temperatura dei collettori solari

In relazione alle condizioni climatiche esterne, sono state fatte le seguenti osservazioni.

T°C min: 20°C del conduttore in rame del collettore in presenza di T°C esterna pari a 10°C e cielo nuvoloso;

T°C max: 56°C del conduttore in rame del collettore in presenza di una T°C esterna pari a 20°C e cielo sereno.

Temperatura dell'acqua

Temperatura dell'acqua in **autoclave** (accumulo): da 28 a 43°C nel corso dell'intero progetto.

Temperatura dell'acqua ai **terminali d'uso** (bancali, suolo):

- Bancali: da 22 a 30°C
- Suolo: da 22 a 30°C

Temperatura dei contenitori di coltivazione

Temperatura nei **vasi** di coltivazione e nel **suolo**:

- Vasi:** da 17 a 28°C (testimone non riscaldato: da 14 a 23)
- Suolo:** da 15 a 29°C (testimone non riscaldato: da 13 a 24)

Risultati delle prove dimostrative effettuate utilizzando sia piante aromatiche (basilico) (tabella 4) che piante da fiore (margherita) (tabella 5).

Osservazioni	Riscaldamento con collettori solari	Assenza di riscaldamento
Biomassa prodotta (g/m²)	145 (+23%)	111
Durata ciclo colturale (gg)	48 (-26%)	65

Tabella 4. Produzione di biomassa e durata del ciclo colturale di piante di basilico allevate in vaso su bancali riscaldati con il sistema solare-termico

Osservazioni	Riscaldamento con collettori solari	Assenza di riscaldamento
Biomassa prodotta (g/vaso)	85 (+22%)	66
Diametro pianta (cm)	17,8 (+11%)	15,9
Altezza pianta (cm)	19,1 (+5%)	18,2

Tabella 5. Biomassa prodotta e dimensioni di piante di margherita allevate in vaso su bancali con sistema solare-termico

Il risultato ottenuto, e osservabile dai risultati riportati in tabella 4 e 5, indica un interessante vantaggio del sistema di riscaldamento localizzato. Volendo sintetizzare i risultati raccolti e le osservazioni effettuate nel corso del progetto, è possibile indicare i seguenti vantaggi e svantaggi.

Vantaggi del sistema di riscaldamento a collettori solari

- Impianto poco costoso
- Impianto installabile su tetti di fabbricati aziendali e, parzialmente, sui tetti delle serre
- Impianto sottovuoto funzionante anche nel periodo invernale
- Buona efficienza per i bancali
- In piena terra l'impianto può seguire lo sviluppo della coltura
- Possibilità di integrazione con impianti convenzionali, a biomassa e fotovoltaici

Svantaggi del sistema di riscaldamento a collettori solari

- La riserva idrica deve essere attentamente dimensionata
- Nel periodo invernale la temperatura dell'acqua potrebbe essere sub-ottimale
- Potrebbe essere necessaria una integrazione con impianti di soccorso o integrazione
- In piena terra gli impianti definitivi devono essere posizionati in profondità: in queste condizioni le temperature dell'acqua devono essere elevate

CONCLUSIONI

Il progetto dimostrativo sviluppato ha dimostrato che è possibile adottate strategie e sistemi di produzione e di utilizzo di energia a basso impatto ambientale ed efficienti dal punto di vista agronomico.

I sistemi proposti appaiono pronti dal punto di vista tecnologico per essere utilizzati anche nel settore agricolo; occorre, tuttavia, valutare di volta in volta l'applicabilità di essi, in relazione alle caratteristiche aziendali e agli spazi disponibili.

La produzione di calore da impianti solare-termici può essere impiagata sia per il riscaldamento diretto, come mostrato nel progetto, sia per innalzare la temperatura dell'acqua che giunge in caldaia per essere riscaldata ulteriormente dal sistema tradizionale: in questo caso, un minore salto termico da sopportare da parte di una caldaia tradizionale può ridurre significativamente i consumi di combustibile da fonti non rinnovabili.

Di particolare impatto è la valutazione della riduzione della produzione di CO2 conseguente all'impiego di sistemi solare-termici: tale riduzione può arrivare fino al 99%, un dato decisamente interessante.

L'impianto di riscaldamento radiante con il sistema a battiscopa, pur in presenza di una alimentazione da fonti non rinnovabili, è risultato essere un sistema altamente efficiente per la corretta distribuzione nell'ambiente del calore necessario alle colture. Questo sistema, disponibile sul mercato, consente di climatizzare l'ambiente di coltivazione sia per il riscaldamento, sia per il raffrescamento - laddove l'uso dell'acqua sotterranea è ammessa.



AZIENDA SPECIALE CeRSAA
Reg. Rollo 98, 17031 Albenga (sv)
tel. / fax 0182 554949 / 0182 50712
e-mail: cersaa.albenga1@sv.camcom.it